



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**EXTENSIÓN LA MANÁ**  
**CARRERA DE AGROINDUSTRIA**  
**PROYECTO DE TITULACIÓN**

**“DESARROLLO DE UNA BEBIDA A BASE DE NOPAL (*Opuntia ficus-indica*) Y CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS, MICROBIOLÓGICAS Y SENSORIALES”**

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

**AUTORES:**

Abril Quishpe Keidy Dayana  
Cuaces Cañaverall Odalis Samanta

**TUTOR:**

Rivera Toapanta Evelyn Andrea

**LA MANÁ – ECUADOR**

**MARZO- 2026**

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Abril Quishpe Keidy Dayana, con cédula de ciudadanía No. 0504871047, Cuaces Cañaverl Odalis Samanta, con cédula de ciudadanía No. 0550232755 declaramos ser autores del presente **PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: “DESARROLLO DE UNA BEBIDA A BASE DE NOPAL (*Opuntia ficus-indica*) Y CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS, MICROBIOLÓGICAS Y SENSORIALES”**, siendo la Quím. Evelyn Andrea Rivera Toapanta Ph.D. Tutor del presente trabajo; y, eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

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

La Maná, marzo 12 del 2026



Abril Quishpe Keidy Dayana

C.C: 0504871047



Cuaces Cañaverl Odalis Samanta

C.C: 0550232755

## CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **ABRIL QUISHPE KEIDY DAYANA**, identificada con cédula de ciudadanía No. **0504871047** de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

**ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA.** – **LA CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Agroindustria, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “**DESARROLLO DE UNA BEBIDA A BASE DE NOPAL (*Opuntia Ficus-indica*) Y CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS, MICROBIOLÓGICAS Y SENSORIALES**”, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

### **Historial Académico**

Inicio de la carrera: Abril – Agosto 2022

Finalización de la carrera: Octubre 2025 – Marzo 2026

Aprobación en Consejo Directivo: 12 de marzo del 2026

Tutor: Quím. Evelyn Andrea Rivera Toapanta, Ph.D.

Tema: “**DESARROLLO DE UNA BEBIDA A BASE DE NOPAL (*Opuntia Ficus-indica*) Y CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS, MICROBIOLÓGICAS Y SENSORIALES**”

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

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

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

f) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.

g) La publicación del trabajo de grado.

h) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.

i) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.

j) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial

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

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

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

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

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

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

**CLÁUSULA UNDÉCIMA.** - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad.

El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 12 días del mes de marzo del 2026.



Abril Quishpe Keidy Dayana

**LA CEDENTE**

Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.

**LA CESIONARIA**

## CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **CUACES CAÑAVERAL ODALIS SAMANTA**, identificada con cédula de ciudadanía No, **0550232755** de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

**ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA.** – **LA CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Agroindustria, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “**DESARROLLO DE UNA BEBIDA A BASE DE NOPAL (*Opuntia Ficus-indica*) Y CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS, MICROBIOLÓGICAS Y SENSORIALES**”, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

### **Historial Académico**

Inicio de la carrera: Abril – Agosto 2022

Finalización de la carrera: Octubre 2025 – Marzo 2026

Aprobación en Consejo Directivo: 12 de marzo del 2026

Tutor: Quím. Evelyn Andrea Rivera Toapanta, Ph. D.

Tema: “**DESARROLLO DE UNA BEBIDA A BASE DE NOPAL (*Opuntia Ficus-indica*) Y CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS, MICROBIOLÓGICAS Y SENSORIALES**”

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

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

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

f) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.

g) La publicación del trabajo de grado.

h) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.

i) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.

j) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial

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

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

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

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

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

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

**CLÁUSULA UNDÉCIMA.** - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad.

El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 12 días del mes de marzo del 2026.



Cuaces Cañaverl Odalis Samanta

**LA CEDENTE**

Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.

**LA CESIONARIA**

## **AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

En calidad de Tutor del Proyecto de Investigación sobre el título:

**“DESARROLLO DE UNA BEBIDA A BASE DE NOPAL (*Opuntia Ficus-indica*) Y CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS, MICROBIOLÓGICAS Y SENSORIALES”** de Abril Quishpe Keidy Dayana; Cuaces Cañaverall Odalis Samanta de la carrera de Agroindustria, considero que dicho Informe Investigativo es merecedor del aval de aprobación al cumplir las normas técnicas, traducción y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

La Maná, 12 de marzo de 2026

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Evelyn Andrea Rivera Toapanta', written over a light blue grid background.

Rivera Toapanta Evelyn Andrea  
C.C.: 1717656209  
**TUTORA**

## **AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN**

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y, por la Extensión La Maná, Carrera de Agroindustria; por cuanto, los postulantes: Abril Quishpe Keidy Dayana; Cuaces Cañaverl Odalis Samanta con el título del Proyecto de Investigación: **“DESARROLLO DE UNA BEBIDA A BASE DE NOPAL (*Opuntia Ficus-indica*) Y CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS, MICROBIOLÓGICAS Y SENSORIALES”**, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

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

La Maná, 12 de marzo del 2026

Para constancia firman:



Guzmán Acán Fabricio Armando  
C.C: 0502877525  
**LECTOR 1 (PRESIDENTE)**



Carrera Borja Washington Xavier  
C.C: 0502443625  
**LECTOR 2 (MIEMBRO)**



Gavilánez Buñay Tatiana Carolina  
C.C: 1600398190  
**LECTOR 3 (SECRETARIA)**

## **AGRADECIMIENTO**

*Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a Dios, por brindarme la fortaleza necesaria para recorrer este camino. Extiendo mi sincera gratitud a todas las personas maravillosas que han dejado una huella en mi vida, en especial a mi tutora Ph.D. Andrea Rivera, quien supo aconsejarme y guiarme con sabiduría a lo largo de este proceso. Agradezco a mi universidad por darme la oportunidad de formarme académicamente, fomentando en mí el conocimiento y la ética. A los docentes que, con dedicación y generosidad compartieron sus conocimientos y enseñanzas, sembrando en mí las bases para ser una persona capaz de aportar al bien colectivo, enmarcada en el proyecto “Innovación, salud y sostenibilidad en la industria alimenticia: desarrollo de alimentos funcionales con materias primas y coproductos autóctonos y exóticos de la provincia de Cotopaxi” y a todos les extiendo mi más sincero agradecimiento.*

**Dayana**

## **AGRADECIMIENTO**

*Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a Dios por ser mi guía y protector en este proyecto, de manera especial a mi tutora Quím. Evelyn Andrea Rivera Toapanta Ph.D. por su guía constante, sus valiosas observaciones y el apoyo brindado en cada paso. A mi familia por su apoyo en mi formación personal y profesional. A mis amistades en especial a Josselyn y Dayana, quienes con su colaboración y ánimo contribuyeron a que este proyecto se convirtiera en una experiencia. Finalmente, A la Universidad Técnica de Cotopaxi, por brindarme las herramientas y el espacio académico necesarios para desarrollar esta investigación. Este trabajo se enmarca en el Proyecto “Innovación, salud y sostenibilidad en la industria alimenticia: desarrollo de alimentos funcionales con materias primas y coproductos autóctonos y exóticos de la provincia de Cotopaxi”.*

**Odalís**

## **DEDICATORIA**

*Dedico este logro, en primer lugar, a Dios, por darme el valor necesario para seguir adelante en todo el transcurso del camino. A mi madre “Elsa Quishpe” y a mi padre “Manuel Abril” por ser mi apoyo incondicional y mis guías. A mis hermanos por acompañarme con paciencia y su ayuda constante durante este proceso. Este logro es para ustedes, que siempre han estado presentes, creyendo en mí incluso cuando yo dudaba. También me lo dedico a mí misma, por no rendirme por superar cada obstáculo y por adquirir los conocimientos que marcaran el inicio de mi vida profesional.*

**Dayana**

## **DEDICATORIA**

*Con profundo amor y gratitud dedico este proyecto a mis padres, Marcelo Cuaces y María Cañaveral, por ser mi inspiración y apoyo constante. A mi hermana Marcela, por su confianza y aliento; y a mi compañero de vida, Luis Mazabanda, por su comprensión y motivación en el transcurso de este proyecto. Este logro refleja que los sueños se alcanzan con disciplina y esfuerzo, y marca el inicio de nuevos retos guiados por la esperanza de crecer y dejar huella.*

***Odalís***

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## EXTENSIÓN LA MANÁ

**TITULO: “DESARROLLO DE UNA BEBIDA A BASE DE NOPAL (*Opuntia ficus-indica*) Y CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS, MICROBIOLÓGICAS Y SENSORIALES”**

**Autores**

**Abril Quishpe Keidy Dayana**

**Cuaces Cañaverl Odalis Samanta**

### RESUMEN

El objetivo del estudio fue desarrollar una bebida a base de nopal (*Opuntia ficus-indica*) y caracterizar sus propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales. La materia prima fue cosechada en el cantón Salcedo, provincia Cotopaxi, Ecuador. Se empleó un Diseño completamente al Azar (DCA), considerando 8 tratamientos definidos por la combinación de los factores establecidos (factores A: concentración de tuna, B: concentración de mucílago de nopal, C: tipo de endulzante endulzante) y 2 controles. Cada tratamiento fue evaluado en 7 tiempos de fermentación (factor D: 1,3,5,7,9,15 y 90 días). Se analizaron parámetros fisicoquímicos (pH, Sólidos solubles, TDS, conductividad, grado alcohólico, acidez titulable, temperatura y polifenoles), aceptabilidad con 100 consumidores y calidad microbiológica. Los resultados muestran el cumplimiento bajo la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 374 (2016) y la Norma Técnica Colombiana NTC 708 (2000): pH máximo de 3,5, acidez titulable de 1,1%, grado alcohólico de 19,4% y sólidos solubles de 9,5 STT. El tratamiento T2 presentó el mayor contenido de polifenoles (36,5 mg GAE/100 ml), evidenciando compuestos bioactivos con potencial funcional. En el aspecto microbiológico, se confirmó la ausencia de *E. coli* y *coliformes totales*, y el conteo de *mohos* y *levaduras* se mantuvo por debajo del límite normativo INEN 1529-10 (2013), INEN 1529-8 (1990) e INEN 1529-7 (2013). En conclusión, la bebida fermentada de nopal cumple con los estándares de calidad e inocuidad, constituyendo una alternativa innovadora y sostenible para el mercado de bebidas fermentadas.

**Palabras clave:** *Opuntia ficus-indica*, nopal, polifenoles, innovación alimentaria sostenible.

# TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

LA MANÁ EXTENSION

**TITLE: “DEVELOPMENT OF A BEVERAGE BASED ON PRICKLY PEAR CACTUS (*Opuntia ficus-indica*) AND CHARACTERISATION OF PHYDICOHEMICAL, MICROBIOLOGICAL, AND SENSORY PROPERTIES”**

**AUTHORS:**

**Abril Quishpe Keidy Dayana**

**Cuaces Cañaverl Odalis Samanta**

## ABSTRACT

The aim of the study was to develop a beverage based on prickly pear cactus (*Opuntia ficus-indica*) and to characterise its physicochemical, microbiological, and sensory properties. The raw material was harvested in the canton of Salcedo, Cotopaxi province, Ecuador. A Completely Randomised Design (CRD) was employed, considering eight treatments defined by the combination of the established factors (Factor A: prickly pear concentration, Factor B: cactus mucilage concentration, Factor C: type of sweetener) and two controls. Each treatment was assessed at seven fermentation times (Factor D: 1, 3, 5, 7, 9, 15, and 90 days). Physicochemical parameters (pH, soluble solids, TDS, conductivity, alcoholic strength, titratable acidity, temperature, and polyphenols), consumer acceptability with 100 participants, and microbiological quality were analysed. The results demonstrate compliance with the Ecuadorian Technical Standard INEN 374 (2016) and the Colombian Technical Standard NTC (2000), with a maximum pH of 3.5, a titratable acidity of 1.1%, an alcoholic strength of 19.4%, and soluble solids of 9.5 °Brix. Treatment T2 exhibited the highest polyphenol content (36.5 mg GAE/100 ml), evidencing bioactive compounds with functional potential. From a microbiological perspective, the absence of *E. coli* and total coliforms was confirmed, while mould and yeast counts remained below the regulatory limits established by INEN 1529-10 (2013), INEN 1529-8 (1990), and INEN 1529-7 (2013). In conclusion, the fermented cactus beverage meets quality and safety standards, representing an innovative and sustainable alternative for the fermented beverage market.

**Keywords:** *Opuntia ficus-indica*, cactus, polyphenols, sustainable food innovation.

## ÍNDICE

1. INFORMACIÓN GENERAL .....	1
2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	2
3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	2
4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO .....	4
4.1. Beneficiarios Directos .....	4
4.2. Beneficiarios Indirectos .....	4
5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	4
6. OBJETIVOS.....	5
6.1. Objetivo general .....	5
6.2. Objetivos específicos .....	5
7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN REALCIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS .....	6
8. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	7
8.1. Nopal ( <i>Opuntia ficus-indica</i> ).....	7
8.2. Origen y Taxonomía.....	7
8.3. Descripción Botánica.....	9
8.4. Cladodio del nopal.....	9
8.5. Composición química del cladodio de nopal.....	10
8.6. Beneficios del consumo de tuna .....	11
8.7. Jugos y bebidas a base de nopal .....	11
8.8. Cosecha de los cladodios .....	12
8.9. Manejo post cosecha.....	12
8.10. Tipos de endulzantes .....	12
8.10.1. Azúcar.....	12
8.10.2. Panela .....	12
8.11. Levaduras.....	13

8.12.	Levadura ( <i>Saccharomyces cerevisiae</i> ) .....	13
8.13.	Bebidas fermentadas.....	13
8.14.	Tipos de fermentación .....	13
8.14.1.	Estructura química de la fermentación .....	13
8.14.2.	Fermentación alcohólica.....	14
8.14.3.	Fermentación natural o espontánea .....	14
8.14.4.	Fermentación a partir de cepa seleccionada .....	14
8.15.	Vino .....	14
8.15.1.	Vino a base de frutas .....	14
8.16.	Biorreactor .....	14
8.17.	Análisis fisicoquímicos .....	15
8.18.	Análisis microbiológicos .....	15
8.19.	Análisis sensorial.....	15
8.20.	Polifenoles .....	15
8.21.	Estructura química de los polifenoles.....	15
8.22.	Polifenoles en el nopal.....	16
9.	HIPÓTESIS.....	16
9.1.	Hipótesis alternativa (Ha).....	16
9.2.	Hipótesis nula (H0).....	16
10.	METODOLOGÍA.....	16
10.1.	Ubicación y duración del proyecto .....	16
10.1.1.	Origen de la materia prima .....	16
10.1.2.	Tiempo de estudio .....	17
10.2.	Tipo de investigación .....	17
10.2.1.	Investigación experimental.....	17
10.2.2.	Investigación descriptiva .....	17
10.3.	Diseño experimental.....	18

10.3.1.	Factores en estudio: .....	18
10.3.2.	VARIABLES INDEPENDIENTES:.....	18
10.3.3.	VARIABLES DEPENDIENTES:.....	19
10.3.4.	Tratamientos .....	19
10.3.5.	Controles.....	19
10.3.6.	Análisis estadístico .....	20
10.4.	Procedimiento.....	23
10.4.1.	Materiales y equipos.....	23
10.5.	Formulación de los tratamientos .....	23
10.5.1.	Azúcar añadida .....	24
10.5.2.	Levadura añadida ( <i>Saccharomyces cerevisiae</i> ).....	24
10.6.	Proceso de la elaboración de una bebida a base de Nopal.....	26
10.6.1.	Cosecha.....	26
10.6.2.	Recepción .....	26
10.6.3.	Extracción de espinas .....	26
10.6.4.	Lavado .....	26
10.6.5.	Selección.....	26
10.6.6.	Despulpado y extracción .....	26
10.6.7.	Formulación del sustrato .....	27
10.6.8.	Homogenización.....	27
10.6.9.	Activación de levadura .....	27
10.6.10.	Fermentación .....	27
10.6.11.	Trasiego .....	27
10.6.12.	Sulfitación.....	27
10.6.13.	Filtración.....	28
10.6.14.	Embotellado.....	28
10.6.15.	Pasteurización.....	28

10.6.16.	Maduración.....	28
10.6.17.	Diagrama para la elaboración de la bebida a base de nopal .....	29
10.7.	Análisis fisicoquímicos realizados en la materia prima .....	30
10.7.1.	Masa (g).....	30
10.7.2.	Densidad (g/ml) .....	30
10.7.3.	Medición del pH .....	30
10.7.4.	Sólidos solubles totales.....	30
10.7.5.	Acidez titulable.....	31
10.7.6.	Conductividad.....	31
10.7.7.	Polifenoles .....	31
10.7.8.	Cálculo del rendimiento (%)......	31
10.7.9.	Medición del diámetro y longitud nopal (cm).....	31
10.8.	Análisis fisicoquímicos durante el proceso de fermentación de la bebida a base de nopal ( <i>Opuntia ficus-indica</i> ). .....	32
10.8.1.	Sólidos solubles totales.....	32
10.8.2.	Temperatura.....	32
10.8.3.	pH .....	32
10.8.4.	Grado alcohólico.....	32
10.8.5.	Conductividad y sólidos disueltos totales (TDS) .....	32
10.9.	Análisis fisicoquímicos de la post fermentación de la bebida.....	32
10.9.1.	Polifenoles .....	33
10.9.2.	Acidez titulable.....	33
10.10.	Análisis microbiológicos de la bebida después de tres meses de maduración .....	34
10.10.1.	Mohos y levaduras .....	34
10.10.2.	<i>Escherichia Coli</i> .....	34
10.10.3.	<i>Coliformes totales</i> .....	34
10.11.	Evaluación sensorial .....	34

10.11.1.	Perfil sensorial .....	34
10.11.2.	Evaluación del grado de aceptabilidad .....	35
11.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	35
11.1.	Análisis fisicoquímicos de la materia prima tuna.....	35
11.2.	Análisis fisicoquímicos de la materia prima del cladodio.....	38
11.3.	Análisis fisicoquímicos durante la fermentación y maduración de la bebida a base de nopal ( <i>Opuntia Ficus-indica</i> ).....	42
11.3.1.	Comparación de los Sólidos solubles totales de la bebida a base de nopal ( <i>Opuntia Ficus-indica</i> ).....	42
11.3.2.	Análisis por tratamientos de la bebida.....	44
11.3.3.	Análisis por factores de la bebida.....	46
11.3.4.	Comparación de los pH de la bebida a base de nopal ( <i>Opuntia Ficus-indica</i> ).51	
11.3.5.	Análisis por tratamientos de la bebida.....	53
11.3.6.	Análisis por factores de la bebida.....	56
11.3.7.	Comparación de los Sólidos disueltos totales de la bebida a base de nopal ( <i>Opuntia Ficus-indica</i> ).....	59
11.3.8.	Análisis por tratamientos de la bebida.....	61
11.3.9.	Análisis por factores de la bebida.....	63
11.3.10.	Comparación de la conductividad de la bebida a base de nopal ( <i>Opuntia Ficus-indica</i> ). 68	
11.3.11.	Análisis por tratamientos de la bebida.....	70
11.3.12.	Análisis por factores de la bebida.....	73
11.3.13.	Comparación de los grados alcohólicos de la bebida a base de nopal ( <i>Opuntia Ficus-indica</i> ). .....	77
11.3.14.	Análisis de tratamientos de la bebida .....	80
11.3.15.	Análisis por los factores de la bebida .....	82
11.3.16.	Comparación de la temperatura de la bebida a base de nopal ( <i>Opuntia Ficus-indica</i> ). 85	

11.3.17.	Análisis de los tratamientos de la bebida.....	87
11.3.18.	Análisis por los factores de la bebida .....	90
11.3.19.	Comparación de la acidez titulable de la bebida a base de nopal ( <i>Opuntia Ficus-indica</i> ). 92	
11.3.20.	Análisis de los tratamientos de la bebida.....	94
11.3.21.	Análisis de los factores de la bebida.....	96
11.3.22.	Comparación de los polifenoles totales de la bebida a base de nopal ( <i>Opuntia Ficus-indica</i> ). .....	100
11.3.23.	Análisis de los tratamientos de la bebida.....	102
11.3.24.	Análisis de los factores de la bebida.....	104
11.4.	Resumen comparativo de los parámetros fisicoquímicos en los diferentes tratamientos de la bebida fermentada .....	109
11.5.	Perfil sensorial .....	112
11.5.1.	Perfil de apariencia .....	112
11.5.2.	Perfil de olor .....	115
11.5.3.	Perfil de sabor.....	117
11.6.	Evaluación sensorial.....	120
11.6.1.	Aceptabilidad.....	120
11.7.	Análisis microbiológico de la bebida a base de nopal ( <i>Opuntia ficus-indica</i> ). .....	122
12.	IMPACTOS TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS.....	123
12.1.	Social .....	123
12.2.	Ambiental .....	123
12.3.	Técnico .....	123
12.4.	Económico .....	123
13.	PRESUPUESTO .....	124
14.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	125
14.1.	CONCLUSIONES.....	125
14.2.	RECOMENDACIONES .....	126

15. BIBLIOGRAFÍA ..... 126

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> <i>Actividades y sistema de tareas en relación a los objetivos planteados.</i> .....	6
<b>Tabla 2.</b> <i>Taxonomía de la tuna.</i> .....	8
<b>Tabla 3.</b> <i>Composición química proximal de cladodios de nopal. Expresado en base húmeda.</i> .....	10
<b>Tabla 4.</b> <i>Diseño experimental de la investigación.</i> .....	22
<b>Tabla 5.</b> <i>Materiales y equipos.</i> .....	23
<b>Tabla 6.</b> <i>Formulación del mosto para cada tratamiento.</i> .....	25
<b>Tabla 7.</b> <i>Resultados análisis fisicoquímicos de la materia prima tuna.</i> .....	36
<b>Tabla 8.</b> <i>Resultados análisis fisicoquímicos de la materia prima cladodio.</i> .....	39
<b>Tabla 9.</b> <i>Análisis de varianza de un (DCA) para los sólidos solubles totales de la bebida.</i> ...	43
<b>Tabla 10.</b> <i>Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para sólidos solubles totales de la bebida.</i> .....	44
<b>Tabla 11.</b> <i>Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para sólidos solubles totales por días de la bebida.</i> .....	45
<b>Tabla 12.</b> <i>Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para sólidos solubles totales por la concentración de tuna la bebida.</i> .....	46
<b>Tabla 13.</b> <i>Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para sólidos solubles totales por la concentración del mucílago del nopal de la bebida.</i> .....	47
<b>Tabla 14.</b> <i>Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para sólidos solubles totales por el tipo de endulzante de la bebida.</i> .....	47
<b>Tabla 15.</b> <i>Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para sólidos solubles totales por el factor días de la bebida.</i> .....	48
<b>Tabla 16.</b> <i>Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para sólidos solubles totales de la bebida.</i> .....	50
<b>Tabla 17.</b> <i>Análisis de varianza de un (DCA) para el pH de la bebida.</i> .....	52
<b>Tabla 18.</b> <i>Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para el pH de la bebida.</i> .....	54
<b>Tabla 19.</b> <i>Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para el pH por días de la bebida.</i> .....	55
<b>Tabla 20.</b> <i>Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para el pH por el tipo de endulzante de la bebida.</i> .....	56
<b>Tabla 21.</b> <i>Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para el pH por el factor días de la bebida.</i> .....	57
<b>Tabla 22.</b> <i>Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para pH de la bebida.</i> .....	58

<b>Tabla 23.</b> <i>Análisis de varianza de un (DCA) para los TDS de la bebida.</i> .....	60
<b>Tabla 24.</b> <i>Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para los TDS de la bebida.</i> .....	62
<b>Tabla 25.</b> <i>Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para los TDS por días de la bebida.</i> ...	63
<b>Tabla 26.</b> <i>Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para los TDS por la concentración de tuna de la bebida.</i> .....	63
<b>Tabla 27.</b> <i>Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para los TDS por la concentración del mucílago de nopal de la bebida.</i> .....	64
<b>Tabla 28.</b> <i>Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para los TDS por el tipo de endulzante de la bebida.</i> .....	64
<b>Tabla 29.</b> <i>Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para los TDS por días de la bebida.</i> ..	65
<b>Tabla 30.</b> <i>Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para TDS de la bebida.</i> .....	67
<b>Tabla 31.</b> <i>Análisis de varianza de un (DCA) para la conductividad de la bebida.</i> .....	69
<b>Tabla 32.</b> <i>Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para la conductividad de la bebida.</i> ..	71
<b>Tabla 33.</b> <i>Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para la conductividad por días de la bebida.</i> .....	72
<b>Tabla 34.</b> <i>Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para la conductividad por la concentración de tuna de la bebida.</i> .....	73
<b>Tabla 35.</b> <i>Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para la conductividad por la concentración del mucílago de nopal de la bebida.</i> .....	73
<b>Tabla 36.</b> <i>Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para la conductividad por el tipo de endulzante de la bebida.</i> .....	74
<b>Tabla 37.</b> <i>Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para conductividad por factores días la bebida</i> .....	75
<b>Tabla 38.</b> <i>Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para la conductividad de la bebida.</i> ..	76
<b>Tabla 39.</b> <i>Análisis de varianza de un (DCA) para el grado alcohólico de la bebida.</i> .....	78
<b>Tabla 40.</b> <i>Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para el grado alcohólico de la bebida.</i> .....	80
<b>Tabla 41.</b> <i>Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para el grado alcohólico por días de la bebida.</i> .....	81
<b>Tabla 42.</b> <i>Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para el grado alcohólico de la concentración de tuna de la bebida.</i> .....	82
<b>Tabla 43.</b> <i>Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para el grado alcohólico por días de la bebida.</i> .....	83

<b>Tabla 44.</b> <i>Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para el grado alcohólico de la bebida.</i>	84
<b>Tabla 45.</b> <i>Análisis de varianza de un (DCA) para la temperatura de la bebida.</i>	86
<b>Tabla 46.</b> <i>Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para la temperatura de la bebida.</i>	88
<b>Tabla 47.</b> <i>Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para la temperatura por días de la bebida.</i>	89
<b>Tabla 48.</b> <i>Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para temperatura por días de la bebida</i>	90
<b>Tabla 49.</b> <i>Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para la temperatura de la bebida.</i>	91
<b>Tabla 50.</b> <i>Análisis de varianza de un (DCA) para la acidez titulable de la bebida.</i>	93
<b>Tabla 51.</b> <i>Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para la acidez de la bebida.</i>	95
<b>Tabla 52.</b> <i>Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para la acidez por días de la bebida.</i>	96
<b>Tabla 53.</b> <i>Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para acidez por la concentración de tuna de la bebida.</i>	97
<b>Tabla 54.</b> <i>Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para acidez por la concentración del mucílago de nopal de la bebida.</i>	97
<b>Tabla 55.</b> <i>Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para acidez por el tipo de endulzante de la bebida.</i>	98
<b>Tabla 56.</b> <i>Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para acidez por días de la bebida.</i>	98
<b>Tabla 57.</b> <i>Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para la acidez de la bebida.</i>	99
<b>Tabla 58.</b> <i>Análisis de varianza de un (DCA) para los polifenoles de la bebida.</i>	101
<b>Tabla 59.</b> <i>Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para los polifenoles de la bebida.</i>	103
<b>Tabla 60.</b> <i>Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para los polifenoles por días de la bebida</i>	104
<b>Tabla 61.</b> <i>Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para polifenoles por la concentración de tuna de la bebida</i>	105
<b>Tabla 62.</b> <i>Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para polifenoles por la concentración del mucílago de nopal de la bebida.</i>	105
<b>Tabla 63.</b> <i>Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para polifenoles por el tipo de endulzante de la bebida</i>	106
<b>Tabla 64.</b> <i>Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para polifenoles por días de la bebida.</i>	106
<b>Tabla 65.</b> <i>Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para los polifenoles de la bebida.</i>	108

<b>Tabla 66.</b> <i>Resultados de los análisis fisicoquímicos generales de la bebida.</i> .....	110
<b>Tabla 67.</b> <i>Puntuaciones obtenidas de la evaluación sensorial de apariencia.</i> .....	113
<b>Tabla 68.</b> <i>Puntuaciones obtenidas de la evaluación sensorial del perfil olor.</i> .....	116
<b>Tabla 69.</b> <i>Puntuaciones obtenidas de la evaluación sensorial del perfil sabor.</i> .....	118
<b>Tabla 70.</b> <i>Resultados obtenidos de la evaluación sensorial la aceptabilidad.</i> .....	120
<b>Tabla 71.</b> <i>Resultados obtenidos de los análisis microbiológicos de la bebida.</i> .....	122
<b>Tabla 72.</b> <i>Presupuesto para la elaboración de la bebida a base de nopal.</i> .....	124

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> <i>Nopal (Opuntia ficus-indica)</i> .....	7
<b>Figura 2.</b> <i>Cladodio del nopal</i> .....	10
<b>Figura 3.</b> <i>Jugo de Cladodio</i> .....	11
<b>Figura 4.</b> <i>Ubicación geográfica de San Miguel de Salcedo provincia de Cotopaxi comunidad Salache Angamarca</i> .....	16
<b>Figura 5.</b> <i>Elaboración de la bebida a base de nopal</i> .....	29
<b>Figura 6.</b> <i>Bebida a base de nopl (Opuntia ficus-indica)</i> .....	114
<b>Figura 7.</b> <i>Análisis sensorial del perfil apariencia de la bebida</i> .....	115
<b>Figura 8.</b> <i>Análisis sensorial del perfil olor de la bebida</i> .....	117
<b>Figura 9.</b> <i>Análisis sensorial del perfil sabor de la bebida</i> .....	119
<b>Figura 10.</b> <i>Aceptabilidad general de la bebida</i> .....	121

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1.</b> Cálculo microbiológico para <i>E. coli</i> y <i>Coliformes totales</i> .....	20
<b>Ecuación 2.</b> Cálculo microbiológico para Mohos y levaduras .....	21
<b>Ecuación 3.</b> Cálculo para el ajuste de sólidos solubles .....	24
<b>Ecuación 4.</b> Cálculo para la adición de la levadura .....	24
<b>Ecuación 5.</b> Cálculo para la densidad .....	30
<b>Ecuación 6.</b> Cálculo para el rendimiento .....	31
<b>Ecuación 7.</b> Cálculo para la acidez titulable .....	33



## 1. INFORMACIÓN GENERAL

### **Título del proyecto**

Desarrollo de una bebida a base de nopal (*Opuntia ficus-indica*) y caracterización de las propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales.

<b>Fecha de inicio:</b>	Octubre 2025
<b>Fecha de finalización:</b>	Marzo 2026
<b>Lugar de ejecución:</b>	Laboratorio de la Universidad Técnica de Cotopaxi
<b>Facultad que auspicia:</b>	Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales
<b>Carrera que auspicia:</b>	Ingeniería Agroindustrial
<b>Proyecto de investigación:</b>	“Innovación, salud y sostenibilidad en la industria alimenticia: Desarrollo de Alimentos Funcionales con materias primas y coproductos autóctonos y exóticos de la provincia de Cotopaxi”
<b>Equipo de trabajo:</b>	Abril Quishpe Keidy Dayana Cuaces Cañaverl Odalis Samanta Quím. Rivera Toapanta Evelyn Andrea Ph. D. Tutora del proyecto
<b>Área de conocimiento:</b>	Ingeniería, industria y construcción
<b>Línea de investigación:</b>	Procesos tecnológicos, bioquímica, biomateriales, desarrollo y seguridad alimentaria
<b>Sublínea de investigación:</b>	Biotecnología agroindustrial y fermentativa

## 2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El avance de la agroindustria ha resaltado la importancia de dar un mejor uso a ciertos recursos autóctonos que permanecen poco explotados. Entre ellos se encuentra el nopal (*Opuntia ficus-indica*) una cactácea con gran potencial que aún no se aprovecha plenamente, conocida por su adaptación a climas desfavorables y bajo requerimiento de agua (Torres *et al.*, 2015).

En Ecuador, este cultivo no ocupa un lugar relevante dentro de la agroindustria y su presencia se limita a experiencias gastronómicas y proyectos académicos, donde se lo incorpora para incentivar el consumo local (Achachi, 2022). A diferencia de México, el nopal ocupa un lugar central en la gastronomía, identidad y cultura (Gobierno de México, 2025). Además, el nopal posee un alto potencial en compuestos bioactivos, fibra, mucílago, antioxidantes y minerales (Díaz *et al.*, 2015).

Con este panorama, el trabajo propone crear una bebida a base de nopal aprovechando sus beneficios y mostrando que puede convertirse en una opción saludable y sostenible dentro de la agroindustria local. (Pilco, 2022). La metodología contempla la caracterización fisicoquímica del nopal, formulación de la bebida y aceptación sensorial, así como un análisis técnico económico, con el objetivo de verificar si su producción resulta ser viable se espera obtener un producto saludable, accesible y sostenible que contribuya a diversificar la alimentación, generar un valor agregado (Mostafa *et al.*, 2014). Los principales aportes radican en la validación científica de las propiedades del nopal, la creación de un prototipo de una bebida fermentada y la demostración de su potencial como alternativa sostenible. El impacto, proyecta la innovación alimentaria y el impulso en la economía local y a la consolidación de un modelo replicable que fomente el aprovechamiento recursos subutilizados (Quishpi, 2021).

## 3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La necesidad de opciones sostenibles en la agroindustria, especialmente en países como Ecuador, donde aprovechar los recursos locales representa un reto, es lo que justifica esta investigación. La (*Opuntia ficus-indica*), conocida como nopal, resulta ser una planta estratégica al adaptarse a suelos con escasas de agua y soportar sequías (Sáenz, 2015).

De acuerdo con el INEC (2022), el cultivo de la tuna ha recibido una escasa atención en cuanto a los ámbitos de producción, industrialización y comercialización, en Ecuador (MAG, 2025). A pesar de ello, se lo ha clasificado dentro de los frutos no tradicionales, ocupando el lugar 26, con un total de 102 hectáreas cultivadas que generan aproximadamente 40 toneladas y un

rendimiento de 400 kg por hectárea (Sevilla & Erazo, 2020). Aunque la producción nacional es limitada, diversos estudios realizados en universidades como la Universidad Técnica de Cotopaxi, Universidad Técnica de Ambato y Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, han destacado su potencial en la elaboración de jugos, bebidas fermentadas y caracterización de variedades autóctonas (Oña, 2023).

Las plantaciones de tuna se concentran en los valles interandinos de varias provincias ecuatorianas como Imbabura, Cotopaxi, Pichincha, Tungurahua, Azuay, Loja y Chimborazo. Cada ejemplar maduro produce cerca de 200 frutos al año; así, en una hectárea con un manejo adecuado y una densidad de 1.000 plantas/ha, permitiendo alcanzar una producción aproximada de 300.000 frutos por hectáreas a partir de plantas con 2 a 3 años de establecimiento (Aguilar & Sánchez, 2022).

Según Aguilar (2020), el nopal es un recurso agroindustrial de gran importancia en México, con una producción que sobrepasa las 800 mil toneladas del año y numerosas aplicaciones, tanto frescas como procesadas. Desde hace mucho tiempo, el nopal ha sido indispensable en la vida cotidiana de numerosas comunidades, no solamente como alimento, sino también como medicina tradicional y forraje para animales. Su valor nutricional es ampliamente reconocido debido a que proporciona fibra dietética, potasio, vitamina C, mucílago y compuestos antioxidantes como flavonoides y betalaínas (Torres *et al.*, 2015). Estos compuestos contribuyen a estabilizar la glucosa y mejorar la digestión (Tunç *et al.*, 2025).

El nopal se reafirma como un insumo versátil en la agroindustria, pues puede ser transformado en bebidas vegetales, harinas y jugos. Esto no solo aumenta su valor y extiende su vida útil, sino que también facilita su incorporación a mercados locales e internacionales. Así mismo, el cultivo del nopal es una alternativa sostenible, debido a que requiere baja cantidad de agua e insumos químicos por ello es una opción apropiada para pequeños y medianos productores situados en áreas vulnerables (Troyo *et al.*, 2022). La FAO al reconocer la relevancia ha incitado a los gobiernos y a los agricultores a promover el consumo, resaltando su riqueza nutricional y su función en la seguridad alimentaria de zonas áridas (FAO, 2017).

El estudio es trascendente en el ámbito social, ambiental y científico, dado que plantea la utilización del nopal en la creación de productos innovadores orientados a impulsar la sostenibilidad, consolidar la seguridad alimentaria y abrir nuevas oportunidades de consumo responsable y generación de empleo.

## **4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO**

### **4.1. Beneficiarios Directos**

Los beneficiarios directos fueron 100 estudiantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Extensión La Maná, junto con 10 docentes vinculados al área de investigación y desarrollo de alimentos. Gracias a este proyecto, pudieron reforzar sus conocimientos en procesos de fermentación, análisis fisicoquímico y aprovechamiento de materias primas autóctonas, aplicando lo aprendido en la creación de la bebida a base de nopal (*Opuntia Ficus-indica*).

### **4.2. Beneficiarios Indirectos**

Los beneficiarios indirectos son los pequeños productores de nopal en el cantón Salcedo, comunidad Salache angamarca, quienes cultivan estas especies en sistemas tradicionales con limitaciones en el acceso a tecnologías de transformación y comercialización. La investigación ofrece una alternativa viable para diversificar el uso de estas materias primas mediante la fermentación y desarrollo innovador de productos, presentando una fuente de ingresos económicos. El trabajo tiene el potencial de generar beneficios para quienes buscan emprender en el ámbito rural de manera sostenible, aprovechando las propiedades del nopal (*Opuntia Ficus-indica*).

## **5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

El nopal (*Opuntia ficus-indica*) es conocido a nivel mundial por su valor nutricional, cultural, ecológico y características medicinales entre las que ya se incluye; la capacidad antioxidante, hipoglucemiante y antiinflamatoria (Quintero, 2021). Su cultivo se ajusta a condiciones climáticas extremas y bajos requerimientos de agua haciendo una opción estratégica para afrontar la inseguridad alimentaria (Oriana, 2024).

En Ecuador el consumo del cladodio y su fruto se ha limitado al uso tradicional. Sin embargo, investigaciones recientes resaltan su potencial. Este puede ser consumido de manera fresca o procesada, de diferentes formas ya sea como harina para la elaboración de galletas, bebidas, barras energéticas y suplementos alimenticios (Quishpi, 2021). En Cotopaxi, su consumo es limitado, pero gracias a investigaciones que promueven su uso en la conservación de alimentos, como el recubrimiento postcosecha de frutas. Además, se comenzó a valorar el mucílago por sus propiedades funcionales entre los productos elaborados a partir del mucílago son jugos, conservas, cápsulas nutricionales y recubrimientos comestibles (Puina & Ulcuango, 2022).

La demanda comercial se ve restringida y el estímulo para su transformación industrial disminuye debido a que a escala local los consumidores tienen una baja percepción de valor ya que continúan vinculando el nopal con usos informales o rudimentarios de carácter medicinal. A esto se añade la falta de coordinación entre productores empresas y lo académico lo cual dificulta que el saber sea transferido, que se invierta en tecnología y que surjan opciones alimenticias innovadoras, sostenibles que sean aceptadas culturalmente. La falta de sinergia limita la posibilidad de escalar iniciativas innovadoras y obstaculiza el progreso de productos que tienen el potencial de optimizar la nutrición, impulsar las economías locales y robustecer la identidad agroalimentaria nacional (Collaguazo, 2022).

Este trabajo aborda la necesidad de aprovechar el potencial del nopal (*Opuntia ficus-indica*), a través de un diseño y desarrollo de la bebida en función de sus características fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales, con ello se genera conocimiento aplicable que incentive la utilización industrial del nopal y ayude a robustecer el sector agroindustrial ecuatoriano, patrocinando pruebas científicas con efectos en términos ambientales económicos y académicos.

## **6. OBJETIVOS**

### **6.1. Objetivo general**

Desarrollar una bebida a base de nopal (*Opuntia Ficus-Indica*) y caracterización de las propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales.

### **6.2. Objetivos específicos**

- Realizar la caracterización fisicoquímica de la materia prima, nopal (*Opuntia ficus-indica*).
- Desarrollar diferentes formulaciones a base de nopal (*Opuntia Ficus-indica*), incorporando endulzantes como azúcar y panela.
- Analizar las propiedades fisicoquímicas a lo largo de la fermentación y maduración de las bebidas.
- Determinar el contenido de polifenoles al inicio y al final de la fase de maduración de la bebida.
- Evaluar los parámetros microbiológicos y sensoriales de la bebida a base de nopal (*Opuntia Ficus-indica*).

