



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN
ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA



CARRERA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS

Evaluación del contenido de fenoles, flavonoides y fructosa de una bebida a partir de la hoja y el fruto del nopal (*Opuntia ficus-indica*).

Trabajo de Titulación, Modalidad Proyecto de Investigación, previo a la obtención del título de Ingeniera en Alimentos, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Autor: Verónica Lisbeth Oña Oña

Tutor: PhD. Mayra Liliana Paredes Escobar

Ambato - Ecuador

Septiembre - 2023

APROBACIÓN DEL TUTOR

Dra. Mayra Liliana Paredes Escobar

CERTIFICA:

Que el presente Trabajo de Titulación ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto, autorizo la presentación de este Trabajo de Titulación, Modalidad Proyecto de Investigación, el mismo que responde a las normas establecidas en el Reglamento de Títulos y Grados de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Ambato, 25 de julio de 2023

.....
Dra. Mayra Liliana Paredes Escobar

C.I. 0501873954

TUTORA

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Verónica Lisbeth Oña Oña, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Trabajo de Titulación, Modalidad Proyecto de Investigación, previo a la obtención del título de Ingeniería en Alimentos son absolutamente originales, auténticos y personales, a excepción de las citas bibliográficas.



.....
Verónica Lisbeth Oña Oña

C.I. 0504155797

AUTORA

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga uso de este Trabajo de titulación o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.



.....
Verónica Lisbeth Oña Oña

C.I. 0504155797

AUTORA

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos Profesores Calificadores, aprueban el presente Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación, el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.

Para consistencia firman:

.....
Presidente de Tribunal

.....
Dr. Esteban Mauricio Fuentes Pérez:

CI. 1803321502

.....
Mg. Manoella Alejandra Sánchez Garnica:

CI. 0604079871

Ambato, 27 de julio de 2023

DEDICATORIA

"Lo que con mucho trabajo se adquiere, más se ama"

(Aristóteles)

A DIDS, por brindarme el privilegio de vivir, cuidarme, guiarme, iluminarme a cada momento y en todas las decisiones que he tomado en mi existir, por hacer de lo imposible lo posible. Por darme la dicha de tener una familia hermosa, por todas las pruebas difíciles que ha puesto en mi camino para ser de mí una persona fuerte y permitirme lograr los retos que se presentan en el andar de la vida.

Con todo el amor, respeto y admiración incondicional a mi Madre:

Sra. Mercedes Oña, a quién le dedico todos mis triunfos alcanzados, mi mayor muestra de gratitud a la persona que supo educarme, quién puso todo su esfuerzo para que sea la persona que ahora soy. La demostración de una madre luchadora y ejemplar la cual me ha enseñado a no desfallecer ni rendirme ante las adversidades de la vida y siempre perseverar a través de sus sabios consejos, gracias por nunca dejarme sola y apoyarme para hacer de mí, un sueño realidad, ya que me ha dado la mejor herencia. ¡Te amo!

A mi Abuelita:

Sra. María Chitiquinga, por siempre darme un amor infinito, por confiar en mí desde el primer día que decidí estudiar, por esas palabras llenas de sabiduría las cuales siempre están en mi mente y las llevo presente. Gracias por ser mi Ángel Guardián.

A mis hermanos:

Bryan, Steven y Jacla, por su apoyo total en cada travesía, por ser los cómplices en cada aventura, por decirme que yo soy su ejemplo al ser su hermana mayor, por las sonrisas, abrazos sinceros y ocurrencias que me hacían olvidar de momentos amargos que pasaban en la vida.

A mi primo:

Deyvi Flores, mi mayor inspiración, el amor de mi vida, de quien voy aprendiendo todos los días.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología por abrirme las puertas de esta Institución y poder absorberme de sabiduría en mi formación personal y profesional, por lo que le estaré eternamente agradecida.

Debo agradecer de manera especial a los 5 pilares en mi vida: a mi madre, a mi abuelita y mis 3 hermanos, por ser un gran apoyo en el transcurso de mi vida, quienes me enseñaron que si puedo y nunca me faltaron sus palabras de apoyo.

A mi Tutor Ph.D. Mayra Paredes por su paciencia, disponibilidad y generosidad para compartir su experiencia y amplio conocimiento para que este proyecto de investigación pudiese culminar satisfactoriamente.

Quiero extender un sincero agradecimiento a mi tío el Sr. Mario Guanoquiza, quien me dio la inspiración para el tema de tesis, sé que allí donde este, se siente feliz de que haya culminado una etapa de mi vida, gracias por las llamadas y vistas que me realizo.

A Karol y Marilyn por ser mis amigas incondicionales no solo en la carrera si no en mi vida personal, gracias por las aventuras, anécdotas, salidas improvisadas, por los buenos y malos momentos que pasamos en el facultad, gracias por estar cuando derrame lágrimas y supieron alentarme para seguir, agradezco a la vida por haberlas conocido.

Y, por último, pero no menos importante, a mi quienes son mis compañeros de la Coop. de Transporte Baños, por brindarme la oportunidad de trabajar en sus unidades y conocer lugares de mi bello Ecuador.

Con mucho Cariño Verito Liebott

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
RESUMEN EJECUTIVO	xiii
ABSTRACT	xiv
CAPÍTULO I	1
MARCO TEÓRICO	1
1. Diabetes Mellitus.....	1
1.2. Tipos de Diabetes	1
1.3. Diabetes Mellitus en el Ecuador.....	2
1.4. Control de la Diabetes Mellitus.....	2
1.5. Plantas medicinales empleadas como medicina tradicional con efecto hipoglucemiante.	3
2. Nopal (<i>Opuntia ficus-indica</i>).	4
2.1. Generalidades	4
2.2. Composición del Nopal (<i>Opuntia ficus-indica</i>)	7
2.3. Usos tradicionales del Nopal (<i>Opuntia ficus-indica</i>).	9
2.4. Propiedades medicinales del Nopal (<i>Opuntia ficus-indica</i>)	9
2.5. Componentes bioactivos del Nopal (<i>Opuntia ficus-indica</i>).	10
3. Sustancias Hipoglucemiantes	12
3.1. Compuestos fenólicos	12
3.2. Flavonoides	13
3.3. Fructosa	15
4. Bebidas	15
5. Objetivos	16
5.1. Objetivo General	16
5.2. Objetivos Específicos.....	16
6. Hipótesis.....	17

6.1.	Hipótesis Nula.....	17
6.2.	Hipótesis Alternativa.....	17
CAPÍTULO II.....		18
METODOLOGÍA.....		18
2.	Materiales.....	18
2.1.	Materia Prima.....	18
2.1.1.	Obtención de la materia prima.....	18
2.2.	Materiales.....	18
2.3.	Equipos y Reactivos.....	18
2.3.1.	Equipos.....	18
2.3.2.	Reactivos.....	19
Metodología Experimental.....		19
2.4.	Análisis fisicoquímico de la materia prima.....	19
2.4.1.	Acidez Titulable.....	19
2.4.2.	Ácido ascórbico (Vitamina C).....	20
2.4.3.	Determinación de sólidos solubles totales SST (°Brix).....	20
2.4.4.	Determinación pH.....	20
2.5.	Desarrollo de la formulación aceptable del zumo de la hoja y el fruto del nopal (<i>Opuntia ficus-indica</i>).....	21
2.5.1.	Análisis sensorial para la mejor formulación.....	21
2.6.	Determinación del contenido de fitoquímicos y fructosa de la bebida de la hoja y el fruto del nopal (<i>Opuntia ficus-indica</i>).....	22
2.6.1.	Cuantificación de Fenoles.....	22
2.6.2.	Cuantificación de Flavonoides.....	22
2.6.3.	Cuantificación de la Fructosa.....	22
CAPÍTULO III.....		24
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		24
3.1.	Evaluación de las propiedades fisicoquímicas de la hoja y e fruto del nopal (<i>Opuntia ficus- indica</i>).....	24
3.1.1.	Materia Prima.....	24
3.1.2.	Caracterización de la hoja y el fruto del nopal (<i>Opuntia ficus-indica</i>).....	25
3.2.	Desarrollo de la formulación aceptable del zumo de la hoja y el fruto del nopal (<i>Opuntia ficus-indica</i>) extraído mediante prensado y despulpado.....	26
3.2.1.	Análisis Sensorial de la formulación por Prensado.....	27
3.2.2.	Análisis Sensorial de la formulación por despulpado.....	28
3.3.	Determinación del contenido de fitoquímicos y fructosa de la bebida de la hoja y el fruto del nopal (<i>Opuntia ficus-indica</i>) de la mejor formulación.....	30
3.3.1.	Fenoles.....	30
3.3.2.	Flavonoides.....	31

3.3.3. Fructosa	32
3.3.4. Determinación de pH	34
CAPÍTULO IV	36
4. CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES	36
4.1. Conclusiones	36
4.2. Recomendaciones.....	37
BIBLIOGRAFÍA	38
ANEXOS	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: <i>Composición química de la hoja del nopal. Expresado en base húmeda.</i>	7
Tabla 2: <i>Composición química del fruto del nopal, tuna blanca (Opuntia ficus indica). Por cada 100g.</i>	8
Tabla 3: <i>Composición nutricional de la Pitahaya amarilla y roja por cada 100 g</i>	8
Tabla 4: <i>Concentración relativa de compuestos fenólicos en tejidos vegetales.</i>	12
Tabla 5: <i>Formulación de la hoja y el fruto del nopal (Opuntia ficus-indica) con diferentes métodos de extracción.</i>	21
Tabla 6: <i>Morfología de la hoja y el fruto del nopal (Opuntia ficus-indica)</i>	24
Tabla 7: <i>Caracterización de la hoja y el fruto del nopal (Opuntia ficus-indica).</i>	25
Tabla 8: <i>Formulación aceptable extraído mediante prensado.</i>	27
Tabla 9: <i>Formulación aceptable extraído mediante despulpado.</i>	29
Tabla 10: <i>Contenido de fenóles de la bebida despulpada y prensada.</i>	30
Tabla 11: <i>Contenido de flavonoides de la bebida despulpada y prensada.</i>	31
Tabla 12: <i>Contenido de fructosa de la bebida despulpada y prensada.</i>	32
Tabla 13: <i>Medición de pH de la bebida despulpada y prensada.</i>	34
Tabla 14: <i>Evaluación sensorial prensado</i>	50
Tabla 15: <i>Evaluación sensorial despulpado</i>	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Análisis Sensorial extraído mediante prensado.	28
Figura 2. Análisis Sensorial extraído mediante despulpado.....	29
Figura 3. Contenido de fenoles de la bebida despulpada y prensada.	30
Figura 4. Contenido de flavonoides de la bebida despulpada y prensada.	32
Figura 5. Contenido de Fructosa de la bebida despulpada y prensada.....	33
Figura 6. Determinación del pH de la bebida despulpada y prensada.....	34
Figura 7. Curva de calibración de ácido gálico	52
Figura 8. Curva de calibración de quercetina.....	52
Figura 9. Curva de calibración Abs	53

RESUMEN EJECUTIVO

La diabetes es una enfermedad crónica, actualmente presenta un gran desafío su tratamiento y alimentos aptos para este sector de la población. El nopal tiene excelentes beneficios que se puede incorporar en dietas saludables, sus concentraciones altas en calcio, potasio, magnesio y minerales ayudan en el sistema óseo, su contenido de fenoles, flavonoides, fructosa y vitamina C, ayudan en el control del colesterol elevado, niveles de glucosa en la sangre, entre otras, sin embargo, no es aprovechada en Ecuador.

El presente proyecto caracterizó las propiedades fisicoquímicas del nopal ecuatoriano, se desarrolló una bebida aceptable de nopal mediante análisis sensorial y se evaluó el contenido fitoquímicos como fenoles, flavonoides y fructosa mediante espectrofotometría UV-VIS en el producto desarrollado.

Para la hoja y el fruto la acidez titulable resultó en 0,13 y 0,27, la vitamina C fue de 23,6 y 22,9, los grados de Brix fue 0,91 y 11,36 con un pH de 6,19 y 4,61 respectivamente. El resultado del análisis sensorial de la formulación por ambos métodos de extracción fue las Muestras 1 (50T50N), siendo la más aceptable por los 40 catadores. El contenido de fenoles de las bebidas despulpada y prensada fue 106,99 y 101,69 mgGAE por Litro respectivamente ambas debida presentan contenido significativo de fenoles, en cuanto a los flavonoides de las bebidas despulpada y prensada fue de 18,88 y 17,19 mgQE por Litro, y por último el pH fue 6,66 para la bebida despulpada y 6.65 para la bebida prensada indicando que tienden a ser ligeramente ácida.

Palabras claves: Fenoles, Flavonoides, Fructosa, Nopal, bebidas no alcohólicas, efecto hipoglucemiante, Diabetes Mellitus.

ABSTRACT

Diabetes is a chronic disease, currently presents a great challenge for its treatment and food suitable for this sector of the population. The nopal has excellent benefits that can be incorporated into healthy diets, its high concentrations of calcium, potassium, magnesium and minerals help in the bone system, its content of phenols, flavonoids, fructose and vitamin C, help in the control of high cholesterol, blood glucose levels, among others, however, is not exploited in Ecuador.

This project characterized the physicochemical properties of Ecuadorian nopal, developed an acceptable nopal beverage through sensory analysis, and evaluated the phytochemical content of phenols, flavonoids and fructose by UV-VIS spectrophotometry in the developed product.

For leaf and fruit, titratable acidity was 0.13 and 0.27, vitamin C was 23.6 and 22.9, Brix was 0.91 and 11.36 with a pH of 6.19 and 4.61, respectively. The result of the sensory analysis of the formulation by both extraction methods was Samples 1 (50T50N), being the most acceptable by the 40 tasters. The phenol content of the pulped and pressed beverages was 106.99 and 101.69 mgGAE per liter, respectively. The flavonoid content of the pulped and pressed beverages was 18.88 and 17.19 mgQE per liter, and finally, the pH was 6.66 for the pulped beverage and 6.65 for the pressed beverage, indicating that they tend to be slightly acidic.

Key words: Phenols, Flavonoids, Fructose, Nopal, non-alcoholic beverages, hypoglycemic effect, Diabetes Mellitus

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1. Diabetes Mellitus

La diabetes Mellitus (DM) es una enfermedad crónica, debido a que el páncreas (hormona que regula el nivel de azúcar) no produce la cantidad adecuada de insulina o no utiliza eficientemente lo que genera, por ende, ocasiona un aumento en los niveles de glucosa en la sangre (Organización Mundial de la Salud, 2022). Siendo la insulina una hormona anabólica producida por el páncreas, el cual, genera el aporte necesario de la glucosa al cuerpo, mediante procesos de glucólisis y respiración celular para la obtención de energía (Almeda et al., 2018).

La Federación Internacional de Diabetes en el 2017, estimó que alrededor del mundo hay aproximadamente 425 millones de individuos adultos entre 20 a 79 años de edad con diabetes, se pronostica para el año 245 la cifra se elevaría hasta alcanzar los 629 millones de personas si la tendencia continua, convirtiéndose esta enfermedad en un problema mundial (Lazo & Durán, 2019).

1.2. Tipos de Diabetes

A continuación, se detallan tres categorías de diabetes existentes:

La Diabetes Mellitus tipo 1 (DM1) o insulino dependiente, se da por su baja producción de insulina, por lo que es necesario la administración de esta hormona con control en la ingesta de glucosa, dicha enfermedad aparece a tempranas edades y se agrava con rapidez. Esta enfermedad autoinmune representa del 3 a 5% total de casos a nivel mundial, desarrollándose con frecuencia en niños y jóvenes adultos, produciendo resequedad en la boca, sed anormal, falta de energía, hambre constante, cansancio excesivo, pérdida de peso repentino y visión borrosa, por ende, las personas con DM1 dependen de inyecciones de insulina para sobrevivir (Sanzana G. & Durruty A., 2016).

La Diabetes Mellitus tipo 2 (DM2) o no insulino dependiente, es el tipo más común, se distingue por la incapacidad del organismo para responder adecuadamente a la insulina, es decir, que las células no responden normalmente a la insulina, ocasionando una mala regulación de la glucosa en la sangre (Corduras et al., 2016). Existe 1 de cada 11 personas

con DM2, representando aproximadamente el 90% del total de casos, desarrollándose con mayor frecuencia en adolescentes, adultos y adultos mayores, algunas de las causas se deben al sobre peso, la inactividad física y genética familiar (Sanzana G. & Durruty A., 2016).

La Diabetes Gestacional, se da durante el embarazo, cuando se produce una insuficiencia de la producción de insulina por parte del organismo, se da lugar a un aumento en los niveles de glucosa en la sangre, conocido como hiperglucemia, lo cual resulta en una disrupción del metabolismo de los carbohidratos. La DMG presenta una intolerancia a la glucosa, es decir, puede ser independiente de si requiere o no la insulina, afecta al menos 1 de cada 25 embarazos a nivel mundial (Sanzana G. & Durruty A., 2016).

1.3. Diabetes Mellitus en el Ecuador

En el Ecuador se presenta un crecimiento significativo de la tasa de fallecimientos debido a la Diabetes Mellitus tipo 2 (DM2) con un total de 4895 defunciones en el año 2017 a causa de esta enfermedad, esta cifra podría aumentar de acuerdo con los factores de riesgo (Zavala & Fernández, 2018). De acuerdo con los datos obtenidos a través de una encuesta realizada por la Ensanut, la frecuencia de individuos que padecen diabetes en el Ecuador entre los 10 a 59 años corresponde al 1.7%, de igual forma, se identifica un incremento en las estadísticas a partir de los 30 años, llegando a una proporción de 1 de cada 10 ecuatorianos que padecen diabetes a partir de los 50 años (Sanzana G. & Durruty A., 2016).

De acuerdo con los datos del Instituto de Estadística y Censos (INEC), entre los años 2016 y 2017, la diabetes ocupó el segundo lugar como causa de muerte en mujeres, mientras que entre los hombres se posicionó en el tercer puesto. Datos de la INEC publicado en el 2019 alrededor de 1,3 millones de ecuatorianos tiene diabetes, los pacientes que padecen diabetes mueren por problemas cardiovasculares o infarto de miocardio, el aumento de la glucosa también provoca complicaciones en los vasos sanguíneos disminuyendo la visión (Coello & Gallegos, 2018). Según Castro (2019), diabetólogo de Hospital Axxis en Quito “La Diabetes es la principal causa de ceguera”.

1.4. Control de la Diabetes Mellitus

De acuerdo con el grupo de Estudio de la Diabetes en Atención Primaria de la Salud (GEDAPS) establecen que la implementación de un enfoque dietético se vuelve

primordial en el manejo de la Diabetes Mellitus (Bodicoat et al., 2015). El plan terapéutico inicial se fundamenta en la incorporación de ejercicio físico regular y una alimentación saludable, ya que los individuos diabéticos deben procurar una adecuada nutrición para mantener un estado nutricional óptimo, esto ayudará en la prevención y manejo de la enfermedad, siendo estas agudas o crónicas ya que la correcta alimentación permitirá alcanzar la normalidad bioquímica (lípidos plasmáticos y glicemia), es decir, permitirá mantener el peso y minimizar las fluctuaciones de glucemias postprandial (Bodicoat et al., 2015). El ejercicio físico juega un papel importante ya que contribuye en reducir y mantener el peso normal, lo que mejora los factores asociados al riesgo cardiovascular, aumentando el colesterol bueno (HDL) y reduciendo el colesterol mal (LDL), los triglicéridos y la presión arterial, mejorando el control metabólico (Bodicoat et al., 2015).

1.5. Plantas medicinales empleadas como medicina tradicional con efecto hipoglucemiante.

La utilización de hierbas medicinales como complemento en el tratamiento de la diabetes ha ido tomando mayor fuerza en los últimos años, atribuyéndoseles, la capacidad del efecto hipoglucemiante, es decir ayuda a disminuir los niveles de glucosa. Estudios científicos han demostrado que algunas plantas tienen el efecto hipoglicemiante, siendo los compuestos químicos entre los cuales se incluyen fenoles, flavonoides, mucílagos, terpenos, glucopéptidos, péptidos, entre otros, los agentes responsables de la actividad farmacológica y responsable de los mecanismos de acción involucrados en la reducción de los niveles de glucosa (Acosta et al., 2018).

En los últimos años se han generado nuevos tratamientos para la diabetes con costos elevados, no obstante, históricamente las personas debido a su situación económica han optado por tratamientos a base de hierbas. Los datos etnobotánicos a nivel global documentan aproximadamente 800 especies de plantas con potencial antidiabético, con más de 200 compuestos químicos de origen vegetal que muestran el efecto hipoglucemiante, que ayudan a mejorar la sensibilidad de las células a la insulina e inhiben la absorción intestinal de la glucosa (Rico et al., 2019).

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud OMS, alrededor del 70% de la población mundial hace uso de la medicina tradicional para satisfacer las principales necesidades de salud (Gallegos & Ferreira, 2015).

Para Gallegos & Ferreira (2015), existen diferentes plantas medicinales usadas como coadyuvantes tales como: nopal, noni, té verde, arandino, sábila, ginseng, berro, ajo, ginkgo biloba, higo, fresa, entre otras.

2. Nopal (*Opuntia ficus-indica*).

2.1. Generalidades

EL nopal (*Opuntia ficus-indica*) tienen su origen en las regiones tropicales y subtropicales de América y pertenecen a la familia de los cactus. Existe una amplia diversidad de especies, como el género *Opuntia* y *Nopalea*, destacando la presencia significativa en México, como uno de los centros de origen y también su uso en el campo alimenticio, se ha demostrado evidencias de aplicación de semillas que datan de hace 7000 años, pencas y cascaras del fruto del nopal encontradas fosilizadas en el estado de Puebla (Flores, 2003). El nopal al tener una cantidad alta de fibra dietética, los mexicanos la han considerado como un alimento autóctono medicinal desde tiempos prehispánicos (Inglese et al., 2018).

Taxonomía del Nopal (hoja)

El nopal es una hoja de sabor agradable reconocido por su alto contenido de fibra, vitaminas y propiedades antioxidantes (Bravo-Hollis, 1978).

Reino: Vegetal

Subreino: Embryophyta

División: Angiosperma

Clase: Dicotyledoneae

Subclase: Dialipetalas

Orden: Opuntiales

Familia: Cactaceae

Tribu: Opuntiae

Subfamilia: Opuntioideae



Imagen 1. Hoja del Nopal.
Fuente: (Bravo-Hollis, 1978)

Género: Opuntia y Nopalea

Subgénero: Platyopuntia

Especie: Opuntia spp.

Taxonomía de fruto del nopal

La tuna es una fruta de sabor dulce lleno de pulpa jugosa con muchas semillas pequeñas dentro de la pulpa.

Reino: Plantae. Subreino: Viridiplantae.

Infra reino: Estreptofita.

Súper división: Embriofita.

División: Traqueofita.

Subdivisión: Eufilofitina.

Infra división: Lignofita.

Clase: Espermatofita.

Subclase: Magnoliofita.

Superorden: Caryophyllanae.

Orden: Caryophyllales.

Familia: Cactaceae.

Subfamilia: Opuntioideae.

Género: *Opuntia*.

Especie: *Opuntia ficus-indica* (Linnaeus)

Esta planta pertenece a la familia de las cactáceas y existe alrededor de 250 especies, son plantas rastreras, arbustivas alcanzando de 3.5 a 5 metros de altura, se caracteriza por ser muy ramificadas, sus raíces son finas, absorbentes y con superficies excelentes para



Imagen 2. Fruto del Nopal.
Fuente: (Bravo-Hollis, 1978)

sobrevivir en zonas áridas, sus cladodios (hojas) son de forma ovoide con una longitud aproximada de 60 a 70 cm, esto dependerá de la cantidad de nutrientes y agua disponibles en el suelo (Arreola et al., 2017).