## 7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN REALCIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

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

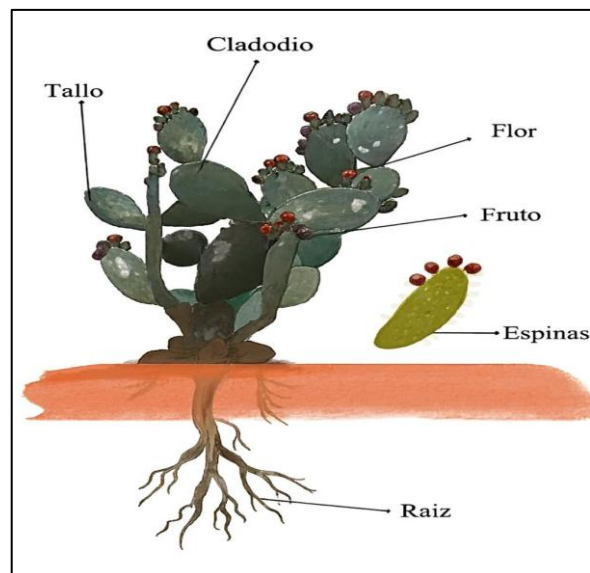
OBJETIVOS	ACTIVIDADES	RESULTADOS	VERIFICACIÓN
Realizar la caracterización físico-química de la materia prima, nopal ( <i>Opuntia ficus-indica</i> ). Desarrollar diferentes formulaciones a base de nopal ( <i>Opuntia Ficus-indica</i> ), incorporando endulzantes como azúcar y panela.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Recolección de la materia prima.</li> <li>✓ Preparación de la materia prima previa a la elaboración de las bebidas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Análisis fisicoquímicos de la materia prima.</li> <li>✓ Diseño y desarrollo de las formulaciones de las bebidas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Tabla de resultados de cada una de las materias primas.</li> <li>✓ Tabla técnica con las formulaciones de las bebidas</li> </ul>
Analizar las propiedades fisicoquímicas a lo largo del proceso de fermentación y maduración de las bebidas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Análisis fisicoquímicos de la bebida.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Registro de los análisis fisicoquímicos de las bebidas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Requisitos fisicoquímicos bajo las normativas INEN 374 (2016) y NTC 708 (2000)</li> </ul>
Determinar el contenido de polifenoles al comienzo y al final del periodo de maduración de la bebida.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Determinación de polifenoles, método (Folin-ciocalteu).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Concentración de polifenoles de cada uno de los tratamientos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Determinación del contenido de polifenoles totales bajo el método de García <i>et al.</i> (2015).</li> </ul>
Evaluar los parámetros microbiológicos y sensoriales de la bebida a base de nopal ( <i>Opuntia Ficus-indica</i> ).	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Recuento microbiológico (<i>Coliformes</i>, <i>E. coli</i> Mohos y levaduras,).</li> <li>✓ Evaluación del perfil y aceptación sensorial de la bebida.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Valores microbiológicos dentro del límite permitido.</li> <li>✓ Tratamiento con mayor aceptación y perfil sensorial.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Requisitos microbiológicos según las INEN 1529-10 (2013), INEN 1529-8 (1990) e INEN 1529-7 (2013)</li> <li>✓ Instrumento de evaluación sensorial.</li> <li>✓ Evaluación sensorial Anzaldúa-1998.</li> </ul>

Elaborado por: (Abril & Cuaces, 2026).

## 8. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

### 8.1. Nopal (*Opuntia ficus-indica*)

Planta típica de regiones áridas que alcanzan una altura de 1,5 a 3 metros. Los cladodios, presentan una forma aplanada y un color verde oscuro. Las flores exhiben tonalidad amarilla, mientras que los frutos a los que se los conoce comúnmente como tunas, varían de color entre amarilla, rojo, naranja e incluyen semillas que se consumen junto con la pulpa (**Ver, figura 1**). Los frutos se consumen de manera directa o procesados ya sea en productos como jugos, mermeladas, mientras que los cladodios se limpian y cocinan en guisos y ensaladas. Los cladodios son utilizados como alimento para el granado (Chávez, 2020).



**Figura 1.** Nopal (*Opuntia ficus-indica*).

**Fuente:** (Yanacallo, 2023).

### 8.2. Origen y Taxonomía

Pertenece a las cactáceas, compuesta por 1600 especies. Este grupo se encuentra de forma natural desde Chile, Argentina y Canadá, y son cultivados alrededor de 30 países. Este género destaca por su bajo consumo de agua en comparación con los cultivos tradicionales. Además, México muy reconocido por ser el centro de origen de la (*Opuntia*), el cual hoy en día se produce de manera comercial en gran parte de los países latinoamericanos, incluido Ecuador (Flores & Corrales, 2020) (**Ver, tabla 2**).

**Tabla 2.** *Taxonomía de la tuna.*

<b>Categoría Taxonómica</b>	<b>Clasificación</b>
Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Orden	<i>Caryophyllales</i>
Familia	<i>Cactaceae</i>
Subfamilia	<i>Opuntioideae</i>
Género	<i>Opuntia</i>
Especie	<i>ficus-indica</i>
Nombre binomial	<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.)

**Fuente:** (Chávez, 2020).

El nopal (*Opuntia ficus-indica*), no requiere grandes cantidades de lluvia. De hecho, demasiada humedad favorece el crecimiento de hongos y daño por insectos. En las zonas áridas y semiáridas las plantas enfrentan condiciones difíciles como temperaturas extremas, baja cantidad de agua y disponibilidad de nutrientes. Por ello, las cactáceas han desarrollado, adaptaciones morfológicas, fisiológicas y bioquímicas permitiéndoles sobrevivir en ambientes desfavorables (Tierra, 2018). Para crecer de manera óptima está necesita temperaturas entre 18 y 25°C, algunas especies pueden resistir temperaturas más bajas, hasta 16°C, siempre que no se mantenga por periodos prolongados. El nopal (*Opuntia ficus-indica*), es ampliamente valorado por sus múltiples beneficios: nutricionales, químicos, industriales, ecológicos y medicinales. Además, ha tomado preeminencia por sus propiedades funcionales y su aporte a la salud (Falasca *et al.*, 2011).

En cuanto a su composición, la tuna destaca por su riqueza en calcio, potasio, fibra, vitaminas como A, B1, B2, B6, C y K. También, fortalece el sistema inmunológico gracias a la combinación de estas vitaminas (Ríos *et al.*, 2017).

### 8.3. Descripción Botánica

**Raíz:** La raíz alcanza aproximadamente los 80 cm de profundidad y se extiende horizontalmente varios metros. Está conformada por numerosas ramificaciones y una abundante red de raíces finas, especializadas en la absorción de agua (Chávez, 2020).

**Tallo:** Los tallos, conocidos como cladodios, presentan formas variadas ovoides, elípticas u oblongas y alcanzan dimensiones de 33-60 cm de longitud, 18-25 cm de ancho y un grosor de 1,8 a 2,3 cm. El tallo va desde un color verde claro hasta un verde oscuro y poseen espinas distribuidas en su superficie (Chávez, 2018).

**Hojas:** Las hojas aparecen únicamente en los tallos tiernos, con el tiempo estos se caen durante la renovación de los cladodios. Una vez que los cladodios han alcanzado su desarrollo completo, las hojas desaparecen y se quedan las espinas (Pilco, 2022).

**Flores:** Las flores de esta planta son hermafroditas y carecen de pedúnculo. Presentan un ovario ínfero y requieren polinización cruzada, llegando alcanzar un tamaño de 6-7 cm de longitud ubicándose en el borde de los cladodios. Su apertura ocurre entre los 35 y 45 días después de la brotación. Los pétalos son de color amarillo, anaranjado, rojo y rosa (Pilco, 2022).

**Frutos:** El fruto de forma ovoide, con un hundimiento en el ápice, lugar donde se impregna una flor. Presenta un diámetro de 5-6 cm, una longitud que varía entre de 5-12 cm con un peso que oscila entre 45-280 g. Su madurez se alcanza entre los 3 y 4 meses después de la floración (Pilco, 2022).

### 8.4. Cladodio del nopal

Los cladodios del nopal son verdes y ovalados, presentan espinas agrupadas, al alcanzar la edad de 2 y 3 años, sirven para elaborar harinas y bebidas. En cuanto a su valor nutricional, los cladodios se comparan con el melón, mango, espinaca, alcachofa y brócoli, contienen gran cantidad de agua, poca proteína, carbohidratos, abundante fibra, minerales como calcio, potasio, y muy poco sodio, haciéndolo apto para personas con hipertensión o problemas renales. También aportan carotenoides, vitamina C y solo 27 kcal por cada 100 gramos. Gracias a su fibra soluble, regula los niveles de azúcar (Chávez, 2020) (**Ver, figura 2**).



**Figura 2.** *Cladodio del nopal*

**Fuente:** (Yanacallo, 2023).

### 8.5. Composición química del cladodio de nopal

Guzmán & Chávez (2017), el estudio bromatológico del cladodio que se destina para el consumo, evidenciaron que a partir de un mes presentan mayores contenidos de vitamina C, carbohidratos y proteínas. En contraste, los cladodios de un año de edad contienen niveles superiores de calcio, sodio, potasio, hierro y fibra. Con base en estos hallazgos, los autores recomiendan aprovechar los beneficios nutricionales de los cladodios jóvenes, **(Ver, Tabla 3)**.

**Tabla 3.** *Composición química proximal de cladodios de nopal. Expresado en base húmeda.*

<b>Componente</b>	<b>Cladodio de un mes de edad (aprox.)</b>	<b>Cladodio de un año de edad (aprox.)</b>
Humedad %	92.57	94.33
Proteína %	0.94	0.48
Grasa %	0.17	0.11
Fibra %	0.30	1.06
Cenizas %	0.08	1.60
Carbohidratos %	5.96	2.43
Vitamina C (mg/100g*)	37.27	23.11
Ca %	0.042	0.339
Na %	0.0018	0.0183
K %	0.00098	0.145
Fe %	0.0792	0.322

**Fuente:** (Guzmán & Chávez, 2017).

### 8.6. Beneficios del consumo de tuna

El uso medicinal de este vegetal se da desde el tiempo de los aztecas, quienes lo empleaban para tratar fiebres y el alivio de la resequedad de los labios; su fruto se utilizaba para calmar la diarrea. Asimismo, la raíz se aplicaba en apósitos para reducir inflamaciones (Chávez, 2018). Hoy en día la medicina homeópata recomienda su consumo para ayudar a controlar enfermedades como el estreñimiento y la disminución de triglicéridos (Diéguez & Cansino, 2020). En la ciudad de Palermo, Italia, en 1994, en una reunión la Red Internacional de Cooperación Técnica en Nopal o Cactus, un periodista siciliano, la denominó “Un tesoro bajo las espinas” (Chávez, 2018). Los cladodios y frutos son muy requerida por sus propiedades antioxidantes, su fuente principal en fibra, mucílagos, betalaínas, carotenoides, minerales como el calcio, potasio y la vitamina C, (Yancallo, 2023).

### 8.7. Jugos y bebidas a base de nopal

En México, el jugo de nopal se elabora en una empresa que incorpora jugo de guayaba comercializándolo en el mercado nacional para exportación. Éste se elabora a partir del extracto obtenido después de la molienda y prensado de los nopalitos, el proceso de obtención del jugo consiste en moler los nopalitos que son previamente desespinados, pelados y cortados, durante el proceso se adiciona agua, el licuado obtenido es filtrado para separar el líquido de los sólidos. Existen otros productos, como el agua de nopal, ésta es una bebida elaborada con jugo de nopal y azúcar, se encuentra en el mercado y los jarabes de nopal, que están elaborados en base a jarabe de sacarosa (55-75, ° Brix) a los que se adiciona jugo de nopal (Chávez, 2020).



**Figura 3.** Jugo de Cladodio.

**Fuente:** (Yancallo, 2023).

## **8.8. Cosecha de los cladodios**

La cosecha se realiza manualmente, cortando los cladodios, evitando daños y no haya una vía de entrada de microorganismos o de la pérdida de peso durante su posterior manejo. Se recomienda realizarla de dos o tres horas después de la salida del sol para menor el contenido de acidez, para ser comercializados los cladodios cosechados alcanzan una longitud de 20-25 cm y pesan de 90-100 g. El CODEX STAN 185 (1993), considera tamaños comerciales los cladodios que alcanzan una longitud de 9-30 cm. Los cladodios de 12-30 cm se destinan a la elaboración mínimamente procesado. La cosecha se realiza durante todo el año, su producción es alta entre los meses más fríos del año.

## **8.9. Manejo post cosecha**

El deterioro de los cladodios después de cosecharlos se debe a la tasa de respiración a ello se suma su tamaño y la temperatura. El CODEX STAN 185 (1993), presenta las siguientes características: firmes, en buen estado, completos, color. Los cladodios que han sufrido algún daño, deben ser comercializados de manera inmediata para evitar pérdida hasta del 53% causadas por descomposición (*Penicillium spp*, *Aspergillus spp* y *Alternaria spp.*). El tiempo de almacenamiento de anaquel de los cladodios es de una semana a una temperatura de 20 °C, mientras que el almacenamiento por refrigeración disminuye la velocidad de respiración, la pérdida de agua por transpiración, el desarrollo de microorganismos y prolonga la vida post cosecha, además las temperaturas de almacenamiento 5-10°C retrasan la disminución en el contenido de ácido ascórbico de los cladodios (Chávez, 2018).

## **8.10. Tipos de endulzantes**

### **8.10.1. Azúcar**

Se obtiene industrialmente de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.), a través de un proceso que asegura su calidad y seguridad para el consumo humano. Se presenta en forma sólida y cristalina, resultado de etapas agroindustriales que transforman el jugo de caña en azúcar refinado (Ortiz, 2021).

### **8.10.2. Panela**

El endulzante natural de panela se obtiene naturalmente del jugo de caña concentrado, caracterizado por su riqueza en minerales y compuestos antioxidantes. Su composición está dominada por la sacarosa, acompañada de pequeñas cantidades de glucosa y fructosa (Ortiz, 2021).

### 8.11. Levaduras

Las levaduras constituyen un grupo de microorganismos unicelulares, entre los cuales algunas especies son patógenas y otras resultan beneficiosas para la humanidad. Desde tiempos antiguos se han empleado al elaborar pan, cerveza y vino, por su capacidad de fermentar azúcares y producir dióxido de carbono y etanol. Sin embargo, fue en el siglo XIX, a partir de los estudios realizados por Louis Pasteur, cuando se comprendieron los principios científicos de la fermentación, lo que permitió establecer técnicas de cultivo y su aprovechamiento a gran escala en la industria alimentaria y biotecnológica (Suárez *et al.*, 2016).

### 8.12. Levadura (*Saccharomyces cerevisiae*)

La levadura (*Saccharomyces cerevisiae*), microorganismo unicelular de gran relevancia en la alimentación, la biotecnología y la salud. Su capacidad de metabolizar la glucosa mediante fermentación le permite producir etanol y dióxido de carbono, procesos que resultan esenciales en la elaboración de pan, vino y cerveza. Además, su versatilidad de convertirse en un organismo para su producción de bioetanol y en la formulación de suplementos nutricionales (Suárez *et al.*, 2016).

### 8.13. Bebidas fermentadas

Las bebidas alcohólicas se obtienen a partir de productos vegetales como cereales, uvas y diversas frutas, mediante procesos de fermentación que generan los azúcares en etanol y dióxido de carbono. Entre las más representativas se encuentran el vino y la cerveza, cuyo origen se remonta a prácticas tradicionales que han evolucionado hacia procesos industriales estandarizados (Vargas, 2016).

### 8.14. Tipos de fermentación

#### 8.14.1. Estructura química de la fermentación

La estructura química de la fermentación:  $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2$

La glucosa se convierte en etanol y dióxido de carbono, mediante la acción de la (*Saccharomyces cerevisiae*).

Los compuestos principales que se forman en este proceso son:

- Etanol: Principal producto, responsable de la caracterización alcohólica del vino y de la formación del dióxido de carbono.
- Ácidos orgánicos: Ácido gálico, ácido tartarico, ácido acético etc.

- Polifenoles: Flavonoides, antioxidantes y taninos antioxidantes.
- Moléculas aromáticas: Ésteres y aldehídos, responsables de la determinación de ciertos parámetros sensoriales del perfil del vino (Vanrell, 2025).

#### **8.14.2. Fermentación alcohólica**

Proceso anaeróbico donde las levaduras principales (*Saccharomyces cerevisiae*), generan los azúcares presentes en sustratos como la glucosa y fructosa en etanol y dióxido de carbono. Este mecanismo metabólico no solo permite la obtención de energía en ATP sin la presencia de oxígeno, sino que también genera compuestos secundarios como glicerol, ácidos orgánicos y éteres influyendo directamente en el perfil sensorial del producto (Cabrera & Serrano, 2012).

#### **8.14.3. Fermentación natural o espontánea**

La fermentación natural o espontánea es un proceso en el cual las levaduras presentes de manera inherente en la fruta, junto con otros microorganismos asociados, generan los azúcares en etanol, dióxido de carbono y metabolitos secundarios (Vargas, 2016).

#### **8.14.4. Fermentación a partir de cepa seleccionada**

Influye en la calidad y atributos sensoriales del vino, al afectar la limpieza, rapidez y previsibilidad de la fermentación. La mayoría de estudios se centran en vinos de uva, existiendo aún escaso conocimiento sobre otras frutas (Vargas, 2016).

### **8.15. Vino**

Según la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 338 (2021), la palabra “vino” se aplica únicamente cuando la bebida se obtiene mediante la fermentación de frutas maduras. Cuando se usan otras materias primas vegetales, el producto debe denominarse “fermentado de” seguido del ingrediente principal. En esta investigación, al elaborarse una bebida a base de nopal (*Opuntia ficus-indica*), corresponde clasificarla como “fermentado de nopal”.

#### **8.15.1. Vino a base de frutas**

Bebida obtenida de la fermentación del jugo de uva, cuando se elabora con otras frutas se denomina vino de frutas, producido bajo procesos similares a la vinificación tradicional, (Vargas, 2016).

### **8.16. Biorreactor**

Recipiente de fermentación, equipo que cultiva microorganismos, células o tejidos en condiciones controladas. Al regular parámetros como temperatura, pH, oxígeno y agitación,

permite producir de forma segura y constante compuestos útiles como enzimas, metabolitos y productos fermentados (Regonesi, 2023).

#### **8.17. Análisis fisicoquímicos**

Un análisis fisicoquímico en bebidas fermentadas consiste en la evaluación sistemática de parámetros físicos y químicos que permiten conocer su composición, calidad y estabilidad. Este tipo de análisis determina valores como pH, acidez titulable, sólidos solubles (°Brix), contenido de etanol, conductividad eléctrica, color, los cuales reflejan tanto el avance del proceso fermentativo como las características finales del producto, aporta información clave para áreas como bioquímica, medicina y farmacología en el desarrollo de productos (Méndez, 2020).

#### **8.18. Análisis microbiológicos**

El análisis microbiológico permite detectar y cuantificar microorganismos, evaluar la higiene del proceso, identificar puntos críticos de contaminación y asegurar la inocuidad del producto final (Méndez, 2020).

#### **8.19. Análisis sensorial**

El análisis sensorial analiza aroma, color, sabor, textura y aceptabilidad de los alimentos mediante los sentidos humanos (Méndez, 2020).

#### **8.20. Polifenoles**

Los polifenoles son compuestos vegetales ampliamente distribuidos en el reino vegetal, gracias a la presencia de varios grupos fenólicos que pueden asociarse con estructuras químicas complejas y de alto peso molecular. Suelen ser subproductos del metabolismo de las plantas destacadas por su alta capacidad antioxidante, ayudando a cuidar las células del daño que causan los radicales libres, este potencial antioxidante se relaciona con beneficios para la salud (Singla *et al.*, 2019).

#### **8.21. Estructura química de los polifenoles**

Conocidos como metabolitos secundarios de origen vegetal con diversos grupos hidroxilos. Estas características químicas les permite actuar como antioxidantes, neutralizado radicales libres. Su diversidad estructural incluye ácidos fenólicos, estilbenos, lignanos y flavonoides. Los polifenoles son esenciales en las dietas alimenticias, mediante el consumo vegetal a través de frutas y verduras, contribuyendo a la protección del endotelio, la reducción de la inflamación y mejorando la función vascular (Quiñones, 2012).

## 8.22. Polifenoles en el nopal

El nopal (*Opuntia ficus-indica*) contiene un mayor valor nutricional y funcional por la presencia de polifenoles, entre ellos flavonoides y ácidos fenólicos como quercetina, isorhamnetina, kaempferol, luteolina y glucósidos de isorhamnetina, además de vitaminas, ácidos grasos esenciales y aminoácidos. Estos compuestos le confieren propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, reguladoras de la glucosa, antimicrobianas y neuroprotectoras (Zapata *et al.*, 2024).

## 9. HIPÓTESIS

### 9.1. Hipótesis alternativa (Ha)

El desarrollo de una bebida a base de nopal (*Opuntia ficus-indica*) mejora significativamente sus propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales.

### 9.2. Hipótesis nula (H0)

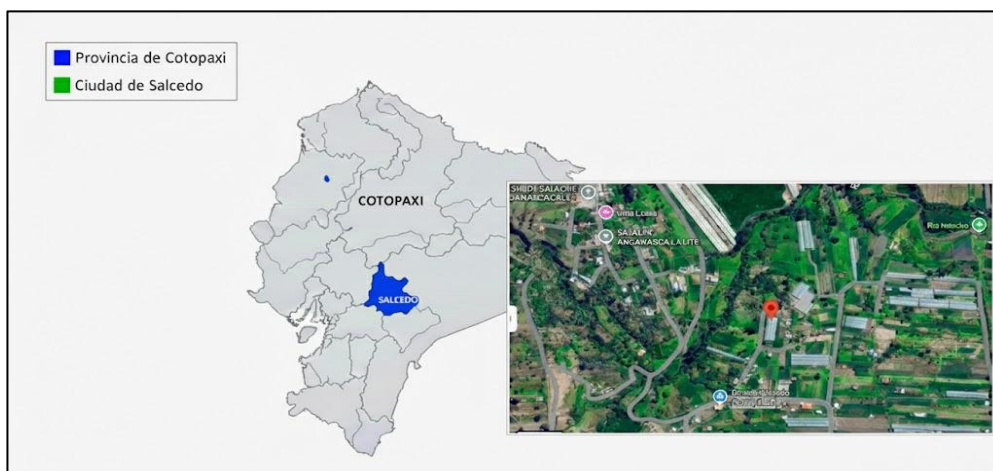
El desarrollo de una bebida a base de nopal (*Opuntia ficus-indica*) no mejora significativamente sus propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales.

## 10. METODOLOGÍA

### 10.1. Ubicación y duración del proyecto

#### 10.1.1. Origen de la materia prima

La cosecha del nopal (*Opuntia ficus-indica*), se realizó en la zona oriental del cantón Salcedo provincia de Cotopaxi-Ecuador en la comunidad de Salache Angamarca (**Ver, figura 4**).



**Figura 4.** Ubicación geográfica de San Miguel de Salcedo provincia de Cotopaxi comunidad Salache Angamarca

Fuente: (Google Maps, 2025).

### **10.1.2. Tiempo de estudio**

El método experimental se realizó en dos etapas bien definidas. Primero se verificó en campo del recurso y sus derivados, seguida por la cosecha de la materia prima: cladodio y tuna (*Opuntia ficus-indica*). Esta actividad se realizó en la comunidad Salache Angamarca, perteneciente a la parroquia San Miguel, cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi-Ecuador, durante esta fase se recolectaron ejemplares de distintos tamaños, en un estado previo a la madurez, y se aplicaron los procedimientos adecuados para su limpieza y preparación.

La segunda etapa se centró en la elaboración artesanal de la bebida, este proceso incluyó la extracción del jugo, su formulación y una fermentación controlada. Al obtener el producto, se realizó análisis físicoquímicos y microbiológicos. Además, se analizaron compuestos bioactivos como polifenoles, y se aplicaron pruebas sensoriales para valorar atributos como el sabor, aroma, color y aceptación general del producto. Todas las actividades de laboratorio se desarrollaron en las instalaciones de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Extensión La Maná. El trabajo se realizó en el lapso de cinco meses, comprendidos entre mayo y octubre del 2025, desarrollado desde la recolección de la materia prima hasta la evaluación sensorial del producto final.

## **10.2. Tipo de investigación**

### **10.2.1. Investigación experimental**

La investigación se desarrolló bajo un enfoque experimental, orientado a la transformación de materias primas con el objetivo de comprender los factores que influyen en los resultados obtenidos durante el proceso. Para ello, se establecieron procedimientos controlados que permitieron manipular variables específicas como el tiempo de fermentación, la temperatura, la proporción entre los ingredientes principales, el tipo de recipiente utilizado y la incorporación de microorganismos como levadura (*Saccharomyces cerevisiae*). El diseño experimental buscó evaluar cómo distintas condiciones de procesamiento, afectan las propiedades finales del producto, permitiendo identificar las combinaciones más favorables para optimizar su calidad, estabilidad y aceptación sensorial.

### **10.2.2. Investigación descriptiva**

La investigación se desarrolló bajo un enfoque descriptivo, centrado en observar, registrar y analizar las determinaciones físicas, químicas, microbiológicas y sensoriales de la bebida a base de nopal (*Opuntia ficus-indica*), sin intervenir directamente en las variables del entorno

experimental. A lo largo del estudio se recopilaron datos sobre atributos como el aspecto visual, textura, color, sabor, aroma, pH, acidez, contenido de gados brix, presencia de microorganismos y la cuantificación de polifenoles. Este enfoque permitió documentar de forma detallada las propiedades de la bebida en cada etapa del proceso, empezando en la recolección de la materia prima hasta la obtención del producto final, brindando una visión integral de su evolución y potencial como alternativa funcional.

### 10.3. Diseño experimental

Para el desarrollo de la bebida a base de nopal (*Opuntia ficus-indica*) se empleó un diseño factorial completamente al azar (DCA) de tipo  $2 \times 2 \times 2 \times 2$ . Los factores considerados fueron: A) concentración de tuna (30 % y 50 %), B) concentración mucílago de nopal (5% y 10%) y C) tipo de endulzante (azúcar y panela). En total se establecieron ocho tratamientos y dos controles, cada uno con tres réplicas y tres repeticiones. Además, cada tratamiento fue evaluado en siete tiempos durante la fermentación y maduración de la bebida (factor D: 1, 3, 5, 7, 9, 15 y 90) días, considerando el tiempo como un factor secundario. En conjunto, el diseño experimental comprendió 210 unidades experimentales.

#### 10.3.1. Factores en estudio:

Para el estudio se empleó tres factores principales y un factor secundario, los factores considerados son:

#### 10.3.2. Variables independientes:

- **Factor A:** concentración de tuna (30 % p/v, 50% p/v).
- **Factor B:** concentración mucílago de nopal (5% p/v, 10% p/v).
- **Factor C:** tipo de endulzante (azúcar, panela).
- **Factor D:** tiempo de fermentación (días): (1,3,5,7,9,15,90).

El factor D se determinó en diferentes días del proceso de la fermentación: (**1:** día 0; **3:** día 3; **5:** día 5; **7:** día 7 inicio y desarrollo de la fermentación); en el día **9** se realiza el trasiego y sulfitación de la bebida; del día **9-15** días ocurre la post fermentación (filtrado, pasterización y embotellado de la bebida); del día **15-90** se lleva a cabo la maduración de la bebida. Este enfoque permite evaluar los efectos individuales como las interacciones entre factores sobre las propiedades sensoriales de las bebidas formuladas.

### 10.3.3. Variables dependientes:

- **Análisis fisicoquímicos:** sólidos solubles totales, pH, sólidos disueltos totales, conductividad, grado alcohólico, temperatura, polifenoles y acidez titulable.
- **Análisis sensorial:** aceptabilidad general, perfil sensorial atributos como apariencia, olor y sabor.
- **Análisis microbiológicos:** mohos y levaduras, *E. coli* y *coliformes totales*.

### 10.3.4. Tratamientos

Para la definición de los tratamientos se realizó la combinación de tres factores en estudio: concentración de tuna (30%, 50%), concentración del mucílago de nopal (5%, 10%) y tipo de endulzante (azúcar, panela). Cada tratamiento fue evaluado en 7 tiempos durante la fermentación (factor D: 1,3,5,7,9,15 y 90 días), (**Ver, tabla 4**).

### 10.3.5. Controles

En el diseño se incluyeron dos controles con el propósito de establecer una base de comparación frente a los demás tratamientos.

- **Control 1:** concentración de tuna al 30% + azúcar
- **Control 2:** concentración de tuna al 50% + azúcar

La tuna se eligió como control porque representa la materia prima principal del estudio. Permiten evaluar el comportamiento fermentativo de la fruta de manera individual, sin la influencia de la panela ni la concentración del nopal. Funciona como referencia para identificar las diferencias en acidez titulable, contenido de alcohol y características sensoriales (Miño, 2023).

Se utilizó azúcar como estándar porque el sustrato más común y uniforme en fermentaciones vínicas y de bebidas alcohólicas, su composición simple asegura una fermentación más controlada evitando la variabilidad que podría introducir la panela (que contiene compuestos minerales y melanoidinas) (Baez, 2023). Investigaciones confirman que la tuna posee un perfil organoléptico estable y una mejor aceptación sensorial en bebidas fermentadas, mientras que el nopal destaca con mayor frecuencia en preparaciones frescas o funcionales, pero no en fermentaciones a gran escala como menciona (Huaman & Montalvo, 2022).

### 10.3.6. Análisis estadístico

Para la determinación de los análisis fisicoquímicos de la materia prima (nopal y tuna) se aplicó un ANOVA simple.

Para las variables dependientes: (Sólidos solubles totales, pH, acidez total, grado alcohólico, temperatura, Sólidos disueltos totales, conductividad y polifenoles totales), se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con ocho tratamientos y dos controles junto con tres repeticiones. Cada tratamiento fue evaluado en 7 tiempos durante la fermentación (factor D: 1,3,5,7,9,15 y 90 días). Los cálculos se realizaron mediante un software “STATGRAPHICS Centurión 19, versión 19.6.04 (64 bits)”. Para la interpretación de los resultados de la aceptación y del perfil sensorial se tomó como referencia el libro de: La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y práctica (Anzaldúa, 1998).

Con los datos obtenidos se realizó el siguiente análisis estadístico:

- Análisis de varianza al 0,05 % de significancia.
- Coeficiente de variación expresado en porcentaje.
- Prueba de rango múltiple de Tukey al 0,05% de significancia para la comparación de medias de los tratamientos.
- Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para comparar todos los tratamientos con dos controles.

Los análisis microbiológicos se realizaron en Microsoft Excel, después del conteo de microorganismos, se determinó las unidades formadoras de colonias (UFC) aplicando la **Ec.1** de la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1529-7, 2013, para el conteo microbiológico de *E. coli* y *Coliformes totales*, para el conteo microbiológico de mohos y levaduras se basó en la **Ec.2** de la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1529-10, 2013.

**Ec. 1**

$$\frac{\text{Coliformes}}{\text{cm}^3} = nxf(UFC)$$

**Dónde:**

*n* = número de colonias típicas

*f* = factor de dilución

*UFC* = unidades formadoras de colonias

**Ec. 2**

$$N = \frac{\Sigma c}{V(n_1 + 0,1n_2)d}$$

**Dónde:**

$\Sigma c$  = Suma de todas las colonias contadas en todas las placas seleccionadas;

V = Volumen inoculado en cada placa Petri film;

$n_1$  = Número de placas de la primera dilución seleccionada

$n_2$  = Número de placas de la segunda dilución seleccionada

d = Factor de dilución de la primera dilución seleccionada

**Tabla 4.** *Diseño experimental de la investigación.*

FACTORES EN ESTUDIO							
	Concentración de tuna (A)	Concentración mucílago de nopal (B)		Tipo de endulzante (C)		Tiempo de fermentación (días) (D)	Tratamientos
Control (Z1): Tuna 30%	A1: 30%	B1	10%	C1	Azúcar	1	T1
				C2	Panela	3	T2
						5	
						7	
		B2	5%	C1	Azúcar	9	T3
				C2	Panela	15	T4
						90	
Control (Z2): Tuna 50%	A2: 50%	B1	10%	C1	Azúcar	1	T5
				C2	Panela	3	T6
						5	
						7	
		B2	5%	C1	Azúcar	9	T7
				C2	Panela	15	T8
						90	

**Dónde:** A: Concentración de tuna al 30% y 50%; B: Concentración mucílago de nopal al 5% y 10% y C: Tipo de endulzante (azúcar y panela)

**Elaborado por:** (Abril & Cauces, 2026).

## 10.4. Procedimiento

### 10.4.1. Materiales y equipos

La **tabla 5**, muestra los equipos y materiales utilizados durante la elaboración de la bebida a base de nopal (*Opuntia ficus-indica*).

**Tabla 5.** *Materiales y equipos.*

<b>Materia prima</b>	<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>	<b>Reactivos</b>
Cladodios	Baldes con llave de 4 L	Cocina industrial	Bentonita
Tuna	Licuada	Calibrador	Bisulfito de Sodio
Agua potable	Ollas	Alcoholímetro	
Panela	Jarras plásticas medidoras	Refractómetro	
Azúcar	Mangueras	Termómetro	
Levadura	Botellas de plástico	Balanza analítica	
	Papel filtro	Bomba de succión	
	Corchos	Cuarto frío	
	Botellas ámbar de 2 L	Multiparámetro	

**Elaborado por:** (Abril & Cuaces, 2026).

## 10.5. Formulación de los tratamientos

La **tabla 6**, indica la formulación de los tratamientos de la bebida, para la cual se utilizó 30 biorreactores elaborados con envases plásticos, con una capacidad de 4 litros, con llaves de drenaje en su parte inferior. Todos los biorreactores se sellaron herméticamente para evitar el ingreso de oxígeno conectados a una trampa de agua artesanal, que está compuesta por un tubo flexible, el cual está sumergido en recipientes con agua permitiendo la salida del CO<sub>2</sub> que se genera durante la fermentación, evitando así el incremento de presión interna y asegurando un ambiente anaeróbico controlado (Vargas & Rodríguez, 2018).

Para el desarrollo de la bebida a base de nopal la materia prima utilizada fue:

**Tuna:** Fruto dulce, rico en fibra y compuestos antioxidantes.

**Cladodio:** Cladodio con alto contenido de mucílago, fibra y minerales.

### 10.5.1. Azúcar añadida

La siguiente ecuación calcula la cantidad de azúcar necesaria para ajustar los sólidos solubles totales, en función de su peso y la diferencia entre los sólidos solubles totales deseados y los actuales. En todos los tratamientos, el valor de referencia para los sólidos solubles deseados corresponde a 20 °Brix (Vazquez, 2026), (**Ver, Ec.3**).

**Ec. 3**

$$\text{Azúcar añadida} = \frac{Pj(^{\circ}Bd - Ba)}{100 - Bd}$$

**Dónde:**

Pj: Peso del jugo

°Bd: Brix deseados

°Ba: Brix actuales

### 10.5.2. Levadura añadida (*Saccharomyces cerevisiae*)

La cantidad de levadura utilizada se determinó por Vargas (2016), quien recomienda emplear 0,18 g/L por cada litro de mosto. Para los 2 litros empleados en cada tratamiento, se utilizó la siguiente ecuación: (**Ver, Ec.4**).

**Ec. 4**

$$\frac{g \text{ base}}{V \text{ base}} \times \text{Volumen de tratamiento} = g \text{ de levadura}$$

$$\frac{0,18g}{L} \times 2L = 0,36 (g)$$

**Dónde:**

g base: cantidad de levadura usada en el volumen de referencia (0,18g)

V base: volumen de referencia (L)

V tratamiento: volumen del tratamiento a la que se quiere ajustar (2L)

**Tabla 6.** *Formulación del mosto para cada tratamiento.*

<b>Tratamientos</b>	<b>Concentración de tuna (A)</b>	<b>Concentración mucílago de nopal (B)</b>	<b>Tipo de endulzante (C)</b>	<b>Volumen Total (L)</b>	<b>Levadura (g/2L)</b>
<b>T<sub>1</sub></b>	30% (A1)	10% (B1)	Azúcar (C1)	2	0,36
<b>T<sub>2</sub></b>	30% (A1)	10% (B1)	Panela (C2)	2	0,36
<b>T<sub>3</sub></b>	30% (A1)	5% (B2)	Azúcar (C1)	2	0,36
<b>T<sub>4</sub></b>	30% (A1)	5% (B2)	Panela (C2)	2	0,36
<b>T<sub>5</sub></b>	50% (A2)	10% (A1)	Azúcar (C1)	2	0,36
<b>T<sub>6</sub></b>	50% (A2)	10% (A1)	Panela (C2)	2	0,36
<b>T<sub>7</sub></b>	50% (A2)	5% (B1)	Azúcar (C1)	2	0,36
<b>T<sub>8</sub></b>	50% (A2)	5% (B1)	Panela (C2)	2	0,36
<b>Z<sub>1</sub></b>	30% (A1)	N/D	Azúcar (C1)	2	0,36
<b>Z<sub>2</sub></b>	50% (A2)	N/D	Azúcar (C1)	2	0,36

**Dónde:** n: (3); **T:** tratamientos (T1–T8); **T1:** (Tuna al 30% + mucílago de nopal al 10% + azúcar); **T2:** (Tuna al 30% + mucílago de nopal al 10% + panela); **T3:** (Tuna al 30% + mucílago de nopal al 5% + azúcar); **T4:** (Tuna al 30% + mucílago de nopal al 5% + panela), **T5:** (Tuna al 50% + mucílago de nopal al 10% + azúcar); **T6:** (Tuna al 50% + mucílago de nopal al 10% + panela); **T7:** (Tuna al 50% + mucílago de nopal al 5% + azúcar); **T8:** (Tuna al 50% + mucílago de nopal al 5% + panela) **Z1:** (Control Tuna al 30% + azúcar); **Z2:** (Control Tuna al 50% + azúcar). **Elaborado por:** (Abril & Cuaces, 2026).

## **10.6. Proceso de la elaboración de una bebida a base de Nopal**

### **10.6.1. Cosecha**

Para la cosecha se recolectan cladodios y frutos maduros, seleccionados por su firmeza, coloración intensa y ausencia de daño mecánico, siguiendo criterios de madurez fisiológica establecidos (Ríos, 2023).

### **10.6.2. Recepción**

Para la recolección de la materia prima fue trasladada al laboratorio posteriormente se inspeccionaron y se retiraron manualmente impurezas como tierra, hojas secas y frutos en mal estado (Vargas, 2016).

### **10.6.3. Extracción de espinas**

Se retiraron las espinas de los cladodios y de las tunas antes del lavado.

- 1. Cladodios:** Para raspar con cuidado la superficie y quitar las espinas, se emplearon cuchillos limpios y guantes de protección (Ríos, 2023).
- 2. Tunas:** Se empleo un cepillo para retirar las espinas, garantizando la seguridad del producto y haciendo más fácil su manejo en fases siguientes (Ríos, 2023).

### **10.6.4. Lavado**

Para el proceso de lavado de la materia prima que incluyó cladodios y tunas se empleó abundante agua potable, con el objetivo de garantizar la eliminación efectiva de polvo, tierra y residuos orgánicos adheridos a la superficie (Vargas, 2016).

### **10.6.5. Selección**

Los cladodios y las tunas fueron seleccionados manualmente priorizando aquellos ejemplares en buen estado para garantizar la calidad del proceso siguiente. Se descartaron los frutos y cladodios que presentaban signos de descomposición, daño mecánico, hongos o inmadurez evidente (Vargas, 2016).

### **10.6.6. Despulpado y extracción**

El proceso de despulpado y extracción se realizó de manera manual. Las tunas fueron despulpadas y posteriormente trituradas con ayuda de una licuadora. Mientras que a los cladodios se les retiro la corteza principal y se procedió a rasparlos para obtener el mucílago necesario para la formulación de la bebida (Yancallo, 2023).

#### **10.6.7. Formulación del sustrato**

Para la formulación del sustrato se mezcló la pulpa de tuna en concentraciones del 30 % y 50 %, junto con la concentración mucílago de nopal al 10 % y 5 %, hasta completar un volumen total 2 L. Como endulzantes se emplearon azúcar y panela, tal como se detalla en la **(Tabla 6)**, la cantidad de cada componente con la ayuda de la ecuación de ajuste de sólidos solubles totales **(Ec. 3)**.

#### **10.6.8. Homogenización**

La homogenización de la materia prima se realizó de manera uniforme, con el propósito de asegurar una adecuada mezcla de los ingredientes y obtener un mosto consistente, destinado posteriormente al proceso de fermentación (Vargas, 2016).

#### **10.6.9. Activación de levadura**

La activación de la levadura se realizó mezclándola en agua tibia a una temperatura de 38°C durante 20 minutos, lo que permitió su adecuada activación garantizando el proceso fermentativo (Vargas, 2016).

#### **10.6.10. Fermentación**

El proceso de fermentación se realizó a una temperatura ambiente (21–22 °C). Mostró una disminución progresiva en los sólidos solubles totales y un incremento en los grados alcohólico, indicando actividad fermentativa efectiva (Vargas, 2016).

#### **10.6.11. Trasego**

El trasego se realizó después de haber finalizado el proceso primario de fermentación, los residuos fueron separados del líquido mediante un trasego manual se trasladó a botellas previamente esterilizadas (Rodas, 2010).

#### **10.6.12. Sulfitación**

En el día 15, tomando en cuenta el estado del producto inmediatamente después del trasego, se adicionó bisulfito de sodio ( $\text{NaHSO}_3$ ) a razón de 0,1 g/L para estabilizar el producto, disminuyendo el crecimiento microbiano y menorando la oxidación de compuestos volátiles y fenólicos. La bentonita en relación 0.1 g/L para la clarificación del producto (Rodas, 2010).

### **10.6.13. Filtración**

Se efectuó un proceso de filtrado con el fin de eliminar partículas finas presentes en el mosto, lo que permitió mejorar su limpieza y asegurar una mayor estabilidad en el producto final (Vargas, 2016).

### **10.6.14. Embotellado**

Después de la maduración comprendidos entre los días del 15-90, el producto fue embotellado en envases de vidrio previamente esterilizados, con un pequeño espacio de cabeza y sellándolos herméticamente (INEN 372, 2015).