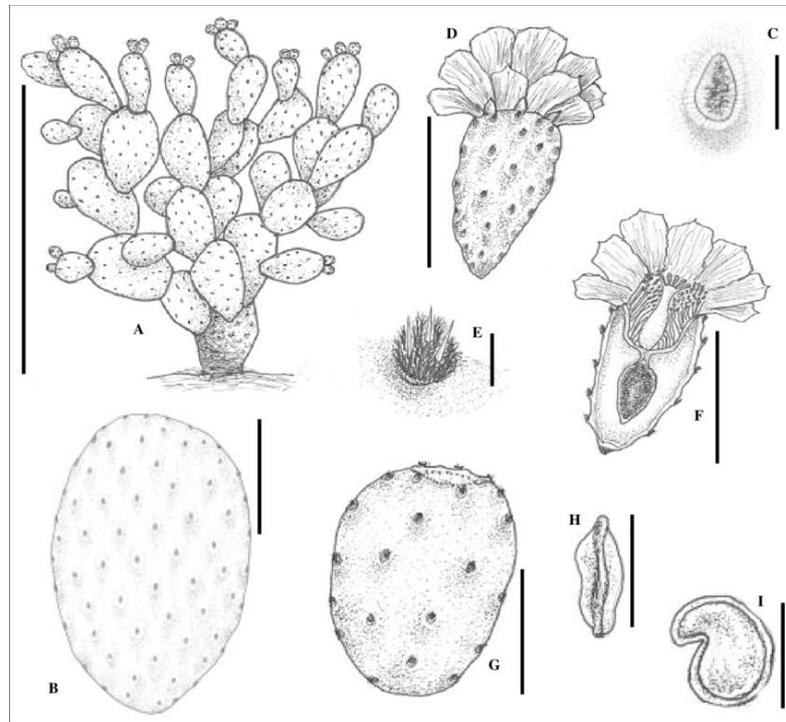


Imagen 3. Partes del nopal (*Opuntia ficus-indica*)

Dónde: A Nopal (*Opuntia ficus-indica*), B hábito, C cladodio, D areola del cladodio, E flor, F areola de la flor, G sección longitudinal de la flor, H fruta, I semilla vista dorsal. Las barras = A (1m), B (10 cm), C-E (5mm), D-F (4 cm), G (5cm), H-I (4mm). **Fuente:** (Sáenz et al., 2006).

EL nopal (*Opuntia ficus-indica*) es una planta que sobrevive en ambientes cálidos y áridos, con capacidad de resistir altas temperaturas, incluso por encima de los 45°C. Las adaptaciones fisiológicas y anatómicas de los nopales de cada una de sus partes dependen del tipo de suelo y clima que son cultivados (Nobel, 1998).

El tallo de los nopales tiene una excelente adaptación para disminuir la pérdida de agua, debido a que presentan una cutícula gruesa cubierta de pelos o cera como la debido a que presentan una cutícula gruesa cubierta de pelos (Flores, 2003).

Las hojas de los nopales son sumamente reducidas, debido a que, se desprenden de los tallos tiernos, su tiempo de vida es de tres a cinco semanas, en varias especies parte de las hojas se transforman en espinas. Las espinas tienen la función de proteger la planta de los

animales, y con ello la pérdida de agua *Opuntia microdasys* o nopal cegador (Flores, 2003).

El nopal se considera como una de las plantas más útiles para frenar de desertificación. Nostas, (1998), menciona que puede evitar la erosión eólica e hídrica de los suelos por la formación de setos en curvas de nivel, de manera que soporten las condiciones del medio árido, también el nopal proporciona reforestaciones seguras, ya que, una vez plantadas estas crecen a pesar de los escasos de lluvias.

En México se han desarrollado y comercializado diversos productos derivados del nopal, como harinas, tortillas, cápsulas, jugos, entre otros. Este país, destaca como el de mayor producción y diversidad de nopales en el mundo, con más de 300 especies, incluyendo aproximadamente 100 especies del género *Opuntia* (Sáenz et al., 2006).

En Ecuador se producen cuatro variedades de tuna del género *Opuntia* como: amarilla con espinas, tuna blanca, amarilla sin espina y tuna silvestre, en las provincias de Loja, Imbabura, Cotopaxi, Tungurahua y Santa Elena, aproximadamente una extensión de 180 hectáreas (Chávez, 2017).

2.2. Composición del Nopal (*Opuntia ficus-indica*)

En la Tabla 1 se indica la composición química de la hoja del nopal, se puede identificar que el cladodio de 1 mes de edad es más rico en Vitamina C, Proteínas y Carbohidratos, mientras que el cladodio de 1 año presenta mayor contenido de Calcio, Potasio, Sodio, Fibra y Hierro, es decir, es interesante el consumo del nopal de ambas edades (Guzmán & Chávez, 2007).

Tabla 1: Composición química de la hoja del nopal. Expresado en base húmeda.

Componente	Cladodio	
	De 1 mes de edad (aprox.)	De 1 año de edad (aprox.)
Humedad %	92,57	94,33
Proteína (x 6,25) %	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, 2007)

La composición química de la fruta del nopal, que se especifica en la Tabla 2, comparado con la Tabla 3 de la Pitahaya amarilla y roja, se evidencia que la fruta del nopal tiene un valor nutricional elevado valor respecto al contenido de Vitamina C, calcio, riboflavina, de igual manera valores similares con respecto al contenido de humedad, proteínas, fibra, cenizas, estos valores pueden variar, de acuerdo a su medio de cultivo (Sopla & Padilla, 2019)

Tabla 2: *Composición química del fruto del nopal, tuna blanca (Opuntia ficus indica). Por cada 100g.*

Componentes	Contenido de 100g de parte comestible
Calorías	31
Humedad	90,60 %
Carbohidratos	8 g
Ceniza	0,4 g
Fibra	0,5 g
Proteína	0,5 g
Calcio	22 mg
Fósforo	7 mg
Hierro	0,3 mg
Niacina	0,3 mg
Rivoflavina	0.02 mg
Tiamina	0,01 mg
Vitamina C	30 m

Fuente: (Paucar, 2011).

Tabla 3. *Composición nutricional de la Pitahaya amarilla y roja por cada 100 g*

Pitaya amarilla		Pitaya roja	
Factor Nutricional*	Contenido	Factor Nutricional*	Contenido
Acido Ascórbico	4.0 mg	Acido Ascórbico	25.0 mg
Agua	85.4 g	Agua	89.4 g
Calcio	10.0 mg	Calcio	6.0 mg
Calorías	50.0	Calorías	36.0
Carbohidratos	13.2 g	Carbohidratos	9.2 g
Cenizas	0.4 g	Cenizas	0.5 g
Fibra	0.5 g	Fibra	0.3 g
Fósforo	16.0 mg	Fósforo	19.0 mg
Grasa	0.1 g	Grasa	0.1 g
Hierro	0.3 mg	Hierro	0.4 mg
Niacina	0.2 mg	Niacina	0.2 mg
Proteínas	0.4 g	Proteínas	0.5 g
Riboflavina	0.0 mg	Riboflavina	0.0 mg
Tiamina	0.0 mg	Tiamina	0.0 mg
Vitamina A	-U.I.	Vitamina A	- U.I.

Fuente: (Ruiz et al., 2020)

2.3. Usos tradicionales del Nopal (*Opuntia ficus-indica*).

El nopal tiene diferentes usos tradicionales y populares dependiendo el país donde se cultive (Inglese et al., 2018). En Perú el nopal es comúnmente aprovechado como planta medicinal, por ejemplo, su fruto asado se utiliza como remedio contra la tos, su cáscara para tratar enfermedades del riñón (Kudanga & Aruwa, 2021). En Ecuador no existe un uso claro del nopal, pero en la región interandina los indígenas consumen su fruto como bebida para desinflamar el estómago y como forraje para animales (Matallo et al., 2002). El país que tiene su máximo aprovechamiento como planta medicinal y alimenticia para humanos y animales es México (Aguilar-Becerril, 2005; Castro Juárez et al., 2014).

Según la Comisión Coordinadora para el Desarrollo Agrícola y Ganadero de México (CODAGEM) en el año 2021 menciona que se puede obtener diversos productos derivados del nopal como enlatados de nopal con carne, frijoles o mariscos, nopales con vinagre, nopales molidos para sopa o para forrajes, mermeladas de su fruto, vinagre, harinas y aceites de las semillas (Quintero et al., 2021).

Por otro lado, Inglese et al. (2018), menciona que el empleo ancestral del nopal se viene dando desde épocas prehispánicas, el nopal ha sido utilizado como una bebida en la dieta básica y fuente de alimento. Ya que el uso del tallo esporádicamente se utilizaba para mitigar la sed, la flor en algunas tribus indígenas la usaban como alimentos, el fruto al ser jugoso y por su contenido de agua y azúcares se consumían tanto crudos como cocidos en platos o preparaciones culinarias en conservas, miel o mermeladas, bebidas refrescantes y su jugo fermentado para preparar vino dependiendo la especie empleada.

Con el avance de la ciencia, en México han innovado la producción alimentaria a partir de nopal como: nopalitos en salsa (enlatados con diversas salsas), pate de nopal son soya saboreados con carne de pollo o res, enlatados de nopal ya sea con atún, verduras, champiñones, frijoles o embutidos, cereal de nopal, harina de nopal (Ángeles et al., 2014).

2.4. Propiedades medicinales del Nopal (*Opuntia ficus-indica*)

El nopal brinda diversas propiedades medicinales por su contenido de fitoquímicos, los cuales presentan acción farmacológica, como el efecto hipoglucemiante. Según Vargas et al. (2016) este alimento contiene fenoles, flavonoides y fructosa, que contribuye a la prevención de enfermedades crónicas y degenerativas como la diabetes, el cáncer, la

obesidad, la artritis, las enfermedades cardíacas y los trastornos del sistema digestivo, incluyendo la diarrea.

En México se usa principalmente el nopal de castilla para tratar la diabetes, es una especie de nopal proveniente de Morelos, Distrito Federal y Tlaxcala, para tener el efecto hipoglucemiante se debe consumir en bebida o cruda con limón o cocida como una ensalada, generalmente es recomendada consumir en ayunas para DM-2, con una dosis sugerida de 5 a 60 ml (Knishinskiy, 2010). La tuna blanca contiene saponinas, las cuales son consideradas como un antidiabético natural, induciendo a que el organismo tenga mayor sensibilidad a la insulina, es decir, se produce baja elevación de la glucosa sanguínea en personas diabéticas (Guzmán & Chávez, 2007). El nopal contiene Fitoalimentos específicos, según Knishinskiy, (2010), menciona que se han demostrado que estos ingresan al torrente sanguíneo provocando el aumento a la respuesta celular del cuerpo con la insulina en pacientes con DM-2.

2.5. Componentes bioactivos del Nopal (*Opuntia ficus-indica*).

- **Fibra**

El nopal contiene fibra que contribuye a la reducción de los niveles de azúcar en la sangre al disminuir la absorción de azúcar en el estómago e intestinos, por ende, el extracto de nopal mejora la respuesta a la insulina. Asimismo, favorece la digestión y el tránsito intestinal, aliviando síntomas como la diarrea y el estreñimiento (Reyes et al., 2014).

- **Pectina**

La pectina es un tipo de carbohidrato que no puede ser absorbida por el intestino, pero posee propiedades que resultan beneficiosas en el tratamiento de ciertas enfermedades patógenas. Esta fibra tiene la capacidad de formar una red cuando entra en contacto con el agua, lo que provoca la gelificación de la mezcla al retener el agua (Reyes et al., 2014). La pectina gracias a su capacidad de absorción brinda muchos beneficios como el aumento de volumen de las heces, ralentizar el vaciado gástrico, retardar la asimilación de varios nutrientes, así como la capacidad de captar sustancias en todo el tracto intestinal, Butera et al., (2002), menciona otras propiedades de la pectina como la ralentización de la absorción intestinal de los azúcares simples, mejorando la intolerancia a la glucosa siendo beneficiosas para la personas diabéticas, porque se ralentiza el tránsito de los

azúcares desde el estómago hacia el duodeno, evitando así un aumento repentino en los niveles de glucosa en la sangre, también conocido como hiperglucemia.

Según Sumaya et al. (2011), indica que las pectinas poseen la capacidad de formar complejos con los ácidos biliares, lo que facilita su excreción a través de las heces. Los ácidos biliares, derivados de la degradación del colesterol, están implicados en el metabolismo lipídico. Esto conlleva un efecto hipocolesterolémico, es decir, una disminución de los niveles de colesterol en la sangre, lo que a su vez reduce el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares.

- **Mucílagos**

Se caracteriza por ser un carbohidrato complejo, debido a que se encuentran monómeros importantes en su cadena como L-arabinosa, L-ramnosa, D-galactosa y ácido galacturónico, sus porciones varían por diversos factores como la edad, variedad, condiciones ambientales, partes del nopal que vayan a ser empleados para su extracción (hoja, fruto, cáscara), se encuentra presente como una sal de calcio en las células del mucílago (Butera et al., 2002).

- **Pigmentos**

El pigmento que se encuentra en el nopal es las betalaínas que son solubles en el agua, se deriva del ácido betalámico siendo su estabilidad afectada por el pH, a pH de 4.0 y 6.0 son más estables, también están conformadas por betaxantinas (amarillas) y betacianinas (rojas), se presentan en absorbancias de 480 y 540 nm (Alba et al., 2014).

- **Vitamina C**

La vitamina C, también conocida como ácido ascórbico, es una vitamina que se disuelve en agua (San Mauro & Garicano Vilar, 2015). Según (Bastías & Cepero, 2016) menciona que los humanos a diferencia de otros mamíferos y animales no tienen la capacidad de producir ácido ascórbico y por eso se debe consumir en la dieta. Al ser un potente antioxidante y cofactor esencial, tiene la habilidad de intervenir en diferentes reacciones enzimáticas como la biosíntesis de la carnitina, colágeno y catecolaminas (Valdés, 2006).

- **Vitamina E**

La vitamina E conocida como tocoferol, es una vitamina liposoluble con capacidad antioxidante, tiene 8 formas diferentes de isómero como; alfa, beta, delta y gama; alfa, beta, delta tocotrienol y gama, donde el alfa-tocoferol es la manera activa en humanos (Catania et al., 2009). Investigaciones ha propuesto el uso de vitamina E en el tratamiento o prevención de diversas afecciones de la salud, por sus propiedades antioxidantes, ayudando a prevenir la difusión de aterosclerosis y plaquetas en la diabetes tipo 1 y 2, también en la prevención de complicaciones diabéticas en riñones, ojos y sistema nervioso como la retinopatía, neuropatía y nefropatía (Pazdro & Burgess, 2010).

Sustancias Hipoglucemiantes

3.1. Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos o polifenoles se caracterizan por presentar un anillo aromático unido a uno o más grupos hidroxilo (OH-), que pueden incluir grupos funcionales como ésteres, glucósidos, entre otros (Martín, 2018).

Los compuestos fenólicos se encuentran naturalmente en alimentos de origen vegetal y representan el grupo más abundante de sustancias no energéticas. Estudios han evidenciado que una dieta rica en polifenoles vegetales contribuye a mejorar la salud y reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares (Schroeter et al., 2006). Los fenoles tienen la capacidad de modular la actividad de diferentes enzimas, infiriendo en los mecanismos de reacción y en procesos moleculares, gracias a las características fisicoquímicas tiene propiedades antioxidantes previniendo el daño oxidativo, siendo biodisponibles mediante uso de varias técnicas de extracción, enzimáticas, químicas y mecánicas (Quiñones et al., 2012).

Tabla 4. *Concentración relativa de compuestos fenólicos en tejidos vegetales.*

Tejido	Concentraciones relativas
Fruto	Ácidos cinámicos > catequinas ≅ Leuco antocianinas (flavan-3-4dioles) > flavonoles
Hojas	Flavonoles ≅ ácidos cinámicos > Catequinas ≅ leuco antocianinas
Tronco	Catequinas ≅ leuco antocianinas > flavonoles > ácidos cinámicos
Corteza	Al igual que el tronco, pero en altas concentraciones

Fuente: (González, 2010).

En la tabla 4 se muestra la proporción relativa de compuestos fenólicos en tejidos vegetales, que son compuestos presentes de forma natural en la naturaleza. Se estima que existen alrededor de 4000 compuestos fenólicos identificados, siendo los flavonoides el grupo más destacado (González, 2010). Dentro de esta clasificación se encuentran compuestos fenólicos monocíclicos simples, como lignanos, quinonas fenólicas y xantonas, así como también materiales poliméricos como melaninas, ligninas y taninos (A. M. Muñoz et al., 2007).

A los compuestos fenólicos se les atribuye algunos beneficios, investigaciones realizadas sugieren un consumo rico en futas y verduras, debido a su actividad biológica y potencial antioxidante, los compuestos fenólicos, al igual que las vitaminas, contribuyen a reducir el riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares y cáncer (Maestro & Borja, 1993). En la Imagen 4 de los mecanismos de reacción se observa los efectos preventivos de los polifenoles (Muñoz & Ramos, 2007).

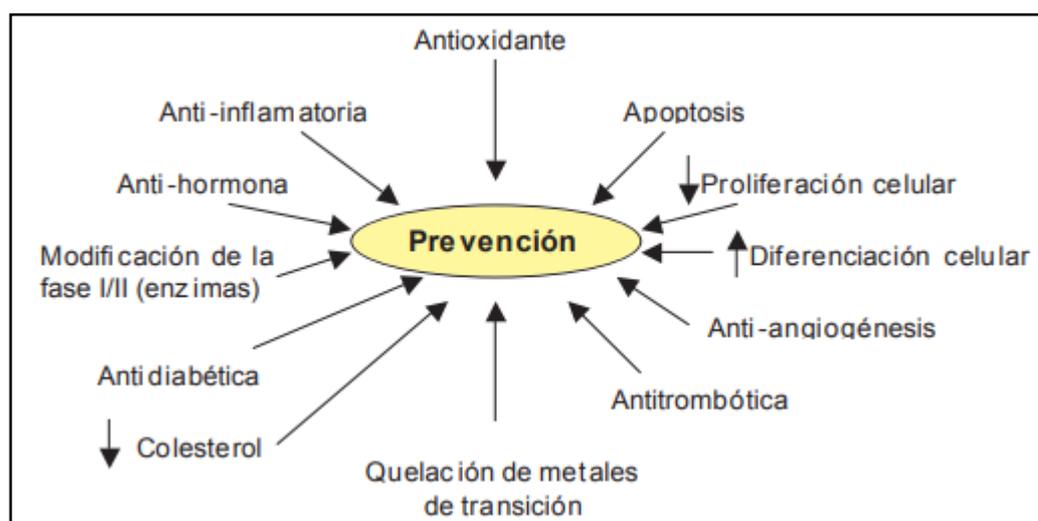


Imagen 4. Mecanismos preventivos de los polifenoles

Fuente: (Muñoz & Ramos, 2007).

3.2. Flavonoides

Se caracterizan por su estructura básica de difenilpropanoides (C6-C3-C6), según Cartaya & Reynaldo (2001) afirman que posee anillos dobles aromáticos que están unidos a tres carbonos, formando un anillo heterocíclico oxigenado como se observa en la Imagen 5. En la cadena de 3 carbonos el estado oxidativo determina las diferentes clases de flavonoides, dentro de estos se incluye los flavonales (catequinas), antocianinas

(glucósidos), flavonas, flavonoles, flavonoles e isoflavonas y sus derivados (Ochoa & Ayala, 1969).

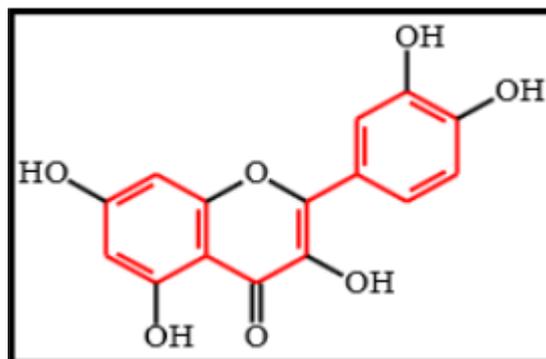


Imagen 5. Estructura básica de un flavonoide.

Fuente: (Cartaya & Reynaldo, 2001).

Los Flavonoides son pigmentos de forma natural que se encuentran en frutas, semillas y vegetales identificando más de 5000 flavonoides diferentes, los flavonoides tienen un valor promedio de ingesta estimado en 23 mg por día, con una ingesta diaria promedio de aproximadamente 16 mg (Navarro et al., 2017). Al igual que los fenoles presentan propiedades antioxidantes, protegiendo al organismo de los efectos perjudiciales causados por agentes oxidantes como la contaminación ambiental, la radiación ultravioleta y compuestos químicos que estén presentes en los alimentos y otros agentes que causen el estrés oxidativo (Schroeter et al., 2006). El organismo al no producir estos fitoquímicos protectores, debe consumir tanto a través de la ingesta alimentaria como mediante la utilización de suplementos o a partir de fuentes naturales como frutas, plantas y verduras (Guevara et al., 2010)

Según Harborne & Williams (2000), menciona que los flavonoides son una subfamilia de polifenoles naturales que han sido objeto de una creciente investigación en los últimos años debido a sus efectos antioxidantes. Debido a su diversidad estructural y su presencia abundante en la naturaleza, han sido utilizados en la medicina tradicional y se consideran una alternativa terapéutica para el desarrollo de nuevos agentes farmacológicos que puedan ayudar en el tratamiento de enfermedades degenerativas, como la Diabetes Mellitus.

3.3. Fructosa

La fructosa es el azúcar que ha tenido el mayor impacto en la sociedad en el siglo XXI, ya que se encuentra presente en diversas frutas, de ahí su nombre. Es aproximadamente un 40% más dulce que la sacarosa y constituye una fuente principal de combustible en la dieta cuando se consumen grandes cantidades de frutas o sacarosa. Es un disacárido compuesto por fructosa y glucosa (Luna et al., 2014).

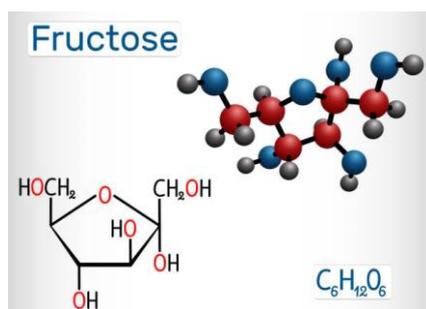


Imagen 6. Estructura de la fructosa.

Fuente: (Cornejo & Raimann, 2004).

La fructosa es un tipo de monosacárido que consta de 6 átomos de carbono, como se puede apreciar en la representación visual de la imagen 5. Su estructura se caracteriza por formar un anillo de 5 miembros (Luna et al., 2014). Según Riveros et al. (2014) mencionan que la fructosa posee un índice glucémico bajo, por que ayuda a la inhibición de la producción de cuerpos cetónicos, es decir, en pequeñas cantidades pueden contribuir al manejo adecuado de los niveles de glucosa en pacientes con Diabetes Mellitus.

4. Bebidas

De acuerdo con la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2337 (2008) menciona que las bebidas son el producto de la dilución de la pulpa o el jugo de frutas o vegetales, ya sean concentrados o sin concentrar o la mezcla de ambos, se les puede agregar ingredientes como edulcorantes, saborizantes y otros aditivos.