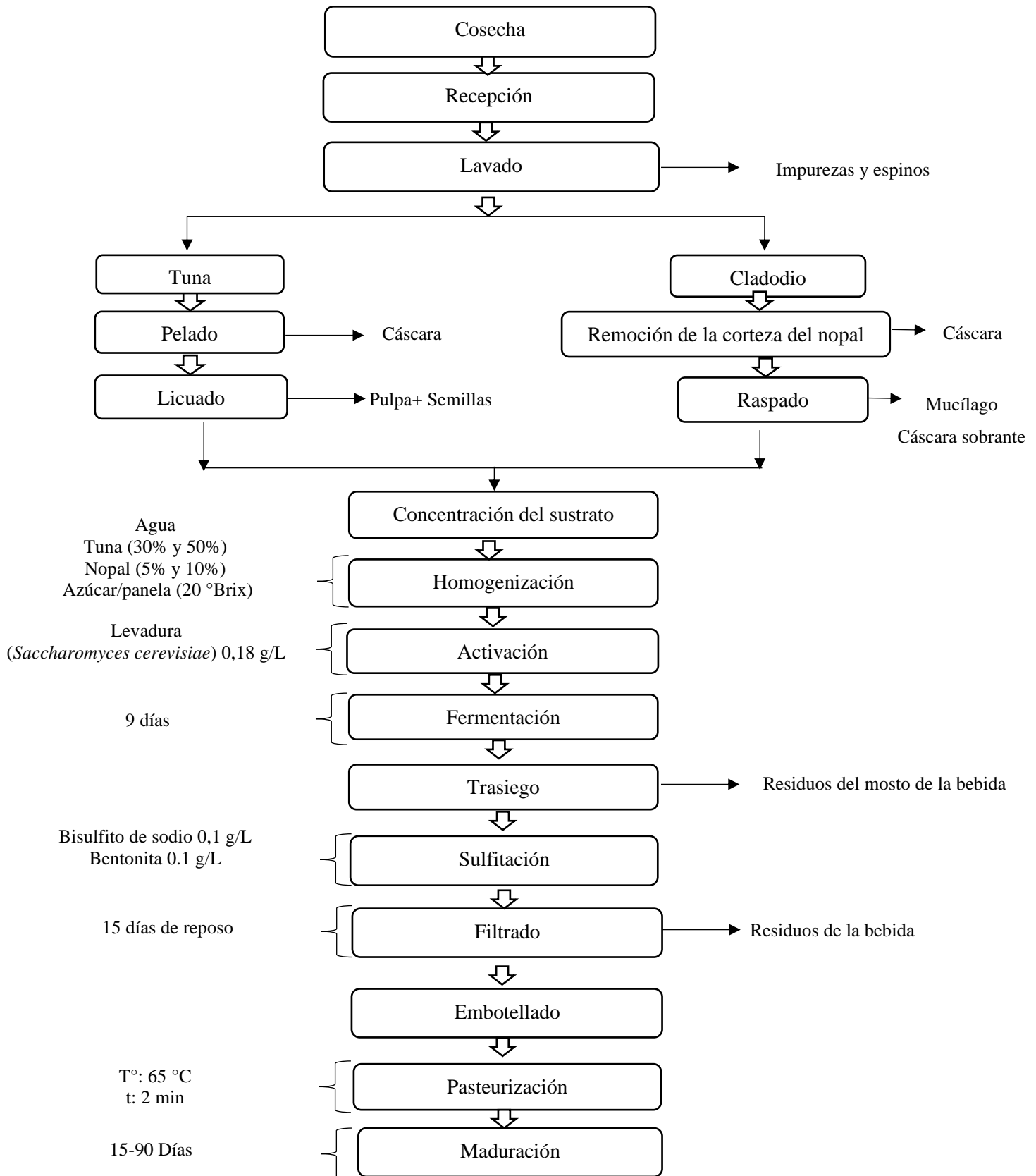
### **10.6.15. Pasteurización**

Las botellas que contenían la bebida fueron sometidas a una pasteurización, con una temperatura de 74 °C durante 2 minutos y luego se enfriaron rápidamente, garantizando la estabilidad microbiológica y preservando las características sensoriales (Vargas, 2016).

### **10.6.16. Maduración**

Finalmente, las botellas que contenían la bebida fueron almacenadas en posición vertical, en un lugar seco, oscuro y fresco, para sus respectivos análisis fisicoquímico y sensorial, realizado entre los días 15-90 (Vargas, 2016).

### 10.6.17. Diagrama para la elaboración de la bebida a base de nopal



**Figura 5.** Elaboración de la bebida a base de nopal.  
Elaborado por: (Abril & Cuaces, 2026).

## 10.7. Análisis fisicoquímicos realizados en la materia prima

### 10.7.1. Masa (g)

La materia prima tuna y el cladodio (*Opuntia ficus-indica*), se pesó en la balanza digital (BOECO, Germany), la muestra se colocó directamente sobre la superficie de pesaje como menciona la Norma Técnica Ecuatoriana (INEN 1978, 2009).

### 10.7.2. Densidad (g/ml)

La densidad de la tuna (*Opuntia ficus-indica*), se determinó midiendo el volumen desplazado en agua mediante una probeta, mientras que en el caso del cladodio se obtuvo la masa con una balanza y el volumen por desplazamiento en agua, siguiendo lo establecido en la Norma Técnica Ecuatoriana (INEN 1978, 2009). Este procedimiento se fundamenta en el principio de Arquímedes, quien establece que todo materia sumergida en un fluido desplaza un volumen equivalente al suyo, permitiendo calcular su densidad a partir de la relación entre masa-volumen (Ver, Ec.5).

Ec. 5

$$Densidad = \frac{Masa}{Volumen}$$

**Dónde:**

D: densidad

M: masa

V: volumen

### 10.7.3. Medición del pH

Se midió con un pHmetro digital STRIRRER PL-700PC, utilizando 10 ml de pulpa de tuna y cladodio (*Opuntia ficus-indica*). El electrodo se introdujo en cada muestra y se midió el pH, bajo la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 389 (1985).

### 10.7.4. Sólidos solubles totales

El contenido de sólidos solubles totales se midió con un refractómetro digital (BOECO, Germany), previamente calibrado con agua destilada. Las muestras fueron codificadas y se colocó una gota sobre el prisma para obtener los resultados en porcentaje (%), según la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2173 (2020).

#### 10.7.5. Acidez titulable

La acidez titulable se determinó siguiendo la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 750 (2013), mediante un proceso de titulación con hidróxido de sodio (NaOH) 0.1 N, utilizando fenolftaleína como indicador.

#### 10.7.6. Conductividad

La conductividad se determinó con la ayuda de un conductímetro de mesa de la marca (Bante 510), siguiendo procedimientos estandarizados de medición en soluciones líquidas.

#### 10.7.7. Polifenoles

El contenido de los polifenoles se determina mediante el método de Folin-Ciocalteu, expresados en equivalentes de ácido gálico. Compuestos importantes por su capacidad antioxidante (Martínez *et al.*, 2015).

#### 10.7.8. Cálculo del rendimiento (%)

El rendimiento fue evaluó separando manualmente la cáscara de la pulpa en cada una de las tunas. En el caso del cladodio, se separó la cáscara del mucílago. Ambas fracciones fueron pesadas utilizando una balanza (BOECO, Germany) (**Ver, Ec. 6**).

**Ec. 6**

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{Masa de la pulpa}}{\text{Masa total del fruto}} \times 100$$

#### Dónde:

Rendimiento: porcentaje de pulpa obtenida.

Masa de la pulpa: peso de la parte comestible del fruto.

Masa total del fruto: peso del fruto completo antes de separar la cáscara.

#### 10.7.9. Medición del diámetro y longitud nopal (cm)

El diámetro y longitud de la tuna se midió con un calibrador (Vernier de precisión 0,02 mm), sus medidas se registraron en centímetros INEN 1978 (2009). El diámetro y longitud del cladodio se midió con una cinta métrica (Stanley), sus medidas se registraron en centímetros (CODEX STAN 185, 1993).

## **10.8. Análisis fisicoquímicos durante el proceso de fermentación de la bebida a base de nopal (*Opuntia ficus-indica*).**

### **10.8.1. Sólidos solubles totales**

Para su medición se empleó un refractómetro (BOECO, Germany), los resultados se expresaron en porcentaje (%). Este parámetro fue utilizado para monitorear la disminución de los azúcares durante todo el proceso fermentativo, ya que los sólidos solubles totales tienden a disminuir conforme las levaduras metabolizan los azúcares disponibles en el producto (Espinoza & Romero, 2022).

### **10.8.2. Temperatura**

El proceso fermentativo de la bebida a base de nopal (*Opuntia ficus-indica*), la temperatura se mantuvo a 25 °C, rango que favorece el crecimiento de levaduras (*Saccharomyces cerevisiae*) y la producción de etanol sin afectar los compuestos bioactivos Martínez (2019), la medición se realizó con un multiparámetro digital STRIRRER PL-700PC.

### **10.8.3. pH**

Se determinó con un pHmetro STIRRER PL, se utilizó 10 ml de muestra, sumergiendo el electrodo a temperatura ambiente (Espinoza & Romero, 2020).

### **10.8.4. Grado alcohólico**

Se midió con un refractómetro para alcohol de la marca (ATC), que permite obtener lecturas directas en % v/v sin necesidad de destilación (Romero, 2012). Se puso una cantidad pequeña de muestra en el dispositivo y se registró la lectura a temperatura ambiente, siguiendo la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 372 (2015).

### **10.8.5. Conductividad y sólidos disueltos totales (TDS)**

Ambos parámetros se midieron con un conductímetro de mesa (BANTE 510), colocando las muestras en vasos de 10 ml y sumergiendo el electrodo a temperatura ambiente. Cada análisis se realizó por triplicado para asegurar resultados confiables (Unam, 2007).

## **10.9. Análisis fisicoquímicos de la post fermentación de la bebida**

Se optó por estudiar el comportamiento de la acidez y los polifenoles de las diferentes formulaciones, durante el periodo de post fermentación, específicamente en los días 15 y 90, es decir, cuando la fermentación cesa, y en la maduración de las bebidas.

### 10.9.1. Polifenoles

Para su determinación, se preparó una curva estándar de ácido gálico a partir de una disolución madre de 1000 µg/ml, con concentraciones de 0, 10, 50, 75, 100, 250, 500 y 1000 ppm, conservadas en refrigeración y oscuridad, la extracción de polifenoles se realizó mezclando 500 µL de muestra con 1000 µL de metanol (1:2 v/v) y 500 µL de NaF (2 mM), homogeneizando la mezcla y centrifugarla a 4000 rpm durante 15 min a 20 °C para recuperar el sobrenadante luego se tomaron 100 µL del extracto, se adicionaron 6 ml de agua destilada y 500 µL de reactivo de Folin-Ciocalteu, dejando reposar la mezcla en oscuridad durante 8 min posteriormente se agregaron 1500 µL de carbonato de sodio al 7,5 % y se completó el volumen a 10 ml con agua destilada, manteniéndose en oscuridad a temperatura ambiente por 2 h. Las concentraciones obtenidas se analizaron mediante espectrofotometría a 765 nm, siguiendo el protocolo descrito por (Martínez *et al.*, 2015).

### 10.9.2. Acidez titulable

La acidez titulable en la bebida a base de nopal se realizó según Norma Técnica Ecuatoriana INEN 750 (2013). Para ello, las materias primas fueron trituradas y filtradas. Se tomaron 5 ml de muestra, a los que se añadieron 5 ml de agua destilada y tres gotas de fenolftaleína. La muestra se tituló con una solución hidróxido de sodio (NaOH 0.1 N), agitando hasta alcanzar una coloración rosada que persistiera durante 30 segundos, indicando el punto final de la titulación. El volumen de NaOH utilizado se registró con precisión, y el procedimiento se repitió tres veces por muestra para asegurar la fiabilidad de los resultados (**Ver, Ec 7**).

**Ec. 7**

$$\% \text{ Acidez total} = \frac{V_{\text{NaOH}} * N_{\text{NaOH}} * f}{V_m} * 100\%$$

**Dónde:**

$V_{\text{NaOH}}$ : volumen de NaOH gastado en la titulación (ml).

$N_{\text{NaOH}}$ : normalidad del NaOH, que indica su concentración.

f: factor de conversión, depende del ácido predominante (ácido tartárico = 0.076).

$V_m$ : volumen de muestra analizada (ml).

## **10.10. Análisis microbiológicos de la bebida después de tres meses de maduración**

### **10.10.1. Mohos y levaduras**

Los análisis con placas 3M Petrifilm™ MR para levaduras y mohos consiste en inocular 1 ml de la dilución de la sobre la superficie de la placa, distribuirla de manera uniforme evitando burbujas y, tras la solidificación del gel, incubar las placas boca arriba a 25 °C durante 3 a 5 días; al observarlas, las levaduras se identifican como colonias pequeñas, definidas y de tonos azul-verdosos o rosados, mientras que los mohos aparecen como colonias grandes, planas, difusas y con un centro marcado. El conteo válido debe estar entre 15 y 150 colonias por placa, y si se supera este rango se recurre a diluciones o cuadrículas, garantizando así resultados confiables y reproducibles en la evaluación microbiológica de alimentos (INEN 1529-10, 2013).

### **10.10.2. *Escherichia Coli***

En las placas 3M Petrifilm™ MR, las colonias de *E. coli* se reconocen por su color azul o rojo azulado con un precipitado azul, resultado de la acción de la enzima  $\beta$ -glucuronidasa, y suelen acompañarse de burbujas de gas atrapadas en el gel (presentes en cerca del 95% de las cepas). El conteo confiable se establece entre 15 y 150 colonias por placa; si se supera este rango, se reporta como MNPC (Muy Numeroso Para Contar) y se recomienda diluir la muestra. La incubación se realiza a 35 °C  $\pm$ 1, durante 48 horas  $\pm$ 2 o 24 horas  $\pm$ 2 en el caso de carnes, aves y mariscos, asegurando resultados precisos y reproducibles en el análisis microbiológico (INEN 1529-8, 1990).

### **10.10.3. *Coliformes totales***

Las colonias de coliformes se observan como rojas o azules con gas atrapado, y el gel se oscurece a rojo oscuro o púrpura por la producción de ácido durante la fermentación de lactosa. El conteo confiable también es de 15 a 150 colonias, y en exceso se reporta como MNPC (Muy Numeroso Para Contar), con recomendación de nuevas diluciones. La incubación se realiza a 35 °C  $\pm$ 1 durante 24 horas  $\pm$ 2 o a 37 °C  $\pm$ 1 durante 24 horas  $\pm$ 2 (INEN 1529-7, 2013).

## **10.11. Evaluación sensorial**

### **10.11.1. Perfil sensorial**

Los perfiles sensoriales de la bebida a base de nopal se evaluaron tras los 90 días de maduración. Se evaluó color, olor, sabor y textura, con la participación de 10 jueces semi entrenados. Se

emplearon pruebas descriptivas para identificar diferencias en intensidad aromática, cuerpo y persistencia del sabor (Anzaldúa, 1998).

#### **10.11.2. Evaluación del grado de aceptabilidad**

La aceptabilidad sensorial se evaluó mediante una escala hedónica de 9, con 100 consumidores los cuales expresaron su agrado o desagrado hacia la muestra: 1: extremadamente desagradable, 2: muy desagradable, 3: bastante desagradable, 4: desagradable, 5: ni desagradable ni agradable, 6: agradable, 7: bastante agradable, 8: muy agradable y 9: extremadamente agradable.

### **11. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

A continuación, se presentan y discuten los resultados fisicoquímicos, polifenoles, microbiológicos y sensoriales de la materia prima (cladodio y tuna) y de la bebida a base de nopal (*Opuntia Ficus-indica*).

#### **11.1. Análisis fisicoquímicos de la materia prima tuna**

Se presentan los resultados fisicoquímicos obtenidos para la materia prima tuna, los cuales permitieron caracterizar sus propiedades y evaluar su idoneidad en el desarrollo de la bebida a base de nopal (*Opuntia Ficus-indica*).

**Tabla 7.** Resultados análisis fisicoquímicos de la materia prima tuna.

Muestras de tuna	W (g)	T (°C)	ρ (g/ml)	L (cm)	A (cm)	Sólidos solubles totales	σ (mS/cm)	TDS (ppm)	pH	PT (mg GAE/100ml)	AT (%)
1	119,2±2,78 <sup>ab</sup>	23,2±0,12 <sup>bc</sup>	0,8±0 <sup>d</sup>	6,8±0 <sup>a</sup>	4,5±0 <sup>a</sup>	14,8±0,21 <sup>d</sup>	1591,7±21,04 <sup>c</sup>	933,7±8,80 <sup>c</sup>	6,4±0,04 <sup>a</sup>	9,2±0 <sup>f</sup>	0,03±0 <sup>b</sup>
2	130,0±2,78 <sup>b</sup>	23,6±0,12 <sup>de</sup>	1,0±0 <sup>f</sup>	8,4±0 <sup>g</sup>	4,8±0 <sup>d</sup>	14,8±0,21 <sup>d</sup>	1493,3±21,04 <sup>c</sup>	997,3±8,80 <sup>d</sup>	6,6±0,04 <sup>b</sup>	5,9±0 <sup>a</sup>	0,03±0 <sup>b</sup>
3	109,1±2,78 <sup>a</sup>	23,8± 0,12 <sup>e</sup>	1,0±0 <sup>f</sup>	7,6±0 <sup>f</sup>	4,8±0 <sup>d</sup>	14,3±0,21 <sup>cd</sup>	1261,3±21,04 <sup>b</sup>	818,7±8,80 <sup>b</sup>	6,7±0,04 <sup>b</sup>	8,1±0 <sup>c</sup>	0,03±0 <sup>b</sup>
4	109,1±2,78 <sup>a</sup>	22,7± 0, 12 <sup>a</sup>	0,7±0 <sup>b</sup>	7,5±0 <sup>e</sup>	4,6±0 <sup>b</sup>	12,4±0,21 <sup>a</sup>	1129,0±21,04 <sup>a</sup>	767,0±8,80 <sup>a</sup>	6,8±0,04 <sup>b</sup>	6,5±0 <sup>b</sup>	0,02±0 <sup>a</sup>
5	114,3±2,78 <sup>a</sup>	23,1± 0,12 <sup>b</sup>	0,8±0 <sup>c</sup>	7,3±0 <sup>d</sup>	4,7±0 <sup>c</sup>	13,5±0,21 <sup>bc</sup>	1256,3±21,04 <sup>b</sup>	833,0±8,80 <sup>b</sup>	6,7±0,04 <sup>b</sup>	9,1±0 <sup>e</sup>	0,02±0 <sup>a</sup>
6	120,9±2,78 <sup>ab</sup>	23,5±0,12 <sup>bcd</sup>	0,9±0 <sup>e</sup>	6,9±0 <sup>b</sup>	5,0±0 <sup>e</sup>	13,2±0,21 <sup>ab</sup>	1234,0±21,04 <sup>b</sup>	842,7±8,80 <sup>b</sup>	6,7±0,04 <sup>b</sup>	8,1±0 <sup>c</sup>	0,02±0 <sup>a</sup>
7	114,8±2,78 <sup>a</sup>	23,5±0,12 <sup>cde</sup>	0,7±0 <sup>a</sup>	7,1±0 <sup>c</sup>	5,1±0 <sup>f</sup>	12,2±0,21 <sup>a</sup>	1164,7±21,04 <sup>ab</sup>	764,3±8,80 <sup>a</sup>	6,7±0,04 <sup>b</sup>	8,2±0 <sup>d</sup>	0,02±0 <sup>a</sup>

**Dónde:** n: (3); **W:** peso; **T:** temperatura (°C); **ρ:** densidad (g/ml); **L:** longitud (cm); **An:** ancho (cm); **sólidos solubles totales** (%); **σ:** conductividad (mS/cm); **pH:** potencial de hidrógeno; **TDS:** sólidos disueltos totales (ppm); **PT:** polifenoles totales, **GAE:** equivalente de ácido gálico; **AT:** acidez titulable (%). Las letras a, b, c, d, e, f, g indican diferencia significativa entre las muestras (p<0,05): cuando los valores presentan letras distintas existe diferencia significativa y cuando comparten la misma letra no hay diferencia significativa.

**Elaborado por:** (Abril&Cuaces, 2026).

La **tabla 7**, presenta los resultados de un ANOVA simple para la determinación fisicoquímica de tuna, también se realizó un test de Tukey ( $p < 0,05\%$ ), para ver si existió diferencias significativas en las siete muestras de tuna ( $n_1$ - $n_7$ ), los parámetros de peso (W), Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), longitud (L), Ancho (A), densidad ( $\rho$ ), conductividad ( $\sigma$ ), potencial de hidrogeno (pH), Sólidos totales disueltos (TDS), polifenoles totales (mg GAE/100 ml), Acidez titulable (AT) presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ).

El peso presentó valores entre 109,1 g ( $n_3$ ) y 130,0 g ( $n_2$ ), la temperatura osciló entre 22,7 $^{\circ}\text{C}$  ( $n_4$ ) y 23,8 $^{\circ}\text{C}$  ( $n_3$ ), los valores de la densidad variaron desde 0,7 g/ml ( $n_7$ ) a 1,0 g/ml ( $n_2$ ,  $n_3$ ), la longitud presentó valores entre 6,8 cm ( $n_1$ ) a 8,4 cm ( $n_2$ ) y el ancho evidenció valores entre 4,5 cm ( $n_1$ ) y 5,1 cm ( $n_7$ ).

Los valores de sólidos solubles totales, oscilaron entre 12,2% ( $n_7$ ) y 14,8% ( $n_2$ ), mostrando diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). Este parámetro está estrechamente relacionado con la madurez del fruto y su potencial para la elaboración de jugos y mermeladas, donde mayor cantidad de SST, traduce en mejor sabor y mayor rendimiento tecnológico. Investigaciones reportaron rangos de sólidos solubles totales entre 12–16%, coincidiendo con los valores reportados por (Terán *et al.*, 2015).

La conductividad presentó diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las muestras, en un rango de 1129,0 mS/cm ( $n_4$ ) y 1591,7 mS/cm ( $n_1$ ), los sólidos disueltos totales (TDS) también presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) con valores que oscilaron entre 764,3 ppm ( $n_7$ ) a 997,3 ppm ( $n_2$ ). Torres *et al* (2017), observaron conductividades entre 1000 y 1500 mS/cm en frutos de *Opuntia robusta* y *O. ficus-indica* y Terán *et al* (2015), reportaron valores de TDS de 720–980 ppm en tunas. Estos hallazgos coinciden con la síntesis obtenida en el estudio respaldando la correlación directa con la conductividad, el contenido de sólidos solubles totales y la acumulación de azúcares durante el proceso de madurez.

El pH presentó diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ) entre las muestras, con un rango de 6,4 ( $n_1$ ) y 6,8 ( $n_4$ ). Estudios previos han reportado valores similares en la caracterización química de frutos *Opuntia ficus-indica* y *Opuntia dillenii*, encontraron valores de pH entre 6,4-6,7 resultados obtenidos por Medina *et al.* (2017). Estos valores reflejan una ligera acidez, condición que influye directamente en la estabilidad microbiológica y en la aceptación sensorial del producto (Torres *et al.*, 2017).

Los polifenoles totales (PT) mostró diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ) entre las muestras, mostrando valores que van de 5,9 mg GAE/100 ml ( $n_2$ ) y 9,2 mg GAE/100 ml ( $n_1$ ). Estos

compuestos bioactivos poseen reconocidas propiedades antioxidantes, asociadas a la prevención de enfermedades crónicas. En frutos del nopal se han reportado concentraciones de polifenoles en el rango de 6–10 mg GAE/100 ml (Butera *et al.*, 2022), lo que confirma que las muestras evaluadas presentan un potencial funcional.

La acidez titulable presentó diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ) entre las muestras, presentado valores que oscilaron entre 0,02–0,03%, indicando una acidez moderada. Este nivel es apto para el consumo directo y la elaboración de productos procesados sin necesidad de correcciones drásticas en formulación. Estudios previos en tunas reportan valores de 0,03–0,05%, lo que sitúa los resultados obtenidos en un rango ligeramente inferior pero igualmente adecuado para consumo y procesamiento (Terán *et al.*, 2015).

La tuna mostró un perfil fisicoquímico estable y seguro, aunque con variaciones específicas en parámetros como el pH, SST y el contenido de polifenoles totales. Estas diferencias pueden aprovecharse para orientar el uso de los frutos según su destino tecnológico, como en la elaboración de bebidas fermentadas, jugos o néctares. Valero *et al.* (2021), señalaron que la tuna, presenta una variabilidad en sus características fisicoquímicas, con valores de sólidos solubles totales de 11–16 y pH de 5,5–6,5, estos parámetros influyen directamente en la calidad tecnológica y nutricional.

### **11.2. Análisis fisicoquímicos de la materia prima del cladodio**

A continuación, se presenta los resultados fisicoquímicos obtenidos para la materia prima del cladodio, los cuales permitirán caracterizar sus propiedades y evaluar su idoneidad en la elaboración de la bebida a base de nopal (*Opuntia Ficus-indica*).

**Tabla 8.** Resultados análisis fisicoquímicos de la materia prima cladodio.

Cladodio	W (g)	°T (°C)	ρ (g/ml)	L (cm)	A (cm)	e (cm)	Sólidos solubles totales	σ (mS/cm)	pH	TDS (ppm)	PT (mg GAE/100ml)	AT (%)
1	720,7±0 <sup>b</sup>	25,9±0,08 <sup>f</sup>	240,2±0 <sup>b</sup>	29,0±0 <sup>a</sup>	15,0±0 <sup>b</sup>	1,0±0 <sup>a</sup>	3,3±0,44 <sup>b</sup>	7913,3±310,68 <sup>c</sup>	4,5±0,02 <sup>a</sup>	8,3±16,37 <sup>a</sup>	11,6±0 <sup>g</sup>	0,5±0 <sup>d</sup>
2	923,9±0 <sup>f</sup>	24,4±0,08 <sup>d</sup>	307,9±0 <sup>f</sup>	30,0±0 <sup>b</sup>	16,0±0 <sup>c</sup>	1,0±0 <sup>a</sup>	3,3±0,44 <sup>b</sup>	4963,3±310,68 <sup>b</sup>	4,6±0,02 <sup>ab</sup>	8,3±16,37 <sup>a</sup>	10,9±0 <sup>e</sup>	0,6±0 <sup>e</sup>
3	810,6±0 <sup>d</sup>	25,2±0,08 <sup>e</sup>	270,2±0 <sup>d</sup>	34,4±0 <sup>d</sup>	18,0±0 <sup>f</sup>	1,0±0 <sup>a</sup>	4,7±0,44 <sup>b</sup>	1287,3±310,68 <sup>a</sup>	4,7±0,02 <sup>b</sup>	8,3±16,37 <sup>a</sup>	8,9±0 <sup>a</sup>	0,6±0 <sup>e</sup>
4	989,4±0 <sup>g</sup>	23,6±0,08 <sup>a</sup>	329,8±0 <sup>g</sup>	34,0±0 <sup>c</sup>	16,3±0 <sup>d</sup>	1,1±0 <sup>b</sup>	1,0±0,44 <sup>a</sup>	1463,3±310,68 <sup>a</sup>	4,6±0,02 <sup>ab</sup>	8,3±16,37 <sup>a</sup>	9,4±0 <sup>b</sup>	0,4±0 <sup>c</sup>
5	855,4±0 <sup>e</sup>	23,8±0,08 <sup>bc</sup>	285,1±0 <sup>e</sup>	36,0±0 <sup>e</sup>	17,3±0 <sup>e</sup>	1,0±0 <sup>a</sup>	3,4±0,44 <sup>b</sup>	8966,3±310,68 <sup>c</sup>	4,6±0,02 <sup>ab</sup>	8,3±16,37 <sup>a</sup>	9,9±0 <sup>c</sup>	0,3±0 <sup>a</sup>
6	670,3±0 <sup>a</sup>	23,7±0,08 <sup>ab</sup>	223,4±0 <sup>a</sup>	36,2±0 <sup>f</sup>	19,0±0 <sup>g</sup>	1,1±0 <sup>b</sup>	0±0,44 <sup>a</sup>	1423,2±310,68 <sup>a</sup>	4,6±0,02 <sup>ab</sup>	8,3±16,37 <sup>a</sup>	11,1±0 <sup>f</sup>	0,3±0 <sup>a</sup>
7	790,9±0 <sup>c</sup>	24,0±0,08 <sup>c</sup>	263,6±0 <sup>c</sup>	40,0±0 <sup>g</sup>	14,2±0 <sup>a</sup>	1,5±0 <sup>c</sup>	0±0,44 <sup>a</sup>	3990,0±310,68 <sup>b</sup>	4,6±0,02 <sup>ab</sup>	8,3±16,37 <sup>a</sup>	10,6±0 <sup>d</sup>	0,3±0 <sup>b</sup>

**Dónde:** n: (3); **W:** peso; **°T:** temperatura (°C); **ρ:** densidad (g/ml); **L:** Longitud (cm); **A:** Ancho (cm) **e:** espesor; **sólidos solubles totales** (%); **σ:** conductividad (mS/cm); **pH:** potencial de hidrógeno; **TDS:** sólidos disueltos totales (ppm); **PT:** polifenoles totales, **GAE:** equivalente de ácido gálico; **AT:** acidez titulable (%). Las letras a, b, c, d, e, f, g indican diferencia significativa entre las muestras (p<0,05): cuando los valores presentan letras distintas existe diferencia significativa y cuando comparten la misma letra no hay diferencia significativa. **Elaborado por:** (Abril&Cuaces, 2026).

La **tabla 8**, muestra los resultados del análisis de varianza (ANOVA) simple aplicado a la caracterización fisicoquímica de la materia prima nopal. Asimismo, se utilizó la prueba de comparación múltiple de Tukey ( $p < 0,05$ ) con el fin de identificar diferencias significativas de las siete muestras evaluadas (n1–n7). El peso (W) de los cladodios presentó diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ), con valores que oscilaron entre 670,3 g (n<sub>6</sub>) y 989,4 g (n<sub>4</sub>).

La temperatura mostró diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ), con valores que oscilaron entre 23,6 °C y 25,9 °C. En cuanto a la densidad tuvo diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ), con valores que oscilaron entre 223,4 g/ml (n<sub>6</sub>) y 329,8 g/ml (n<sub>4</sub>), esto indica que algunas muestras estaban más compactas y con menos agua, mientras que otras eran más porosas y con mayor humedad. Según Ramírez *et al.* (2017), una densidad alta suele relacionarse con menor contenido de agua y mayor firmeza, mientras que una densidad baja refleja estructuras más abiertas y húmedas. En términos prácticos, estas variaciones afectan directamente la textura y la estabilidad del producto.

En cuanto a las dimensiones físicas, la longitud también obtuvo diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ), con valores que van de 29,0 cm (n<sub>1</sub>) y 40,0 cm (n<sub>7</sub>), el ancho entre 14,2 cm (n<sub>7</sub>) y 19,0 cm (n<sub>6</sub>), y el espesor entre 1,0 cm (n<sub>1</sub>) y 1,5 cm (n<sub>7</sub>). Sin embargo, en un estudio exploratorio sobre la morfometría de cladodios cultivado en Santander (Colombia), reportaron longitudes con valores de 20 y 50 cm, con anchos de 10 a 25 cm y espesor de 2,0 cm, lo que evidencia un rango más amplio que el observado en análisis. Esta diferencia tanto a las condiciones agroecológicas específicas de cada región como a la edad de los cladodios. Los cladodios jóvenes tienden a ser más pequeños, delgados y con mayor contenido de agua, mientras que los más maduros alcanzan mayores longitudes y anchos debido al crecimiento celular y a la acumulación de reversas estructurales (Ramírez *et al.*, 2023).

Los valores de SST oscilaron entre 0,0% (n<sub>6</sub>) y 4,7% (n<sub>3</sub>), presentando diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ) entre los cladodios. Este parámetro está estrechamente vinculado al contenido de azúcares, es clave para determinar el grado de madurez y el potencial de los cladodios para procesos de fermentación, deshidratación o formulación de bebidas. Investigaciones previas sobre el nopal reportaron rangos de sólidos solubles totales con valores de 2,5–5,0% coincidiendo con los valores que se obtuvo en este estudio (Zapién *et al.*, 2023).

Los valores de conductividad eléctrica de los cladodios mostraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ), con un rango de 1287,3 mS/cm (n<sub>3</sub>) y 8966,3 mS/cm (n<sub>5</sub>). En contraste, los sólidos disueltos totales (TDS) no presentó diferencias significativas ( $p < 0,05$ ), registrando valores

constantes de 8,3 ppm en todas las muestras ( $n_1$ – $n_7$ ). Estos resultados sugieren una elevada concentración de solutos en ciertos cladodios, posiblemente asociada a procesos fisiológicos avanzados o a condiciones específicas de crecimiento, mientras que la estabilidad de los TDS refleja una composición homogénea en términos de solutos disueltos. Investigaciones en (*Opuntia spp.*), reportan conductividades entre 1000–9000 mS/cm y TDS entre 2–20 ppm, lo que respalda los resultados obtenidos por Torres *et al.* (2017), cabe destacar que una conductividad elevada refleja una mayor presencia de iones y sales minerales en el tejido, lo que puede asociarse a cladodios más maduros, a condiciones de estrés hídrico que concentran los solutos, o a suelos con alta disponibilidad de nutrientes. De manera complementaria, los valores de TDS permiten confirmar estas tendencias: niveles altos sugieren mayor acumulación de sales, azúcares y metabolitos solubles, mientras que niveles bajos reflejan tejidos más diluidos (Yancallo, 2023).

Los valores del pH oscilaron entre 4,5 ( $n_1$ ) y 4,7 ( $n_3$ ) presentando diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ) en los cladodios. Estos valores son compatibles con los resultados reportados por Medina *et al.* (2017), quienes informan valores de pH entre 4,3 y 4,8 en cladodios y resulta favorable para la estabilidad microbiológica y la aceptación sensorial de productos derivados (Torres *et al.*, 2017).

El contenido de polifenoles totales (PT) vario entre 8,9 mg GAE/100 ml ( $n_3$ ) y 11,6 mg GAE/100 ml ( $n_1$ ), presentando diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los cladodios. Estos compuestos bioactivos poseen propiedades antioxidantes relevantes para la salud y conservación de alimentos, los datos obtenidos están dentro del rango reportado para cladodios (10–20 mg GAE/100 ml), confirmando el potencial funcional de las muestras evaluadas (Tesoriere *et al.*, 2014).

La acidez titulable (AT) presento diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ), con datos que oscilaron entre 0,3% ( $n_5$ ) y 0,6% ( $n_2$ ), indicando una acidez moderada. Estudios previos en los cladodios reportan valores entre 0,03–0,05%, situando a las muestras en un rango superior, posiblemente asociado a condiciones de cultivo o madurez fisiológica (Torres *et al.*, 2017).

Los datos obtenidos muestran que el cladodio es una materia prima con un perfil físico químico estable, aunque con variaciones en parámetros como los SST, el pH y el contenido de polifenoles. Esta diversidad no es un obstáculo, sino una oportunidad permitiendo orientar su uso hacia diferentes productos como bebidas fermentadas, jugos o néctares. Tal como señalan

Valero *et al.* (2021), la variabilidad en frutos y cladodios influye directamente en su calidad tecnológica y nutricional, lo que resulta clave para su aprovechamiento industrial.

En este contexto, las comunidades productoras de nopal podrían transformar esta riqueza en emprendimientos locales, creando nuevas alternativas de valor agregado que fortalezcan la economía rural y la seguridad alimentaria. Así, el nopal se convierte en un puente entre dos grandes metas globales alineados a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): ODS 2, Hambre Cero (ONU, 2022), y ODS 8, Trabajo decente y crecimiento económico (ONU, 2025), aprovecharlo de manera sostenible no solo significa reducir el hambre, sino también abrir caminos de empleo digno y desarrollo para las familias campesinas.

### **11.3. Análisis fisicoquímicos durante la fermentación y maduración de la bebida a base de nopal (*Opuntia Ficus-indica*).**

#### **11.3.1. Comparación de los Sólidos solubles totales de la bebida a base de nopal (*Opuntia Ficus-indica*).**

La **tabla 9**, presenta los resultados de un análisis de varianza para un diseño completamente al azar (DCA), aplicado al análisis de sólidos solubles totales (SST), en la bebida, en su proceso de fermentación y maduración. Los factores tratamientos y tiempo de fermentación (días) presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ) sobre los (SST), reflejando cambios importantes en la composición de la bebida a lo largo del tiempo de fermentación.

Asimismo, los factores individuales como A: concentración de tuna B: concentración mucílago de nopal C: tipo de endulzante y D: tiempo de fermentación (días), junto con sus interacciones, influyeron de manera significativa en el comportamiento de los sólidos solubles totales. Esto evidencia que los SST no dependen solo de un factor sino de la combinación de tratamientos y del tiempo de fermentación.

**Tabla 9.** Análisis de varianza de un (DCA) para los sólidos solubles totales de la bebida.

FV	SC	GL	CM	F. calculada	Valor p
<b>Total</b>	1964,68	209			
<b>Tratamientos</b>	186,94	9	20,77	60,05	*
<b>Días</b>	1501,86	6	250,31	723,69	*
<b>Factores</b>					
<b>A: Tuna</b>	9,61	1	9,61	23,71	*
<b>B: Mucílago de nopal</b>	24,22	1	24,22	59,72	*
<b>C: Endulzante</b>	21,42	1	21,42	52,82	*
<b>D: Días</b>	1243,88	6	207,31	511,02	*
<b>A*B</b>	1,88	1	1,88	4,65	*
<b>A*C</b>	5,35	1	5,35	13,21	*
<b>A*D</b>	9,57	6	1,59	3,93	*
<b>B*C</b>	10,50	1	10,50	25,88	*
<b>B*D</b>	38,86	6	6,47	15,97	*
<b>C*D</b>	60,76	6	10,12	24,96	*
<b>A*B*C</b>	7,20	1	7,20	17,77	*
<b>A*B*D</b>	8,59	6	1,43	3,53	*
<b>A*C*D</b>	29,14	6	4,85	11,97	*
<b>B*C*D</b>	33,92	6	5,65	13,94	*
<b>A*B*C*D</b>	4,76	6	0,79	1,96	NS

**Dónde:** **A:** concentración de tuna; **B:** concentración mucílago de nopal; **C:** tipo de endulzante y **D:** tiempo de fermentación (días); **NS:** No significativo; \*: Significativo al 0,05%. **Promedio**= 7,48%. **CV**=7,9%.

Hipótesis nula (H<sub>0</sub>): Los tratamientos son iguales

Hipótesis Alternativa (H<sub>a</sub>): Los tratamientos no son iguales

Para los tratamientos, los factores A: concentración tuna, B: concentración mucílago de nopal, C: tipo de endulzante y D: tiempo de fermentación (días) y sus interacciones, se optó por la hipótesis alternativa y se rechazó la hipótesis nula. Los valores de F calculados manifestaron diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ). El promedio SST de la bebida fue de 7,48%. El coeficiente de variación (CV) fue de 7,9%, este valor reflejo una buena precisión experimental en los datos obtenidos. Este comportamiento coincide con estudios previos en bebidas de frutas,

donde se ha reportado que el tipo de ingrediente y los procesos de conservación modifican el contenido de azúcares y otros sólidos disueltos, generando variaciones medibles en sólidos solubles totales (Yanacallo, 2023).

El análisis de varianza indico que algunos tratamientos fueron diferentes, entonces se utilizó la prueba de Tukey para determinar que tratamientos y que factores fueron iguales entre sí y cuales diferentes (Ver, tablas 10,11,12,13,14 y 15).

### 11.3.2. Análisis por tratamientos de la bebida

Se expone los resultados correspondientes al análisis de los sólidos solubles totales por tratamientos de la bebida.

**Tabla 10.** Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para sólidos solubles totales de la bebida.

Tratamientos	promedio ( $\bar{x}$ )	Rangos
T4	6,23	A
T8	6,44	AB
Z2	6,67	
T2	6,68	BC
T3	7,39	CD
T7	7,71	D
T5	7,77	
T1	7,85	DE
T6	8,32	E
Z1	9,53	F

**Dónde:** T:tratamiento (T1–T8); **T1:** (Tuna al 30% + mucílago de nopal al 10% + azúcar); **T2:** (Tuna al 30% + mucílago de nopal al 10% + panela); **T3:** (Tuna al 30% + mucílago de nopal al 5% + azúcar); **T4:** (Tuna al 30% + mucílago de nopal al 5% + panela); **T5:** (Tuna al 50% + mucílago de nopal al 10% + azúcar); **T6:** (Tuna al 50% + mucílago de nopal al 10% + panela); **T7:** (Tuna al 50% + mucílago de nopal al 5% + azúcar); **T8:** (Tuna al 50% + mucílago de nopal al 5% + panel); **Z1:** (Control tuna al 30% + azúcar); **Z2:** (Control tuna al 50% + azúcar); **Promedio:** 21 determinaciones por tratamiento.

La **tabla 10**, presenta las diferencias significativas ( $p < 0,05$ ), entre los tratamientos y controles evaluados. El tratamiento T4: (tuna 30% + mucílago de nopal al 5% + panela), registró el valor más bajo de sólidos solubles totales 6,23%, mientras que el control Z1: (tuna 30% + azúcar), alcanzó el valor más alto 9,53%. Esta variación evidenció que el tipo de formulación influyó

directamente en la concentración de sólidos solubles, siendo el control Z1: (tuna 30% + azúcar), superior debido a la combinación de tuna con azúcar, que incrementó la disponibilidad de azúcares simples. En contraste, la presencia de mucílago de nopal y panela en T4: (tuna 30% + mucílago de nopal al 5% + panela), redujo la concentración de compuestos solubles, posiblemente por fenómenos de hidrólisis, fermentación parcial o interacción con aditivos. Estudios previos confirmaron que la solubilidad del soluto depende de la naturaleza química y de las condiciones del medio Méndez *et al.* (2023), mientras que Fernández *et al.* (2024), señalaron que el mucílago de tuna contiene fibra soluble capaz de interactuar con azúcares, disminuyendo su disponibilidad en matrices líquidas. Asimismo, Modenesi *et al.* (2024), demostraron que el tipo de edulcorante utilizado en conservas de tuna modifica significativamente la concentración de sólidos solubles y el perfil sensorial del producto. En conjunto, estos resultados respaldaron que el uso de azúcar incrementó los sólidos solubles, mientras que la incorporación de mucílago y panela tendió a reducirlos, generando diferencias técnicas y sensoriales relevantes en la bebida.