Los jugos y bebidas naturales son fuentes de azúcares, minerales y vitaminas. Según Malpica (2010), en Latinoamérica ha crecido el consumo de bebidas o jugos naturales en dietas saludables, en la imagen 7, se observa la tendencia del consumo de bebidas como acompañantes de comidas.

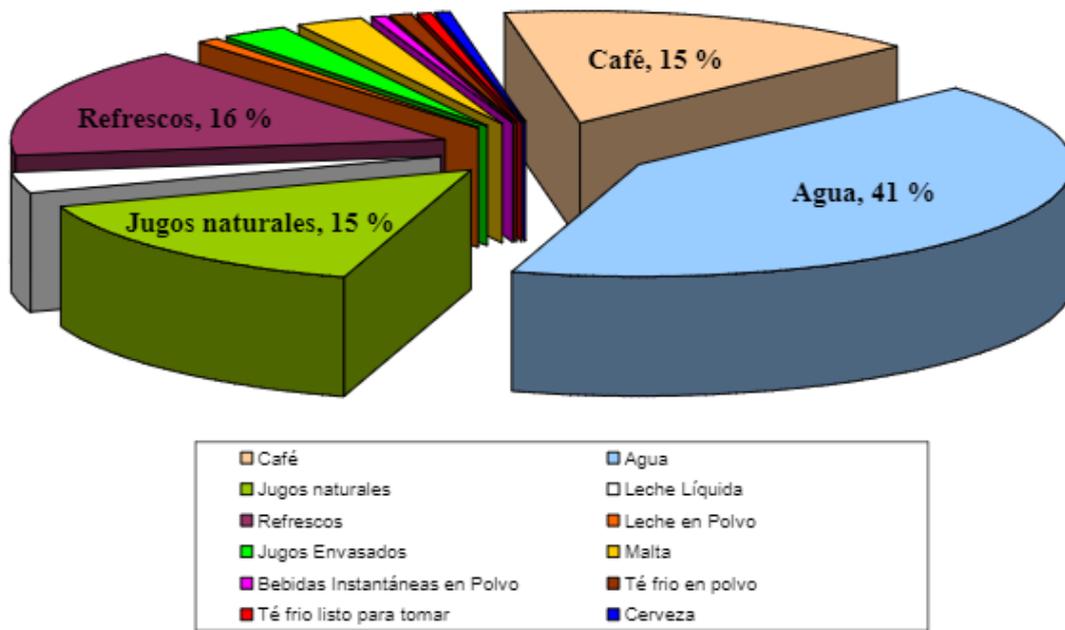


Imagen 7. Consumo de bebidas como acompañantes en comidas.

Fuente: (Malpica, 2010).

5. Objetivos

5.1. Objetivo General

Evaluar el contenido de fenoles, flavonoides y fructosa de una bebida a partir de la hoja y el fruto del nopal (*Opuntia ficus-indica*).

5.2. Objetivos Específicos

- Evaluar las propiedades físico-químicas de la hoja y el fruto del nopal (*Opuntia ficus-indica*).
- Desarrollar la formulación aceptable del zumo de la hoja y el fruto del nopal (*Opuntia ficus-indica*) extraídos mediante prensado y despulpado.
- Determinar el contenidos de fitoquímicos y fructosa de la bebida de la hoja y el fruto del nopal (*Opuntia ficus-indica*) de la mejor formulación.

6. Hipótesis

6.1. Hipótesis Nula.

Ho: En la bebida elaborada a partir de la hoja y el fruto del nopal (*Opuntia ficus-indica*), no se detectan sustancias hipoglucemiantes.

6.2. Hipótesis Alternativa.

Ha: En la bebida elaborada a partir de la hoja y el fruto del nopal (*Opuntia ficus-indica*), es factible detectar la presencia de sustancias con propiedades hipoglucemiantes.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2. Materiales

2.1. Materia Prima

Hoja y fruto del nopal (*Opuntia ficus-indica*)

2.1.1. Obtención de la materia prima

La hoja y el fruto del nopal (*Opuntia ficus-indica*) fueron obtenidos de los cultivos de la Parroquia de Poalo, Barrio Mariscal Sucre del Cantón Latacunga. Provincia de Cotopaxi.

Se tomaron 20 hoja y 20 frutos de nopal (*Opuntia ficus-indica*) del mismo tamaño y color, seguido de la limpieza general del fruto, se quitó las espinas con la ayuda de un material abrasivo como un costal, se retiró la mayor cantidad posible de espinas, de igual manera se limpió la hoja del nopal con la ayuda de un cuchillo retirando la mayor cantidad de espinas posibles, se registró el peso, largo, ancho y espesor de la hoja, y el peso, largo y ancho del fruto. Después se realizó un pelado y se cortó a la mitad con la ayuda de un cuchillo. Se trituró con la ayuda de un mortero para posteriormente medir el pH, acidez, Vitamina C y °Brix, cada análisis se realizó por triplicado

2.2. Materiales

Vasos de precipitación, Matraz aforado, Bureta, Soporte universal, Matraz Erlenmeyer, Pipetas graduadas 2 ml y 10 ml, Probetas 10 ml y 25 ml, Pipeta volumétrica 1ml, Tubos de centrifuga, Propipeta, Tubos de ensayo con tapón, Cubetas de plástico 3ml para espectrofotometría visible, Mortero, Espátula, Varilla de agitación, Papel filtro, Piseta con agua destilada, Papel Aluminio, Colador, Cuchillo de acero inoxidable, Frasco ámbar, Gotero de Plástico.

2.3. Equipos y Reactivos

2.3.1. Equipos

Plancha de calentamiento, Baño María, Balanza Analítica, Cámara de extracción de gases, Brixómetro, pH-metro, Estufa de laboratorio, Centrífuga, Agita tubos (vortex), Espectrofotómetro UV-Visible.

2.3.2. Reactivos

Yodato de potasio (KIO₃), Tiosulfato de sodio 0,1 M (Na₂S₂O₃) pentahidratado, Ácido sulfúrico 0,5 M (H₂SO₄), Yoduro De Potasio (KI), Almidón 1%, Carbonato de sodio (Na₂CO₃), Ácido gálico, Metanol, Reactivo de Folin-Ciocalteau, Carbonato sódico 7,5%, Cloruro de Aluminio al 10%, Quercetina Hidratada, Nitrito de sodio 5%, Hidróxido de sodio 1M (NaOH), Fenolftaleína, Reactivo DNS, Glucosa, Agua destilada.

Metodología Experimental

El presente estudio de investigación se realizó en tres fases distintas. Los análisis experimentales se desarrollaron en los laboratorios académicos y de investigación de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología FCIAB – Universidad Técnica de Ambato UTA.

2.4. Análisis fisicoquímico de la materia prima

2.4.1. Acidez Titulable.

En el análisis de acidez se basó en la normativa (NTE INEN-ISO 750, 2013). La hoja y el fruto del nopal pelados, se cortaron en trozos, se trituro y filtro. Una vez que se obtuvo el zumo de la hoja y el fruto del nopal, se tomó 5 ml de muestra, se agregó agua destilada 5ml y 3 gotas de fenolftaleína como indicador, se tituló gota a gota con hidróxido de sodio NaOH (0.1N) hasta una coloración de tonalidad rosada. Por último, el volumen gastado de hidróxido de sodio NaOH (0.1N) fue registrado El análisis se realizó por triplicado en las dos muestras del nopal. Los resultados fueron expresados en función del ácido cítrico, para el cálculo se aplicó la ecuación 1 (Mendes et al., 2010).

$$\% \text{ ácida total} = \frac{V_{NaOH} * N_{NaOH} * f}{V_m} * 100\% \quad \text{(Ecuación 1)}$$

Donde:

V_{NaOH}: Volumen gastado de NaOH (ml)

N_{NaOH}: Normalidad de NaOH empleado en la titulación (0.1N)

f: factor de conversión ácido cítrico = 0.064

V_m : Volumen de la muestra empleada

2.4.2. Ácido ascórbico (Vitamina C)

La determinación de ácido ascórbico se basó en el método de titulación Yodométrico (Pietro et al., 2001). El zumo de la hoja y del fruto de nopal se extrajo con la ayuda de una licuadora.

Primero se preparó la solución de almidón al 1%, para eso se pesó 5 g de almidón soluble, luego transfirió a un vaso precipitado de 250 ml, se colocó 5 ml agua destilada, se agitó hasta formar una pasta homogénea. En un matraz Erlenmeyer de 500ml se calentó a ebullición 400 ml de agua destilada, mientras hierve el agua destilada se fue colocando la pasta homogénea, hasta que la solución quedara transparente, se ajustó a 500ml, se dejó enfriar y se guardó en un frasco ámbar.

Se introdujeron 25 ml de la muestra en un matraz Erlenmeyer de 250 ml, al cual se le añadieron 10 ml de ácido sulfúrico 0.5M, 1 g de KI sólido y se agitó hasta su disolución, luego se añadió 45 ml de la solución KIO_3 , se puso 2 ml del indicador de almidón al 1%, se procedió a titular con el agente titulante (tiosulfato de sodio) hasta observar el cambio de color, se registró el volumen gastado del agente titulante y se calculó la concentración de vitamina C con la siguiente ecuación:

$$M = \frac{w}{pm * v} = \frac{1.2}{(214 \frac{g}{mol}) (0.25 lto)} = 0.02 \frac{mol}{lto}$$

(Ecuación 2)

2.4.3. Determinación de sólidos solubles totales SST (°Brix)

Se colocó las muestras de la hoja y el fruto del nopal en un mortero con la finalidad de obtener el zumo. El análisis se basó en la Normativa Técnica Ecuatoriana INEN 380 (1986), se empleó un refractómetro digital en escala de 0.0-85% brix/°C.

2.4.4. Determinación pH

La determinación de las muestras de la hoja y del fruto del nopal se basó en la Normativa Técnica Ecuatoriana INEN-ISO 1842, (INEN, 2013).

2.5. Desarrollo de la formulación aceptable del zumo de la hoja y el fruto del nopal (*Opuntia ficus-indica*).

Se realizaron 3 formulaciones utilizando dos métodos de extracción: despulpado y prensado con la hoja y el fruto del nopal, el criterio de mezcla fue la viscosidad observada de la bebida.

Tabla 5. Formulación de la hoja y el fruto del nopal (*Opuntia ficus-indica*) con diferentes métodos de extracción.

Codificación	Prensado	Despulpado
5T5N	√	√
25T75N	√	√
75T25N	√	√

Dónde: T: fruto y N: hoja, teniendo los pesos de las siguientes formulaciones: **5T5N**= 50g fruto + 50g hoja, **25T75N**= 25g fruto + 75g hoja, **75T25N**= 75g fruto + 25g hoja.

Se pesó la hoja y el fruto del nopal sin cáscara, se realizó la extracción o el jugo del fruto y de la hoja juntos en la proporción establecida mediante despulpado y prensado. El despulpado se realizó en una licuadora doméstica (Oster) y posterior filtrado en un lienzo debido a la alta viscosidad del producto. El prensado se realizó en un equipo similar al extractor de jugo de naranja y posterior separación utilizando también un lienzo. A continuación, el jugo resultante se colocó en envases de plástico debidamente etiquetados, los cuales fueron protegidos de la luz y el aire para prevenir la oxidación. Este procedimiento se repitió para cada una de las formulaciones mencionadas en la tabla 5.

2.5.1. Análisis sensorial para la mejor formulación

Se realizó un análisis sensorial con un diseño de bloques incompletos para determinar la mejor formulación y el método de extracción idóneo. Se llevó a cabo un análisis sensorial con la ayuda de 40 catadores seminternados. A cada catador se les proporcionó una hoja de Catación que incluía una escala hedónica para evaluar los atributos de color, olor, sabor, consistencia y aceptabilidad. De esta manera, se determinó la formulación que obtuvo la mejor puntuación en cada uno de estos atributos.

2.6. Determinación del contenido de fitoquímicos y fructosa de la bebida de la hoja y el fruto del nopal (*Opuntia ficus-indica*).

2.6.1. Cuantificación de Fenoles.

La cuantificación de los fenoles se llevó a cabo mediante el método de Folin-Ciocalteu., para esto, se preparó una curva de calibración utilizando una solución estándar de ácido gálico (0.5 mg/ml) en volúmenes que iban desde 50 µl hasta 300 µl, con incrementos de 50 µl. Para determinar la concentración de fenoles en las muestras, se tomó una cantidad de 40 µl de muestra y se mezcló con 40 µl del reactivo Folin-Ciocalteu en una relación de 1:1. Posteriormente, se agregaron 800 µl de carbonato de sodio (Na₂CO₃) al 7.5%, se completó el volumen con agua destilada y se agitó durante 5 minutos en un vortex. Luego, se dejó reposar durante 1 hora. La absorbancia se midió a una longitud de onda de 760 nm utilizando un espectrofotómetro UV-VIS y se expresó en mg de ácido gálico por litro de extracto. (mgGA/L extracto) (Gutiérrez et al., 2008).

2.6.2. Cuantificación de Flavonoides.

La cuantificación de los flavonoides se realizó utilizando el método de colorimetría con cloruro de aluminio, propuesto por Kumazawa et al. (2004), con pocas modificaciones. Se preparó una curva de calibración utilizando una solución estándar de quercetina (0,1 mg/ml), con volúmenes que iban desde 0 µl 50, 150, 200, 300 y 400 µl. Para determinar el contenido de flavonoides en las muestras, se tomó una alícuota de 0,5 ml de muestra y se mezcló con 0,5 ml de una solución etanólica de cloruro de aluminio al 2%. La mezcla se completó con agua destilada y se dejó reposar durante 10 minutos. Finalmente, la absorbancia se midió a una longitud de onda de 415 nm utilizando un espectrofotómetro UV-VIS y se expresó en mg de quercetina por gramo de extracto (mgQE/L extracto) (Kumazawa et al., 2004).

2.6.3. Cuantificación de la Fructosa.

El contenido de fructosa se determinó utilizando el método DNS. Se preparó una curva de calibración utilizando una solución estándar de glucosa (2 mg/ml) con concentraciones que iban desde 0 hasta 2 mg/ml en incrementos de 0,25 mg/ml. Para determinar el contenido de fructosa en las muestras, se agregaron 200 µl de la muestra y 200 µl del reactivo DNS. La mezcla se calentó en un baño maría a ebullición durante 5 minutos y luego se detuvo la reacción enfriándola en hielo hasta alcanzar la temperatura ambiente.

A continuación, se añadieron 5 ml de agua destilada, se agitó y se realizó la lectura de absorbancia a 540 nm. Se utilizó agua destilada como blanco de referencia (Bello et al., 2006).

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Evaluación de las propiedades fisicoquímicas de la hoja y e fruto del nopal (*Opuntia ficus- indica*).

3.1.1. Materia Prima

La evaluación fisicoquímica de la materia prima del nopal, que incluye el análisis del peso, largo, ancho y espesor de la hoja y el fruto, resulta fundamental para comprender su morfología y dimensiones. Estas características físicas son clave para su caracterización completa y permiten su aprovechamiento eficiente en diversas industrias (Terán et al., 2015).

Tabla 6. *Morfología de la hoja y el fruto del nopal (Opuntia ficus-indica)*

Muestras	Peso (g)	Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (mm)
Hoja	652,25 ± 9.81	35,42 ± 0.63	19,5 ± 0.50	22,2 ± 2.19
Fruto	125,14 ± 1.11	9,54 ± 9.54	6,37 ± 0.33	-

Donde: Peso en gramos (g), Largo en centímetros (cm), Ancho en centímetros (cm) y Espesor en milímetros (mm).

En la Tabla 6, se presentan los resultados obtenidos correspondientes a la morfología de la hoja y fruto del nopal (peso, largo, ancho y espesor) donde se identifica que, el peso de la hoja es de 652.25 g, indica que es una hoja relativamente grande. El peso del fruto fue de 125.14 g, sugiriendo que el fruto tiene un tamaño moderado. El largo de la hoja medido fue de 35.42 cm, y el largo del fruto de 9.54 cm, estos valores concuerdan con los reportados en la investigación de Hernández (2017), mismo que determina que el largo del fruto es entre 4 a 12 cm, por lo que el largo se encuentra dentro del crecimiento normal del nopal. En términos de ancho, la hoja mide 19.5 cm, lo que sugiere que es bastante ancha, mientras que el fruto tiene un ancho de 6.37 cm, lo que indica que es más estrecho en relación con la hoja, con respecto al espesor de la hoja, de 22.2 mm, sugiere que la hoja es relativamente gruesa, es decir, que se trata de una hoja de edad madura (6 meses) como lo reporta Arroyo et al., 2020) con valores similares de un cladodio de edad madura, ya que, valores superiores e inferiores corresponde a cladodios viejos (≥ 8 meses) y jóvenes (4 meses) respectivamente.

3.1.2. Caracterización de la hoja y el fruto del nopal (*Opuntia ficus-indica*).

La caracterización de la hoja y el fruto del nopal resulta fundamental debido a la creciente demanda de información sobre su composición fisicoquímica, la cual está estrechamente relacionada con su valor nutricional y sus potenciales aplicaciones en diversas industrias. En este contexto, se han identificado varios parámetros esenciales, como la acidez titulable, el contenido de vitamina C, los grados Brix y el pH, los cuales proporcionan datos fundamentales para entender la calidad y el potencial uso de estas partes de la planta. La acidez titulable refleja el contenido de ácidos presentes en la hoja y el fruto del nopal, mientras que la vitamina C es un nutriente valioso que influye en su valor nutricional. Los grados Brix indican el contenido de sólidos solubles, como azúcares, y el pH es un factor determinante para su procesamiento y conservación (Peña et al., 2015).

Tabla 7. Caracterización de la hoja y el fruto del nopal (*Opuntia ficus-indica*).

Muestra	Acidez Titulable (%)	Vitamina C (mg/100gr)	°Brix	pH
Hoja	0,13 ± 0.11	23,6 ± 0.1	0,91 ± 0.053	6,19 ± 0.12
Fruto	0,27 ± 0.10	22,9 ± 0.15	11,36 ± 1.06	4,61 ± 0.012

Donde: Cada tratamiento se realizó por triplicado.

En la Tabla 7 se muestran los resultados obtenidos para la caracterización de la hoja y el fruto del nopal. En el caso de la hoja, se registró una acidez de 0.13%, mientras que en el fruto fue de 0.27%. Estos valores indican que el fruto del nopal tiene una mayor acidez en comparación con su hoja. (Yaselga, 2011). El valor de acidez de la fruta del nopal se encuentra dentro del intervalo que menciona (Terán et al., 2015) el cual varía entre 0,06%-0,41%, el valor de acidez puede variar de acuerdo a su estado de madurez. Por otro lado, se reportan valores de acidez con respecto al cladodio de 5 a 8 meses entre 0,01 a 0,18%, el cual está dentro del intervalo que menciona el (Peña et al., 2015), los valores de acidez del cladodio dependerán de su estado de madurez, debido a que mientras más joven es el cladodio mayor será su acidez.

Respecto a los resultados obtenidos para vitamina C, la hoja del nopal exhibe una concentración de vitamina C de 23,6 mg, mientras que el fruto presenta una concentración de 22,9 mg, dichos valores indican la relevancia significativa de ácido ascórbico, pues al comprar con la pitahaya amarilla los valores obtenidos son mayores, debido a que este fruto se encuentra entre 4-6 mg/100g, en cambio la pitahaya roja representa valores

similares ya que se encuentra en un rango de 20 a 25 mg/100g (Cabanillas & Aurora, 2020). Para Torres Morales, Ballinas y Nervárez (2015), la diferencia en las concentraciones de vitamina C entre plantas de nopal puede deberse a diversos factores, como la madurez de los tejidos vegetales, la variabilidad genética o las condiciones ambientales. Así mismo, Troncoso (2016), establece que la concentración de Vitamina C de los nopales del género *Opuntia* se encuentran en un rango de 22,8 a 45,8 mg/100g, la comparativa con dicha investigación establece parámetros medibles de calidad, por lo que se considera que el valor determinado se encuentra optimizado.

La hoja del nopal muestra un valor de Brix de 0.91, lo cual indica un contenido de azúcares relativamente bajo. Por otro lado, el fruto presenta un valor de Brix de 11.36, indicando un contenido de azúcares considerablemente mayor en comparación con la hoja, esto significa que el fruto del nopal es más dulce Rodríguez (2017). Los valores de los °Brix del fruto obtenidos son similares con los mencionados por Zenteno et al. (2015) de 11,64 este valor dependerá de estado de madurez del fruto, de acuerdo con estos valores se debería fomentar el consumo ya que su contenido de azúcares es similar al de otras frutas como la manzana (11,10%), piña (12,30%), entre otras (Zenteno et al., 2015). Según Vargas et al., (2016) en su investigación reporta valores de la hoja de nopal entre 0,2 a 0,9 °Brix, este valor es relativamente bajo debido a su alto contenido de mucilago, es decir, tiene mucha fibra siendo el principal retenedor de agua de la planta a diferencia de la fruta que es carnosa.

La hoja del nopal tiene un pH de 6.19, lo cual indica que es ligeramente ácida. Por otro lado, el fruto tiene un pH de 4.61, lo que sugiere que es más ácido en comparación con la hoja. Como lo indican (Apodaca, Martínez, Robles, & Rodríguez, 2017), determina en la especificación de su bebida a base del nopal un pH de 6. A 8.5 con relación al resultado obtenido podemos establecer que tanto para el fruto como para la hoja existe un pH promedio.

3.2. Desarrollo de la formulación aceptable del zumo de la hoja y el fruto del nopal (*Opuntia ficus-indica*) extraído mediante prensado y despulpado.

Este estudio se enfoca en desarrollar una formulación aceptable de zumo de nopal, extraído mediante prensado y despulpado, con el propósito de preservar sus nutrientes y compuestos bioactivos. Se analizarán parámetros fisicoquímicos, como sólidos solubles, así como aspectos sensoriales como color, aroma y sabor, para lograr un producto

atractivo y de alta calidad. El objetivo es determinar un análisis sensorial, de modo que se identifique la percepción de los consumidores.

3.2.1. Análisis Sensorial de la formulación por Prensado

El análisis sensorial exhaustivo que incluye la evaluación de atributos como el color, olor, sabor, consistencia y aceptabilidad del zumo de nopal formulado por prensado. Mediante la participación de un panel de catadores semi-entrenados, se obtendrán datos cuantitativos y cualitativos que permitirán comprender mejor las preferencias del consumidor y optimizar la formulación para lograr una bebida que satisfaga sus expectativas. Los resultados de este análisis sensorial serán fundamentales para garantizar que el zumo de nopal no solo mantenga sus propiedades nutricionales y saludables, sino que también sea una opción apetecible y placentera para aquellos que buscan una bebida natural y beneficiosa para su bienestar (García, 2014).