**Tabla 11.** Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para sólidos solubles totales por días de la bebida.

Días	promedio ( $\bar{x}$ )	Rangos
3	4,53	A
5	5,06	B
7	5,43	BC
1	5,86	C
90	9,77	D
9	10,19	D
15	11,49	E

**Dónde:** el proceso de la fermentación:(**1:** día 0; **3:** día 3; **5:** día 5; **7:** día 7 inicio y desarrollo de la fermentación); en el día **9** se realiza el trasiego y sulfitación de la bebida); del día **9-15** días ocurre la post- fermentación. (filtrado, pasterización y embotellado de la bebida); del día **15-90** se lleva a cabo la maduración de la bebida; **Promedio:** 30 determinaciones por día.

La **tabla 11**, presenta las diferencias significativas ( $p < 0,05$ ), lo que confirmó que el tiempo de fermentación influyó en los sólidos solubles totales. En el día 3 se registraron valores bajos 4,53%, ubicados en rangos con letras inferiores (A), mientras que en el día 15 se alcanzó el valor más alto 11,49%, situado en un rango superior (E). Este comportamiento evidenció un progreso mayor de los sólidos solubles a medida que avanzó la fermentación, especialmente hasta el día 9, cuando se realizó el trasiego, la sulfitación y la corrección de los grados Brix deseados. Posteriormente, los SST aumento a un rango de 10,19- 9,77 °Brix desde el día 9 hasta el día 90 de la maduración de la bebida. Este patrón coincidió con Ancuta *et al.* (2021), quienes observaron que la fermentación prolongada en bebidas frutales favorece la liberación de azúcares simples por hidrólisis enzimática y la concentración de compuestos solubles. De igual manera, Zugravu & Constantin (2025), señalaron que la evolución de los sólidos solubles durante la fermentación depende de la interacción entre microorganismos y el sustrato, lo que genera variaciones en el perfil de azúcares y compuestos fenólicos. Asimismo, Montes *et al.* (2023), destacaron que el control de trasiego y sulfitación es determinante para estabilizar el proceso y garantizar la conservación de los compuestos bioactivos, evitando pérdidas por oxidación o fermentación secundaria.

### 11.3.3. Análisis por factores de la bebida

Se muestra los resultados del análisis de los sólidos solubles por factores, destacando el impacto individual de cada variable sobre las características de la bebida.

**Tabla 12.** Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para sólidos solubles totales por la concentración de tuna la bebida.

Concentración de tuna (A)	Promedio ( $\bar{x}$ )	Rangos
1	7,08	A
2	7,56	B

**Dónde:** 1: bebida con tuna al 30% y 2: bebida con tuna al 50%; **Promedio:** 84 determinaciones por concentración de tuna.

La **tabla 12**, presenta las diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ), en la concentración 1: (tuna al 30%) se ubicó en el rango A, con un valor inferior de 7,08% y la concentración 2: (tuna al 50%) se ubicó en el rango B, con un valor superior de 7,56% de sólidos solubles totales. Esto indica que al aumentar la proporción de tuna en la formulación se incrementa el contenido de sólidos solubles totales, en concordancia con López (2022), donde nos dice que una mayor

incorporación de pulpa de tuna eleva los sólidos solubles totales de bebidas y néctares debido a su aporte de azúcares y otros solutos.

**Tabla 13.** Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para sólidos solubles totales por la concentración del mucílago de nopal de la bebida.

Concentración mucílago de nopal (B)	Promedio ( $\bar{x}$ )	Rangos
2	6,94	A
1	7,70	B

**Dónde:** 1: bebida con mucílago de nopal al 10% y 2: bebida con mucílago de nopal al 5%; **Promedio:** 84 determinaciones por concentración de mucílago de nopal.

La **tabla 13**, detalla las diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ), en la concentración 2: (mucílago de nopal al 5%) se encontró en el rango A, con un valor menor de 6,94%, mientras que la concentración 1: (mucílago de nopal al 10%) se ubicó en el rango B, con un valor mayor de 7,70% de sólidos solubles totales. Esto indica que a mayor proporción de mucílago de nopal aumentó los sólidos solubles totales de la mezcla. Esto coincidió con lo reportado por Fernández *et al.* (2024), señalando que el mucílago de nopal y tuna contiene una elevada proporción de fibra soluble capaz de interactuar con azúcares, modificando su disponibilidad en matrices líquidas. De manera similar, Sáenz *et al.* (2022), destacaron que el mucílago de nopal aumenta la viscosidad y concentración de sólidos solubles en bebidas funcionales, debido a su capacidad de retener agua y formar soluciones coloidales.

**Tabla 14.** Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para sólidos solubles totales por el tipo de endulzante de la bebida.

Tipo de endulzante (C)	Promedio ( $\bar{x}$ )	Rangos
1	6,96	A
2	7,68	B

**Dónde:** Tipo de endulzante 1: Azúcar y tipo de endulzante 2: Panela; **Promedio:** 84 determinaciones por el tipo de endulzante.

La **tabla 14**, describe las diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ), entre los dos tipos endulzante. El endulzante 1: (azúcar) se agrupó en el rango A, con un valor de 6,96% promedio más bajo y el endulzante 2: (panela) se ubicó en el rango B, con el valor más alto de 7,68%. Estos resultados

confirmaron que el tipo de endulzante afectó significativamente en la concentración de sólidos solubles totales, lo cual coincidió con lo señalado por Moreno *et al.* (2022), quienes mencionaron que el cambio de azúcar refinada por panela en bebidas y productos derivados de frutas genera variaciones en la concentración de sólidos solubles y en el perfil sensorial, debido a la presencia de compuestos adicionales como minerales y melanoidinas. De igual manera, Modenesi *et al.* (2024), demostraron que el uso de diferentes endulzantes en conservas de tuna modificó significativamente los sólidos solubles y la aceptación sensorial del producto, mientras que Zapién *et al.* (2023), destacaron que la interacción de polisacáridos presentes en matrices frutales con edulcorantes naturales puede alterar la disponibilidad de azúcares y la viscosidad de la mezcla. En conjunto, estos hallazgos respaldaron que la panela, al contener compuestos más complejos que el azúcar refinado, incrementó los sólidos solubles totales y aportó un perfil más robusto a la formulación.

**Tabla 15.** Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para sólidos solubles totales por el factor días de la bebida.

Días	Promedio ( $\bar{x}$ )	Rangos
3	4,29	A
5	4,95	B
7	5,16	BC
1	5,70	C
90	9,65	D
9	10,08	
15	11,41	E

**Dónde:** el proceso de la fermentación:(**1:** día 0; **3:** día 3; **5:** día 5; **7:** día 7 inicio y desarrollo de la fermentación); en el día **9** se realiza el trasiego y sulfitación de la bebida); del día **9-15** días ocurre la post- fermentación. (filtrado, pasterización y embotellado de la bebida); del día **15-90** se lleva a cabo la maduración de la bebida; **Promedio:** 24 determinaciones por día.

La **tabla 15**, presenta las diferencias significativas ( $p < 0,05$ ), lo que confirmó que el tiempo de fermentación influyó en los sólidos solubles totales. En el día 3 se registró un valor bajo de 4,29%, ubicado en el rango (A), mientras que en el día 15 se alcanzó un valor más alto de 11,41%, situado en un rango (E). Este comportamiento evidenció un aumento de los sólidos

solubles a medida que avanzó la fermentación, especialmente hasta el día 9, cuando se realizó el trasiego, la sulfitación y la corrección de °Brix deseados. Posteriormente, los SST se mantuvieron en un rango de 9,65–10,08 °Brix desde el día 9 hasta el día 90 de la maduración de la bebida. Este patrón coincidió con lo reportado por Yanacallo (2023), quien observó que la fermentación prolongada en bebidas frutales favoreció la liberación de azúcares simples por hidrólisis enzimática y la concentración de compuestos solubles.

A continuación, se realizó la prueba de Tukey para comparar los sólidos solubles totales de todos los tratamientos contra los controles y ver si realmente fueron diferentes o iguales a los controles (**Ver, tabla 16**).

**Tabla 16.** Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para sólidos solubles totales de la bebida.

Tratamientos	0,05% $ \bar{x}_i - \bar{x}_c $	¿Diferente del control?
Z1-Z2	2,86	*
Z1-T1	1,68	*
Z1-T2	2,67	*
Z1-T3	2,14	*
Z1-T4	3,30	*
Z1-T5	1,77	*
Z1-T6	1,20	*
Z1-T7	1,82	*
Z1-T8	3,09	*
Z2-T1	1,18	*
Z2-T2	0,19	NS
Z2-T3	0,71	*
Z2-T4	0,43	*
Z2-T5	1,10	*
Z2-T6	1,65	*
Z2-T7	1,04	*
Z2-T8	0,22	NS

**Dónde:** La bebida evaluada contiene nopal en concentraciones del 30 % y 50 %, comparada con los controles Z1 y Z2. Si la diferencia absoluta entre la media del tratamiento Z1 y Z2  $|\bar{x}_i - \bar{x}_c|$  supera el valor crítico de D (140;0,05) =0,58 se considera que dicho tratamiento presenta una media significativamente diferente respecto a los controles; **NS:** No hay diferencia significativa; **\***: Si hay diferencia significativa.

Ho:  $|\bar{x}_i - \bar{x}_c|$  los tratamientos son iguales a los controles Z1 y Z2

Ha:  $|\bar{x}_i - \bar{x}_c|$  los tratamientos no son iguales a los controles Z1 y Z2

Los sólidos solubles totales de las bebidas en la mayoría de todos los tratamientos presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ) ante los controles. No obstante, los sólidos solubles totales de estos dos tratamientos T2: (tuna 30% + mucílago de nopal al 10% + panela) y T8: (tuna 50% + mucílago de nopal al 5% + panela) no presentó diferencias significativas con relación al control Z2: (tuna 50% + azúcar), con valores que oscilaron entre 0,19% y 0,22%. La mayoría de formulaciones con nopal modificaron de forma significativa la concentración de sólidos solubles totales respecto a ambos controles, lo que puede traducirse en cambios perceptibles en el dulzor o cuerpo de la bebida (Oña, 2023).

#### 11.3.4. Comparación de los pH de la bebida a base de nopal (*Opuntia Ficus-indica*).

La **tabla 17**, presenta los resultados de un análisis de varianza para un diseño completamente al azar (DCA), aplicado al análisis del pH de la bebida durante su proceso de fermentación y maduración. Los factores tratamientos y tiempo de fermentación (días), presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ) sobre el pH, reflejando cambios importantes en la acidez de la bebida a lo largo del tiempo.

Así mismo, los factores individuales como C: tipo de endulzante y D: tiempo de fermentación (días) junto con varias de sus interacciones presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ), en el pH lo que evidencia que la modificación de la acidez no depende del tipo de endulzante sino de la combinación de los factores y tiempo de fermentación.

**Tabla 17.** Análisis de varianza de un (DCA) para el pH de la bebida.

<b>FV</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>F. calculada</b>	<b>Valor p</b>
<b>Total</b>	49,16	209			
<b>Tratamientos</b>	4,15	9	0,46	47,05	*
<b>Días</b>	40,56	6	6,76	689,11	*
<b>Factores</b>					
<b>A: Tuna</b>	0,004	1	0,004	0,46	NS
<b>B: Mucílago de nopal</b>	0,00	1	0,00	0,01	NS
<b>C: Endulzante</b>	1,39	1	1,39	334,41	*
<b>D: Días</b>	29,74	6	4,95	477,92	*
<b>A*B</b>	0,002	1	0,002	0,22	NS
<b>A*C</b>	0,08	1	0,08	8,05	*
<b>A*D</b>	0,17	6	0,02	2,76	*
<b>B*C</b>	0,22	1	0,22	21,95	*
<b>B*D</b>	0,13	6	0,02	2,18	NS
<b>C*D</b>	0,73	6	0,12	11,88	*
<b>A*B*C</b>	0,001	1	0,001	0,10	NS
<b>A*B*D</b>	0,27	6	0,04	4,43	*
<b>A*C*D</b>	0,10	6	0,01	1,67	NS
<b>B*C*D</b>	0,22	6	0,03	3,57	*
<b>A*B*C*D</b>	0,07	6	0,01	1,23	NS

*Dónde:* **A:** concentración de tuna; **B:** concentración mucílago de nopal; **C:** tipo de endulzante y **D:** tiempo de fermentación (días); **NS:** No significativo; \* Significativo al 0,05%. **Promedio**= 3,32 pH. **CV**=3,0%.

Hipótesis nula (H<sub>0</sub>): Los tratamientos son iguales

Hipótesis Alternativa (H<sub>a</sub>): Los tratamientos no son iguales

Para los tratamientos, los factores A: concentración de tuna, B: concentración mucílago de nopal, y algunas de las interacciones, se rechazó la hipótesis alternativa y se aceptó la hipótesis nula porque no presentan diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ). Los valores de F calculados manifestaron diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ). El promedio del pH de la bebida fue de 3,32. El coeficiente de variación (CV) fue de 3,0% este valor reflejo una buena precisión experimental en los datos obtenidos.

Los factores C: tipo de endulzante y D: tiempo de fermentación (días) rechazaron la hipótesis nula y aceptaron la hipótesis alternativa, presentando diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ). Este comportamiento coincide con estudios previos en bebidas fermentadas, donde se ha reportado que el tipo de endulzante y el tiempo de fermentación modifican parámetros como el pH y los sólidos solubles totales (Rodríguez, 2022).

Mostró diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ) en la mayoría de las interacciones. Esto sugiere que la respuesta no depende únicamente de cada factor individual, sino también de cómo se combinan entre sí. En investigaciones sobre jugos y néctares, se ha documentado que la interacción entre formulaciones y condiciones de procesos puede generar efectos sinérgicos o antagónicos sobre el pH y otros parámetros de calidad. Ruíz *et al.* (2020), menciona que en el desarrollo de bebidas fermentadas se debe considerar no solo los ingredientes, sino también su interacción con el tiempo de fermentación para garantizar estabilidad y calidad.

El análisis de varianza indico que algunos tratamientos fueron diferentes, entonces se utilizó la prueba de Tukey para determinar que tratamientos y que factores fueron iguales entre sí y cuales diferentes (Ver, tablas **18,19,20 y 21**).

#### **11.3.5. Análisis por tratamientos de la bebida**

Se expone los resultados correspondientes al análisis del pH por tratamientos de la bebida.

**Tabla 18.** Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para el pH de la bebida.

Tratamientos	promedio ( $\bar{x}$ )	Rangos
Z1	3,00	A
T3	3,19	B
T7	3,26	BC
Z2	3,27	
T1	3,28	CD
T5	3,32	
T6	3,39	DE
T2	3,43	EF
T8	3,47	
T4	3,50	F

**Dónde:** T: tratamientos (T1–T8); T1: (Tuna al 30% + mucílago de nopal al 10% + azúcar); T2: (Tuna al 30% + mucílago de nopal al 10% + panela); T3: (Tuna al 30% + mucílago de nopal al 5% + azúcar); T4: (Tuna al 30% + mucílago de nopal al 5% + panela); T5: (Tuna al 50% + mucílago de nopal al 10% + azúcar); T6: (Tuna al 50% + mucílago de nopal al 10% + panela); T7: (Tuna al 50% + mucílago de nopal al 5% + azúcar); T8: (Tuna al 50% + mucílago de nopal al 5% + panel); Z1: (Control tuna al 30% + azúcar); Z2: (Control tuna al 50% + azúcar); **Promedio:** 21 determinaciones por tratamiento.

La **tabla 18**, presenta las diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ) entre los tratamientos y controles evaluados. El control Z1: (tuna 30% + azúcar) presentó el valor más bajo de pH ubicado en el rango A, con un valor de 3,00, mientras que el tratamiento T4: (tuna 30% + mucílago de nopal al 5% + azúcar) alcanzó un pH más alto ubicado en el rango F con un valor de 3,50. Esta diferencia indica que el tipo de tratamiento aplicado influye directamente en la acidez de la bebida. Esto puede estar relacionado con la combinación de ingredientes como tuna, mucílago de nopal y endulzante, que generan efectos contrastantes sobre el pH. Estudios como el de Contreras *et al.* (2019), en bebidas de maíz y aloe vera también reportan que la interacción entre ingredientes modifica el pH de forma significativa.

**Tabla 19.** Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para el pH por días de la bebida.

Días	promedio ( $\bar{x}$ )	Rangos
90	2,85	
15	2,89	A
9	3,12	B
5	3,19	BC
7	3,20	C
3	3,84	D
1	4,10	E

**Dónde:** el proceso de la fermentación:(**1:** día 0 de la fermentación; **3:** día 3; **5:** día 5; **7:** día 7 inicio y desarrollo de la fermentación); en el día **9** se realiza el trasiego y sulfitación de la bebida); del día **9-15** días ocurre la post-fermentación. (filtrado, pasterización y embotellado de la bebida); del día **15-90** se lleva a cabo la maduración de la bebida; **Promedio:** 30 determinaciones por día.

La **tabla 19**, presenta las diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en el pH durante el tiempo de fermentación y maduración de la bebida. En el día 90 se registraron los valores más bajos de pH con un valor de 2,85, ubicados en el rango A, mientras que en el día 1 se observó el valor más alto de pH con un valor de 4,10, situado en el rango E. Este comportamiento evidenció una disminución progresiva del pH conforme avanzó la fermentación, lo cual se relacionó con la actividad microbiana y enzimática que transforma los azúcares y compuestos presentes en el sustrato.

Investigaciones como las de Díaz & Heredia (2020), respaldaron esta tendencia, señalando que la reducción del pH en bebidas fermentadas se debe a la producción de ácidos orgánicos derivados de la acción de levaduras y bacterias lácticas. De manera similar, Zapata *et al.* (2024), reportaron que la evolución del pH en vinos frutales está directamente vinculada con la acumulación de ácido málico y láctico durante la fermentación secundaria. Ancuta *et al.* (2021), destacaron que el control del pH es un indicador crítico de estabilidad microbiológica y calidad sensorial en bebidas fermentadas, ya que influye en la conservación de compuestos fenólicos y en la aceptación del consumidor.

### 11.3.6. Análisis por factores de la bebida

Se muestra los resultados del análisis del pH por factores, destacando el impacto individual de cada variable sobre las características de la bebida.

**Tabla 20.** Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para el pH por el tipo de endulzante de la bebida.

Tipo de endulzante (C)	Promedio ( $\bar{x}$ )	Rangos
1	3,29	A
2	3,45	B

**Dónde:** tipo de endulzante 1: Azúcar y tipo de endulzante 2: Panela; **Promedio:** 84 determinaciones por el tipo de endulzante.

La **tabla 20**, presenta las diferencias significativas ( $p < 0,05$ ), indicando que el tipo de endulzante influyó en el pH de la bebida. El endulzante 1: (azúcar) se agrupó en el rango A, con un valor promedio más bajo de 3,29, mientras que el endulzante 2: (panela) se situó en el rango B, con un pH más alto de 3,45. Estos resultados evidenciaron que, a mayor concentración de endulzante, mayor fue el pH, lo cual pudo deberse a la capacidad de ciertos edulcorantes de neutralizar parcialmente la acidez o modificar el equilibrio de solutos.

Este coincidió con lo señalado por Moreno *et al.* (2022), quienes reportaron que la adición de sacarosa puede elevar el pH en bebidas fermentadas al modificar la actividad del agua y la solubilidad de ácidos. De manera complementaria, Jianxin *et al.* (2024), observaron que el tipo de edulcorante influye en la formación de ácidos orgánicos durante la fermentación, afectando directamente la evolución del pH. Asimismo, Modenesi *et al.* (2024), demostraron que el uso de panela en conservas de tuna no solo incrementa los sólidos solubles, sino que también modifica el perfil ácido de la matriz, generando diferencias significativas frente al azúcar refinado.

**Tabla 21.** Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para el pH por el factor días de la bebida.

Días	Promedio ( $\bar{x}$ )	Rangos
90	2,91	
15	2,94	A
9	3,17	
5	3,24	B
7	3,25	
3	3,89	C
1	4,08	D

**Dónde:** el proceso de la fermentación:(**1:** día 0; **3:** día 3; **5:** día 5; **7:** día 7 inicio y desarrollo de la fermentación); en el día **9** se realiza el trasiego y sulfitación de la bebida); del día **9-15** días ocurre la post- fermentación. (filtrado, pasterización y embotellado de la bebida); del día **15-90** se lleva a cabo la maduración de la bebida; **Promedio:** 24 determinaciones por día.

La **tabla 21**, muestra las diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ) en el tiempo de fermentación, donde el día 90 se agrupó en el rango A con los valores más bajos de pH con un valor de 2,91, mientras que el día 1 se ubicó en el rango D, con valores más altos de pH con un valor de 4,08. Este patrón coincide con estudios en bebidas de frutas y tuna, donde se ha observado que, con el tiempo, procesos de fermentación y liberación de ácidos desde la matriz vegetal reducen el pH, afectando la estabilidad y la calidad sensorial del producto (Yancallo, 2023).

A continuación, se realizó la prueba de Tukey para comparar el pH de los tratamientos contra los controles y ver si realmente fueron diferentes o iguales a los controles (**Ver, tabla 22**).

**Tabla 22.** Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para pH de la bebida.

Tratamientos	0,05% $ \bar{x}_i - \bar{x}_c $	¿Diferente del control?
Z1-Z2	0,27	*
Z1-T1	0,28	*
Z1-T2	0,43	*
Z1-T3	0,19	*
Z1-T4	0,50	*
Z1-T5	0,32	*
Z1-T6	0,39	*
Z1-T7	0,26	*
Z1-T8	0,47	*
Z2-T1	0,004	NS
Z2-T2	0,15	*
Z2-T3	0,08	NS
Z2-T4	0,22	*
Z2-T5	0,04	NS
Z2-T6	0,11	*
Z2-T7	0,01	NS
Z2-T8	0,19	*

**Dónde:** La bebida evaluada contiene nopal en concentraciones del 30 % y 50 %, comparada con los controles Z1 y Z2. Si la diferencia absoluta entre la media del tratamiento Z1 y Z2  $|\bar{x}_i - \bar{x}_c|$  supera el valor crítico de D (140;0,05) =0,09, se considera que dicho tratamiento presenta una media significativamente diferente respecto a los controles; **NS:** No significativo; \*: Significativo al 0,05%.

Ho:  $|\bar{x}_i - \bar{x}_c|$  los tratamientos son iguales a los controles Z1 y Z2

Ha:  $|\bar{x}_i - \bar{x}_c|$  los tratamientos no son iguales a los controles Z1 y Z2

La **tabla 22**, indica que el pH de las bebidas en la mayoría de los tratamientos fue diferente al de los controles. Sin embargo, en los tratamientos T1: (tuna 30% + mucílago de nopal al 10% + azúcar), T3: (tuna 30% + mucílago de nopal al 5% + azúcar), T5: (tuna 50% + mucílago de nopal al 10% + azúcar) y T7: (tuna 50% + mucílago de nopal al 5% + azúcar), en comparación con el control Z2: (tuna 50% + azúcar), no se observaron diferencias significativas. Este resultado sugirió que la incorporación de mucílago de nopal en combinación con azúcar no modificó de manera sustancial la acidez de la bebida, manteniendo un comportamiento similar al control.

Este hallazgo coincidió con lo reportado por Zapién *et al.* (2023), quienes señalaron que el mucílago de *Opuntia*, posee propiedades estabilizantes que pueden amortiguar cambios en parámetros fisicoquímicos como el pH, debido a su capacidad de formar soluciones coloidales.

#### **11.3.7. Comparación de los Sólidos disueltos totales de la bebida a base de nopal (*Opuntia Ficus-indica*).**

La **tabla 23**, presenta los resultados de un análisis de varianza para un diseño completamente al azar (DCA), aplicado al análisis de los sólidos disueltos totales (TDS) en la bebida durante su proceso de fermentación y maduración. Los factores tratamientos y tiempo (días) mostraron diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ) sobre los TDS, reflejando cambios importantes en la composición físico química de la bebida a lo largo del tiempo.

Asimismo, los factores individuales como A: concentración de tuna, B: concentración mucílago de nopal, C: tipo de endulzante y D: tiempo de fermentación (días), junto con varias de sus interacciones, presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ) en el comportamiento de TDS.

**Tabla 23.** Análisis de varianza de un (DCA) para los TDS de la bebida.

<b>FV</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>F. calculada</b>	<b>Valor p</b>
<b>Total</b>	4,58	209			
<b>Tratamientos</b>	1,78X10 <sup>6</sup>	9	198521	250,15	*
<b>Ddías</b>	1,91X10 <sup>6</sup>	6	318480	401,31	*
<b>Factores</b>					
<b>A: Tuna</b>	46766,70	1	46766,70	47,39	*
<b>B: Mucílago de nopal</b>	25039,30	1	25039,30	25,37	*
<b>C: Endulzante</b>	1,18X10 <sup>6</sup>	1	1,18X10 <sup>6</sup>	1202,79	*
<b>D: Días</b>	1,94X10 <sup>6</sup>	6	323617	327,90	*
<b>A*B</b>	9951,48	1	9951,48	10,08	*
<b>A*C</b>	29653,70	1	29653,70	30,05	*
<b>A*D</b>	52173,40	6	8695,57	8,81	*
<b>B*C</b>	144,85	1	144,85	0,15	NS
<b>B*D</b>	75937,20	6	12656,20	12,82	*
<b>C*D</b>	100662	6	16777	17,00	*
<b>A*B*C</b>	28861,90	1	28861,90	29,24	*
<b>A*B*D</b>	42445,30	6	7074,22	7,17	*
<b>A*C*D</b>	40825,50	6	6804,24	6,89	*
<b>B*C*D</b>	114768	6	19128	19,38	*
<b>A*B*C*D</b>	133239	6	22206,50	22,50	*

**Dónde:** **A:** concentración de tuna; **B:** concentración mucílago de nopal; **C:** tipo de endulzante y **D:** tiempo de fermentación (días); **NS:** No significativo; \* Significativo al 0,05%. **Promedio=** 519,06 ppm. **CV=**5,4%.

Hipótesis nula (H<sub>0</sub>): Los tratamientos son iguales

Hipótesis Alternativa (H<sub>a</sub>): Los tratamientos no son iguales

Para los tratamientos, los factores A: concentración de tuna, B: concentración mucílago de nopal, C: tipo de endulzante y D: tiempo de fermentación (días) y las interacciones, se acato la hipótesis alternativa y se rechazó la hipótesis nula. Los valores de F calculados manifestaron diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ). El promedio de los TDS fue de 519,06 ppm. El coeficiente de variación (CV) fue de 5,4%, este valor reflejo una buena precisión experimental en los datos obtenidos.

Este hallazgo coincidió con lo reportado por Ancuta *et al.* (2021), quien señaló que el tipo de ingrediente y el tiempo de fermentación modifican de manera significativa parámetros como el pH y los sólidos solubles totales en bebidas fermentadas. De manera complementaria, Moreno *et al.* (2022), destacaron que la incorporación de nopal puede alterar la concentración de solutos al modificar la matriz acuosa de la bebida, lo que repercute directamente en los TDS. También, Avalo *et al.* (2023), reportaron que la interacción entre la formulación y las condiciones de proceso puede tener efectos sinérgicos o antagonistas en los sólidos solubles totales y en otras medias de calidad, corroborando que el manejo técnico y la composición de los ingredientes son cruciales para el desarrollo de las propiedades fisicoquímicas de las bebidas.

En conjunto, estos resultados confirmaron que los TDS no solo dependen únicamente de la materia utilizada, sino también de la interacción entre los componentes de las formulaciones y del proceso de fermentación, esto explica las diferencias observadas y la importancia de controlar estos factores para asegurar la calidad del producto.

El análisis de varianza indico que algunos tratamientos fueron diferentes, entonces se utilizó la prueba de Tukey para determinar que tratamientos y que factores fueron iguales entre sí y cuales diferentes (Ver, tablas 24, 25, 26, 27, 28 y 29).

### **11.3.8. Análisis por tratamientos de la bebida**

A continuación, se expone los resultados correspondientes al análisis de los TDS por tratamientos de la bebida.

**Tabla 24.** Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para los TDS de la bebida.

Tratamientos	promedio ( $\bar{x}$ )	Rangos
Z2	399,85	A
T7	444,14	B
T3	448,16	
Z1	458,81	
T1	459,90	BC
T5	477,52	C
T4	562,64	D
T2	629,52	E
T6	647,85	EF
T8	663,19	F

**Dónde:** T: tratamientos (T1–T8); T1: (Tuna al 30% + mucílago de nopal al 10% + azúcar); T2: (Tuna al 30% + mucílago de nopal al 10% + panela); T3: (Tuna al 30% + mucílago de nopal al 5% + azúcar); T4: (Tuna al 30% + mucílago de nopal al 5% + panela); T5: (Tuna al 50% + mucílago de nopal al 10% + azúcar); T6: (Tuna al 50% + mucílago de nopal al 10% + panela); T7: (Tuna al 50% + mucílago de nopal al 5% + azúcar); T8: (Tuna al 50% + mucílago de nopal al 5% + panela); Z1: (Control tuna al 30% + azúcar); Z2: (Control tuna al 50% + azúcar); **Promedio:** 21 determinaciones por tratamiento.

La **tabla 24**, muestra las diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ), entre los tratamientos y controles evaluados. El tratamiento Z2: (tuna 50% + azúcar) presentó el valor más bajo de TDS ubicado en el rango A con un valor de 399,85 ppm, mientras que el tratamiento T8: (tuna 50% + mucílago de nopal al 5% + panela) alcanzó el valor más alto de 663,19 ppm en TDS, ubicando en el rango F, respectivamente. Esta diferencia indica que las combinaciones de tuna, mucílago de nopal y endulzante ejercen efectos contrastantes sobre la concentración de solutos. Según Ticsihua & Orejon (2022), determinó que, en bebidas fermentadas con tuna blanca y aguaymanto, también se ha reportado que la interacción entre ingredientes modifica de manera significativa los sólidos disueltos totales y la densidad.

**Tabla 25.** Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para los TDS por días de la bebida.

Días	promedio ( $\bar{x}$ )	Rangos
90	327,60	A
15	438,06	B
1	534,20	C
3	544,80	CD
7	562,63	D
9	610,40	
5	615,73	E

**Dónde:** el proceso de la fermentación:(**1:** día 0; **3:** día 3; **5:** día 5; **7:** día 7 inicio y desarrollo de la fermentación); en el día **9** se realiza el trasiego y sulfitación de la bebida); del día **9-15** días ocurre la post- fermentación. (filtrado, pasterización y embotellado de la bebida); del día **15-90** se lleva a cabo la maduración de la bebida; **Promedio:** 30 determinaciones por día.

La **tabla 25**, muestra las diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ), confirmando que el tiempo de fermentación influyó en los TDS. El día 90 se ubicó en el rango A, con valores más bajos de 327,60 ppm, mientras que el día 5 se situó en el rango E, con un valor de 615,73 ppm, siendo este el más alto. Este comportamiento sugiere un cambio progresivo de los sólidos disueltos conforme avanza el tiempo de fermentación, probablemente por procesos de concentración, hidrólisis de polisacáridos o liberación de solutos desde la matriz vegetal (Mayorga, 2023).

### 11.3.9. Análisis por factores de la bebida

Se muestra los resultados del análisis de los sólidos solubles por factores, destacando el impacto individual de cada variable sobre las características de la bebida.

**Tabla 26.** Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para los TDS por la concentración de tuna de la bebida.

Concentración de tuna (A)	Promedio ( $\bar{x}$ )	Rangos
1	524,81	A
2	558,17	B

**Dónde:** **1:** bebida con tuna al 30% y **2:** bebida con tuna al 50%; **Promedio:** 84 determinaciones de la concentración de tuna.

La **tabla 26**, detalla las diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ) en la concentración 1: (tuna al 30%) se ubicó en el rango A, con el valor más bajo de 524,81 ppm, mientras que la concentración 2: (tuna al 50%) se situó en el rango B, con el valor más alto de 558,17 ppm. Esto indica que al aumentar la proporción de tuna en la formulación incrementó el contenido de TDS, en concordancia con lo reportado por López (2022), quien observó que la incorporación de pulpa de tuna blanca eleva los sólidos solubles totales en bebidas fermentadas.

**Tabla 27.** Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para los TDS por la concentración del mucílago de nopal de la bebida.

Concentración mucílago de nopal (B)	Promedio ( $\bar{x}$ )	Rangos
2	529,28	A
1	553,70	B

**Dónde:** 1: bebida con mucílago de nopal al 10% y 2: bebida con mucílago de nopal al 5%; **Promedio:** 84 determinaciones de la concentración de mucílago de nopal.

La **tabla 27**, describe las diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ) en la concentración 2: (mucílago de nopal al 5%) se ubicó en el rango A, con un valor bajo de 529,28 ppm, mientras la concentración 1: (mucílago de nopal al 10%) se situó en el rango B con un valor alto de 553,70 ppm. Esto sugiere que una mayor proporción de mucílago de nopal influyó parcialmente los sólidos disueltos totales o aportar componentes menos solubles. Esto ha sido descrito Morán *et al.* (2015), quienes señalaron que el incremento de fibra y mucílagos de nopal reduce la concentración relativa de azúcares en bebidas fermentadas.

**Tabla 28.** Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para los TDS por el tipo de endulzante de la bebida.

Tipo de endulzante (C)	Promedio ( $\bar{x}$ )	Rangos
1	457,43	A
2	625,55	B

**Dónde:** tipo de endulzante 1: Azúcar y tipo de endulzante 2: Panela; **Promedio:** 84 determinaciones por el tipo de endulzante.

La **tabla 28**, muestra las diferencias significativas ( $p < 0,05$ ), indicando que el tipo de endulzante influyó directamente en los sólidos disueltos totales. El endulzante 1: (azúcar) se agrupó en el rango A, con un valor más bajo de 457,43 ppm, mientras que el endulzante 2: (panela) se ubicó en el rango B, con un valor más alto de 625,55 ppm. Estos resultados confirmaron que la panela incrementó significativamente los sólidos disueltos totales en comparación con el azúcar refinado, lo cual se relaciona con su composición más compleja que incluye minerales, melanoidinas y compuestos reductores que permanecen en la matriz tras el proceso de elaboración.

Este comportamiento coincidió con lo señalado por Muhammad & Haerussana. (2023), quien destacó que la adición de sacarosa u otros edulcorantes influye directamente en los sólidos disueltos totales y en la percepción sensorial del producto. De forma complementaria, se evidenció en investigaciones comparativas de bebidas endulzadas que la panela, por ser un azúcar integral no refinado, proporciona una mayor cantidad de sólidos disueltos. Esto se debe a que tiene compuestos adicionales como calcio, hierro y potasio, además de residuos de melaza que incrementa tanto la densidad y el contenido soluble de la bebida. En contraste, el azúcar refinado, que se compone sobre todo de sacarosa pura, produce valores de TDS más bajos porque no contiene estos componentes.

**Tabla 29.** Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para los TDS por días de la bebida.

Días	Promedio ( $\bar{x}$ )	Rangos
90	314,33	A
15	465,50	B
1	566,00	C
3	574,20	C
7	590,70	C
9	633,33	D
5	646,37	D

**Dónde:** el proceso de la fermentación:(**1:** día 0; **3:** día 3; **5:** día 5; **7:** día 7 inicio y desarrollo de la fermentación); en el día **9** se realiza el trasiego y sulfitación de la bebida); del día **9-15** días ocurre la post- fermentación. (filtrado, pasterización y embotellado de la bebida); del día **15-90** se lleva a cabo la maduración de la bebida; **Promedio:** 24 determinaciones por día.

La **tabla 29**, detalla las diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ) en los TDS a lo largo de la fermentación (días). El día 90 se ubicó en el rango A, con el valor más bajo de 314,33 ppm, mientras que el día 5 se situó en el rango D con un valor de 646,37 ppm, asociados a los valores más altos. Esto coincide con estudios en bebidas de frutas y tuna, donde se ha observado que, con el tiempo, procesos de concentración y liberación de solutos desde la matriz vegetal elevan el contenido de sólidos disueltos, tal como lo documenta (Yancallo, 2023).

A continuación, se realizó la prueba de Tukey para comparar los TDS de los tratamientos contra los controles y ver si realmente fueron diferentes o iguales a los controles (**Ver, tabla 30**).

**Tabla 30.** Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para TDS de la bebida.

Tratamientos	0,05%	¿Diferente del control?
	$ \bar{x}_i - \bar{x}_c $	
Z1-Z2	58,95	*
Z1-T1	1,09	NS
Z1-T2	170,71	*
Z1-T3	10,64	NS
Z1-T4	102,83	*
Z1-T5	18,71	NS
Z1-T6	189,04	*
Z1-T7	14,66	NS
Z1-T8	204,38	*
Z2-T1	60,04	*
Z2-T2	229,66	*
Z2-T3	48,30	*
Z2-T4	161,78	*
Z2-T5	77,66	*
Z2-T6	248,00	*
Z2-T7	44,28	*
Z2-T8	263,33	*

**Dónde:** La bebida evaluada contiene nopal en concentraciones del 30 % y 50 %, comparada con los controles Z1 y Z2. Si la diferencia absoluta entre la media del tratamiento Z1 y Z2  $|\bar{x}_i - \bar{x}_c|$  supera el valor crítico de D (140;0,05) = 27,95 se considera que dicho tratamiento presenta una media significativamente diferente respecto a los controles; **NS:** No hay diferencia significativa; \* Si hay diferencia significativa.

H<sub>0</sub>:  $|\bar{x}_i - \bar{x}_c|$  los tratamientos son iguales a los controles Z1 y Z2

H<sub>a</sub>:  $|\bar{x}_i - \bar{x}_c|$  los tratamientos no son iguales a los controles Z1 y Z2

Los sólidos disueltos totales de la bebida en la mayoría de los tratamientos presentaron diferencias significativas ante a los controles. No obstante, los tratamientos T1: (tuna 30% + mucílago de nopal al 10% + azúcar), T3: (tuna 30% + mucílago de nopal al 5% + azúcar), T5: (tuna 50% + mucílago de nopal al 10% + azúcar), y T7: (tuna 50% + mucílago de nopal al 5% + azúcar), no mostraron diferencias significativas frente al control Z1: (control solo tuna al 30% + azúcar), con valores de 1,09 ppm; 10,64 ppm; 18,71 ppm y 14,66 ppm,

En contraste la mayoría de formulaciones de la bebida modificaron de manera importante los sólidos disueltos totales respecto al control Z2: (control solo tuna al 50%+ azúcar), lo que puede traducirse en cambios perceptibles en el dulzor, cuerpo o densidad de la bebida. lo que los convierte en alternativas viables cuando se busca añadir nopal sin alterar significativamente esta característica tecnológica. Leonela *et al.* (2018), destacaron que la incorporación de ingredientes vegetales puede alterar los sólidos disueltos totales por la presencia de polisacáridos, azúcares y compuestos bioactivos.

#### **11.3.10. Comparación de la conductividad de la bebida a base de nopal (*Opuntia Ficus-indica*).**

La **tabla 31**, presenta los resultados de un análisis de varianza para un diseño completamente al azar (DCA), aplicado al análisis de la conductividad en la bebida durante su proceso de fermentación y maduración. Los factores evaluados tratamientos y días de fermentación mostraron diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ) sobre la conductividad.

Así mismo los factores individuales como A: concentración de tuna, B: concentración mucílago de nopal, C: tipo de endulzante y D: tiempo de fermentación y maduración (días), junto con la mayoría de sus interacciones, mostraron diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ), en el comportamiento de la conductividad. Evidenciando que la variación de la conductividad no depende de un solo factor, sino también de la combinación de estos.

**Tabla 31.** Análisis de varianza de un (DCA) para la conductividad de la bebida.

<b>FV</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>F. calculada</b>	<b>Valor p</b>
<b>Total</b>	6,38X10 <sup>7</sup>	209			
<b>Tratamientos</b>	7,39X10 <sup>6</sup>	9	821161	3,46	*
<b>Días</b>	7,88X10 <sup>6</sup>	6	1,31X10 <sup>6</sup>	5,54	*
<b>Factores</b>					
<b>A: Tuna</b>	26752,40	1	26752,4	7,57	*
<b>B: Mucílago de nopal</b>	269761	1	269761	76,28	*
<b>C: Endulzante</b>	3,84X10 <sup>6</sup>	1	3,84X10 <sup>6</sup>	1087,93	*
<b>D: Días</b>	8,25X10 <sup>6</sup>	6	1,35X10 <sup>6</sup>	389,01	*
<b>A*B</b>	18606,1	1	18606,1	5,26	*
<b>A*C</b>	55626,5	1	55626,5	15,73	*
<b>A*D</b>	177251	6	29541,8	8,35	*
<b>B*C</b>	119094	1	119094,	33,68	*
<b>B*D</b>	190036	6	31672,6	8,96	*
<b>C*D</b>	681749	6	113625,	32,13	*
<b>A*B*C</b>	5248,34	1	5248,34	1,48	NS
<b>A*B*D</b>	93452,2	6	15575,4	4,40	*
<b>A*C*D</b>	435698	6	72616,3	20,53	*
<b>B*C*D</b>	285293	6	47548,8	13,45	*
<b>A*B*C*D</b>	592846	6	98807,6	27,94	*

**Dónde:** **A:** concentración de tuna; **B:** concentración mucílago de nopal; **C:** tipo de endulzante y **D:** tiempo de fermentación (días); **NS:** No significativo; \*: Significativo al 0,05%. **Promedio**= 1101 (mS/cm). **CV**=1,4%.

Hipótesis nula (H<sub>0</sub>): Los tratamientos son iguales

Hipótesis Alternativa (H<sub>a</sub>): Los tratamientos no son iguales

Para los tratamientos, los factores A: concentración de tuna, B: concentración mucílago de nopal, C: tipo de endulzante y D: tiempo de fermentación (días), y las interacciones, se aceptó la hipótesis alternativa y se rechazó la hipótesis nula. Los valores de F calculados manifestaron diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ). El promedio fue de 1101 mS/cm. El coeficiente de variación (CV) fue de 1,4%, este valor reflejó una buena precisión experimental, en los datos obtenidos.

Estos hallazgos guardan coherencia con investigaciones previas en bebidas fermentadas. Por ejemplo, Rodríguez (2022) demostró que tanto el tipo de ingrediente como el tiempo de conservación influyen en los parámetros como el pH y la conductividad, efecto que podría atribuirse a la presencia de mucílago, minerales (calcio, magnesio) y fibra soluble del nopal. En la misma línea, Leal (2025) indicó que el nopal tiene la capacidad de cambiar la conductividad al modificar la matriz acuosa y el equilibrio iónico.

Fernández (2019) también informó que la interacción entre la formulación de bebidas de nopal y las condiciones de proceso puede tener un impacto sinérgico o antagónico sobre la conductividad, el pH y los sólidos solubles totales. Es importante señalar que la conductividad, dado que está relacionada con la concentración de solutos y electrolitos es un parámetro esencial para el diseño de bebidas que tengan propiedades rehidratantes (Moreira & Sacón, 2024).

El análisis de varianza indicó que algunos tratamientos fueron diferentes, entonces se utilizó la prueba de Tukey para determinar que tratamientos y que factores fueron iguales entre sí y cuales diferentes (Ver, tablas **32,33, 34, 35, 36 y 37**).

#### **11.3.11. Análisis por tratamientos de la bebida**

Se expone los resultados correspondientes al análisis de la conductividad por tratamientos de la bebida.

**Tabla 32.** Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para la conductividad de la bebida.

Tratamientos	promedio ( $\bar{x}$ )	Rangos
<b>Z2</b>	768,71	A
<b>T7</b>	945,52	AB
<b>T3</b>	966,54	
<b>T5</b>	982,28	
<b>T1</b>	983,57	
<b>T4</b>	1190,74	
<b>T8</b>	1220,14	
<b>Z1</b>	1278,76	B
<b>T2</b>	1291,90	
<b>T6</b>	1385,76	

**Dónde:** **T:** tratamientos (T1–T8); **T1:** (Tuna al 30% + mucílago de nopal al 10% + azúcar); **T2:** (Tuna al 30% + mucílago de nopal al 10% + panela); **T3:** (Tuna al 30% + mucílago de nopal al 5% + azúcar); **T4:** (Tuna al 30% + mucílago de nopal al 5% + panela); **T5:** (Tuna al 50% + mucílago de nopal al 10% + azúcar); **T6:** (Tuna al 50% + mucílago de nopal al 10% + panela); **T7:** (Tuna al 50% + mucílago de nopal al 5% + azúcar); **T8:** (Tuna al 50% + mucílago de nopal al 5% + panela); **Z1:** (Control tuna al 30% + azúcar); **Z2:** (Control tuna al 50% + azúcar); **Promedio:** 21 determinaciones por tratamiento.

La **tabla 32**, muestra las diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ) entre los tratamientos evaluados. Control Z2: (tuna 50% + azúcar), se situó en el rango A con el valor más bajo de conductividad con un valor de 768,71 mS/cm, mientras que el control Z1: (Tuna 30 % + azúcar), los tratamientos T2: (Tuna al 30% + mucílago de nopal al 10% + panela) y T6: (tuna 50% + mucílago de nopal al 10% + panela) se situaron en el rango B, con los valores más altos de conductividad van de 1278,76 mS/cm-1385,76 mS/cm. Las combinaciones de tuna, mucílago de nopal y endulzante influyeron en la conductividad de la bebida. Estudios como el de Mora & Ullcu (2024), en bebidas isotónicas con extracto de tuna también reportan que la interacción entre ingredientes modifica significativamente la conductividad por su aporte de electrolitos y sales minerales.

**Tabla 33.** Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para la conductividad por días de la bebida.

Días	promedio ( $\bar{x}$ )	Rangos
90	648,66	A
3	1099,80	B
15	1118,70	
7	1129,37	
1	1214,80	
5	1239,17	
9	1259,27	

**Dónde:** el proceso de la fermentación:(**1:** día 0; **3:** día 3; **5:** día 5; **7:** día 7 inicio y desarrollo de la fermentación); en el día **9** se realiza el trasiego y sulfitación de la bebida); del día **9-15** días ocurre la post- fermentación. (filtrado, pasterización y embotellado de la bebida); del día **15-90** se lleva a cabo la maduración de la bebida; **Promedio:** 30 determinaciones por día.

La **tabla 33**, muestra las diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ) lo que confirma que el tiempo de fermentación (días) influyó en la conductividad. El día 90 se ubicó en el rango A, con el valor más bajo de conductividad con un valor de 648,66 mS/cm, mientras que durante los días (1-15) se situaron en el rango B, con los valores más altos de 1099.80 -1259,27 mS/cm. Esto se da por el tiempo de conservación que afecta a la actividad iónica y la capacidad de conducción eléctrica de la bebida de nopal.

Estos hallazgos coinciden con Quishpi (2021), quien menciona que el descenso de la conductividad con el tiempo refleja la dinámica de los electrolitos y solutos presentes en la bebida fermentada de nopal. Al inicio del proceso, la matriz es rica en iones y compuestos solubles, lo que eleva la conductividad. Sin embargo, conforme avanza la maduración, los procesos de consumo microbiano, la precipitación de minerales y la estabilización de la matriz acuosa reducen la concentración de especies cargadas, generando valores más bajos de conductividad. Este comportamiento ha sido documentado en estudios sobre fermentación de nopal, donde se señala que la actividad microbiana y la transformación de compuestos solubles afectan directamente la disponibilidad iónica y la capacidad de conducción eléctrica de la bebida.

### 11.3.12. Análisis por factores de la bebida

Se muestran los resultados del análisis de la conductividad por factores, destacando el impacto individual de cada variable sobre las características de la bebida.

**Tabla 34.** Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para la conductividad por la concentración de tuna de la bebida.

Concentración de tuna (A)	Promedio ( $\bar{x}$ )	Rangos
1	1108,19	A
2	1133,43	B

**Dónde:** 1: bebida con tuna al 30% y 2: bebida con tuna al 50%; **Promedio:** 84 determinaciones de la concentración de tuna.

La **tabla 34**, presenta las diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ) en la conductividad la concentración 1: (tuna al 30%) se ubicó en el rango A, con un valor de conductividad más bajo de 1108,19 mS/cm, mientras que la concentración 2: (tuna 50%) se posicionó en el rango B, alcanzando una conductividad más alta con un valor de 1133,43 mS/cm.

Este incremento sugiere que una mayor concentración de tuna favorece la presencia de electrolitos como potasio y magnesio, lo que mejora la capacidad de conducción eléctrica. Investigaciones como las de Rodríguez (2022), respaldan que la tuna posee un perfil mineral (K, Mg), vitamina C y otros antioxidantes que puede potenciar la funcionalidad de bebidas rehidratantes. Este tipo de análisis es clave en el desarrollo de productos orientados al soporte metabólico, ya que la conductividad refleja la disponibilidad de iones activos, esenciales para la recuperación energética y la percepción sensorial.

**Tabla 35.** Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para la conductividad por la concentración del mucílago de nopal de la bebida.

Concentración mucílago de nopal (B)	Promedio ( $\bar{x}$ )	Rangos
2	1080,74	A
1	1160,88	B

**Dónde:** 1: bebida con mucílago de nopal al 10% y 2: bebida con mucílago de nopal al 5%; **Promedio:** 84 determinaciones de la concentración de mucílago de nopal.

La **tabla 35**, muestra las diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ) en la conductividad la concentración 2: (mucílago de nopal al 5%) se ubicó en el rango A, con un valor de 1080,74 mS/cm, mientras la concentración 1: (mucílago de nopal al 10%) presentó un valor de 1160,88 mS/cm, posicionándose en el rango B. El incremento en la concentración del mucílago de nopal aumento la conductividad, posiblemente por la liberación de minerales atrapados en la matriz coloidal. Según Molina *et al.* (2023), el nopal, a pesar de rico en mucílagos, tiene además electrolitos que pueden activarse durante el procesamiento.

**Tabla 36.** Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para la conductividad por el tipo de endulzante de la bebida.

Tipo de endulzante (C)	Promedio ( $\bar{x}$ )	Rangos
1	969,48	A
2	1272,14	B

**Dónde:** tipo de endulzante 1: Azúcar y tipo de endulzante 2: Panela; **Promedio:** 84 determinaciones por el tipo de endulzante.

La **tabla 36**, detalla las diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ) en la conductividad según el tipo de endulzante. El endulzante 1: (azúcar) se ubicó en el rango A, con un resultado de 969,48 mS/cm, mientras que el endulzante 2: (panela) alcanzó 1272,14 mS/cm, posicionándose en el rango B. Este resultado confirma que la panela, al contener minerales como calcio, hierro y potasio, aporta significativamente a la conductividad del sistema. Medina *et al.* (2017), destaca que los endulzantes no refinados pueden mejorar la funcionalidad nutricional de las bebidas, especialmente en formulaciones orientadas a la rehidratación. La elección del endulzante no solo influye en el perfil sensorial, sino también en la capacidad de la conductividad lo que debe ser considerado en el desarrollo de productos con propiedades isotónicas.

**Tabla 37.** Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para conductividad por factores días la bebida

Días	Promedio ( $\bar{x}$ )	Rangos
90	665,58	A
15	933,00	B
3	1164,63	C
7	1186,29	
1	1286,33	
5	1303,00	D
9	1306,83	

**Dónde:** el proceso de la fermentación:(**1:** día 0; **3:** día 3; **5:** día 5; **7:** día 7 inicio y desarrollo de la fermentación); en el día **9** se realiza el trasiego y sulfitación de la bebida); del día **9-15** días ocurre la post- fermentación. (filtrado, pasterización y embotellado de la bebida); del día **15-90** se lleva a cabo la maduración de la bebida; **Promedio:** 24 determinaciones.

La **tabla 37**, presenta las diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ) que confirman que el tiempo de fermentación influye en la conductividad eléctrica de la bebida. El día 90 se ubicó en el rango A, con el valor más bajo de 665,58 mS/cm, mientras que los días 1,5 y 9 se ubicó en el en rango D con los valores más altos que oscilaron entre 1286,33 mS/cm- 1306,83 mS/cm. Esta tendencia sugiere que la actividad iónica es más intensa en los primeros días, posiblemente por la liberación de electrolitos durante la fermentación inicial. Quishpi (2021) menciona que en bebidas con nopal respaldan esta observación, indicando que el tiempo de conservación puede modificar la disponibilidad de iones y la funcionalidad del producto. Este tipo de análisis es esencial en el diseño de bebidas fermentadas, ya que la conductividad está directamente relacionada con la percepción sensorial, la estabilidad del sistema y el aporte nutricional (Quishpi, 2021).

A continuación, se realizó la prueba de Tukey para comparar la conductividad de todos los tratamientos contra dos controles y ver si realmente fueron diferentes o iguales a los controles (**Ver, tabla 38**).

**Tabla 38.** Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para la conductividad de la bebida.

Tratamientos	0,05% $ \bar{x}_i - \bar{x}_c $	¿Diferente del control?
<b>Z1-Z2</b>	510,04	*
<b>Z1-T1</b>	295,19	NS
<b>Z1-T2</b>	13,14	NS
<b>Z1-T3</b>	312,21	NS
<b>Z1-T4</b>	88,02	NS
<b>Z1-T5</b>	296,47	NS
<b>Z1-T6</b>	107,00	NS
<b>Z1-T7</b>	333,23	NS
<b>Z1-T8</b>	58,61	NS
<b>Z2-T1</b>	214,85	NS
<b>Z2-T2</b>	523,19	*
<b>Z2-T3</b>	197,83	NS
<b>Z2-T4</b>	422,02	NS
<b>Z2-T5</b>	213,57	NS
<b>Z2-T6</b>	617,04	*
<b>Z2-T7</b>	176,81	NS
<b>Z2-T8</b>	451,42	NS

**Dónde:** La bebida evaluada contiene nopal en concentraciones del 30 % y 50 %, comparada con los controles Z1 y Z2. Si la diferencia absoluta entre la media del tratamiento Z1 y Z2  $|\bar{x}_i - \bar{x}_c|$  supera el valor crítico de D (140;0,05) = 483,25 se considera que dicho tratamiento presenta una media significativamente diferente respecto a los controles; **NS:** No hay diferencia significativa; **\***: Si hay diferencia significativa.

Ho:  $|\bar{x}_i - \bar{x}_c|$  los tratamientos son iguales a los controles Z1 y Z2

Ha:  $|\bar{x}_i - \bar{x}_c|$  los tratamientos no son iguales a los controles Z1 y Z2

La mayoría de formulaciones de la bebida no presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ) en la conductividad respecto a los controles. Ramírez (2018), sugiere que, aunque el nopal aporta fibra y mucílago, su efecto sobre la actividad iónica puede ser más limitado o dependiente de la interacción con otros ingredientes. Sin embargo, los tratamientos T2: (tuna 30% + mucílago de nopal al 10% + panela) y T6: (tuna 50% + mucílago de nopal al 10% + panela), fueron diferentes al control Z2 (tuna 50% + azúcar).

El hecho de que la mayoría de formulaciones con nopal no difieran de los controles indica que el efecto del mucílago de nopal sobre la conductividad es dependiente de la matriz. Cuando se combina con panela, se introducen minerales (como calcio, potasio, magnesio) y compuestos orgánicos adicionales que, junto con el mucílago, alteran la disponibilidad y movilidad de los iones (Daboin *et al.*, 2023).

En cambio, con azúcar refinada, la ausencia de estos componentes limita la interacción y, por ende, la variación en la conductividad. La conductividad no depende únicamente del nopal, sino de la sinergia entre ingredientes y del tipo de azúcares presentes en la formulación. Esto refuerza la idea de que la matriz alimentaria es determinante en la expresión de propiedades fisicoquímicas (Costa *et al.*, 2024).

### **11.3.13. Comparación de los grados alcohólicos de la bebida a base de nopal (*Opuntia Ficus-indica*).**

La **tabla 39**, presenta los resultados de un análisis de varianza para un diseño completamente al azar (DCA), aplicado al análisis del contenido de alcohol en la bebida durante su proceso de fermentación y maduración. Los factores, tratamientos y días presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ), reflejando cambios importantes en la actividad fermentativa a lo largo del tiempo.

Así mismo los factores individuales como A: concentración de tuna y D: tiempo de fermentación (días) presentó diferencias significativas de forma individual, lo que indica que la concentración del grado alcohólico no depende únicamente de los factores, sino también que fue influenciada por del tiempo.

**Tabla 39.** Análisis de varianza de un (DCA) para el grado alcohólico de la bebida.

FV	SC	GL	CM	F. calculada	Valor p
<b>Total</b>	5601,28	209			
<b>Tratamientos</b>	586,13	9	65,12	43,28	*
<b>Días</b>	3746,31	6	624,38	414,94	*
<b>Factores</b>					
<b>A: Tuna</b>	14,29	1	14,29	7,65	*
<b>B: Mucílago de nopal</b>	1,33	1	1,33	0,72	NS
<b>C: Endulzante</b>	4,33	1	4,33	2,32	NS
<b>D: Días</b>	2309,07	6	384,84	205,90	*
<b>A*B</b>	1,00	1	1,00	0,54	NS
<b>A*C</b>	3,14	1	3,14	1,68	NS
<b>A*D</b>	53,3	6	8,91	4,77	*
<b>B*C</b>	2,62	1	2,62	1,40	NS
<b>B*D</b>	34,78	6	5,79	3,10	*
<b>C*D</b>	538,78	6	89,79	48,04	*
<b>A*B*C</b>	3,14	1	3,14	1,68	NS
<b>A*B*D</b>	20,11	6	3,35	1,79	NS
<b>A*C*D</b>	29,64	6	4,94	2,64	*
<b>B*C*D</b>	13,5	6	2,25	1,20	NS
<b>A*B*C*D</b>	66,30	6	11,05	5,91	*

**Dónde:** **A:** concentración de tuna; **B:** concentración mucílago de nopal; **C:** tipo de endulzante y **D:** tiempo de fermentación (días); **NS:** No significativo; **\***: Significativo al 0,05%. **Promedio**= 14,62 % v/v. **CV**=8,4%

Hipótesis nula (H<sub>0</sub>): Los tratamientos son iguales

Hipótesis Alternativa (H<sub>a</sub>): Los tratamientos no son iguales

Para los tratamientos, los factores A: concentración de tuna y D: tiempo de fermentación (días), así como varias de sus interacciones, se aceptó la hipótesis alternativa y se rechazó la hipótesis nula. Los valores de F calculados presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ). El promedio del grado alcohólico fue de 14,62% v/v en la bebida. El coeficiente de variación (CV) varió un 8,4%, lo que refleja una buena precisión experimental en los datos obtenidos. Este comportamiento puede atribuirse al aporte de azúcares fermentables, ácidos orgánicos y compuestos bioactivos presentes en la tuna, los cuales favorecen el metabolismo microbiano durante la fermentación. Este resultado coincide con lo reportado por Mora & Ullcu (2024), quienes observaron que la incorporación de tuna en bebidas isotónicas incrementa los grados alcohólicos gracias a su perfil nutricional.

Asimismo, se evidenció que el tiempo de fermentación influyó en el grado alcohólico. En otros estudios, definieron que la relación entre los grados alcohólicos y el tiempo de fermentación en el nopal es directamente proporcional hasta cierto punto: a medida que pasa el proceso, los microorganismos transforman los azúcares presentes en el tejido del nopal en etanol, lo que incrementa la graduación alcohólica; sin embargo, este aumento no es indefinido, ya que al alcanzar una concentración elevada de alcohol se inhibe la actividad microbiana y el proceso se estabiliza o incluso decae, por lo que el tiempo óptimo de fermentación debe balancear la máxima producción de alcohol con la conservación de compuestos bioactivos y la calidad sensorial del producto (Huaman & Montalvo, 2022). Asimismo, Rodríguez (2022), quien al evaluar bebidas con quinua y estevia encontró que la duración del proceso afecta la evolución de la fermentación y la estabilidad de los compuestos fermentables.

Se observó diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ) en las interacciones sugiriendo que la respuesta no depende únicamente de cada factor de forma aislada, sino también de cómo se combinan entre sí. Fernández (2019) documentó que la interacción entre formulación condiciones de proceso puede generar efectos sinérgicos o antagónicos sobre parámetros como el grado alcohólico, el pH y los sólidos solubles totales, respaldando la importancia de considerar estas interacciones en el diseño de productos.

El análisis de varianza indicó que algunos tratamientos fueron diferentes, por lo que se utilizó la prueba de Tukey para determinar qué tratamientos fueron iguales entre sí y cuáles diferentes (Ver, tablas **40**, **41**, **42** y **43**).

### 11.3.14. Análisis de tratamientos de la bebida

Se expone los resultados correspondientes al análisis del grado alcohólico por tratamientos de la bebida.

**Tabla 40.** Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para el grado alcohólico de la bebida.

Tratamientos	promedio ( $\bar{x}$ )	Rangos
T3	13,28	A
T2	13,57	AB
T4	13,76	ABC
T8	13,95	
T6	14,00	
T1	14,14	BC
T5	14,57	
T7	14,57	C
Z2	14,95	D
Z1	19,42	

**Dónde:** T: tratamientos (T1–T8); T1: (Tuna al 30% + mucílago de nopal al 10% + azúcar); T2: (Tuna al 30% + mucílago de nopal al 10% + panela); T3: (Tuna al 30% + mucílago de nopal al 5% + azúcar); T4: (Tuna al 30% + mucílago de nopal al 5% + panela); T5: (Tuna al 50% + mucílago de nopal al 10% + azúcar); T6: (Tuna al 50% + mucílago de nopal al 10% + panela); T7: (Tuna al 50% + mucílago de nopal al 5% + azúcar); T8: (Tuna al 50% + mucílago de nopal al 5% + panela); Z1: (Control tuna al 30% + azúcar); Z2: (Control tuna al 50% + azúcar); **Promedio:** 21 determinaciones por tratamientos.

La **tabla 40**, muestra las diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ) entre los tratamientos y controles evaluados. El tratamiento T3: (tuna al 30% + mucílago de nopal al 5% + azúcar), se ubicó en el rango A, con el valor más bajo de alcohol 13,28% v/v, mientras que el control Z1: (tuna al 30% + azúcar), se situó en el rango D, con el valor más alto de alcohol 19,42% v/v. Estudios como el de Mora & Ullcu (2024), en bebidas fermentadas con frutas tropicales, reportan que la interacción entre ingredientes modifica significativamente el grado alcohólico por su aporte de compuestos fermentables y moduladores de la fermentación.

Los tratamientos con tuna y azúcar como Z1: (Tuna al 30% + azúcar) presentaron mayor grado alcohólico porque la matriz es rica en azúcares simples, fácilmente fermentables por las levaduras. En cambio, cuando se incorpora mucílago de nopal como en T3 (Tuna al 30% +

mucílago de nopal al 5% + azúcar), la disponibilidad de sustratos fermentables disminuye y la fermentación se ve modulada, resultando en un menor contenido de alcohol. Así mismo, Vallejo (2023), demostró que el tipo de vegetal y su combinación con azúcares simples puede alterar la cinética fermentativa y el grado alcohólico.

**Tabla 41.** Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para el grado alcohólico por días de la bebida.

Días	promedio ( $\bar{x}$ )	Rangos
3	12,10	A
5	12,10	
9	12,36	
15	12,36	
7	12,46	
1	16,70	B
90	24,26	C

**Dónde:** el proceso de la fermentación: (1: día 0; 3: día 3; 5: día 5; 7: día 7 inicio y desarrollo de la fermentación); en el día 9 se realiza el trasiego y sulfitación de la bebida); del día 9-15 días ocurre la post- fermentación. (filtrado, pasterización y embotellado de la bebida); del día 15-90 se lleva a cabo la maduración de la bebida. **Promedio:** 30 determinaciones por día.

La **tabla 41**, presenta las diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ) entre los tratamientos y controles evaluados. El tiempo de fermentación influye significativamente en el grado alcohólico. Los días (3-15) se ubicaron en el rango A, con los valores de grados alcohólicos más bajos entre 12,10-12,46% v/v, mientras que el día 90 se situó en el rango C, con el valor más alto de grados alcohólicos 24,26% v/v.

El aumento del grado alcohólico en la fase de maduración (día 90) se debe a que las levaduras completan la fermentación de los azúcares disponibles y, al mismo tiempo, la reducción de agua y la estabilización del medio potencian la concentración de etanol. Este fenómeno es común en bebidas fermentadas de nopal y otras frutas, donde la prolongación del tiempo de maduración intensifica tanto la graduación alcohólica como las características organolépticas del producto. Cabe resaltar que en el día 9 se llevó a cabo sulfitación, el trasiego y la corrección de azúcar, lo que posibilitó la adecuación del sustrato fermentable y el mantenimiento del proceso. Este procedimiento garantiza que las levaduras cuenten con suficientes nutrientes suficientes para conservar su actividad y favorece un aumento notable en los grados alcohólicos durante la fase

de maduración. De acuerdo con, Alcalá *et al.* (2024) la acumulación de etanol en el proceso de producción de la bebida se eleva notablemente durante la fase de maduración, lo que demuestra que el tiempo de fermentación y almacenamiento son factores claves para obtener grados alcohólicos más elevados y para optimizar la calidad sensorial de la bebida. Así, los resultados obtenidos en este estudio se alinean con investigaciones previas, reforzando la idea de que la maduración prolongada constituye una estrategia tecnológica clave para optimizar tanto la graduación alcohólica como la aceptación del producto final.

En otras investigaciones de bebidas fermentadas, Cerero *et al.* (2022), menciona que, en bebidas tradicionales mexicanas, respaldan esta tendencia, señalando que el tiempo de fermentación puede modificar la actividad enzimática y el grado alcohólico, observaron que, en bebidas con base de quinua y frutas andinas, el tiempo de fermentación fue determinante en la evolución del grado alcohólico y en la estabilidad.

### 11.3.15. Análisis por los factores de la bebida

Se muestra los resultados del análisis del grado alcohólico por factores, destacando el impacto individual de cada variable sobre las características de la bebida.

**Tabla 42.** Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para el grado alcohólico de la concentración de tuna de la bebida.

Concentración de Tuna (A)	Promedio ( $\bar{x}$ )	Rangos
1	13,69	A
2	14,27	B

**Dónde:** 1: bebida con tuna al 30% y 2: bebida con tuna al 50%. **Promedio:** 84 determinaciones de la concentración de tuna.

La **tabla 42**, muestra diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ). La concentración 1: (tuna al 30%), se ubicó en el rango A con el valor más bajo de grados alcohólicos 13,69% v/v, mientras la concentración 2: (tuna al 50%), se situó en el rango B con el valor más alto de grados alcohólicos 14,27% v/v. Esta diferencia sugiere que un mayor porcentaje de tuna favorece el grado alcohólico, posiblemente por el incremento en azúcares disponibles para la fermentación. Vallejo (2023), reportó que el contenido de glucosa y fructosa en tuna roja puede potenciar la actividad fermentativa en bebidas artesanales.

**Tabla 43.** Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para el grado alcohólico por días de la bebida.

Días	Promedio ( $\bar{x}$ )	Rangos
3	11,58	A
5	11,58	
7	11,95	
9	12,08	
15	12,08	
1	16,37	B
90	22,20	C

**Dónde:** el proceso de la fermentación: (**1:** día 0; **3:** día 3; **5:** día 5; **7:** día 7 inicio y desarrollo de la fermentación); en el día **9** se realiza el trasiego y sulfitación de la bebida); del día **9-15** días ocurre la post- fermentación. (filtrado, pasterización y embotellado de la bebida); del día **15-90** se lleva a cabo la maduración de la bebida; **Promedio:**24 determinaciones por días.

La **tabla 43**, muestra las diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ). La influencia del tiempo de fermentación el día 3 se ubicó en el rango A con el valor más bajo de grados alcohólicos 11,58% v/v, mientras que el día 90 se ubicó en el rango C con el valor más alto de grados alcohólicos 22,20% v/v. Este patrón confirma que el grado alcohólico incrementó con el tiempo, aunque con variaciones iniciales que podrían deberse a la adaptación microbiana o a la disponibilidad de nutrientes. Guerra & Rúaless (2023) afirman que, para garantizar la calidad, seguridad y aceptación del consumidor en las bebidas fermentadas artesanales, es fundamental encontrar un balance entre los ingredientes y el tiempo de fermentación este tipo de análisis es fundamental para el desarrollo de bebidas fermentadas debido a que la estabilidad microbiológica y la precepción sensorial están directamente vinculas con los grados alcohólicos.

A continuación, se realizó la prueba de Tukey para comparar el grado alcohólico de todos los tratamientos contra los controles y ver si realmente fueron diferentes o iguales a los controles (**Ver, tabla 44**).

**Tabla 44.** Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para el grado alcohólico de la bebida.

Tratamientos	0,05% $ \bar{x}_i - \bar{x}_c $	¿Diferente del control?
Z1-Z2	4,47	*
Z1-T1	5,28	*
Z1-T2	5,85	*
Z1-T3	6,14	*
Z1-T4	5,66	*
Z1-T5	4,85	*
Z1-T6	5,42	*
Z1-T7	4,85	*
Z1-T8	5,47	*
Z2-T1	0,80	NS
Z2-T2	1,38	*
Z2-T3	1,66	*
Z2-T4	1,19	NS
Z2-T5	0,38	NS
Z2-T6	0,95	NS
Z2-T7	0,38	NS
Z2-T8	1,00	NS

**Dónde:** La bebida evaluada contiene nopal en concentraciones del 30 % y 50 %, comparada con los controles Z1 y Z2. Si la diferencia absoluta entre la media del tratamiento Z1 y Z2  $|\bar{x}_i - \bar{x}_c|$  supera el valor crítico de D (140;0,05) = 1,21 se considera que dicho tratamiento presenta una media significativamente diferente respecto a los controles; **NS:** No hay diferencia significativa; **\***: Si hay diferencia significativa.

Ho:  $|\bar{x}_i - \bar{x}_c|$  los tratamientos son iguales a los controles Z1 y Z2

Ha:  $|\bar{x}_i - \bar{x}_c|$  los tratamientos no son iguales a los controles Z1 y Z2

En la mayoría de los tratamientos, al compararlos con los controles, se detectaron diferencias significativas en el grado alcohólico ( $p < 0,05$ ), esto puede implicar cambios perceptibles en el sabor, el cuerpo y la intensidad de la bebida. Sin embargo, los tratamientos T1: (Tuna al 30% + mucílago de nopal al 10% + azúcar), T4: (Tuna al 30% + mucílago de nopal al 5% + panela); T5: (Tuna al 50% + mucílago de nopal al 10% + azúcar); T6: (Tuna al 50% + mucílago de nopal al 10% + panela); T7: (Tuna al 50% + mucílago de nopal al 5% + azúcar) y T8: (Tuna al 50% + mucílago de nopal al 5% + panel) no presentaron diferencias significativas frente al control Z2: (tuna 50%+azúcar). Esto se debe a que todos comparten una matriz altamente rica en azúcares simples provenientes de la tuna y el azúcar, lo que asegura una fermentación similar en términos de producción de etanol. El efecto modulador del mucílago de nopal y otros ingredientes queda en segundo plano frente a la abundancia de sustratos fermentables.

Este resultado enfatiza con lo reportado por Alcalá *et al.* (2024), quienes señalan que los ingredientes vegetales pueden modificar la fermentación alcohólica debido a su contenido de polisacáridos y minerales que alteran la actividad microbiana. Esto sugiere que ciertas combinaciones de nopal y endulzante pueden mantener niveles alcohólicos estables. De manera complementaria, Suarez *et al.* (2023), observaron que la formulación vegetal contribuye a estabilizar el grado alcohólico en bebidas fermentadas.

#### **11.3.16. Comparación de la temperatura de la bebida a base de nopal (*Opuntia Ficus-indica*).**

La **tabla 45**, presenta los resultados de un análisis de varianza para un diseño completamente al azar (DCA), aplicado al análisis de la temperatura en la bebida durante su proceso de maduración y fermentación. Los datos revelan que en los tratamientos y en el factor tiempo de fermentación (días), existió diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ).

Los factores individuales como A: tuna, B: mucílago de nopal, C: tipo de endulzante no mostraron diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ), junto con varias interacciones, esto señala que la temperatura de la bebida se ve afectada por la combinación de tratamientos y el tiempo que dura la fermentación.

**Tabla 45.** Análisis de varianza de un (DCA) para la temperatura de la bebida

<b>FV</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>F. calculada</b>	<b>Valor p</b>
<b>Total</b>	871,94	209			
<b>Tratamientos</b>	23,20	9	2,57	6,05	*
<b>Días</b>	688,06	6	114,67	286,84	*
<b>Factores</b>					
<b>A: Tuna</b>	0,03	1	0,03	0,07	NS
<b>B: Mucílago de nopal</b>	0,87	1	0,87	1,73	NS
<b>C: Endulzante</b>	0,12	1	0,12	0,24	NS
<b>D: Días</b>	515,68	6	85,94	170,23	*
<b>A*B</b>	0,30	1	0,30	0,59	NS
<b>A*C</b>	2,50	1	2,50	4,95	*
<b>A*D</b>	18,02	6	3,00	5,95	*
<b>B*C</b>	0,45	1	0,45	0,89	NS
<b>B*D</b>	22,09	6	3,68	7,29	*
<b>C*D</b>	1,28	6	0,21	0,42	NS
<b>A*B*C</b>	2,55	1	2,55	5,05	*
<b>A*B*D</b>	12,36	6	2,06	4,08	*
<b>A*C*D</b>	5,18	6	0,86	1,71	NS
<b>B*C*D</b>	14,63	6	2,43	4,83	*
<b>A*B*C*D</b>	17,13	6	1,18	2,35	*

**Dónde:** **A:** concentración de tuna; **B:** mucílago de nopal; **C:** tipo de endulzante y **D:** tiempo de fermentación (días); **NS:** No significativo; \*: Significativo al 5%. **Promedio**= 23,11 °C. **CV**=2,8%.

Hipótesis nula (H<sub>0</sub>): Los tratamientos son iguales

Hipótesis Alternativa (H<sub>a</sub>): Los tratamientos no son iguales

Para los factores A: tuna, B: mucílago de nopal y C: endulzante, así como varias de sus interacciones se aceptó la hipótesis nula y se rechazó la hipótesis alternativa. Los valores de F calculados no manifestaron diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ). El promedio de la temperatura fue de 23,11°C. El coeficiente de variación (CV) fue de 2,8%, este valor reflejó una baja variación en los datos obtenidos.

En estudios de jugos y néctares, (Gordillo *et al.*, 2022), señalaron que la interacción entre formulación y condiciones de proceso puede producir efectos sinérgicos o antagónicos sobre parámetros como la temperatura, los sólidos solubles totales y la estabilidad físico química. En bebidas fermentadas, la temperatura puede influir en la percepción sensorial, la viabilidad microbiana y la conservación de compuestos bioactivos, como reportó Arcos (2020).

El análisis de varianza indicó que algunos tratamientos fueron diferentes, por lo que se utilizó la prueba de Tukey para determinar qué tratamientos y que factores fueron iguales entre sí y cuáles diferentes (Ver, tablas 46, 47 y 48).

#### **11.3.17. Análisis de los tratamientos de la bebida**

Se expone los resultados correspondientes al análisis de la temperatura por tratamientos de la bebida.

**Tabla 46.** Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para la temperatura de la bebida.

Tratamientos	promedio ( $\bar{x}$ )	Rango de Tukey
<b>Z1</b>	22,54	A
<b>T7</b>	22,75	AB
<b>T4</b>	22,80	
<b>T6</b>	23,11	
<b>T3</b>	23,13	
<b>T5</b>	23,16	ABC
<b>T2</b>	23,17	BC
<b>T1</b>	23,21	
<b>T8</b>	23,40	C
<b>Z2</b>	23,78	

**Dónde:** T: tratamientos (T1–T8); **T1:** (Tuna al 30% + mucílago de nopal al 10% + azúcar); **T2:** (Tuna al 30% + mucílago de nopal al 10% + panela); **T3:** (Tuna al 30% + mucílago de nopal al 5% + azúcar); **T4:** (Tuna al 30% + mucílago de nopal al 5% + panela); **T5:** (Tuna al 50% + mucílago de nopal al 10% + azúcar); **T6:** (Tuna al 50% + mucílago de nopal al 10% + panela); **T7:** (Tuna al 50% + mucílago de nopal al 5% + azúcar); **T8:** (Tuna al 50% + mucílago de nopal al 5% + panel); **Z1:** (Control tuna al 30% + azúcar); **Z2:** (Control tuna al 50% + azúcar); **Promedio:** 21 determinaciones por tratamiento.

La **tabla 46**, detalla las diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los tratamientos y controles evaluados. la magnitud de la diferencia no resultó muy relevante en términos prácticos. En el rango A se ubicó el control Z1: (tuna al 30% + azúcar), con un valor menor de 22,54 °C, mientras que el control Z2: (tuna al 50% + azúcar) se situó en el rango C, registrando el valor de 23,78 °C. Las diferencias observadas reflejan la influencia de la proporción de fruta y de la composición de la matriz sobre la temperatura. Sin embargo, al tratarse de variaciones reducidas ( $\approx 1,24$  °C), su relevancia tecnológica y sensorial es limitada, confirmando que la matriz alimentaria puede modificar parámetros físicos sin generar un alto impacto en la calidad final de la bebida (Mishra *et al.*, 2024).

**Tabla 47.** Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para la temperatura por días de la bebida.

Días	promedio ( $\bar{x}$ )	Rangos
15	19,01	A
90	22,86	B
5	23,14	
3	23,74	C
1	23,79	
7	23,99	
9	25,21	D

**Dónde:** el proceso de la fermentación: (**1:** día 0; **3:** día 3; **5:** día 5; **7:** día 7 inicio y desarrollo de la fermentación); en el día **9** se realiza el trasiego y sulfitación de la bebida); del día **9-15** días ocurre la post- fermentación. (filtrado, pasterización y embotellado de la bebida); del día **15-90** se lleva a cabo la maduración de la bebida; **Promedio:** 30 determinaciones por día.

La **tabla 47**, detalla las diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los días de fermentación y maduración en relación con la temperatura. Los valores oscilaron dentro de un rango de 19,01 °C a 25,21 °C, registrándose picos en los días 9 y 15. Aunque las variaciones fueron estadísticamente significativas, la magnitud de la diferencia se mantuvo dentro de un intervalo relativamente estrecho, lo que limita su relevancia práctica. Como se ha registrado en mezcla con mucílago de nopal y frutas, está conducta puede vincularse con la habilidad de algunos ingredientes para absorber y dispersar calor (Mora & Ullcu, 2024).

La interacción entre los procesos de fermentación y la matriz alimentaria se ve reflejada en las variaciones de temperatura, siendo que la cantidad de fruta y la existencia de ciertas sustancias, como el mucílago, tienen un impacto sobre la conductividad. No obstante, es relevante tener en cuenta que el clima cálido-húmedo en La Maná puede incidir en estos cambios, proporcionando aumentos sutiles de temperatura durante la fermentación. Así las diferencias detectadas observadas se deben tanto a la composición de la bebida como al ambiente en el que madura, no obstante, su influencia tecnológica y sensorial sobre la calidad final de la bebida es escasa (Leal *et al.*, 2024).

### 11.3.18. Análisis por los factores de la bebida

Se muestra los resultados del análisis de la temperatura por factores, destacando el impacto individual de cada variable sobre las características de la bebida.

**Tabla 48.** Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para temperatura por días de la bebida

Días	Promedio ( $\bar{x}$ )	Rangos
15	19,14	A
90	22,81	B
5	23,15	BC
1	23,62	CD
7	23,86	D
3	23,89	
9	25,16	E

**Dónde:** el proceso de la fermentación:(**1:** día 0; **3:** día 3; **5:** día 5; **7:** día 7 inicio y desarrollo de la fermentación); en el día **9** se realiza el trasiego y sulfitación de la bebida); del día **9-15** días ocurre la post- fermentación. (filtrado, pasterización y embotellado de la bebida); del día **15-90** se lleva a cabo la maduración de la bebida; **Promedio:** 24 determinaciones para los días.

Así mismo, cuando analizamos el efecto de la temperatura en función del tiempo y de los factores de formulación, se confirma un patrón coherente con el comportamiento previamente descrito: las fluctuaciones térmicas responden tanto a la composición de la bebida (proporción de fruta, mucílago y azúcares) como al entorno de fermentación (Ver, Tabla 47 y 48)

A continuación, se realizó la prueba de Tukey para comparar la temperatura de todos los tratamientos contra dos controles y ver si realmente fueron diferentes o iguales a los controles (Ver, tabla 49).

**Tabla 49.** Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para la temperatura de la bebida.

Tratamientos	0,05%	¿Diferente del control?
	$ \bar{x}_i - \bar{x}_c $	
Z1-Z2	1,24	*
Z1-T1	0,67	*
Z1-T2	0,62	NS
Z1-T3	0,59	NS
Z1-T4	0,25	NS
Z1-T5	0,62	NS
Z1-T6	0,57	NS
Z1-T7	0,21	NS
Z1-T8	0,86	*
Z2-T1	0,56	NS
Z2-T2	0,61	NS
Z2-T3	0,65	*
Z2-T4	0,95	*
Z2-T5	0,61	NS
Z2-T6	0,67	*
Z2-T7	1,02	*
Z2-T8	0,38	NS

**Dónde:** La bebida evaluada contiene nopal en concentraciones del 30 % y 50 %, comparada con los controles Z1 y Z2. Si la diferencia absoluta entre la media del tratamiento Z1 y Z2  $|\bar{x}_i - \bar{x}_c|$  supera el valor crítico de D (140;0,05) = 0,64 se considera que dicho tratamiento presenta una media significativamente diferente respecto a los controles; **NS:** No hay diferencia significativa; **\***: Si hay diferencia significativa.

Ho:  $|\bar{x}_i - \bar{x}_c|$  los tratamientos son iguales a los controles Z1 y Z2

Ha:  $|\bar{x}_i - \bar{x}_c|$  los tratamientos no son iguales a los controles Z1 y Z2

La temperatura de la bebida en la mayoría de los tratamientos comparados con el control Z1: (tuna 30% + azúcar) no muestra diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). Sin embargo, los tratamientos T1: (Tuna al 30% + mucílago de nopal al 10% + azúcar) y T8: (Tuna al 50% + mucílago de nopal al 5% + panel), sí presentaron diferencias frente a este control. De manera similar, los tratamientos T3: (Tuna al 30% + mucílago de nopal al 5% + azúcar), T4: (Tuna al 30% + mucílago de nopal al 5% + panela), T6: (Tuna al 50% + mucílago de nopal al 10% + panela) y T7: (Tuna al 50% + mucílago de nopal al 5% + azúcar) fueron diferentes al control Z2: (tuna 50% + azúcar). Estos resultados indican que, a pesar de que la matriz base de azúcar y tuna suele conservar una estabilidad térmica, la adición de mucílago de nopal u otros ingredientes vegetales puede alterar la habilidad para retener y disipar el calor.

Esta observación es consistente con lo reportado por Flores (2020), quien encontró que los ingredientes vegetales pueden modificar la temperatura interna de las bebidas debido a su capacidad de retención térmica y su interacción con la matriz líquida. Alcalá *et al.* (2024) destacan que ciertas combinaciones de ingredientes vegetales permiten conservar propiedades térmicas estables, lo cual resulta clave en productos diseñados para consumo en ambientes cálidos o con requerimientos de refrigeración mínima.