Tabla 8. *Formulación aceptable extraído mediante prensado.*

Parámetro	Muestras		
	M1: 50T50N	M2: 75T25N	M3: 25T50N
Color	4,10 ± 0,78	3,55 ± 0,93	2,78 ± 0,69
Olor	3,63 ± 0,93	3,30 ± 0,88	2,71 ± 0,68
Sabor	4,02 ± 0,69	3,63 ± 0,87	2,88 ± 0,61
Consistencia	4,00 ± 0,71	3,53 ± 0,88	2,85 ± 0,62
Aceptabilidad	3,98 ± 0,76	3,40 ± 0,74	2,85 ± 0,58

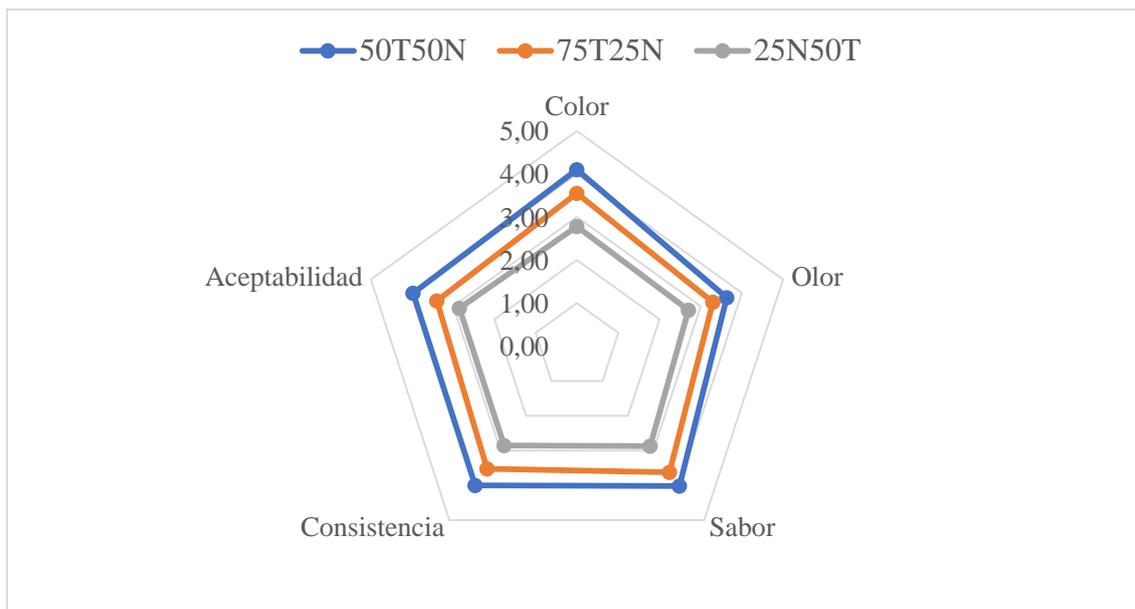


Figura 1. Análisis Sensorial extraído mediante prensado.

En la Figura 1, se muestra los resultados del análisis sensorial de las tres formulaciones de jugo de la hoja y fruto de nopal extraído mediante prensado, donde se observa que la muestra M1 obtiene la mejor aceptabilidad, color, olor, sabor y consistencia, el valor determinado es de $3,98 \pm 0,76$, los valores identificados corresponden a un análisis de variabilidad mayor al promedio, lo que indica una buena recepción general de la bebida. Como lo establecen (Salomé & Jaramillo, 2023), la aceptabilidad determinada no es significativa, lo que indica que no existe una variabilidad entre los métodos de pulpa y de tres niveles de sacarosa refinada. Por su parte Trujillo et al. (2023) determinan que la aceptabilidad tiene un efecto significativo de ($p \leq 0.05$) del nopal procesado.

3.2.2. Análisis Sensorial de la formulación por despulpado

El análisis sensorial de la formulación por despulpado, mediante la percepción de los sentidos se obtiene una comprensión profunda de los cambios físicos y químicos que ocurren durante el proceso de despulpado, permitiendo identificar posibles defectos y optimizar la calidad y consistencia del producto final. La utilización de paneles de catadores capacitados y la aplicación de diversas técnicas de evaluación garantizan la obtención de datos precisos y útiles para ajustar formulaciones y satisfacer las expectativas del mercado y los consumidores (García, 2014).

Tabla 9. Formulación aceptable extraído mediante despulpado.

Parámetro	Muestras		
	M1: 50T50N	M2: 75T25N	M3: 25T50N
Color	4,00 ± 0,85	3,53 ± 0,93	2,75 ± 0,81
Olor	3,83 ± 0,90	3,30 ± 0,82	2,73 ± 0,75
Sabor	4,23 ± 0,70	3,50 ± 0,88	2,78 ± 0,70
Consistencia	4,15 ± 0,74	3,40 ± 0,87	2,75 ± 0,67
Aceptabilidad	4,15 ± 0,77	3,40 ± 0,84	2,73 ± 0,68

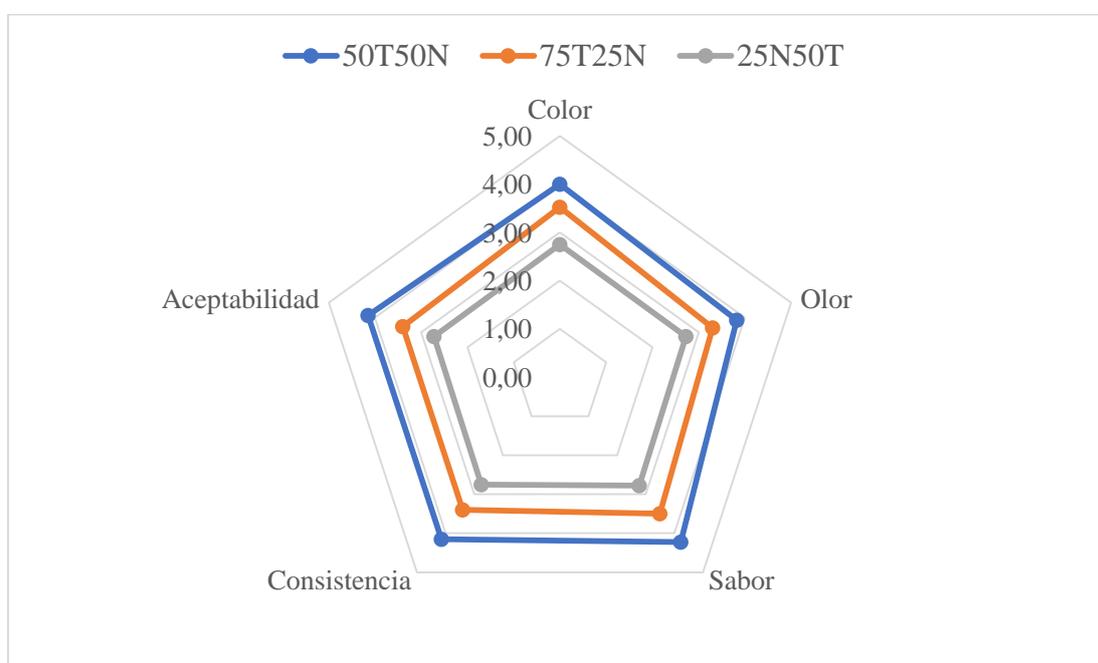


Figura 2. Análisis Sensorial extraído mediante despulpado.

El método de extracción despulpado realizado para las tres muestras especificadas, permitió realizar un análisis sensorial, el cual bajo los criterios específicos determinó que la M1 50T50N presenta una relación significativa entre, color, olor, sabor y textura como se muestra en la Figura 2.

Mediante los resultados obtenidos se pudo identificar que la formula aceptable del zumo de la hoja y fruto del nopal es determinante para el método de extracción siendo el despulpado con una mayor aceptación, no obstante, se puede evidenciar la respuesta por parte de los catadores, tanto para la bebida prensada como para la despulpada con relación a los atributos sensoriales, de igual manera, no existe una variación significativa entre

ambas extracciones. Para Gutiérrez & Barrera (2015), el desarrollo de una bebida despulpada de la tuna posee una aceptación generalizada del 60%, sin embargo, realiza diferentes métodos de procesamiento, pero con un porcentaje menor de aceptabilidad, lo que recalca la capacidad del procesamiento despulpado para una mejor aceptación.

3.3. Determinación del contenido de fitoquímicos y fructosa de la bebida de la hoja y el fruto del nopal (*Opuntia ficus-indica*) de la mejor formulación.

3.3.1. Fenoles

La determinación de fenoles es un proceso analítico utilizado para identificar y cuantificar los compuestos fenólicos presentes en diversas muestras, como alimentos, plantas y productos naturales. Los fenoles son una clase de compuestos bioactivos que se caracterizan por su estructura química que incluye uno o más anillos aromáticos con grupos hidroxilo. Estos compuestos tienen propiedades antioxidantes y pueden desempeñar un papel importante en la protección contra el estrés oxidativo y en la promoción de la salud (Martín, 2018).

Tabla 10. Contenido de fenoles de la bebida despulpada y prensada.

Muestra	Fenoles (mg GAE/l muestra)
Bebida Despulpada	106,99 ± 0.21
Bebida Prensada	101,69 ± 0.20

Donde: Cada tratamiento se realizó por triplicado.

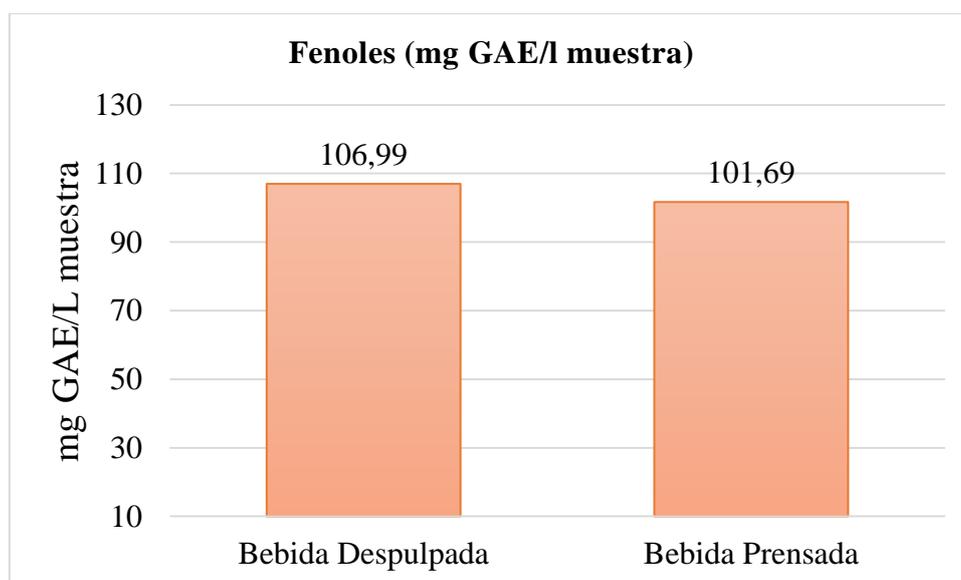


Figura 3. Contenido de fenoles de la bebida despulpada y prensada.

Los fenoles son compuestos bioactivos presentes en alimentos y bebidas de origen vegetal, conocidos por sus propiedades antioxidantes y beneficios potenciales para la salud. Como se detalla en la tabla 10, en el caso de la bebida despulpada, se encontró un contenido de fenoles de 106.99 mg GAE/L, el estudio de Figueroa et al. (2010), la cantidad de fenoles obtenidos fueron de 141.44 mg GAE/L en tunas de opuntia spp, y se establece una concentración relativamente alta de compuesto con potencial actividad antioxidante. Por otro lado, la bebida prensada mostró un contenido de fenoles de 101,69 mg GAE/L, sin embargo, para (Pascoe et al., 2019), la cantidad de fenoles oscila entre 165.6 a 174.9 mg GAE/L en un zumo extraído de la planta silvestre tierna y madura respectivamente, de igual forma valores de 174.1 a 176.6 mg GAE/l en nopales tiernos y maduros cultivados, es decir los valores determinados son menores en relación a los estudios contrastados debido a que sus análisis son netamente del zumo extraído. En contraste se identifica una variabilidad del valor obtenido de fenoles con relación a los estudios previos, sin embargo, se puede determinar que el método despulpado existe una diferencia significativa y por el método prensado, el valor se encuentra dentro del rango comprobado.