Las diferencias significativas encontradas confirman que la composición de la matriz influyó en la dinámica térmica de la bebida fermentada. No obstante, la mayoría de tratamientos mantuvieron un comportamiento similar al control, lo que evidencia que las variaciones térmicas, aunque estadísticamente relevantes, fueron moderadas y de impacto tecnológico limitado.

#### **11.3.19. Comparación de la acidez titulable de la bebida a base de nopal (*Opuntia Ficus-indica*).**

La **tabla 50**, presenta los resultados de un análisis de varianza para un diseño completamente al azar (DCA), aplicado al análisis de la acidez titulable en la bebida durante su proceso de fermentación y maduración. Los tratamientos y tiempo de fermentación (días) presentaron diferencias significativas al ( $p < 0,05$ ), sobre la concentración de acidez titulable.

Así mismo los factores individuales como A: concentración de tuna, B: concentración mucílago de nopal, C: tipo de endulzante y D: tiempo de fermentación (días), junto con varias de sus interacciones, presentaron diferencias significativas en el comportamiento de la acidez titulable.

**Tabla 50.** Análisis de varianza de un (DCA) para la acidez titulable de la bebida.

FV	SC	GL	CM	F. calculada	Valor p
<b>Total</b>	6,88	59			
<b>Tratamientos</b>	2,56	9	0,28	554,33	*
<b>Días</b>	3,53	1	3,53	6882,91	*
<b>Factores</b>					
<b>A: Tuna</b>	0,27	1	0,27	516,33	*
<b>B: Mucílago de nopal</b>	0,008	1	0,008	15,31	*
<b>C: Endulzante</b>	0,57	1	0,57	1102,29	*
<b>D: Días</b>	3,26	1	3,26	6245,04	*
<b>A*B</b>	0,04	1	0,04	84,92	*
<b>A*C</b>	0,004	1	0,004	8,43	*
<b>A*D</b>	0,02	1	0,02	39,84	*
<b>B*C</b>	0,99	1	0,99	1907,82	*
<b>B*D</b>	0,001	1	0,001	1,93	NS
<b>C*D</b>	0,13	1	0,13	257,04	*
<b>A*B*C</b>	0,04	1	0,04	82,61	*
<b>A*B*D</b>	0,03	1	0,03	75,87	*
<b>A*C*D</b>	0,004	1	0,004	8,43	*
<b>B*C*D</b>	0,11	1	0,11	221,90	*
<b>A*B*C*D</b>	0,10	1	0,10	207,11	*

**Dónde:** **A:** concentración de tuna; **B:** concentración mucílago de nopal; **C:** tipo de endulzante y **D:** tiempo de fermentación (días); **NS:** No significativo; \*: Significativo al 5%. **Promedio**= 0,72 %. **CV**=3,1%.

Hipótesis nula (H<sub>0</sub>): Los tratamientos son iguales

Hipótesis Alternativa (H<sub>a</sub>): Los tratamientos no son iguales

Para los tratamientos, los factores A: concentración de tuna, B: concentración mucílago de nopal, C: tipo de endulzante y D: tiempo de fermentación (días), así como varias de sus interacciones rechazaron la hipótesis nula y se aceptó la hipótesis alternativa. Los valores de F calculados manifestaron diferencia significativa ( $p < 0,05\%$ ). El promedio de la acidez de la bebida fue de 0,72%. El coeficiente de variación (CV) fue de 3,1%, este valor reflejo una buena precisión experimental en los datos obtenidos.

Se observaron diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ) entre las interacciones, esto sugiere que la respuesta no depende solo de cada factor individual sino también de cómo se combinan entre sí. En estudios de jugos y néctares, Fernández (2019), señaló que la interacción entre formulación y condiciones de proceso puede producir efectos sinérgicos o antagónicos sobre parámetros como la acidez, el pH y los sólidos solubles totales, lo que respalda la importancia de considerar estas interacciones en el diseño de productos. Este tipo de análisis es clave en el desarrollo de bebidas funcionales, ya que la acidez influye directamente en la percepción sensorial, la estabilidad microbiológica y la aceptación del consumidor. Cruz *et al.* (2021), señala que el ajuste de la acidez es esencial para lograr bebidas agradables, seguras y con propiedades funcionales.

El análisis de varianza indicó que algunos tratamientos fueron diferentes, por lo que se utilizó la prueba de Tukey para determinar qué tratamientos y que factores fueron iguales entre sí y cuáles diferentes (Ver, tabla 51, 52, 53, 54, 55 y 56).

#### **11.3.20. Análisis de los tratamientos de la bebida**

Se expone los resultados correspondientes al análisis de la acidez titulable por tratamientos de la bebida.

**Tabla 51.** Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para la acidez de la bebida.

Tratamientos	promedio ( $\bar{x}$ )	Rangos
<b>Z2</b>	0,41	A
<b>T4</b>	0,46	B
<b>T8</b>	0,51	C
<b>T2</b>	0,66	D
<b>T1</b>	0,67	
<b>Z1</b>	0,74	E
<b>T5</b>	0,80	F
<b>T3</b>	0,93	
<b>T6</b>	0,95	G
<b>T7</b>	1,06	H

**Dónde:** T: tratamientos (T1–T8); **T1:** (Tuna al 30% + mucílago de nopal al 10% + azúcar); **T2:** (Tuna al 30% + mucílago de nopal al 10% + panela); **T3:** (Tuna al 30% + mucílago de nopal al 5% + azúcar); **T4:** (Tuna al 30% + mucílago de nopal al 5% + panela); **T5:** (Tuna al 50% + mucílago de nopal al 10% + azúcar); **T6:** (Tuna al 50% + mucílago de nopal al 10% + panela); **T7:** (Tuna al 50% + mucílago de nopal al 5% + azúcar); **T8:** (Tuna al 50% + mucílago de nopal al 5% + panela); **Z1:** (Control tuna al 30% + azúcar); **Z2:** (Control tuna al 50% + azúcar); **Promedio:** 6 determinaciones por tratamiento.

La **tabla 51**, describe las diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los tratamientos evaluados en relación con la acidez titulable. En el rango A se ubicó el tratamiento Z2: (tuna 50% + azúcar), con el menor valor promedio de acidez de 0,41%, mientras que el tratamiento T7: (tuna 50% + mucílago de nopal al 5% + azúcar) se situó en el rango H, registrando el valor más alto de 1,06%. Este comportamiento puede atribuirse a la presencia de ácidos orgánicos, la actividad fermentativa y la interacción entre ingredientes, factores que influyen directamente en la liberación y acumulación de compuestos ácidos durante el proceso.

Estos datos coinciden con Vasco (2022), quien observó que la incorporación de frutas y vegetales en bebidas funcionales modifica significativamente la acidez debido a la liberación de compuestos ácidos y la transformación de azúcares. De manera complementaria, Orejón (2022) reportaron que el tipo de vegetal y el tiempo de fermentación alteran la acidez en bebidas con frutas andinas, como consecuencia de procesos de hidrólisis, fermentación y liberación de ácidos orgánicos. La variabilidad en la acidez titulable entre tratamientos confirmo que la

composición de la matriz y la interacción de ingredientes son determinantes en la dinámica fermentativa. Aunque las diferencias son estadísticamente significativas, se mantienen dentro de rangos normativos aceptables NTC 708, 2000, garantizando la calidad y estabilidad de la bebida fermentada artesanal.

**Tabla 52.** Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para la acidez por días de la bebida.

Días	promedio ( $\bar{x}$ )	Rangos
15	0,47	A
90	0,96	B

**Dónde:** días 15-90 se lleva a cabo la maduración de la bebida; Promedio: de 6 determinaciones por tratamientos; **Promedio:** 30 determinaciones por día.

La **tabla 52**, muestra las diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los días 15 y 90 de maduración de la bebida fermentada. El día 15 se ubicó en el rango A, con el valor más bajo de acidez de 0,47%, mientras que el día 90 se situó en el rango B, registrando el valor más alto de 0,96%. Este comportamiento sugiere un aumento progresivo de la acidez conforme avanza el tiempo de almacenamiento, probablemente relacionado con procesos de fermentación residual, oxidación de compuestos fenólicos y liberación de ácidos desde la matriz vegetal. Este hallazgo coincide con lo reportado por Orejón (2022), quienes evaluaron bebidas fermentadas con tuna y aguaymanto y observaron que el tiempo de conservación modifica significativamente la acidez, debido a la acumulación de productos secundarios de fermentación y la transformación de azúcares en ácidos orgánicos.

EL factor tiempo confirma un patrón progresivo en la acidez titulable: a medida que transcurre la maduración, se incrementa la concentración de ácidos, lo que puede influir en la estabilidad microbiológica y en la percepción sensorial de la bebida. No obstante, los valores obtenidos se mantienen dentro de los rangos normativos establecidos por la (NTC 708, 2000).

### 11.3.21. Análisis de los factores de la bebida

Se muestra los resultados del análisis de la acidez titulable por factores, destacando el impacto individual de cada variable sobre las características de la bebida.

**Tabla 53.** Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para acidez por la concentración de tuna de la bebida.

Concentración de tuna (A)	Promedio ( $\bar{x}$ )	Rangos
1	0,68	A
2	0,83	B

**Dónde:** 1: bebida con tuna al 30% y 2: bebida con tuna al 50%; **Promedio:** 24 determinaciones de la concentración de tuna.

La **tabla 53**, muestra las diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ) en la concentración 1: (tuna 30%) se ubicó en el rango A, con el menor promedio de acidez 0,68%, mientras la concentración 2: (tuna 50%) se ubicó en el rango B, con un promedio mayor de 0,83%. Esto indica que al aumentar la proporción de tuna en la formulación se incrementa la acidez, en concordancia con informes donde una mayor incorporación de pulpa de tuna, eleva la acidez titulable por su aporte de ácidos orgánicos como málico y cítrico como lo mencionan (Moreno *et al.*, 2021).

**Tabla 54.** Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para acidez por la concentración del mucílago de nopal de la bebida.

Concentración mucílago del nopal (B)	Promedio ( $\bar{x}$ )	Rangos
2	0,74	A
1	0,77	B

**Dónde:** 1: bebida con mucílago de nopal al 10% y 2: bebida con mucílago de nopal al 5%; **Promedio:** 24 determinaciones de la concentración del nopal.

La **tabla 54**, presenta las diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ) en la concentración 2: (mucílago de nopal al 5%) se encontró en el rango A, con el valor promedio menor de 0,74%, mientras que la concentración 1: (mucílago de nopal al 10%) se ubicó en el rango B, con un valor mayor de 0,77%. Esto sugiere que una mayor proporción de mucílago de nopal podría influir en la acidez de la mezcla, aportando componentes con efecto amortiguador, fenómeno compatible con estudios donde el incremento de mucílagos y fibra soluble reduce la acidez en bebidas funcionales (Morán *et al.*, 2015).

**Tabla 55.** Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para acidez por el tipo de endulzante de la bebida.

Tipo de endulzante (C)	Promedio ( $\bar{x}$ )	Rangos
2	0,64	A
1	0,86	B

**Dónde:** tipo de endulzante 1: Azúcar y tipo de endulzante 2: Panela; **Promedio:** 24 determinaciones por el tipo de endulzante.

La **tabla 55**, presenta las diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en función al tipo de endulzante utilizado. El endulzante 1: (azúcar) se agrupó en el rango B, con el valor promedio más alto de acidez 0,86%, mientras que el endulzante 2: (panela) se ubicó en el rango A, con el valor más bajo de acidez 0,64%. Estos resultados confirman que el tipo de endulzante influyó significativamente en la acidez de la bebida fermentada artesanal.

Este comportamiento puede explicarse por la composición química de cada endulzante: la sacarosa refinada (azúcar) favorece una mayor transformación microbiana y liberación de ácidos, mientras que la panela, al contener compuestos minerales y melanoidinas, puede ejercer un efecto modulador que atenúa la percepción de acidez. Yanacallo, 2023, menciona que en formulación de bebidas y néctares la adición de sacarosa u otros edulcorantes influye directamente en la percepción de acidez puede neutralizar parcialmente los ácidos presentes

**Tabla 56.** Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para acidez por días de la bebida.

Días	Promedio ( $\bar{x}$ )	Rangos
15	0,49	A
90	1,01	B

**Dónde:** día 15 días ocurre la post- fermentación. (filtrado, pasterización y embotellado de la bebida); del día 15-90 se lleva a cabo la maduración de la bebida; **Promedio:** 24 determinaciones por día.

La **tabla 56**, detalla las diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ) en el tiempo de fermentación el día 15 se ubicó en el rango A con el valor más bajo de acidez 0,49%, mientras que el día 90 se situó en el rango B más alto de acidez 1,01%, asociado al valor más alto. Este patrón coincide con estudios en bebidas de frutas donde se ha observado que el tiempo de fermentación produce, degradación de polisacáridos o liberación de ácidos elevando el contenido de acidez, hasta alcanzar un punto de estabilidad o incluso de deterioro sensorial (Castro *et al.*, 2025).

A continuación, se realizó la prueba de Tukey para comparar los sólidos solubles totales de todos los tratamientos contra dos controles para ver si realmente fueron diferentes o iguales a los controles (**Ver, tabla 57**).

**Tabla 57.** Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para la acidez de la bebida.

Tratamientos	0,05% $ \bar{x}_i - \bar{x}_c $	¿Diferente del control?
<b>Z1-Z2</b>	0,32	*
<b>Z1-T1</b>	0,07	*
<b>Z1-T2</b>	0,08	*
<b>Z1-T3</b>	0,18	*
<b>Z1-T4</b>	0,27	*
<b>Z1-T5</b>	0,05	*
<b>Z1-T6</b>	0,20	*
<b>Z1-T7</b>	0,31	*
<b>Z1-T8</b>	0,23	*
<b>Z2-T1</b>	0,25	*
<b>Z2-T2</b>	0,24	*
<b>Z2-T3</b>	0,51	*
<b>Z2-T4</b>	0,04	*
<b>Z2-T5</b>	0,38	*
<b>Z2-T6</b>	0,53	*
<b>Z2-T7</b>	0,64	*
<b>Z2-T8</b>	0,09	*

**Dónde:** La bebida evaluada contiene nopal en concentraciones del 30 % y 50 %, comparada con los controles Z1 y Z2. Si la diferencia absoluta entre la media del tratamiento Z1 y Z2  $|\bar{x}_i - \bar{x}_c|$  supera el valor crítico de D (40;0,05) = 0.04 se considera que dicho tratamiento presenta una media significativamente diferente respecto a los controles; **NS:** No hay diferencia significativa; \* Si hay diferencia significativa.

Ho:  $|\bar{x}_i - \bar{x}_c|$  los tratamientos son iguales a los controles Z1 y Z2

Ha:  $|\bar{x}_i - \bar{x}_c|$  los tratamientos no son iguales a los controles Z1 y Z2

La acidez de las bebidas de los tratamientos comparados con el control Z1: (tuna 30% + azúcar) y el control Z2: (tuna 50% + azúcar) presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). La presencia de mucílagos, ácidos orgánicos y compuestos bioactivos que modifican el balance ácido-base de la bebida puede estar vinculado con este comportamiento. Según Luna *et al.* (2023), los ingredientes vegetales incluido el nopal tienen una capacidad amortiguadora que puede cambiar la acidez efectiva, por su interacción con los ácidos naturales de la matriz líquida. Esto ocurre debido a la liberación de polisacáridos y compuestos fenólicos que, al interactuar con los ácidos orgánicos, producen cambios en la acidez titulable y como se percibe sensorialmente la bebida. Las diferencias observadas confirman que la composición de la matriz y la interacción de ingredientes vegetales son factores determinantes en la dinámica de la acidez.

### 11.3.22. Comparación de los polifenoles totales de la bebida a base de nopal (*Opuntia Ficus-indica*).

La **tabla 58**, presenta los resultados de un análisis de varianza para un diseño completamente al azar (DCA), aplicado al análisis de polifenoles en la bebida durante su proceso de fermentación y maduración. los factores, tratamientos y tiempo de fermentación (días), presentaron diferencias significativas al ( $p < 0,05\%$ ) sobre la concentración de polifenoles, reflejando cambios importantes en la composición de la bebida a lo largo del tiempo.

Así mismo los factores individuales como el factor A: concentración de tuna, B: concentración mucílago de nopal, C: tipo de endulzante (azúcar y panela) y D: tiempo de fermentación (días), junto con varias de sus interacciones, presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ), en el comportamiento de los polifenoles. Esto evidencia que la fermentación no depende de un solo factor, sino de la combinación de tratamientos y del tiempo de fermentación.

**Tabla 58.** *Análisis de varianza de un (DCA) para los polifenoles de la bebida.*

<b>FV</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>F. calculada</b>	<b>Valor p</b>
<b>Total</b>	17791,90	59			
<b>Tratamientos</b>	5033,19	9	559,24	202,50	*
<b>Días</b>	11243,00	1	11243,00	4071,03	*
<b>Factores</b>					
<b>A: Tuna</b>	96,90	1	96,90	28,27	*
<b>B: Mucílago de nopal</b>	93,57	1	93,57	27,30	*
<b>C: Endulzante</b>	3998,21	1	3998,21	1166,36	*
<b>D: Días</b>	10281,40	1	10281,40	2999,28	*
<b>A*B</b>	18,80	1	18,80	5,48	*
<b>A*C</b>	0,80	1	0,80	0,24	NS
<b>A*D</b>	52,50	1	52,50	15,32	*
<b>B*C</b>	0,02	1	0,02	0,01	NS
<b>B*D</b>	85,81	1	85,81	25,03	*
<b>C*D</b>	1033,42	1	1033,42	301,47	*
<b>A*B*C</b>	0,24	1	0,24	0,07	NS
<b>A*B*D</b>	15,82	1	15,82	4,62	*
<b>A*C*D</b>	0,44	1	0,44	0,13	NS
<b>B*C*D</b>	0,14	1	0,14	0,04	NS
<b>A*B*C*D</b>	0,03	1	0,03	0,01	NS

**Dónde:** **A:** concentración de tuna; **B:** concentración mucílago de nopal; **C:** tipo de endulzante y **D:** tiempo de fermentación (días); **NS:** No significativo; \* Significativo al 0,05%. **Promedio**= 22,15 (mg GAE /100ml). **CV**= 7,5%.

Hipótesis nula (H<sub>0</sub>): Los tratamientos son iguales

Hipótesis Alternativa (H<sub>a</sub>): Los tratamientos no son iguales

La **tabla 58**, evidencia que los factores A: concentración de tuna, B: concentración mucílago de nopal, C: tipo de endulzante y D: tiempo de fermentación (días), así como varias de sus interacciones, rechazaron la hipótesis nula y confirmaron la hipótesis alternativa. Los valores de F calculados manifestaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). El promedio de polifenoles de la bebida fue de 22,15 mg GAE/100 ml, mientras que el coeficiente de variación (CV) fue de 7,5%, reflejando una buena precisión experimental en los datos obtenidos.

Este comportamiento confirma que la combinación de ingredientes ricos en compuestos fenólicos es esencial para lograr bebidas con beneficios nutricionales y sensoriales. Según Robledo & Morales (2020), la interacción entre frutas y vegetales durante la fermentación favorece la liberación de polifenoles y otros compuestos bioactivos, lo que incrementa el valor funcional de las bebidas.

Los resultados muestran que tanto los factores individuales como sus interacciones influyen significativamente en la concentración de polifenoles, y que la precisión experimental obtenida respalda la confiabilidad de los datos.

El análisis de varianza indicó que algunos tratamientos diferentes, entonces se utilizó la prueba de Tukey para determinar que tratamientos y que factores fueron iguales entre sí y cuales diferentes (Ver, tabla **59, 60, 61, 62, 63 y 64**).

### **11.3.23. Análisis de los tratamientos de la bebida**

Se expone los resultados correspondientes al análisis de polifenoles por tratamientos de la bebida.

**Tabla 59.** Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para los polifenoles de la bebida.

Tratamientos	promedio ( $\bar{x}$ )	Rangos
<b>T7</b>	12,46	A
<b>T5</b>	14,19	
<b>T3</b>	14,45	
<b>Z1</b>	14,61	
<b>Z2</b>	14,86	
<b>T1</b>	18,40	B
<b>T8</b>	31,16	C
<b>T4</b>	32,35	
<b>T6</b>	32,51	
<b>T2</b>	36,49	D

**Dónde: tratamientos:** (T1–T8); **T1:** (Tuna al 30% + mucílago de nopal al 10% + azúcar); **T2:** (Tuna al 30% + mucílago de nopal al 10% + panela); **T3:** (Tuna al 30% + mucílago de nopal al 5% + azúcar); **T4:** (Tuna al 30% + mucílago de nopal al 5% + panela); **T5:** (Tuna al 50% + mucílago de nopal al 10% + azúcar); **T6:** (Tuna al 50% + mucílago de nopal al 10% + panela); **T7:** (Tuna al 50% + mucílago de nopal al 5% + azúcar); **T8:** (Tuna al 50% + mucílago de nopal al 5% + panela); **Z1:** (Control tuna al 30% + azúcar); **Z2:** (Control tuna al 50% + azúcar); **Promedio:** 6 determinaciones por tratamiento.

La **tabla 59**, evidencia diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los tratamientos evaluados. En el rango A se ubicaron los tratamientos T3: (Tuna al 30% + mucílago de nopal al 5% + azúcar), T5: (Tuna al 50% + mucílago de nopal al 10% + azúcar), T7: (Tuna al 50% + mucílago de nopal al 5% + azúcar), Z1: (Control tuna al 30% + azúcar) y Z2: (Control tuna al 50% + azúcar), cuyos valores de polifenoles oscilaron entre 12,46 mg GAE/ml y 14,86 mg GAE/ml, reflejando una concentración relativamente baja y homogénea. En contraste, el tratamiento T2: (tuna 30% + mucílago de nopal al 10% + panela) se situó en el rango D, con el valor más alto de polifenoles 36,49 mg GAE/ml, evidenciando un incremento progresivo desde el rango A hasta el D.

Este comportamiento confirma que la composición de la matriz y la interacción de ingredientes son determinantes en la liberación de polifenoles. La presencia de mucílago de nopal en mayor proporción, junto con la panela como endulzante, favoreció la extracción y acumulación de compuestos fenólicos, lo que explica el valor superior en T2: (tuna 30% + mucílago de nopal al 10% + panela). En cambio, los tratamientos con menor proporción de mucílago o con azúcar como endulzante mostraron concentraciones más bajas, manteniéndose en el rango A. Este

hallazgo concuerda con lo señalado por Alba *et al.* (2014), quien destaca que la incorporación de vegetales ricos en fibra y compuestos bioactivos potencia la extracción de polifenoles durante la fermentación. De manera complementaria, Flores (2024), reportó que las bebidas fermentadas con frutas tropicales presentan variaciones significativas en polifenoles según la proporción de fruta y el tipo de endulzante, lo que explica el contraste entre azúcar y panela. Asimismo, Zapata *et al.* (2024), subrayan que la interacción entre mucílago y azúcares no refinados favorece la estabilidad y disponibilidad de compuestos fenólicos, incrementando el valor funcional de las bebidas. La incorporación estratégica de mucílago y panela potencia significativamente la concentración de compuestos bioactivos como polifenoles, incrementando el valor funcional de la bebida.

**Tabla 60.** Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para los polifenoles por días de la bebida

Días	promedio ( $\bar{x}$ )	Rangos
15	8,46	A
90	35,84	B

**Dónde:** día 15 días ocurre la post- fermentación. (filtrado, pasterización y embotellado de la bebida); del día 15-90 se lleva a cabo la maduración de la bebida; **Promedio:** 30 determinaciones por día.

La **tabla 60**, describe las diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ) entre los tratamientos evaluados. El día 15 se ubicó en el rango A, con un valor bajo de polifenoles 8,46 mg GAE/ml, mientras que el día 90 se situó en el rango B, con el valor más alto de polifenoles 35,84 mg GAE/ml. Este comportamiento sugiere un aumento progresivo de los polifenoles a medida que pasa el tiempo de fermentación, probablemente relacionado con procesos de liberación de compuestos antioxidantes desde la matriz vegetal, oxidación controlada o actividad enzimática residual. Según Ticsihua & Orejón (2022), este fenómeno ha sido observado en bebidas con aguaymanto y tuna blanca, donde el tiempo de conservación favorece la liberación de metabolitos secundarios con actividad antioxidante.

#### 11.3.24. Análisis de los factores de la bebida

Se muestra los resultados del análisis de los polifenoles por factores, destacando el impacto individual de cada variable sobre las características de la bebida.

**Tabla 61.** Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para polifenoles por la concentración de tuna de la bebida

Concentración de Tuna (A)	Promedio ( $\bar{x}$ )	Rangos
2	22,58	A
1	25,42	B

**Dónde:** 1: bebida con tuna al 30% y 2: bebida con tuna al 50%; **Promedio:** 24 determinaciones por concentración de tuna.

La **tabla 61**, detalla las diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ) en la concentración 2: (tuna 50%) se ubicó en el rango A, con el menor promedio de polifenoles 22,58 mg GAE/ml, mientras que la concentración 1: (tuna 30%) se situó en el rango B, con un promedio mayor de 25,42 mg GAE/ml. Esto indica que una menor proporción de tuna favoreció una mayor concentración de polifenoles, posiblemente por menor concentración o por interacción con otros ingredientes que favorecen su liberación. Moreno *et al.* (2021), señalan que la tuna puede aportar betalaínas y flavonoides, pero su concentración efectiva depende del equilibrio con otros componentes de la bebida.

**Tabla 62.** Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para polifenoles por la concentración del mucílago de nopal de la bebida.

Concentración mucílago de nopal (B)	Promedio ( $\bar{x}$ )	Rangos
2	22,60	A
1	25,40	B

**Dónde:** 1: bebida con mucílago de nopal al 10% y 2: bebida con mucílago de nopal al 5%; **Promedio:** 24 determinaciones por concentración de nopal.

La **tabla 62**, describe las diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ) en la concentración 2: (mucílago de nopal al 5%), se encontró en el rango A, con un valor menor de polifenoles 22,60 mg GAE/ml, mientras que la concentración 1: (mucílago de nopal al 10%) se ubicó en el rango B, con un valor mayor de polifenoles 25,40 mg GAE/ml. Esto sugiere que una mayor proporción de mucílago de nopal podría influir parcialmente los polifenoles o podría interferir con su extracción, fenómeno compatible con estudios donde el incremento de mucílagos y fibra soluble reduce la concentración relativa de compuestos bioactivos (Luna *et al.*, 2023).

**Tabla 63.** Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para polifenoles por el tipo de endulzante de la bebida

Tipo de endulzante (C)	Promedio ( $\bar{x}$ )	Rangos
1	14,87	A
2	33,13	B

**Dónde:** tipo de endulzante 1: Azúcar y tipo de endulzante 2: Panela; **Promedio:** 24 determinaciones por el tipo de endulzante.

La **tabla 63**, describe las diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ) en el tipo de endulzante. El endulzante 1: (azúcar) se agrupó en el rango A, con el valor más bajo 14,87 mg GAE/ml, mientras que el endulzante 2: (panela) se ubicó en el rango B, con el valor más elevado 33,13 mg GAE/ml, confirmando que el tipo de endulzante influyó en la concentración de los polifenoles. Esta diferencia se explica porque el azúcar refinado, al pasar por procesos de clarificación y cristalización, pierde gran parte de los compuestos fenólicos y antioxidantes, quedando prácticamente reducido a sacarosa, mientras que la panela, al ser un producto menos procesado, conserva una mayor proporción de compuestos bioactivos, lo que se refleja en su concentración casi duplicada de polifenoles. En este sentido, la panela no solo aporta dulzor, sino también beneficios funcionales asociados a la presencia de antioxidantes naturales Daboin *et al.* (2023), señalan que ciertos azúcares pueden actuar como estabilizantes de compuestos fenólicos, favoreciendo su conservación y percepción sensorial, aunque su aporte propio de polifenoles es limitado en comparación con la panela.

**Tabla 64.** Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para polifenoles por días de la bebida.

Días	Promedio ( $\bar{x}$ )	Rangos
15	9,36	A
90	38,64	B

**Dónde:** día 15 días ocurre la post- fermentación. (filtrado, pasterización y embotellado de la bebida); del día 15-90 se lleva a cabo la maduración de la bebida; **Promedio:** 24 determinaciones por día.

La **tabla 64**, evidencia un alto contenido de polifenoles conforme avanza el tiempo de fermentación y maduración. En el día 15, el valor fue de 9,36 mg GAE/ml, mientras que en el día 90 alcanzó 38,64 mg GAE/ml, asociado al rango más alto. Este comportamiento se explica porque, en las etapas iniciales, la liberación de compuestos fenólicos es limitada debido a que la matriz vegetal aún conserva su integridad celular. Sin embargo, conforme transcurren los días, se intensifican procesos de degradación celular, oxidación controlada y acción enzimática,

que facilitan la liberación de polifenoles atrapados en las paredes celulares y en el mucílago del nopal. Estos resultados coinciden con lo señalado por Alba *et al.* (2014), quien reporta que en bebidas de frutas la prolongación del tiempo de fermentación favorece la disponibilidad de compuestos fenólicos, elevando el potencial bioactivo del producto.

A continuación, se realizó la prueba de Tukey para comparar los polifenoles de todos los tratamientos contra los controles y ver si realmente fueron diferentes o iguales a los controles **(Ver, tabla 65)**.

**Tabla 65.** Prueba de Tukey al 0,05% de significancia para los polifenoles de la bebida.

Tratamientos	0,05%	¿Diferente del control?
	$ \bar{x}_i - \bar{x}_c $	
Z1-Z2	0,25	NS
Z1-T1	3,79	*
Z1-T2	21,88	*
Z1-T3	0,15	NS
Z1-T4	17,74	*
Z1-T5	0,41	NS
Z1-T6	17,90	*
Z1-T7	2,14	NS
Z1-T8	16,55	*
Z2-T1	3,53	*
Z2-T2	21,62	*
Z2-T3	0,41	NS
Z2-T4	17,48	*
Z2-T5	0,67	NS
Z2-T6	17,65	*
Z2-T7	2,40	NS
Z2-T8	16,29	*

**Dónde:** La bebida evaluada contiene nopal en concentraciones del 30 % y 50 %, comparada con los controles Z1 y Z2. Si la diferencia absoluta entre la media del tratamiento Z1 y Z2  $|\bar{x}_i - \bar{x}_c|$  supera el valor crítico de D (40;0,05) = 3,21 se considera que dicho tratamiento presenta una media significativamente diferente respecto a los controles; **NS:** No hay diferencia significativa; **\***: Si hay diferencia significativa.

Ho:  $|\bar{x}_i - \bar{x}_c|$  los tratamientos son iguales a los controles Z1 y Z2

Ha:  $|\bar{x}_i - \bar{x}_c|$  los tratamientos no son iguales a los controles Z1 y Z2

La mayoría de formulaciones de la bebida presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ) en la concentración de polifenoles respecto a ambos controles. Este comportamiento coincide con estudios como resalta Alba *et al.* (2014), quienes documentan que la incorporación de ingredientes vegetales como tuna y nopal puede alterar la carga de compuestos fenólicos dependiendo de su proporción, interacción con endulzantes y tiempo de fermentación.

#### **11.4. Resumen comparativo de los parámetros fisicoquímicos en los diferentes tratamientos de la bebida fermentada**

Se exponen los resultados fisicoquímicos generales de la bebida, destacando la importancia de todos los parámetros en la determinación de la calidad y selección del proceso más idóneo.

**Tabla 66.** Resultados de los análisis fisicoquímicos generales de la bebida.

<b>T</b>	<b>Sólidos solubles totales</b>	<b>pH</b>	<b>TDS (ppm)</b>	<b><math>\sigma</math> (mS/cm)</b>	<b>°Alcohólico (%)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>AT (%)</b>	<b>PT (mg GAE/100ml)</b>
<b>T1</b>	7,8±0,12 <sup>de</sup>	3,2±0,02 <sup>bc</sup>	459,9±6,14 <sup>bc</sup>	983,5±106,27 <sup>ab</sup>	14,1±0,26 <sup>abc</sup>	23,2±0,14 <sup>bc</sup>	0,6±0,01 <sup>d</sup>	18,4±0,67 <sup>b</sup>
<b>T2</b>	6,6±0,12 <sup>bc</sup>	3,4±0,02 <sup>ef</sup>	629,5±6,14 <sup>e</sup>	1291,9±106,27 <sup>b</sup>	13,5±0,26 <sup>ab</sup>	23,1±0,14 <sup>abc</sup>	0,6±0,01 <sup>d</sup>	36,4±0,67 <sup>d</sup>
<b>T3</b>	7,3±0,12 <sup>cd</sup>	3,1±0,02 <sup>b</sup>	448,1±6,14 <sup>b</sup>	966,5±106,27 <sup>ab</sup>	13,2±0,26 <sup>a</sup>	23,1±0,14 <sup>ab</sup>	0,9±0,01 <sup>g</sup>	14,4±0,67 <sup>a</sup>
<b>T4</b>	6,2±0,12 <sup>a</sup>	3,5±0,02 <sup>f</sup>	562,6±6,14 <sup>d</sup>	1190,7±106,27 <sup>ab</sup>	13,7±0,26 <sup>abc</sup>	22,8±0,14 <sup>ab</sup>	0,4±0,01 <sup>b</sup>	32,3±0,67 <sup>c</sup>
<b>T5</b>	7,7±0,12 <sup>de</sup>	3,3±0,02 <sup>cd</sup>	477,5±6,14 <sup>c</sup>	982,2±106,27 <sup>ab</sup>	14,5±0,26 <sup>bc</sup>	23,1±0,14 <sup>abc</sup>	0,8±0,01 <sup>f</sup>	14,1±0,67 <sup>a</sup>
<b>T6</b>	8,3±0,12 <sup>e</sup>	3,3±0,02 <sup>de</sup>	647,8±6,14 <sup>ef</sup>	1385,7±106,27 <sup>b</sup>	14,0±0,26 <sup>abc</sup>	23,1±0,14 <sup>ab</sup>	0,9±0,01 <sup>g</sup>	32,5±0,67 <sup>c</sup>
<b>T7</b>	7,7±0,12 <sup>d</sup>	3,2±0,02 <sup>bc</sup>	444,1±6,14 <sup>b</sup>	945,5±106,27 <sup>ab</sup>	14,5±0,26 <sup>abc</sup>	22,7±0,14 <sup>ab</sup>	1,0±0,01 <sup>h</sup>	12,4±0,67 <sup>a</sup>
<b>T8</b>	6,4±0,12 <sup>ab</sup>	3,4±0,02 <sup>ef</sup>	663,1±6,14 <sup>f</sup>	1220,1±106,27 <sup>ab</sup>	14,6±0,26 <sup>bc</sup>	23,4±0,14 <sup>bc</sup>	0,5±0,01 <sup>c</sup>	31,1±0,67 <sup>c</sup>
<b>Z1</b>	9,5±0,12 <sup>f</sup>	3,0±0,02 <sup>a</sup>	458,8±6,14 <sup>bc</sup>	1278,7±106,27 <sup>b</sup>	19,4±0,26 <sup>d</sup>	22,5±0,14 <sup>a</sup>	0,7±0,01 <sup>e</sup>	14,6±0,67 <sup>a</sup>
<b>Z2</b>	6,6±0,12 <sup>ab</sup>	3,2±0,02 <sup>bc</sup>	399,8±6,14 <sup>a</sup>	768,7±106,27 <sup>a</sup>	14,9±0,26 <sup>c</sup>	23,7±0,14 <sup>c</sup>	0,4±0,01 <sup>a</sup>	14,8±0,67 <sup>a</sup>

**Dónde:** n: (9); **T:** tratamientos (T1–T8); **T1:** (Tuna al 30%+mucílago de nopal al 10%+azúcar); **T2:** (Tuna al 30%+mucílago de nopal al 10%+panela); **T3:** (Tuna al 30%+mucílago de nopal al 5%+ azúcar); **T4:** (Tuna al 30%+mucílago de nopal al 5%+panela); **T5:** (Tuna al 50%+mucílago de nopal al 10%+azúcar); **T6:** (Tuna al 50%+mucílago de nopal al 10%+panela); **T7:** (Tuna al 50%+mucílago de nopal al 5%+azúcar); **T8:** (Tuna al 50%+mucílago de nopal al 5%+panel) **Z1:** (Control tuna al 30%+azúcar); **Z2:** (Control tuna al 50%+azúcar); **sólidos solubles:** (%); **pH:** potencial de hidrogeno; **TDS:** sólidos disueltos totales (ppm);  **$\sigma$ :** conductividad (mS/cm); **alcohol:** (%); **temperatura:** (°C); **AT:** acidez titulable (%); **PT:** polifenoles totales, **GAE:** equivalente de ácido gálico. Las letras a, b, c, d, e, f, g, h, indican diferencia significativa entre los tratamientos ( $p < 0,05$ ): cuando los valores presentan letras distintas existe diferencia significativa y cuando comparten la misma letra no hay diferencia significativa. Elaborado por: (Abril&Cuaces, 2026).

La **tabla 66**, presenta los resultados de las diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ), entre los tratamientos evaluados de los sólidos solubles totales. El tratamiento T4: (tuna 30% + mucílago de nopal al 5% + panela) presentó el valor más bajo de sólidos solubles totales (6,2%), mientras que el control Z1: (tuna 30% + azúcar), alcanzó el valor más alto (9,5%), siendo superior al resto de tratamientos. Estos hallazgos concuerdan con lo reportado por Sáenz *et al.* (2022), quienes observaron que la sustitución parcial de sacarosa por panela en bebidas fermentadas reduce la concentración de azúcares disponibles y modifica el perfil de acidez esto por la presencia de compuestos minerales y antioxidantes.

El pH muestra las diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ) entre los tratamientos evaluados. El control Z1: (tuna 30% + azúcar), presentó el valor más bajo de pH (3,0) mientras que el tratamiento T4: (tuna 30% + mucílago de nopal al 5% + azúcar), alcanzó un pH más alto (3,5). Esta diferencia indica que el tipo de tratamiento aplicado afecta directamente en la acidez de la bebida.

Los TDS mostraron diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ), entre los tratamientos. El control Z2: (tuna 50% + azúcar), presentó el valor más bajo de sólidos disueltos totales (TDS) con 399,8 ppm, mientras que el tratamiento T8: (tuna 50% + mucílago de nopal al 5% + panela), alcanzó el valor más alto 663,1 ppm.

La conductividad describe las diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ) entre los tratamientos evaluados, el tratamiento Z2: (tuna 50% + azúcar), presentó un valor bajo de conductividad 768,6 mS/cm, mientras que el tratamiento T6: (tuna 50% + nopal 10% + panela), mostró un valor alto 1385,7 mS/cm.

El alcohol mostró diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ) entre los tratamientos evaluados, el tratamiento T3: (tuna 30% + nopal 5% + azúcar), presentó un valor bajo de alcohol 13,2% v/v, mientras que el control Z1: (tuna 30% + azúcar), presentó un valor alto en grados alcohólicos 19,4% v/v. Robledo & Morales, (2020), mencionan que la presencia de las levaduras, modulan la producción de alcohol y favoreciendo la formación de metabolitos secundarios con potencial funcional.

La temperatura detalla las diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ) entre los tratamientos evaluados, el control Z1: (tuna 30% + azúcar), con el valor más bajo de temperatura 22,5 °C, mientras que el control Z2: (tuna 50% + azúcar) presentó un valor alto 23,7 °C.

En cuanto acidez muestra diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ) entre los tratamientos evaluados, el control Z2: (tuna 50% + azúcar), presentó un valor menor 0,4 %, mientras que el tratamiento T7: (tuna 50% + mucílago de nopal al 5% + azúcar), presento valores altos de acidez de 1 %.

Los polifenoles detallan las diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ) entre los tratamientos evaluados, el tratamiento T7: (tuna 50% + mucílago de nopal al 5% + azúcar), con un valor menor de polifenoles 12,46 mg GAE/ml, mientras que el tratamiento T2: (tuna 30% + mucílago de nopal al 10% + panela) fue el valor más alto de polifenoles 36,49 mg GAE/ml.

La relación entre TDS, conductividad y polifenoles también ha sido descrita por Chávez (2020), en bebidas tradicionales de tuna, donde la adición de ingredientes ricos en antioxidantes incrementa la complejidad química de la matriz, los resultados obtenidos confirman que las formulaciones con nopal y panela también desarrollan el valor funcional de la bebida, lo que representa una ventaja competitiva frente a productos convencionales endulzados únicamente con azúcar.

## **11.5. Perfil sensorial**

### **11.5.1. Perfil de apariencia**

Se exponen los resultados correspondientes al perfil de apariencia de la bebida, destacando la importancia de atributos como color, brillo, limpieza, transparencia y cuerpo en la copa determinación de su calidad visual.

**Tabla 67.** Puntuaciones obtenidas de la evaluación sensorial de apariencia.

Tratamientos	Color	Brillo	Limpieza	Transparencia	Cuerpo en la copa
<b>T1</b>	7,6 ± 0,27 <sup>a</sup>	7,2 ± 0,27 <sup>a</sup>	7,2 ± 0,31 <sup>a</sup>	7,3 ± 0,26 <sup>b</sup>	6,4 ± 0,25 <sup>a</sup>
<b>T2</b>	6,6 ± 0,27 <sup>a</sup>	6,6 ± 0,27 <sup>a</sup>	6,5 ± 0,31 <sup>a</sup>	6,3 ± 0,26 <sup>ab</sup>	6,0 ± 0,25 <sup>a</sup>
<b>T3</b>	6,9 ± 0,27 <sup>a</sup>	7,1 ± 0,27 <sup>a</sup>	7,0 ± 0,31 <sup>a</sup>	6,8 ± 0,26 <sup>ab</sup>	6,5 ± 0,25 <sup>a</sup>
<b>T4</b>	6,4 ± 0,27 <sup>a</sup>	6,0 ± 0,27 <sup>a</sup>	6,4 ± 0,31 <sup>a</sup>	5,9 ± 0,26 <sup>a</sup>	6,0 ± 0,25 <sup>a</sup>
<b>T5</b>	7,4 ± 0,27 <sup>a</sup>	7,1 ± 0,27 <sup>a</sup>	7,2 ± 0,31 <sup>a</sup>	6,9 ± 0,26 <sup>ab</sup>	6,8 ± 0,25 <sup>a</sup>
<b>T6</b>	6,7 ± 0,27 <sup>a</sup>	6,7 ± 0,27 <sup>a</sup>	6,9 ± 0,31 <sup>a</sup>	6,3 ± 0,26 <sup>ab</sup>	6,5 ± 0,25 <sup>a</sup>
<b>T7</b>	6,6 ± 0,27 <sup>a</sup>	6,7 ± 0,27 <sup>a</sup>	7,5 ± 0,31 <sup>a</sup>	7,1 ± 0,26 <sup>ab</sup>	6,6 ± 0,25 <sup>a</sup>
<b>T8</b>	6,7 ± 0,27 <sup>a</sup>	6,3 ± 0,27 <sup>a</sup>	6,7 ± 0,31 <sup>a</sup>	5,9 ± 0,26 <sup>a</sup>	6,1 ± 0,25 <sup>a</sup>
<b>Z1</b>	6,7 ± 0,27 <sup>a</sup>	6,6 ± 0,27 <sup>a</sup>	6,3 ± 0,31 <sup>a</sup>	6,8 ± 0,26 <sup>ab</sup>	6,0 ± 0,25 <sup>a</sup>
<b>Z2</b>	6,7 ± 0,27 <sup>a</sup>	6,6 ± 0,27 <sup>a</sup>	6,8 ± 0,31 <sup>a</sup>	6,5 ± 0,26 <sup>ab</sup>	6,4 ± 0,25 <sup>a</sup>

**Dónde: n:** (9); **T:** tratamientos (T1–T10); **T1:** (tuna al 30% + mucílago de nopal al 10% + azúcar); **T2:** (tuna al 30% + mucílago de nopal al 10% + panela); **T3:** (tuna al 30% + mucílago de nopal al 5% + azúcar); **T4:** (tuna al 30% + mucílago de nopal al 5% + panela); **T5:** (tuna al 50% + mucílago de nopal al 10% + azúcar); **T6:** (tuna al 50% + mucílago de nopal al 10% + panela); **T7:** (tuna al 50% + mucílago de nopal al 5% + azúcar); **T8:** (tuna al 50% + mucílago de nopal al 5% + panela); **Z1:** (control solo tuna al 30% + azúcar); **Z2:** (control solo tuna al 50% + azúcar); **Escala hedónica:** 1-9: **1:** extremadamente desagradable; **2:** muy desagradable; **3:** bastante desagradable; **4:** desagradable; **5:** ni desagradable ni agradable; **6:** agradable; **7:** bastante agradable; **8:** muy agradable; **9:** extremadamente agradable; Las letras a, b, c, d, e, f, g, h, indican diferencia significativa entre los tratamientos ( $p < 0,05$ ): cuando los valores presentan letras distintas existe diferencia significativa y cuando comparten la misma letra no hay diferencia significativa. Elaborado por: (Abril & Cuaces, 2026).

La **tabla 67**, presenta los resultados del perfil de apariencia, los parámetros como color, brillo, limpieza y cuerpo en la copa no presentaron diferencias significativas ( $p<0,05\%$ ), entre los tratamientos con valores que oscilaron entre 6,4 y 7,6 señalando que percibieron un tono atractivo y natural. Esto refleja que, en general las bebidas fueron vistas limpias y con un aspecto fresco. Hernández & Gonzáles (2011), destacan que las bebidas a base de fruta suelen alcanzar alta aceptabilidad cuando presentan color atractivo, brillo moderado.

La limpieza no tuvo diferencias significativas ( $p<0,05\%$ ), esto sugiere que las variaciones en las formulaciones con tuna, nopal, panela o azúcar no generaron cambios drásticos en la percepción visual. Estudios en jugos y bebidas frutales señalan que la adición de hidrocoloides o ingredientes vegetales puede modificar el color y la turbidez. Sin embargo, al trabajar dentro de intervalos las diferencias tienden a ser pequeñas y solo algunas formulaciones destacan significativamente (Peña, 2013).

La transparencia presenta diferencias significativas ( $p<0,05\%$ ) entre los tratamientos con valores que oscilaron de 5,9 y 7,3. Trabajos recientes en bebidas fermentadas a base de frutas señalan que los consumidores prefieren sistemas con apariencia estable, sin sedimentos visibles ni turbidez excesiva, aun cuando se incorporan ingredientes como fibra o extractos vegetales Orejón (2022).

En este sentido, los resultados obtenidos mencionan que la combinación de tuna y nopal permitió formular una bebida sensorialmente atractiva, compatible con las tendencias actuales de desarrollo de bebidas saludables. (**Ver. Figura 6**).

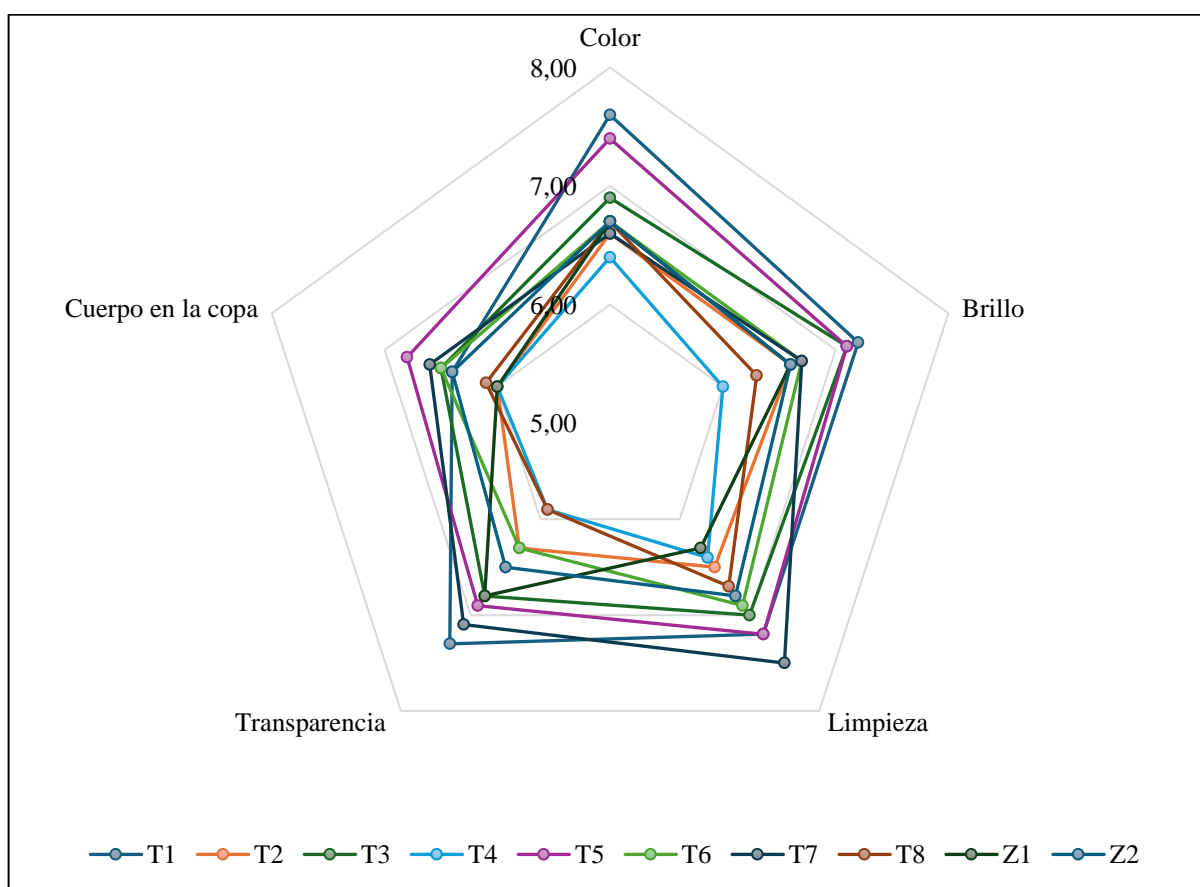


**Figura 6.** *Bebida a base de nopla (Opuntia ficus-indica).*

**Elaborado por:** (Abril & Cuaces, 2026).

Finalmente, el hecho de que las diferencias significativas sean puntuales y no generalizadas entre todos los tratamientos indica que existe un margen amplio para ajustar la formulación sin deteriorar la apariencia. Investigaciones sobre bebidas fermentadas y refrescos frutales señalan que la apariencia suele ser el primer criterio de elección del consumidor, por lo que conservar estos rangos de aceptabilidad representan un paso clave para la futura escalabilidad del producto (Hernández, 2013) (Ver, figura7).

**Figura 7.** Análisis sensorial del perfil apariencia de la bebida.



**Dónde:** Escala hedónica 1-9: 1: extremadamente desagradable; 2: muy desagradable; 3: bastante desagradable; 4: desagradable; 5: ni desagradable ni agradable; 6: agradable; 7: bastante agradable; 8: muy agradable; 9: extremadamente agradable.

### 11.5.2. Perfil de olor

Se exponen los resultados correspondientes al perfil de olor de la bebida destacando la importancia del olor frutal, persistencia aromática global, balance y armonía en la determinación de su calidad sensorial.

**Tabla 68.** Puntuaciones obtenidas de la evaluación sensorial del perfil olor.

Tratamientos	Olor frutal	Balance y armonía	Persistencia aromática global
<b>T1</b>	6,7 ± 0,35 <sup>a</sup>	6,4 ± 0,29 <sup>a</sup>	6,7 ± 0,30 <sup>a</sup>
<b>T2</b>	6,8 ± 0,35 <sup>a</sup>	6,5 ± 0,29 <sup>a</sup>	6,1 ± 0,30 <sup>a</sup>
<b>T3</b>	6,0 ± 0,35 <sup>a</sup>	6,0 ± 0,29 <sup>a</sup>	5,7 ± 0,30 <sup>a</sup>
<b>T4</b>	6,3 ± 0,35 <sup>a</sup>	6,2 ± 0,29 <sup>a</sup>	6,5 ± 0,30 <sup>a</sup>
<b>T5</b>	6,7 ± 0,35 <sup>a</sup>	6,4 ± 0,29 <sup>a</sup>	6,6 ± 0,30 <sup>a</sup>
<b>T6</b>	6,7 ± 0,35 <sup>a</sup>	6,6 ± 0,29 <sup>a</sup>	6,5 ± 0,30 <sup>a</sup>
<b>T7</b>	6,4 ± 0,35 <sup>a</sup>	6,1 ± 0,29 <sup>a</sup>	6,5 ± 0,30 <sup>a</sup>
<b>T8</b>	6,1 ± 0,35 <sup>a</sup>	6,3 ± 0,29 <sup>a</sup>	6,4 ± 0,30 <sup>a</sup>
<b>Z1</b>	6,7 ± 0,35 <sup>a</sup>	6,5 ± 0,29 <sup>a</sup>	6,7 ± 0,30 <sup>a</sup>
<b>Z2</b>	7,1 ± 0,35 <sup>a</sup>	7,0 ± 0,29 <sup>a</sup>	6,8 ± 0,30 <sup>a</sup>

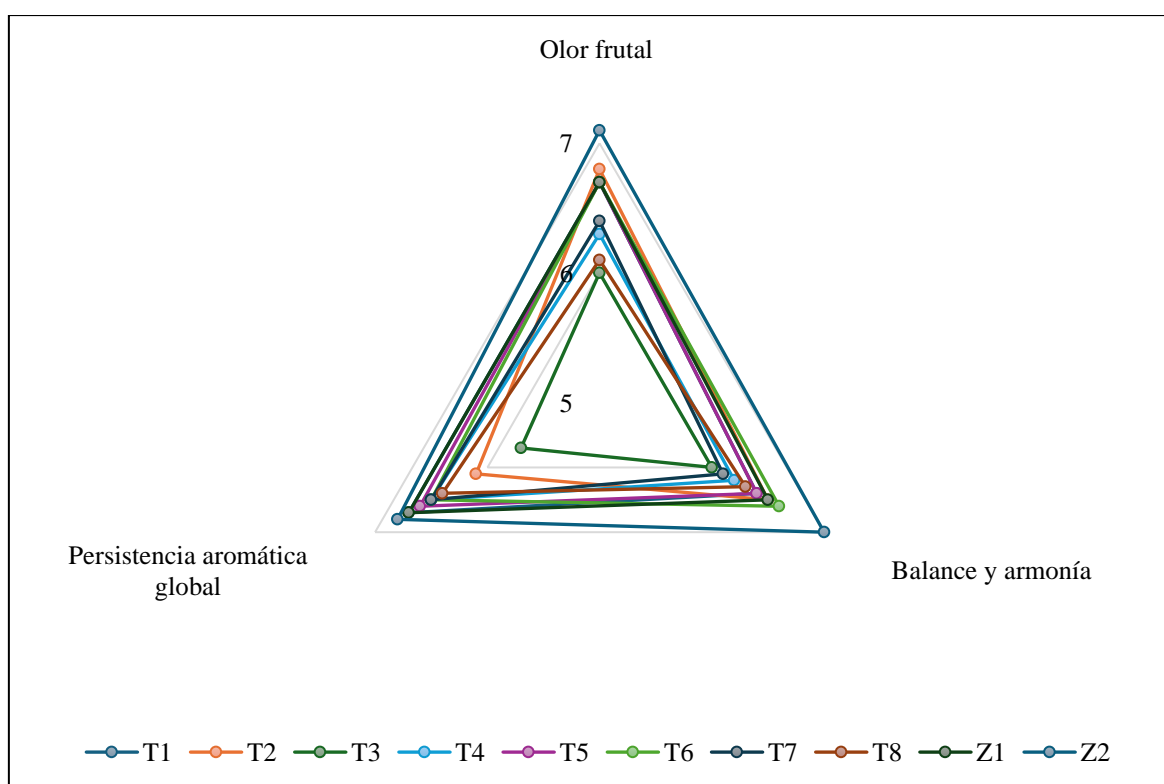
**Dónde:** n: (10 panelistas); **T:** tratamientos (T1–T10); **T1:** (tuna al 30% + mucílago de nopal al 10%+ azúcar); **T2:** (tuna al 30% + mucílago de nopal al 10%+ panela); **T3:** (tuna al 30% + mucílago de nopal al 5%+ azúcar); **T4:** (tuna al 30% + mucílago de nopal al 5% + panela); **T5:** (tuna al 50% + mucílago de nopal al 10% + azúcar); **T6:** (tuna al 50% + mucílago de nopal al 10% + panela); **T7:** (tuna al 50% + mucílago de nopal al 5% + azúcar); **T8:** (tuna al 50% +mucílago de nopal al 5% + panela); **Z1:** (control solo tuna al 30% + azúcar); **Z2:** (control solo tuna al 50%+ azúcar); **Escala hedónica:** 1-9: **1:** extremadamente desagradable; **2:** muy desagradable; **3:** bastante desagradable; **4:** desagradable; **5:** ni desagradable ni agradable; **6:** agradable; **7:** bastante agradable; **8:** muy agradable; **9:** extremadamente agradable; La letra ( a) indican que no hubo diferencia significativa entre los tratamientos ( $p < 0,05$ ): cuando los valores presentan letras distintas existe diferencia significativa y cuando comparten la misma letra no hay diferencia significativa. Elaborado por: (Abril & Cuaces, 2026).

La **tabla 68**, presenta los tratamientos y controles obtuvieron puntuaciones de olor frutal, balance y armonía, y persistencia aromática global entre 6,0 y 7,1 (agradable y bastante agradable.), sin presentar diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ). Este comportamiento sugiere una buena aceptación del perfil olfativo del producto, sin muestras rechazadas por el panel, lo que coincide con lo señalado en estudios recientes que destacan que valores medios altos en escalas hedónicas reflejan una disposición positiva del consumidor hacia el aroma de bebidas frutales (Pinto *et al.*, 2022).

Para el olor frutal y balance/armonía indican que las variaciones en los niveles de tuna, nopal y edulcorantes no hubo diferencias significativas en la percepción olfativa. Esto es coherente con lo planteado por González *et al.* (2024), que señalan que cuando las modificaciones de formulación se encuentran dentro de rangos tecnológicos moderados, las diferencias en atributos aromáticos tienden a ser sutiles y solo algunas combinaciones generan contrastes sensoriales detectables.

La persistencia aromática global, mantuvo sus niveles intermedios altos, lo que revela que el aroma se sostiene de manera adecuada durante la degustación. Estudios recientes en bebidas frutales han demostrado que la persistencia aromática es un factor clave en la aceptación, porque el consumidor asocia una mayor duración del aroma con productos de mejor calidad y con presencia de compuestos volátiles característicos (Arilla *et al.*, 2023). Investigaciones recientes señalan que la consistencia en el aroma entre lotes y formulaciones cercanas es un requisito esencial para garantizar la fidelidad del consumidor en bebidas frutales (Zia *et al.*, 2024) (Ver, figura 8)

**Figura 8.** Análisis sensorial del perfil olor de la bebida.



**Dónde:** Escala hedónica 1-9: 1: extremadamente desagradable; 2: muy desagradable; 3: bastante desagradable; 4: desagradable; 5: ni desagradable ni agradable; 6: agradable; 7: bastante agradable; 8: muy agradable; 9: extremadamente agradable.

### 11.5.3. Perfil de sabor

Se exponen los resultados correspondientes al perfil de sabor de la bebida, destacando la importancia del dulzor, acidez, cuerpo (sabor), astringencia, astringencia, balance y armonía en la determinación de su calidad sensorial.

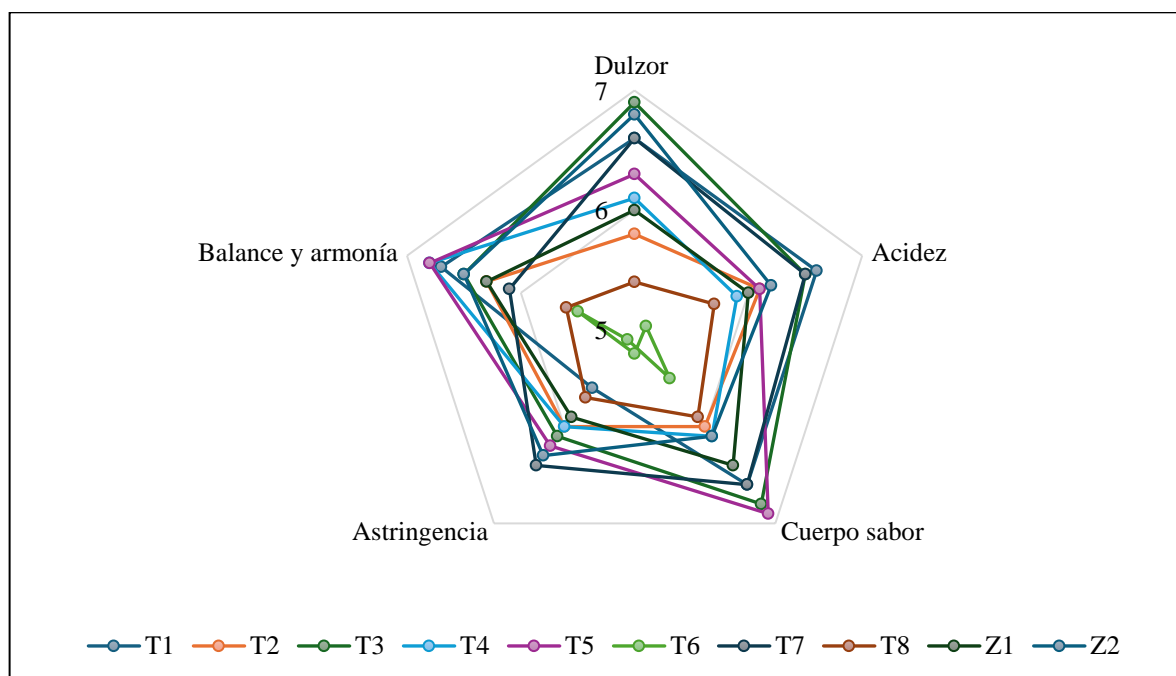
**Tabla 69.** Puntuaciones obtenidas de la evaluación sensorial del perfil sabor.

Tratamientos	Dulzor	Acidez	Cuerpo (sabor)	Astringencia	Balance y armonía	Picor
<b>T1</b>	6,6 ± 0,39 <sup>b</sup>	6,6 ± 0,40 <sup>a</sup>	6,6 ± 0,33 <sup>a</sup>	5,6 ± 0,35 <sup>a</sup>	6,7 ± 0,30 <sup>a</sup>	5,8 ± 0,47 <sup>a</sup>
<b>T2</b>	5,8 ± 0,39 <sup>ab</sup>	6,1 ± 0,40 <sup>a</sup>	6,0 ± 0,33 <sup>a</sup>	6,0 ± 0,35 <sup>a</sup>	6,3 ± 0,30 <sup>a</sup>	5,9 ± 0,47 <sup>a</sup>
<b>T3</b>	6,9 ± 0,39 <sup>b</sup>	6,5 ± 0,40 <sup>a</sup>	6,8 ± 0,33 <sup>a</sup>	6,1 ± 0,35 <sup>a</sup>	6,5 ± 0,30 <sup>a</sup>	5,8 ± 0,47 <sup>a</sup>
<b>T4</b>	6,1 ± 0,39 <sup>ab</sup>	5,9 ± 0,40 <sup>a</sup>	6,1 ± 0,33 <sup>a</sup>	6,0 ± 0,35 <sup>a</sup>	6,8 ± 0,30 <sup>a</sup>	6,4 ± 0,47 <sup>a</sup>
<b>T5</b>	6,3 ± 0,39 <sup>ab</sup>	6,1 ± 0,40 <sup>a</sup>	6,9 ± 0,33 <sup>a</sup>	6,2 ± 0,35 <sup>a</sup>	6,8 ± 0,30 <sup>a</sup>	5,8 ± 0,47 <sup>a</sup>
<b>T6</b>	4,8 ± 0,39 <sup>a</sup>	5,1 ± 0,40 <sup>a</sup>	5,5 ± 0,33 <sup>a</sup>	5,1 ± 0,35 <sup>a</sup>	5,5 ± 0,30 <sup>a</sup>	4,9 ± 0,47 <sup>a</sup>
<b>T7</b>	6,6 ± 0,39 <sup>b</sup>	6,5 ± 0,40 <sup>a</sup>	6,6 ± 0,33 <sup>a</sup>	6,4 ± 0,35 <sup>a</sup>	6,1 ± 0,30 <sup>a</sup>	5,6 ± 0,47 <sup>a</sup>
<b>T8</b>	5,4 ± 0,39 <sup>ab</sup>	5,7 ± 0,40 <sup>a</sup>	5,9 ± 0,33 <sup>a</sup>	5,7 ± 0,35 <sup>a</sup>	5,6 ± 0,30 <sup>a</sup>	5,7 ± 0,47 <sup>a</sup>
<b>Z1</b>	6,0 ± 0,39 <sup>ab</sup>	6,0 ± 0,40 <sup>a</sup>	6,4 ± 0,33 <sup>a</sup>	5,9 ± 0,35 <sup>a</sup>	6,3 ± 0,30 <sup>a</sup>	5,9 ± 0,47 <sup>a</sup>
<b>Z2</b>	6,8 ± 0,39 <sup>b</sup>	6,2 ± 0,40 <sup>a</sup>	6,1 ± 0,33 <sup>a</sup>	6,3 ± 0,35 <sup>a</sup>	6,5 ± 0,30 <sup>a</sup>	6,2 ± 0,47 <sup>a</sup>

**Dónde:** n: (10 panelistas); **T:** tratamientos (T1–T10); **T1:** (tuna al 30% + mucílago de nopal al 10%+ azúcar); **T2:** (tuna al 30% + mucílago de nopal al 10%+ panela); **T3:** (tuna al 30% + mucílago de nopal al 5%+ azúcar); **T4:** (tuna al 30% + mucílago de nopal al 5% + panela); **T5:** (tuna al 50% + mucílago de nopal al 10% + azúcar); **T6:** (tuna al 50% + mucílago de nopal al 10% + panela); **T7:** (tuna al 50% + mucílago de nopal al 5% + azúcar); **T8:** (tuna al 50% +mucílago de nopal al 5% + panela); **Z1:** (control solo tuna al 30% + azúcar); **Z2:** (control solo tuna al 50%+ azúcar); **Escala hedónica 1-9:** 1: extremadamente desagradable; 2: muy desagradable; 3: bastante desagradable; 4: desagradable; 5: ni desagradable ni agradable; 6: agradable; 7: bastante agradable; 8: muy agradable; 9: extremadamente agradable, Las letras a, b indican diferencia significativa entre los tratamientos ( $p < 0,05$ ): cuando los valores presentan letras distintas existe diferencia significativa y cuando comparten la misma letra no hay diferencia significativa. Elaborado por: (Abril & Cuaces).

La **tabla 69**, muestra que todos los tratamientos y controles obtuvieron puntuaciones entre 4,8 y 6,9 en el atributo de dulzor, lo que refleja una aceptación general positiva del perfil de sabor por parte del panel de consumidores. En contraste, atributos como acidez, cuerpo, astringencia, balance y armonía, así como picor, no presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ), lo que sugiere que las variaciones en la proporción de tuna, nopal y tipo de edulcorante no generaron contrastes sensoriales marcados en la percepción del sabor. Este dato obtenido concuerda con González *et al.* (2024), quienes destacan que dentro de rangos tecnológicos moderados, las modificaciones en la formulación tienden a producir efectos sutiles en atributos gustativos, especialmente cuando los ingredientes comparten perfiles sensoriales compatibles. De manera complementaria, Zia *et al.* (2024), subrayan que la consistencia en el perfil de sabor entre lotes y formulaciones similares es clave para consolidar la fidelidad del consumidor en el mercado de bebidas frutales artesanales. Los resultados sensoriales confirman que la bebida fermentada artesanal mantiene un perfil de sabor estable y aceptado, independientemente de las variaciones en los ingredientes, lo que constituye una ventaja tecnológica y comercial para su posicionamiento en el mercado (**Ver, figura 9**)

**Figura 9.** Análisis sensorial del perfil sabor de la bebida.



**Dónde: Escala hedónica 1-9:** 1: extremadamente desagradable; 2: muy desagradable; 3: bastante desagradable; 4: desagradable; 5: ni desagradable ni agradable; 6: agradable; 7: bastante agradable; 8: muy agradable; 9: extremadamente agradable.

## 11.6. Evaluación sensorial

### 11.6.1. Aceptabilidad

Se presentan los resultados correspondientes a la aceptabilidad de la bebida, evidenciando la importancia de los atributos sensoriales en la determinación de la aceptación por parte de los consumidores.

**Tabla 70.** Resultados obtenidos de la evaluación sensorial la aceptabilidad.

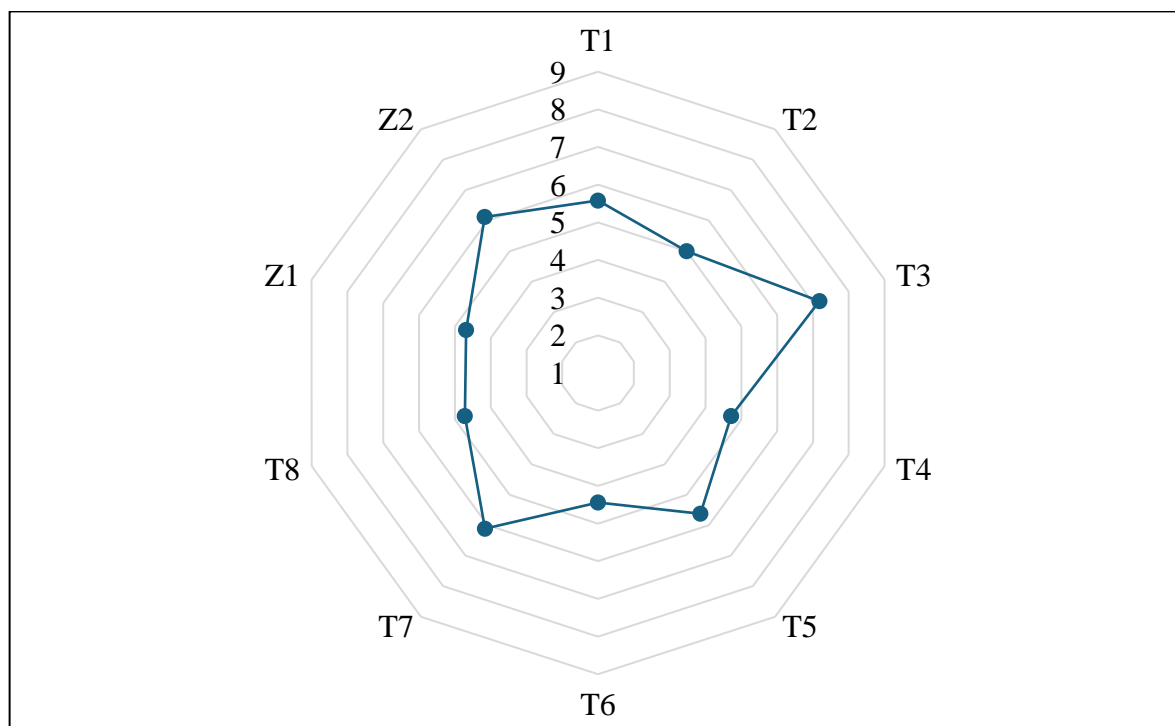
Tratamientos	n	Aceptabilidad
<b>T1</b>	100	5,58 ± 0,143 <sup>bc</sup>
<b>T2</b>	100	5,00 ± 0,143 <sup>ab</sup>
<b>T3</b>	100	7,18 ± 0,143 <sup>d</sup>
<b>T4</b>	100	4,72 ± 0,143 <sup>a</sup>
<b>T5</b>	100	5,62 ± 0,143 <sup>bc</sup>
<b>T6</b>	100	4,44 ± 0,143 <sup>a</sup>
<b>T7</b>	100	6,11 ± 0,143 <sup>c</sup>
<b>T8</b>	100	4,72 ± 0,143 <sup>a</sup>
<b>Z1</b>	100	4,69 ± 0,143 <sup>a</sup>
<b>Z2</b>	100	6,12 ± 0,143 <sup>c</sup>

**Dónde:** n: consumidores T: tratamientos (T1–T10); **T1:** (tuna al 30% + mucílago de nopal al 10%+ azúcar); **T2:** (tuna al 30% + mucílago de nopal al 10%+ panela); **T3:** (tuna al 30% + mucílago de nopal al 5%+ azúcar); **T4:** (tuna al 30% + mucílago de nopal al 5% + panela); **T5:** (tuna al 50% + mucílago de nopal al10% + azúcar); **T6:** (tuna al 50% + mucílago de nopal al 10% + panela); **T7:** (tuna al 50% + mucílago de nopal al 5% + azúcar); **T8:** (tuna al 50% +mucílago de nopal al 5% + panela); **Z1:** (control solo tuna al 30% + azúcar); **Z2:** (control solo tuna al 50%+ azúcar); **Escala hedónica 1-9;** **1:** extremadamente desagradable; **2:** muy desagradable; **3:** bastante desagradable; **4:** desagradable; **5:** ni desagradable ni agradable; **6:** agradable **7:** bastante agradable; **8:** muy agradable; **9:** extremadamente agradable, Las letras a, b, c indican diferencia significativa entre los tratamientos ( $p < 0,05$ ): cuando los valores presentan letras distintas existe diferencia significativa y cuando comparten la misma letra no hay diferencia significativa. Elaborado por: (Abril & Cuaces, 2026).

La **tabla 70**, presenta los resultados de aceptabilidad donde se evidenciaron que el tratamiento T3: (tuna al 30% + mucílago de nopal al 5%+ azúcar), fue el más valorado por los consumidores, con una puntuación de 7,18 en la escala hedónica, correspondiente a muy agradable. Este resultado sugiere que una menor proporción de nopal combinada con azúcar favorece la percepción positiva del producto, posiblemente por su perfil sensorial más equilibrado. Así mismo, el tratamiento T3: (tuna al 30% + mucílago de nopal al 5%+ azúcar),

T7: (tuna al 50% + mucílago de nopal al 5% + azúcar) y Z2: (control solo tuna al 50% + azúcar), lograron puntuaciones superiores a 6,0, manteniendo un perfil sensorial agradable y aceptado. Por otro lado, los tratamientos T4: (tuna al 30% + mucílago de nopal al 5% + panela), T6: (tuna al 50% + mucílago de nopal al 10% + panela), T8: (tuna al 50% + mucílago de nopal al 5% + panela) y Z1: (control solo tuna al 30% + azúcar) obtuvieron puntuaciones significativamente más bajas entre 4,44 y 4,72, lo que indica una baja aceptación. Estas formulaciones comparten el uso de panela y/o mayor contenido de nopal, lo que podría haber influido en la percepción de sabor, textura o dulzor residual. La diferencia significativa entre tratamientos confirma que la aceptabilidad está fuertemente influenciada por la formulación, especialmente por el tipo de edulcorante y la proporción de ingredientes funcionales. Estudios recientes han señalado que el uso de edulcorantes como la panela puede aportar notas sensoriales complejas que no siempre son bien recibidas por todos los segmentos de consumidores (Pinto *et al.*, 2022). Así mismo, el exceso de nopal puede alterar la textura y el sabor, afectando la experiencia general de consumo (Zia *et al.*, 2024). (Ver, figura 10)

**Figura 10.** Aceptabilidad general de la bebida



**Dónde: Escala hedónica 1-9: 1:** extremadamente desagradable; **2:** muy desagradable; **3:** bastante desagradable; **4:** desagradable; **5:** ni desagradable ni agradable; **6:** agradable; **7:** bastante agradable; **8:** muy agradable; **9:** extremadamente agradable.

### 11.7. Análisis microbiológico de la bebida a base de nopal (*Opuntia ficus-indica*).

Se presenta los resultados correspondientes al análisis microbiológico de la bebida a base de nopal, evidenciando la ausencia de microorganismos patógenos y la estabilidad del producto durante su fermentación.

**Tabla 71.** Resultados obtenidos de los análisis microbiológicos de la bebida.

Tratamientos	<i>E. coli</i> (UFC)	<i>Coliformes totales</i> (UFC)	Mohos y Levaduras (UP)
<b>T1</b>	<1x10 <sup>1</sup>	<1x10 <sup>1</sup>	2,21x10 <sup>1</sup>
<b>T2</b>	<1x10 <sup>1</sup>	<1x10 <sup>1</sup>	2,00x10 <sup>1</sup>
<b>T3</b>	<1x10 <sup>1</sup>	<1x10 <sup>1</sup>	3,64x10 <sup>1</sup>
<b>T4</b>	<1x10 <sup>1</sup>	<1x10 <sup>1</sup>	2,52x10 <sup>1</sup>
<b>T5</b>	<1x10 <sup>1</sup>	<1x10 <sup>1</sup>	5,45x10 <sup>1</sup>
<b>T6</b>	<1x10 <sup>1</sup>	<1x10 <sup>1</sup>	2,72x10 <sup>1</sup>
<b>T7</b>	<1x10 <sup>1</sup>	<1x10 <sup>1</sup>	1,82x10 <sup>1</sup>
<b>T8</b>	<1x10 <sup>1</sup>	<1x10 <sup>1</sup>	2,42x10 <sup>1</sup>
<b>Z1</b>	<1x10 <sup>1</sup>	<1x10 <sup>1</sup>	4,67x10 <sup>1</sup>
<b>Z2</b>	<1x10 <sup>1</sup>	<1x10 <sup>1</sup>	6,15 x10 <sup>1</sup>

**Dónde:** n: (2); T: tratamientos (T1–T10); **T1:** ( tuna al 30% + mucílago de nopal al 10%+ azúcar); **T2:** ( tuna al 30% + mucílago de nopal al 10%+ panela); **T3:** (tuna al 30% + mucílago de nopal al 5%+ azúcar); **T4:** ( tuna al 30% + mucílago de nopal al 5% + panela); **T5:** (control solo tuna al 30% + azúcar); **T6:** ( tuna al 50% + mucílago de nopal al10% + azúcar); **T7:** (tuna al 50% + mucílago de nopal al 10% + panela); **T8:** ( tuna al 50% + mucílago de nopal al 5% + azúcar); **Z1:** ( tuna al 50% +mucílago de nopal al 5% + panela); **Z2:** (control solo tuna al 50%+ azúcar);**UFC:** unidades formadoras de colonias por mililitro de muestra; **UP:** Unidades propagadas (UP).  
**Elaborado por:** (Abril & Cuaces, 2026).

La **tabla 71**, presenta los resultados microbiológicos realizados sobre 8 tratamientos y dos controles. Las bebidas formuladas con distintas proporciones de tuna, nopal, azúcar y panela mostraron que todos los tratamientos presentaron recuentos de *E. coli* y *coliformes totales* inferiores a 1,0×10<sup>1</sup> UFC, indicando ausencia de contaminación, cumpliendo con los estándares de inocuidad establecidos por la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1529-8 (1990) e INEN 1529-7 (2013) que exige ausencia de *E. coli* y *coliformes totales*. Se presentaron diferencias significativas en la carga de mohos y levaduras, con valores que oscilaron entre 1,82×10<sup>1</sup> UP

T7: (tuna al 50% + mucílago de nopal al 5% + azúcar) y  $6,15 \times 10^1$  UP Z2: (control solo tuna al 50%+ azúcar). De acuerdo con la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1529-10 (2013), el límite máximo permitido para mohos y levaduras en bebidas alcohólicas es de  $1,0 \times 10^2$  UFC/ml, por lo que todos los tratamientos cumplen este criterio. Estos resultados sugieren que la inclusión de nopal en proporciones moderadas podría contribuir a una mayor estabilidad microbiológica, posiblemente por su contenido de compuestos bioactivos con propiedades antimicrobianas, como se ha reportado en estudios sobre bebidas a base de nopal (Hernández, 2021).

## **12. IMPACTOS TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS**

### **12.1. Social**

Este proyecto aprovecha el nopal (*Opuntia ficus-indica*) y tuna, para crear una bebida innovadora y sostenible. Al hacerlo, se fortalece el trabajo conjunto con la universidad y las comunidades rurales, se impulsa el uso de recursos locales y se generan nuevas oportunidades de emprendimiento. Además, ayuda a valorar ingredientes propios de la región.

### **12.2. Ambiental**

El desarrollo de la bebida favorece la sostenibilidad, ya que este cultivo requiere poca agua y se adapta fácilmente a zonas áridas, al usarlo para elaborar una bebida, se aprovecha un ingrediente local que reduce la dependencia de productos externos y el transporte, lo que reduce la contaminación.

### **12.3. Técnico**

El desarrollo de esta bebida representa un aporte tecnológico al realizarse mediante un proceso de fermentación artesanal, lo que permitió evaluar sus propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales, permitiendo establecer parámetros de calidad, seguridad y aceptación del producto, generando información útil para futuros procesos agroindustriales.

### **12.4. Económico**

El desarrollo de la bebida abre oportunidades de emprendimiento rural y fomenta la diversificación de ingresos para pequeños productores, al darle valor agregado al nopal, se fortalece la economía regional y se promueve la competitividad en mercados que buscan opciones innovadoras y sostenibles.

### 13. PRESUPUESTO

El presupuesto económico destinados a esta investigación fueron gestionados únicamente dentro del desarrollo de la tesis. Cada insumo, material y servicio empleado se ajustó a las necesidades propias del proceso, que incluyó la recolección y preparación de la materia prima, así como la realización de los análisis fisicoquímicos, microbiológicos y sensoriales. La ejecución del proyecto se muestra el desglose de los costos asociados en la **tabla 72**.

**Tabla 72.** *Presupuesto para la elaboración de la bebida a base de nopal.*

<b>PRESUPUESTO PARA LA ELABORACIÓN DE LA BEBIDA</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unitario (USD)</b>	<b>Costo total (USD)</b>
Materia prima cladodio (Hojas de nopal kg)	15	\$0,20	\$ 3,00
Materia prima tuna (kg)	26	\$0,25	\$ 6,50
Azúcar (kg)	6	\$1,01	\$ 6,06
Panela (kg)	6	\$1,00	\$ 6,00
Agua potable (botellones de 20 L)	3	\$1,00	\$ 3,00
Levadura ( <i>Saccharomyces cerevisiae</i> )	3	\$0,45	\$ 1,35
Biorreactores plásticos con llave (4 L)	30	\$3,75	\$ 112,50
Mangueras	13	\$0,25	\$ 3,25
Paquete de vaso (6 onz)	1	\$1	\$ 1
Pliego de papel filtro	2	\$2,50	\$ 5,00
Paquete de fundas ziploc	4	\$3,00	\$ 12,00
Rollo de Papel absorbente	1	\$1,64	\$ 1,64
Agua destilada (4L)	5	\$3,90	\$ 19,50
Botellas ámbar de vidrio de un 1L	30	\$1,25	\$ 37,50
Placas pretrifilm análisis microbiológico	120	\$2,25	\$ 270
Subtotal			\$ 488,30
Imprevistos (10 %)			\$ 49
<b>Total</b>			<b>\$ 537,30</b>

**Elaborado por:** (Abril & Cuaces, 2025).

## 14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 14.1. CONCLUSIONES

- El desarrollo de una bebida elaborada a base de nopal (*Opuntia ficus-indica*), demostró ser viable desde el ámbito agroindustrial, esta materia prima cuenta con las cualidades necesarias para convertirla en una bebida fermentada con valor añadido para su elaboración y comercialización.
- La caracterización fisicoquímica del cladodio, evidenció una acidez titulable de 0,6%, los sólidos solubles totales de 4,7% y un pH de 4,7. En contraste, la tuna presentó una acidez titulable de 0,03%, sólidos solubles totales de 14,8% y un pH de 6,7. Ambos conjuntos de valores cumplieron con los parámetros establecidos por el (CODEX STAN 185, 1993).
- La formulación de las bebidas a base de nopal (*Opuntia ficus-indica*), endulzadas con azúcar y panela, demostró un potencial innovador al aprovechar materias primas originarias de climas áridos, contribuyendo al desarrollo de nuevas alternativas de consumo con valor agregado y enfoque sostenible.
- Los tratamientos cumplieron los requisitos de parámetros fisicoquímicos establecidos por la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 374 (2016). El pH se mantuvo en un rango de 3,5, la acidez titulable es 1,0%, el grado alcohólico osciló entre 19,4%, en concordancia con el rango normativo, así mismo, los sólidos solubles totales de 9,5%.
- El tratamiento T2: (tuna 30%+ mucílago de nopal al 10% + panela), presentó el valor más alto de contenido de polifenoles (36.49 mg GAE/100 ml), considerando que la bebida provee compuestos bioactivos.
- Los tratamientos cumplieron con los criterios microbiológicos establecidos por la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1529-7 (2013) e INEN 1529-8 (1990), para *E-Coli* y *Coliformes Totales*. Por otro lado, Mohos y Levaduras presentó un valor de  $6,15 \times 10^1$  UFC/ml, este resultado se encuentra por debajo del límite máximo permitido por la INEN 1529-10 (2013) respectivamente, garantizando la seguridad e inocuidad de la bebida.
- La evaluación de aceptabilidad sensorial, los tratamientos T3 (mucílago de nopal al 30%+ mucílago de nopal al 5%+azúcar), obtuvo una aceptación de 8 (muy agradable), Z2 (tuna al 50% + azúcar) y T7 (tuna al 50% + mucílago de nopal al 5%+azúcar) alcanzaron puntuaciones de 7 (bastante agradable), siendo estos tratamientos con los mayores niveles de aceptación por parte de los consumidores.

## 14.2. RECOMENDACIONES

- Profundizar los estudios de vida útil del nopal, evaluando su estabilidad durante el almacenamiento. Para asegurar que el producto mantenga su calidad y seguridad en todo momento, es fundamental tener en cuenta elementos como la temperatura y el tipo de envase.
- Incluir edulcorantes naturales y frutas autóctonas. Constituye una estrategia que no solo amplía la diversidad y mejora el perfil sensorial del producto, sino también posibilita la oferta de alternativas saludables y atractivas para distintos públicos.
- Promover el progreso del proyecto con pequeños productores y empresarios locales, incentivando la cooperación entre la comunidad, el sector productivo y el ámbito académico. De esta manera se podrán crear negocios sostenibles que fortalezcan la economía local y fomenten un efecto beneficioso para las personas que viven allí.
- Fomentar el aprovechamiento integral del nopal. Construyendo una estrategia esencial para impulsar la innovación agroalimentaria. Esta iniciativa responde a la creciente demanda de alimentos saludables e innovadores, al mismo tiempo genera un impacto positivo en la calidad de vida de las comunidades y contribuye a consolidar identidad gastronómica de la provincia de Cotopaxi, fortaleciendo así la sostenibilidad y el desarrollo regional.

## 15. BIBLIOGRAFÍA

- Achachi, R. (2022). El Nopal Como Ingrediente De La Cocina Fusión: Experiencia Ecuador. <https://Repositorio.uta.edu.ec/server/api/core/bitstreams/93b507d5-6701-4135-A7d7-9bacc0a6b834/content>
- Aguilar, D., & Sánchez, M. (2022). La organización territorial de la producción de nopal verdura en tlalnepantla, morelos. *Investigaciones geográficas*, (108). <https://doi.org/10.14350/Rig.60490>
- Aguilar Sánchez, G. (2020). Diferenciación de tierras agrícolas en el municipio de Tequis-Quiapan, Querétaro. *revista geográfica de américa central*, 65(2), 121–143. <https://doi.org/10.15359/Rgac.65-2.5>
- Alba Jiménez, J. E., Chávez Servia, J. L., Verdalet Guzmán, I., & Aquino Bolaños, E. N. (2014). betalaínas, polifenoles y actividad antioxidante en tuna roja mínimamente procesada, almacenada en atmósferas controladas. *gayana. botánica*, 71(2), 222–226. <https://doi.org/10.4067/S0717-66432014000200005>

- Alcalá, R., Mayara, P., González, A., Alcalá, G., Armando, J., Gaytán, T., Alcalá, R. C., Antonio, L., Espino, B., & Ortiz, R. (2024). Aprovechamiento del mucílago del nopal (*Opuntia Ficus-Indica*) para la producción de licor de nopal. [https://congresos.cio.mx/16\\_enc\\_mujer/cd\\_congreso/archivos/resumenes/s2/s2-bca06.pdf](https://congresos.cio.mx/16_enc_mujer/cd_congreso/archivos/resumenes/s2/s2-bca06.pdf)
- Ancuta, L., Madura, E., & Salanta, L. (2021). Strategies to improve the potential functionality of fruit-based fermented beverages. *plants* 2021, vol. 10, 10(11). <https://doi.org/10.3390/plants10112263>
- Anzaldúa, A. (1998). La evaluación sensorial de los alimentos: teoría y práctica (course code) - studocu. <https://www.studocu.com/es-mx/document/universidad-autonoma-de-nuevo-leon/evaluacion-sensorial/Anzaldua-Morales-la-evaluacion-sensorial-de-los-alimentos-en-la-teoria-y-la-practica-low-res/72780790>
- Arcos, C. (2020). Estabilización de cuatro bebidas ancestrales envasadas fermentadas con Kefír y levadura. Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC). <Http://Repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/6697>
- Arilla, E., Martínez-Monzó, J., Chiş, M. S., Fărcaş, A. C., Socaci, S. A., Codoñer-Franch, P., & García-Segovia, M. (2023). Sensory evaluation, physicochemical properties, and aromatic profile of pasteurised orange juice with resistant maltodextrin. *foods*, 12(21). <https://doi.org/10.3390/Foods12214025/S1>
- Avalo, B., Pérez, S., & Tovar, M. (2023). Caracterización preliminar del proceso de concentración del jugo natural de naranja en un evaporador de tres efectos. *Interciencia*, 34(11),784–790. [http://ve.scielo.org/scielo.php?Script=Sci\\_Arttext&Pid=S037818442009001100007&Lng=Es&Nrm=Iso&Tlng=Es](http://ve.scielo.org/scielo.php?Script=Sci_Arttext&Pid=S037818442009001100007&Lng=Es&Nrm=Iso&Tlng=Es)
- Baez, A. (2023). Fermentación alcohólica y sustratos. <https://es.scribd.com/document/721547825/Azucares-de-la-fermentacion-alcoholica>
- Birch, C. S., & Bonwick, G. A. (2019). Ensuring the future of functional foods. *international journal of food science and technology*, 54(5), 1467–1485. <https://doi.org/10.1111/Ijfs.14060>
- Cabrera, F., & Serrano, N. (2012). Bebidas fermentadas. [https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/9636/306598\\_modulo\\_bebidas%20fermentadas.pdf](https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/9636/306598_modulo_bebidas%20fermentadas.pdf)

- Castro, M. P. T., Castro, M. P. T., Martez, R. S. A., Chango, N. E. C., & Valles, C. D. P. (2025). composición y declaraciones nutricionales en el etiquetado de bebidas vegetales no saborizadas ecuatorianas. *polo del conocimiento*, 10(7), 1925–1945. <https://doi.org/10.23857/Pc.V10i7.9998>
- Cerero Calvo, C., Sánchez Medina, M. A., Pérez Santiago, A. D., & Matías Pérez, D. (2022). Probióticos presentes en bebidas fermentadas Mexicanas. *tip. revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 25. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2022.436>
- Chávez, D. (2020). “Diseño del proceso industrial para la obtención de una bebida de hoja de tuna (*Opuntia Ficus-Indica*), para la empresa Vita tuna. <https://core.ac.uk/download/pdf/234577026.pdf>
- CODEX STAN 185. (1993). Norma para el nopal. [https://www.Fao.org/Fao-who-Codexalimentarius/ShProxy/Ro/?Lnk=1&Url=Https%253a%252f%252fworkspace.Fao.Org%252fsites%252fcodex%252fstandards%252fcxs%2b185-1993%252fcxs\\_185s.Pdf](https://www.Fao.org/Fao-who-Codexalimentarius/ShProxy/Ro/?Lnk=1&Url=Https%253a%252f%252fworkspace.Fao.Org%252fsites%252fcodex%252fstandards%252fcxs%2b185-1993%252fcxs_185s.Pdf)
- Collaguazo Gaibor, R. O. (2022). Plan de manejo integral de residuos sólidos Urbanos en la parroquia rural de San Antonio de Ibarra. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/13068>
- Contreras Lozano, K. P., Ciro Velásquez, H. J., & Arango Tobón, J. C. (2020). hidrocoloides como estabilizantes en bebidas de maíz dulce (*Zea Mays* Var. *Saccharata*) y gel de aloe vera (*Aloe Barbadensis Miller*). *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 22(2). <https://doi.org/10.31910/Rudca.V22.N2.2019.1090>
- Corzo Ríos, L. J., Bautista-Ramírez, M. E., Gómez & Torres-Bustillos, L. G. (2017). frutas de cactáceas: compuestos bioactivos y sus propiedades nutraceuticas. *propiedades funcionales de Hoy*, 35–66. <https://doi.org/10.3926/Oms.360>
- Costa, R., Houghton, M., Barber, E., Kitchen, B., & Williamson, G. (2024). flavonoides y ácidos fenólicos de la caña de azúcar: distribución en la planta, cambios durante el Procesamiento y Potenciales Beneficios para la Industria y la salud. *Comprehensive Reviews In Food Science And Food Safety*, 23(2). <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13307>

- Cruz Cansino, S., Cervantes Elizarrarás, A., Delgado Olivares, L., Ariza Ortega, A., & Zafra Rojas, Y. (2021). bacterias ácido lácticas de bebidas vegetales fermentadas: producción de metabolitos y propiedades antimicrobianas. *educación y salud boletín científico Instituto de ciencias de la salud universidad autónoma de estado de Hidalgo*, 9(18), 175–186. <https://doi.org/10.29057/Icsa.V9i18.6590>
- Daboin, H., Martínez, E., & Segovia, E. (2023). Descripción del proceso de comercialización de la panela, estado Trujillo, Venezuela. *Revista de la facultad de agronomía*, 22(1), 76–89. [http://ve.scielo.org/SciELO.Php?Script=Sci\\_Arttext&Pid=S0378-78182005000100008&Lng=Es&Nrm=Iso&Tlng=Es](http://ve.scielo.org/SciELO.Php?Script=Sci_Arttext&Pid=S0378-78182005000100008&Lng=Es&Nrm=Iso&Tlng=Es).
- Díaz, G., Peña, C., & Calderón, G. (2015). Características Físicas y Químicas de Nopal Verdura (*Opuntia Ficus-Indica*) para exportación y consumo nacional. 49(1), 31–51. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?Id=30236850003>
- Díaz Simbaña, P. A., & Heredia Noroña, G. E. (2020). “Estudio de los diferentes procesos de elaboración, estabilidad y almacenamiento de tres tipos de bebidas fermentadas de yuca (manihot esculenta crantz). <https://repositorio.utc.edu.ec/server/api/core/bitstreams/e63f295c-446b-4b30-B2c2-E422704a99cc/content>
- Diéguez, T., & Cansino, A. (2020). *Revista Mexicana de agronegocios*. *Revista Mexicana de agronegocios*, 27, 435–441. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?Id=14114743013>
- Espinoza, A., & Romero, E. (2022). Evaluación Físicoquímica de una bebida alcohólica fermentada, elaborada a partir de granadilla (*Passiflora Ligularis*) en Jaén. [https://Repositorio.unj.edu.pe/bitstream/unj/79/1/Espinoza\\_cak\\_Romero\\_Fej.Pdf](https://Repositorio.unj.edu.pe/bitstream/unj/79/1/Espinoza_cak_Romero_Fej.Pdf)
- Falasca, S., Bernabé, M., & Lamas, C. (2011). Aptitud agroclimática de áreas áridas y semiáridas de Argentina para el cultivo de tuna (*Opuntia Ficus Indica*) como fuente de bioetanol. *quebracho (Santiago del Estero)*, 19(2), 66–74. [https://www.scielo.org.Ar/SciELO.Php?Script=Sci\\_Arttext&Pid=S1851-30262011000200002&Lng=Es&Nrm=Iso&Tlng=Es](https://www.scielo.org.Ar/SciELO.Php?Script=Sci_Arttext&Pid=S1851-30262011000200002&Lng=Es&Nrm=Iso&Tlng=Es)
- FAO. (2017). FAO insta a consumir nopal, un cactus infravalorado de alto valor alimenticio - desarrollo sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2017/11/FAO-insta-consumir-nopal-un-cactus-infravalorado-de-alto-valor-alimenticio/>

- Fernandez, J. (2022). Estudio del contenido de sólidos solubles (°Brix), absorbancia, pH y acidez del néctar obtenido a partir de distintas frutas (durazno, mora, mango, guanábana, fresa, piña, naranjilla, manzana) con y sin preservante a diversas concentraciones de cmc (carbo. <https://redisd.org/index.php/es/resumen-recibidos-ml/859-agroindustriales-quevedenos>
- Fernández, M., Jiménez, C., Jaime, M., & Alamilla, L. (2024). Extraction of purple prickly pear (*Opuntia Ficus-Indica*) mucilage by microfiltration, composition, and physicochemical characteristics. *polymers* 2024, Vol. 16, 16(23). <https://doi.org/10.3390/polym16233383>
- Flores, C., & Corrales, J. (2020). nopalitos Y tunas. <https://repositorio.chapingo.edu.mx/server/api/core/bitstreams/F13b4151-7e89-4298-87d3-4efe2791a494/content>
- Flores, E. (2024). Estabilidad de antocianinas, fenoles totales y capacidad antioxidante de bebidas de maíz morado (*Zea mays L.*) y uña de gato (*Uncaria tomentosa sp.*). *Información tecnológica*, 29(2), 175–184. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000200175>
- Gobierno De México. (2025). El nopal es un cultivo de importante trascendencia alimentaria y cultural en México. | dirección general del servicio de información agroalimentaria y pesquera | gobierno | gob.Mx. <https://www.gob.mx/agricultura/dgsiap/articulos/el-nopal-es-un-cultivo-de-importante-trascendencia-alimentaria-y-cultural-en-Mexico-idiomes>
- Gonzalez Viejo, C., Torrico, D. D., & Fuentes, S. (2024). Editorial: Advances in sensory evaluation of foods. *frontiers in food science and technology*, 4, 1534473. <https://doi.org/10.3389/frfst.2024.1534473>
- Gordillo Vinueza, G. G., Gordillo Vinueza, G. G., Narváez García, A., Aguilar Carrera, J. O., & Ferriol Sánchez, F. (2022). Desarrollo, producción y análisis de bebidas alcohólicas destiladas empleando diez tipos de frutas autóctonas ecuatorianas. *polo del conocimiento*, 7(6), 267–280. <https://doi.org/10.23857/Pc.V7i6.4073>
- Guerra, L., & Ruales, J. (2023). O70 Diversidad microbiana de los alimentos fermentados tradicionales del Ecuador con el uso de nuevas alternativas de fermentación. *scielo*, 73. [https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0004-06222023000500128](https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222023000500128)
- Guzmán, D., & Chávez, J. (2017). Estudio Bromatológico del Cladodio del Nopal (*Opuntia Ficus-Indica*) para el consumo Humano. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 73(1), 41–45. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634x2007000100005&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634x2007000100005&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

- Hernandez, A. R. R. (2021). Artículo de revisión ciencia e innovación agroalimentaria de la universidad de Guanajuato bebidas vegetales y sus aportes funcionales a plant-based beverages and their functional contributions (vol. 3, number 1).
- Hernández Gallardo, Y. K. (2013). Evaluación sensorial de una bebida a base de frutas rojas ricas en antioxidantes utilizando jueces semientrenados. [Http://repositorio.digital.Tuxtla.tecnm.Mx/xmlui/handle/123456789/3134](http://repositorio.digital.Tuxtla.tecnm.Mx/xmlui/handle/123456789/3134)
- Hernández, R., & Gonzáles, C. (2011). La evaluación sensorial de bebidas a base de fruta: una aproximación difusa. *scielo*, v.15. [https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=s1316-48212011000300007](https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s1316-48212011000300007)
- Huaman, J., & Montalvo, T. (2022). Evaluación del efecto de concentración en una bebida funcional a partir de tuna Blanca (*Opuntia Ficus*) y aguaymanto (*Physalis Peruviana*). *Revista alfa*, 6(18), 383–392. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v6i18.175>
- INEC. (2022). III censo nacional agropecuario. [Https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-INEC/estadisticas\\_agropecuarias/cna/tomo\\_cna.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-INEC/estadisticas_agropecuarias/cna/tomo_cna.pdf)
- INEN 338. (2021). Términos y definiciones de bebidas alcohólicas. <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-de-las-americas-Ecuador/inocuidad-y-calidad-alimentaria/bebidas-alcoholicas-NTE-338-2021/93291431>
- INEN 372. (2015). Bebidas alcohólicas. vino. requisitos. <https://es.scribd.com/document/675816040/NTE-INEEN-372-vinos>
- INEN 374. (2016). Requisitos para vino de frutas en Ecuador vino bebidas alcohólicas. <https://es.scribd.com/document/372621930/NTE-INEEN-374-3-revision>
- INEN 389. (1985). INEN para pH | pdf | pH | química. <https://es.scribd.com/document/583741194/INEN-para-pH>
- INEN 1529-7. (2013). Recuento de coliformes totales. <https://es.scribd.com/document/488093056/1529-7-recuento-de-coliformes-totales-2013>
- INEN 1529-8. (1990). INEN 1529-8: control microbiológico de alimentos determinación de coliformes fecales y E.coli. <https://studylib.es/doc/6850184/NTE-INEEN-1529-8-control-microbiológico>

- INEN 1529-10. (2013). Control microbiológico de los alimentos. mohos y levaduras viables. Recuentos en placa por siembra en profundidad. <https://es.scribd.com/document/488093112/1529-10-1r-mohos-y-levaduras-viables-pdf>
- INEN 1978. (2009). INEN tuna | pdf | calidad (comercial) | fruta. <https://es.scribd.com/document/311492894/INEN-tuna>
- INEN 2173. (2020). Determinación de sólidos solubles -método refractométrico. <https://es.scribd.com/document/484709163/Iso-2173-en-español>
- INEN 750. (2013). Determinación de acidez titulable en productos vegetales - studocu. <https://www.studocu.com/es-mx/document/universidad-la-salle-México/tecnologia-de-frutas-y-hortalizas/INEN-750-productos-vegetales-y-de-frutas-determinacion-de-la-acidez-titulable-idt/65963570>
- Jianxin, T., Ji, M., Gong, J., & Chitrakar, B. (2024). The formation of volatiles in fruit wine process and its impact on wine quality. *applied microbiology and biotechnology*, 108(1). <https://doi.org/10.1007/S00253-024-13084-8>
- Leal, I., Tarantino, G., Motzezak, R., Guillén, H., & Básicas, C. (2024). Efecto de la temperatura y el pH en la fermentación de mosto de agave cocui. *multiciencias*, 14, 375–381. <https://www.redalyc.org/Pdf/904/90433839012.Pdf>
- Leal, K. (2025). 8 Beneficios del nopal para qué sirve y como consumirlo- Tua Saúde. <https://www.tuasaude.com/es/nopal/>
- Leonela, M., Mero, L., Tuárez Párraga, M. A., Judith, S., Ochoa, B., Geovanny, E., & Campozano, D. (2023). Evaluación fisicoquímica en jugo de maracuyá con diferentes concentraciones de hidrocoloides. *revista espamciencia*, 9(2), 119–123. [https://revistasepam.espam.edu.ec/index.php/revista\\_espamciencia/article/view/162/627](https://revistasepam.espam.edu.ec/index.php/revista_espamciencia/article/view/162/627)
- López, K. (2022). “Microencapsulación de pigmentos naturales obtenidos de la cáscara y pulpa de frutos de *Opuntia Spp.*” presenta. <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/jspui/bitstream/231104/5043/1/At20922.Pdf>
- Luna Zapién, E., Zegbe, J., Meza Velázquez, J. A., & Minjares Fuentes, R. (2023). Mucílago de nopal (*Opuntia Spp.*) y su aplicación como aditivo alimentario: una visión general. *revista fitotecnica mexicana*, 46(1), 51–61. <https://doi.org/10.35196/rfm.2023.1.51>

- MAG. (2025). Innovación bpa, diagnóstico y talleres con metodología eca, para 12 organizaciones proyecto-desatar-convenio de asistencia técnica y metodológica. [https://www.IicaEcuador.Org/Ftp/Iica/2025/desatar/innovacionesdiagnostico/tdr\\_desatar\\_bpa\\_eca\\_empresa.pdf](https://www.IicaEcuador.Org/Ftp/Iica/2025/desatar/innovacionesdiagnostico/tdr_desatar_bpa_eca_empresa.pdf)
- Martínez, E. (2020). Caracterización del proceso de fermentación aeróbica del nopal para su uso en la alimentación animal.
- Martínez, E., López, A., & Fernández, I. (2015). Determinación de polifenoles totales por el método de folin-ciocalteu. <https://riunet.upv.es/server/api/core/bitstreams/af9f94fb-A13c-4e00-82a1-deda62eac0e3/content>
- Mayorga Suazo, E. K. (2023). Evaluación de Antioxidantes y valor nutricional de una bebida funcional de cushuro (*Nostoc Sphaericum*) y tuna roja (*Opuntia Ficus-Indica*) edulcorada con estevia. <https://repositorio.uncp.edu.pe/items/4f486e76-9551-4325-Af07-B63c1ce1c80f>
- Medina, E., Rodríguez, E., & Romero, C. (2017). Chemical characterization of *Opuntia Dillenii* and *Opuntia Ficus-Indica* fruits. *food chemistry*, 103(1), 38–45. <https://doi.org/10.1016/J.Foodchem.2006.06.064>
- Méndez, A., Guillermo, J., Carrillo, P., & Ortega, F. (2023). Solubilidad. <https://ru.cuautitlan.unam.mx/retrieve/4f276e30-A345-44d4-B8d8-B0f722468909>
- Méndez, M. (2021). Manual de prácticas de análisis de alimentos. <https://www.uv.mx/qfb/files/2020/09/manual-análisis-de-alimentos-1.pdf>
- Miño, C. (2023). Caracterización y análisis de la sustentabilidad de los productores de tunas (*Opuntia Ficus-Indica*) en el sector de alpamalag. <https://repositorio.utc.edu.ec/server/api/core/bitstreams/5111197f-ecaf-4d72-bbaa-c2b4f38d0058/content>
- Mishra, A., Singh, R., Rawat, H., Kumar, V., Jagtap, C., & Jain, A. (2024). The influence of food matrix on the stability and bioavailability of phytochemicals: a comprehensive review. *Food and humanity*, 2, 100202. <https://doi.org/10.1016/J.foohum.2023.12.010>
- Modenesi, G., Badillo, P., & Falconí, P. (2024). Use of sweeteners in the preparation of a prickly pear (*Opuntia Ficus-Indica*) based preserve. *journal of food science and gastronomy*, issn-e 3073-1283, Vol. 2, N°. 1, 2024 (Ejemplar dedicado a: January - June), Págs. 20-25, 2(1), 20–25. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo código=9814388&Info=Resumen&Idioma=Spa>

- Molina, M., Loja, P., & Romero, S. (2023). Elaboración de bebidas fermentadas a base de tuna (*Opuntia Ficus-Indica L*) y su aplicación en coctelería de autor. universidad de Cuenca. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/43145>
- Montes, E., Cerón, G, & Vargas, E. (2023). Encapsulación de compuestos bioactivos: una revisión sistemática. pädi boletín científico de ciencias básicas e ingenierías del icbi, 10(20), 17–28. <https://doi.org/10.29057/icbi.v10i20.9575>
- Mora, F., & Ullcu, D. (2024). Elaboración de una bebida isotónica con adición de sales a partir del sustrato de la hoja de higo (*Ficus Carica L.*), zumo de uvilla (*Physalis Peruviana*) y endulzantes. <https://repositorio.utc.edu.ec/handle/123456789/12521>
- Morán, J. E., Cristian, J., Parra, S., & Garrido, V. J. (2015). Elaboración de jugo de naranja (*citrus sinnensis*), banano (*musa paradisiaca*) y sábila (*aloe vera*). <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/4164/1/113931.pdf>
- Moreira Párraga, M. L., & Sacón Vera, E. F. (2024). Uso de extractos de plantas medicinales en el desarrollo de bebidas funcionales. ciencia latina revista científica multidisciplinar, 8(4), 13192–13215. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v8i4.13596](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4.13596)
- Moreno, I., Barazarte, H., Sangronis, E., Garmendia, C., & Mujica, Y. (2022). Efecto del tipo y concentración de azúcar sobre la aceptabilidad de laminados de guayaba (*psidium guajava L.*). food research international. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.12.008>
- Moreno, M., Betancourt, M., Pitre, A., García, D., Douglas, B., & Medina, C. (2021). Evaluación de la estabilidad de bebidas cítricas acondicionadas con dos fuentes naturales de betalaínas: tuna y remolacha. <https://1library.co/document/qmkx4w8z-evaluaci%c3%b3n-estabilidad-bebidas-c%c3%adtricas-acondicionadas-naturales-betala%c3%adnas-remolacha.html>
- Mostafa, K., Kharrassi, Y., Badreddine, A., Andreoletti, P., Vamecq, J., Latruffe, N., Lizard, G., Nasser, B., & Cherkaoui-Malki, M. (2014). Nopal cactus (*Opuntia Ficus-Indica*) as a source of bioactive compounds for nutrition, health and disease. molecules, 19(9), 14879. <https://doi.org/10.3390/molecules190914879>
- Muhammad, R., & Haerussana, A. (2023). The effect of different sweeteners on the free radical scavenging activities, alcohol contents, sugar reductions, and hedonic properties of green tea kombucha. pharmaceutical sciences asia, 50(1), 51–58. <https://doi.org/10.29090/psa.2023.01.22.340>

- NTC 708. (2000). NTC 708 Vinos de frutas bebidas alcohólicas. [https://es.scribd.com/doc/144965134/ntc-708-vinos-de-frutas#google\\_vignette](https://es.scribd.com/doc/144965134/ntc-708-vinos-de-frutas#google_vignette)
- Oña, V. (2023). Evaluación del contenido de fenoles, flavonoides y fructosa de una bebida a partir de la hoja y el fruto del nopal (*Opuntia ficus-indica*). <https://repositorio.uta.edu.ec/server/api/core/bitstreams/550fd7a5-32c4-4532-9237-4798a06b4332/content>
- ONU. (2022). Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición, y promover la agricultura sostenible, objetivo 2. <https://sdgs.un.org/goals/goal2>
- ONU. (2025). Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos, objetivo 8. <https://sdgs.un.org/goals/goal8>
- Orejon Montalvo, T. Y. (2022). Vista de evaluación del efecto de concentración en una bebida funcional a partir de tuna blanca (*opuntia ficus*) y aguaymanto (*physalis peruviana*) | revista alfa. <https://revistaalfa.org/index.php/revistaalfa/article/view/200/510>
- Oriana, P. (2024). Evaluation of nopal (*Opuntia Ficus-Indica Mill.*) and doca (*Carpobrotus Chilensis*) mucilages for the treatment of olive wastewater and its potential reuse in agricultural irrigation patricia oriana aguiler a feliu. [https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/201490/2024\\_patricia\\_aguilera\\_feli%3ba.pdf?sequence=1](https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/201490/2024_patricia_aguilera_feli%3ba.pdf?sequence=1)
- Ortíz, D. (2021). Estudio comparativo del consumo de los tipos de endulzantes: azúcar refinada, azúcar moreno y panela granulada en el cantón lomas de sargentillo. calidad de los productos agroindustriales. <https://cia.uagraria.edu.ec/archivos/jurado%20ortiz%20damaris%20anais.pdf>
- Peña Fernández, A. (2013). “Elaboración de un jugo de adecuadas características nutricionales y sensoriales a base de: uvilla (*Physalis Peruviana*), maracuyá (*Passiflora Edulis*) y zanahoria (*Daucus Carota*).” <https://repositorio.uta.edu.ec/server/api/core/bitstreams/8ca39ecf-8188-4909-8f88-95501c8efcd3/content>
- Pilco, H. (2022). Evaluación de diferentes dosis de fertiriego en el cultivo de tuna (*Opuntia Ficusindica L.*) ya establecido, basadas en la exportacion de nutrientes, en la estación experimental tunshi. <https://dspace.esPOCH.edu.ec:8080/server/api/core/bitstreams/fb1af60d-911f-42bf-b777-691bd3aa3832/content>

- Pinto, T., Vilela, A., & Cosme, F. (2022). Chemical and sensory characteristics of fruit juice and fruit fermented beverages and their consumer acceptance. *beverages* 2022, vol. 8, 8(2). <https://doi.org/10.3390/beverages8020033>
- Puina, N., & Ulcuango, R. (2022). Aplicación de una película comestible a base de mucílago de nopal y aceite esencial de orégano en la conservación poscosecha de la fresa (fragaria x ananassa). <https://repositorio.utc.edu.ec/server/api/core/bitstreams/65b310f4-cfc5-4939-9022-37aacd506865/content>
- Quiñones, M. (2012). Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular. [https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=s0212-16112012000100009](https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s0212-16112012000100009)
- Quintero, B. (2021). Uso del nopal (*Opuntia Ficus-Indica*) y sus efectos en la nutrición de animales en producción. [https://www.researchgate.net/publication/357032900\\_uso\\_del\\_nopal\\_opuntia\\_ficus-indica\\_y\\_sus\\_efectos\\_en\\_la\\_nutricion\\_de\\_animales\\_en\\_produccion](https://www.researchgate.net/publication/357032900_uso_del_nopal_opuntia_ficus-indica_y_sus_efectos_en_la_nutricion_de_animales_en_produccion)
- Quishpi Guachalá, J. F. (2021). Utilización del nopal en la industria alimentaria para la elaboración de alimentos funcionales. <https://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/15525>
- Quishpi, J. (2021). Utilización del nopal en la industria alimentaria para la elaboración de alimentos funcionales. <https://dspace.esPOCH.edu.ec/items/0df7aea3-059d-4c7f-bd70-f6464270b57d>
- Ramírez, A., León, F., Alfaro, Y., Alvarez, R., & Zapata Ocampo, P. A. (2023). Morfometría de cladodios de nopal cultivado en santander - colombia: estudio exploratorio. *revista colombiana de investigaciones agroindustriales*, 10(2), 88–101. <https://doi.org/10.23850/24220582.5737>
- Ramírez, H., Reyes, J., Pinos, J., & Aguirre, J. (2017). Efecto De La Especie Y Madurez Sobre El contenido de nutrientes de cladodios de nopal. *scielo*. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=s1405-31952007000600619](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s1405-31952007000600619)
- Ramírez, P. (2019). Mucílago de (*Opuntia Ficus-Indica*) extracción y aplicación como agentes dispersantes en suspensiones alimenticias. <https://tesiunamdocumentos.dgb.unam.mx/ptd2018/febrero/0770662/0770662.pdf>
- regonesi, g. (2023). *bioreactores*. [https://www.researchgate.net/publication/373708124\\_bioreactors\\_a\\_complete\\_review](https://www.researchgate.net/publication/373708124_bioreactors_a_complete_review)

- Ríos, L. (2023). Universidad Técnica de Cotopaxi. <https://repositorio.utc.edu.ec/server/api/core/bitstreams/1c432b1c-f67c-44bc-aa99-f6139efc882e/content>
- Robledo, P., & Morales, M. (2020). Efecto de la fermentación alcohólica en el contenido de polifenoles y la actividad antioxidante en el extracto del fruto maduro del noni (*morinda citrifolia* L.). universidad peruana de ciencias aplicadas (UPC). <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/621319>
- Rodas, E. (2010). Elaboración de una bebida alcohólica de jícama (*Smallanthus Sonchifolius*) y manzana (*Pyrus Malus* L) proyecto previo a la obtención del título de ingeniero agroindustrial. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2465/1/cd-3171.pdf>
- Rodrigues, C., Paula, C. D. De, Lahbouki, S., Meddich, A., Outzourhit, A., Rashad, M., Pari, L., Coelho, I., Fernando, A. L., & Souza, V. G. L. (2023). *Opuntia Spp.*: an overview of the bioactive profile and food applications of this versatile crop adapted to arid lands. *Foods*, 12(7), 1465. <https://doi.org/10.3390/foods12071465>
- Rodríguez, F. (2022). Evaluación de las propiedades fisicoquímicas de una bebida fermentada utilizando lactosuero comercial y harina de quinua (*Chenopodium Quinoa* Willd) cultivada en cundinamarca. <https://Repository.Unad.Edu.Co/Bitstream/Handle/10596/48681/Dfcanonr.Pdf?Sequence=1>
- Romero, C. (2012). Evaluación de la fermentación alcohólica para la producción de hidromiel. <https://bffrepositorio.unal.edu.co/server/api/core/bitstreams/df626a71-c59e-41d4-863e-d9fbcec80f72/content>
- Ruíz Rodríguez, L. G., Mendoza, L., Van, C., Ar, N. C. O., Pescuma, M., & Mozzi, F. (2020). Fermentación de jugos y bebidas a base de frutas. *alimentos fermentados: microbiología, nutrición, salud y cultura*, 1, 273–306. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/120385>
- Sáenz, C. (2015). Utilización agroindustrial del nopal. <https://www.fao.org/4/a0534s/a0534s00.pdf>
- Sáenz, C. L., Corrales, J., & Aquino, G. (2022). Nopalitos, mucilage, fiber, and cochineal. *cacti: biology and uses*. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/186730>
- Sevilla, H. C., & Erazo, A. (2020). Estudio multiespectral del cultivo de tuna para determinar los índices ndvi, cwsí y savi, a partir de imágenes sentinel 2a, en el cantón guano, provincia de chimborazo, Ecuador. *enfoque ute*, 10(3), 55–66. <https://doi.org/10.29019/enfoque.v10n3.453>

- Singla, R. K., Dubey, A. K., Garg, A., Sharma, R. K., Fiorino, M., Ameen, S. M., Haddad, M. A., & Al-Hiary, M. (2022). Natural polyphenols: chemical classification, definition of classes, subcategories, and structures. *Journal of AOAC International*, 102(5), 1397–1400. <https://doi.org/10.5740/jaoacint.19-0133>
- Suarez, C., Garrido, A., & Guevara, C. (2023). Levadura *Saccharomyces Cerevisiae* y la producción de alcohol. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223148420004>
- Terán, Y., Navas, D., Petit, D., Garrido, E., & D’aubeterre, R. (2015). Análisis de las características físico-químicas... análisis de las características físico--químicas del fruto de *Opuntia ficus-indica*, cosechados en lara, Venezuela. *Rev. Iber. Tecnología Postcosecha*, 16(1), 69–74. <https://www.redalyc.org/pdf/813/81339864010.pdf>
- Ticsihua, J., & Orejon, T. (2022). Evaluación del efecto de concentración en una bebida funcional a partir de tuna blanca (*Opuntia ficus*) y aguaymanto (*Physalis peruviana*). *Revista Alfa*, 6(18), 383–392. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v6i18.175>
- Tierra, B. (2021). “Diseño de un evaporador de simple efecto para la elaboración de mermelada de tuna para la empresa Vita Tuna.” <https://dspace.esPOCH.edu.ec:8080/server/api/core/bitstreams/741dd2da-ef3b-4cb6-8ecd-1b56c3d12d1f/content>
- Topolska, K., Florkiewicz, A., Filipiak-Florkiewicz, A., Gł, D., Abska, , & Tchounwou, P. B. (2021). Functional food-consumer motivations and expectations. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2021, vol. 18, page 5327, 18(10), 5327. <https://doi.org/10.3390/ijerph18105327>
- Torres, A., García, O., López, R., & Martínez, A. (2017). Evaluación de la capacidad antioxidante, características físicoquímicas y perfil sensorial de *Opuntia robusta* y *O. ficus-indica*. *SciELO*. [https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=s0004-06222017000500291](https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s0004-06222017000500291)
- Torres Ponce, R. L., Morales Corral, D., Ballinas Casarrubias, M. De L., & Nevárez Moorillón, G. V. (2015). El nopal: planta del semidesierto con aplicaciones en farmacia, alimentos y nutrición animal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(5), 1129–1142. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=s2007-09342015000500018&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s2007-09342015000500018&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

- Troyo, E., Murillo, B., Palacios, R., & Palacios, A. (2022). Nopal verdura (*Opuntia Ficus-Índica*) orgánico, una alternativa sustentable, productiva y rentable. *chemical engineering journal*, 179, 193–202. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.10.080>
- Tunç, Y., Yaman, M., Yılmaz, K. U., Khadivi, A., & Mishra, D. S. (2025). Biochemical, nutritional, and nutraceutical properties of cactus pear accessions. *scientific reports 2025* 15:1, 15(1), 19755-. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-04726-6>
- UNAM. (2007). Desarrollo de una bebida a base de nopal con frutas y verduras. <https://Ru.Dgb.Unam.Mx/Server/Api/Core/Bitstreams/F9e7fd9c-C770-419f-A6d1-7ff3b38e1ffb/Content>
- Vallejo, Y. (2023). Evaluación fisicoquímica y cinética de producción de biomasa de dos tipos de levaduras *saccharomyces cerevisiae* y *saccharomyces bayanus* en la fermentación alcohólica de una bebida a base de mandarina (*citrus reticulata*) y cidra (*sechium edule*). <https://repositorio.uta.edu.ec/items/f3746a73-25d2-4617-ad9e-76e1b1497f01>
- Vanrell, J. (2025). La química del vino | rimontgó bodegas. <https://www.rimontgowineries.com/blog/es/la-quimica-del-vino/>
- Vargas, O., & Rodríguez, D. (2020). Influencia de la composición del mosto y tipo de fermentación en el grado alcohólico de vinos de carambola. <https://revcital.iiiia.edu.cu/revista/index.php/rcta/es/article/view/96/81>
- Vasco, M. (2022). Elaboración de una bebida fermentada con la Utilización De Diferentes Niveles de pulpa de Arazá. <https://dspace.esPOCH.edu.ec:8080/server/api/core/bitstreams/768565b1-6fc6-4c0b-ae0c-59525d9ad8ae/content>
- Vazquez, F. (2026). cálculo y uso de grados brix en alimentos | pdf | conservas de frutas | química. <https://es.scribd.com/document/460059564/grados-brix>
- Yanacallo, M. (2023). Aprovechamiento de la tuna (*Opuntia Ficus Indica Miller*) para la Elaboración de productos agroindustriales. <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/11760/1/aprovechamiento%20de%20la%20tuna%20%28opuntia%20ficus%20indica%20miller%29%20para%20la%20elaboraci%3%b3n%20de%20productos%20agroindustriales.pdf>
- Zapata, F., Martínez, L., Alvarado, R., Vega, D., Garza, J., & Silva, P. (2024). Extracción de mucílago, evaluación de la actividad antioxidante y el contenido total de fenoles de cuatro variedades de (*Opuntia Ficus-Indica*). *tecnociencia chihuahua*, 1–10.

[https://www.researchgate.net/publication/380919311\\_extraccion\\_de\\_mucilago\\_evaluacion\\_de\\_la\\_actividad\\_antioxidante\\_y\\_el\\_contenido\\_total\\_de\\_fenoles\\_de\\_cuatro\\_variedades\\_de\\_opuntia\\_ficusindica\\_extraction\\_of\\_mucilage\\_evaluation\\_of\\_antioxidant\\_activity\\_an/fulltext/6655e0b3bc86444c72077102/extraccion-de-mucilago-evaluacion-de-la-actividad-antioxidante-y-el-contenido-total-de-fenoles-de-cuatro-variedades-de-opuntia-ficus-indica-extraction-of-mucilage-evaluation-of-antioxidant-activity.pdf](https://www.researchgate.net/publication/380919311_extraccion_de_mucilago_evaluacion_de_la_actividad_antioxidante_y_el_contenido_total_de_fenoles_de_cuatro_variedades_de_opuntia_ficusindica_extraction_of_mucilage_evaluation_of_antioxidant_activity_an/fulltext/6655e0b3bc86444c72077102/extraccion-de-mucilago-evaluacion-de-la-actividad-antioxidante-y-el-contenido-total-de-fenoles-de-cuatro-variedades-de-opuntia-ficus-indica-extraction-of-mucilage-evaluation-of-antioxidant-activity.pdf)

Zapién, E., Zegbe, J., Velázquez, J., & Fuentes, J. (2023). cactus pear (*Opuntia Spp.*) mucilage and its application as food additive: an overview. *revista fitotecnia mexicana*, 46(1), 51–61. <https://doi.org/10.35196/rfm.2023.1.51>

Zia, H., Slatnar, A., Košmerl, T., & Korošec, M. (2024). A Review Study On The Effects Of Thermal And Non-Thermal processing techniques on the sensory properties of fruit juices and beverages. *frontiers In food science and technology*, 4, 1405384. <https://doi.org/10.3389/frfst.2024.1405384/full>

Zugravu, C., & Constantin, C. (2025). Eastern european fermented foods: nutritional value, functional potential, and cultural heritage. *foods* 2026, vol. 15, 15(1), 28. <https://doi.org/10.3390/foods15010028>