3.3.2. Flavonoides

La determinación de flavonoides es un proceso analítico esencial para identificar y cuantificar los compuestos flavonoides presentes en diversas fuentes, para lo cual se identificaron tanto para la bebida despulpada y prensada (Martínez et al., 2002)

Tabla 11. *Contenido de flavonoides de la bebida despulpada y prensada.*

Muestra	Flavonoides (mg QE/L muestra)
Bebida Despulpada	18,88 ± 0.53
Bebida Prensada	17,19 ± 0.50

Donde: Cada tratamiento se realizó por triplicado.

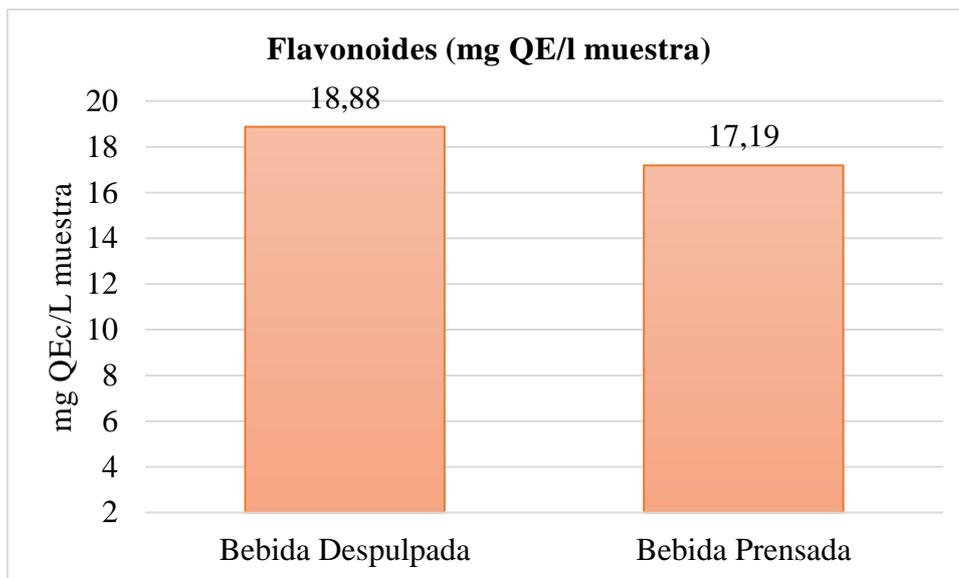


Figura 4. Contenido de flavonoides de la bebida despulpada y prensada.

En la Tabla 11 se detalla que, la bebida despulpada, posee un contenido de flavonoides de 18.88 mg QE/l., lo que sugiere una concentración relativamente alta de compuestos con potencial actividad antioxidante y otros beneficios asociados. En contraste, Ponce, et.al. (2015), indican que la producción de flavonoides va a depender de su cultivo y las condiciones en las que crece con un valor determinado de 21.3 mg QE/1, presentando una diferencia con la bebida despulpada. Así mismo, la bebida prensada mostró un contenido de flavonoides de 17.19 mg QE/l. Esta cifra también señala un nivel sustancial de flavonoides en la bebida prensada, aunque ligeramente menor que el encontrado en la bebida despulpada. Los resultados indican que tanto la bebida despulpada como la prensada contienen un contenido significativo de flavonoides, sin embargo, para (Martínez, González, Culebras, & Tuñón, 2002); Vargas, et al. (2016), la ingesta de flavonoides se estima en 23 mg al día, lo que establece que tanto la bebida despulpada como prensada no compensa el requerimiento diario nutricional, así mismo determina un valor de 24.9 mg QE/1 que a su vez es significativo con relación al identificado.

3.3.3. Fructosa

La determinación de la fructosa en el zumo de nopal formulado por prensado y despulpado es esencial para evaluar su contenido de azúcares y perfil nutricional, el análisis permite cuantificar la fructosa y ajustar la formulación del zumo según los niveles deseados. Los resultados son fundamentales para ofrecer una bebida equilibrada en sabor y valor nutricional, cumpliendo con las regulaciones y estándares de calidad en la industria alimentaria. Por último, proporciona información para el etiquetado nutricional

y permite una elección informada por parte de los consumidores.

Tabla 12. *Contenido de fructosa de la bebida despulpada y prensada.*

Muestra	Fructosa (Glc mg/l muestra)
Bebida Despulpada	1,29 ±0.17
Bebida Prensada	1,11 ±0.16

Donde: Cada tratamiento se realizó por triplicado.

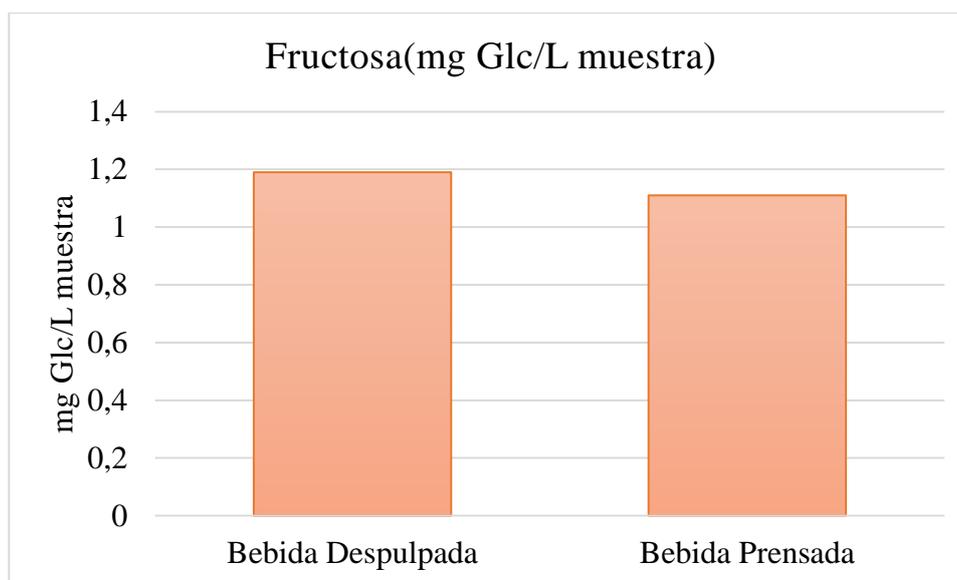


Figura 5. Contenido de Fructosa de la bebida despulpada y prensada

En la bebida despulpada, se registró un contenido de fructosa de 1.29 mg/L (Figura 11), mientras que en la bebida prensada se encontró un contenido ligeramente inferior de 1.11 mg/L. Al igual que en el estudio de (Mandujano, Morales, Herrera, Corona, & Juárez, 2017), la fructosa en bebidas de opuntia ficus encontrada fue de 3.62 mg/L, es decir casi el doble que equivale a un total de 48 kcal en un promedio de 240 ml de bebida, la cual se ubica por debajo de lo establecido para una dieta de 2500 calorías, por tal motivo, se debe considerar que la fructosa determinada se encuentra por debajo de la media necesaria, no obstante, la baja carga de fructosa es esencial puesto que, el consumo superior al 25% de energías necesarias puede generar desordenes en el metabolismo. De igual manera, para El-Sayed et al. (2014), la tuna posee un alto potencial alimenticio que contiene porciones idóneas de azúcares simples, sin embargo, determina un porcentaje de fructosa de 1.09 mg/L de la tuna fresca y un 2% para el jugo de tuna pasteurizado que puede considerarse como una diferencia no tan significativa con relacional valor encontrado para ambos métodos.

3.3.4. Determinación de pH

La determinación del pH es un componente esencial en el análisis fisicoquímico del zumo de nopal obtenido por prensado. El pH, que indica el nivel de acidez o alcalinidad de una solución, desempeña un papel crucial en la calidad y estabilidad de la bebida resultante. Los resultados de este análisis serán de gran relevancia para realizar ajustes en la formulación, asegurando que el pH del zumo se encuentre en un rango óptimo que promueva su aceptación y conservación, y que cumpla con los estándares de calidad requeridos para una bebida natural y saludable.

Tabla 13. Medición de pH de la bebida despulpada y prensada.

Muestra	pH
Bebida Despulpada	6,66 ± 0.1
Bebida Prensada	6,65 ± 0.1

Donde: Cada tratamiento se realizó por triplicado.

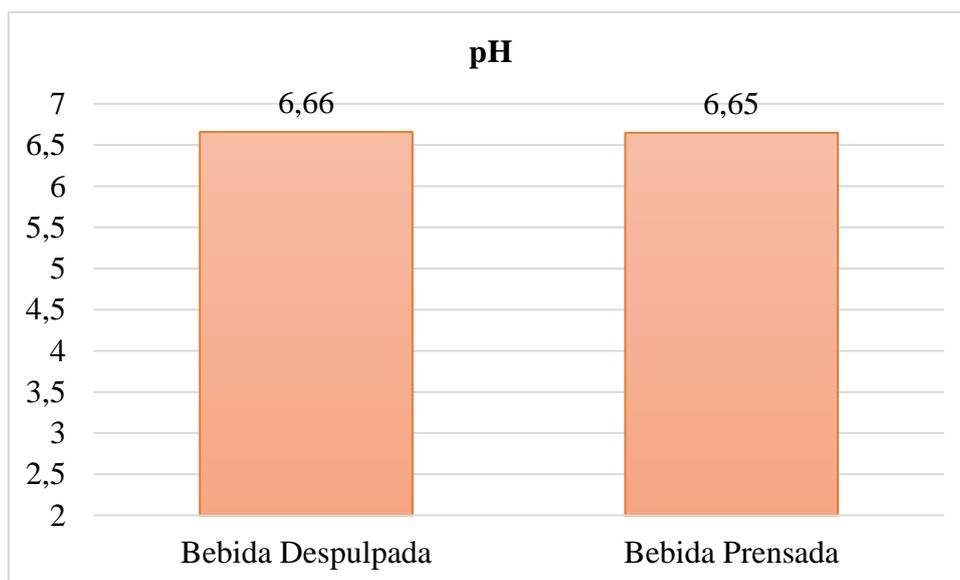


Figura 6. Determinación del pH de la bebida despulpada y prensada.

La Figura 6, indica los resultados de pH determinados en las bebidas analizadas despulpada y prensada obteniéndose un pH de 6.66 y 6.65 respectivamente. En este caso, los valores de pH están cercanos a la neutralidad (pH 7), lo que sugiere que tanto la bebida despulpada como la bebida prensada tienen un carácter ligeramente ácido. Estos valores indican que las bebidas tienen una acidez moderada, pero aún se consideran en un rango aceptable para el consumo humano. Chávez, (2017) indica que el pH de una bebida puede

afectar su sabor, conservación y estabilidad y determina un valor de 5.86 para la bebida de nopal, lo que denota una diferencia significativa, no obstante, se puede establecer que son valores que fluctúan por las condiciones a las que son sometidos durante su procesamiento. (Ticsihua Huaman & Orejon Montalvo, 2022) en una bebida elaborada a partir de la tuna determinó un pH de 6.1, lo que conlleva a concluir que el resultado obtenido tanto para un proceso despulpado como prensado es concordante con otras investigaciones.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES

4.1. Conclusiones

- Se evaluó las propiedades fisicoquímicas del nopal, donde los resultados revelaron que la hoja del nopal es relativamente grande, con un peso de 652.25 g, largo de 35.42 cm, ancho de 19.5 cm y espesor de 22.2 mm. Por otro lado, el fruto del nopal mostró un peso de 125.14 g, largo de 9.54 cm y ancho de 6.37 cm, lo que sugiere un tamaño moderado en comparación con la hoja. Estos valores se encuentran dentro del rango normal de crecimiento del nopal reportado. Se caracterizó la hoja y el fruto del nopal, la acidez titulable resultó en 0,13% y 0,27%, un contenido de vitamina C de 23,6 mg/100g y 22,9 mg/100g, los grados Brix determinados fueron de 0,91 y 11,36 y un pH de 6,19 y de 4,61 respectivamente para todos.
- Se desarrolló la formulación aceptada del zumo de nopal obtenido mediante dos métodos de extracción. La muestra M1, que consistió en una proporción equilibrada de hoja y fruto (50:50), obtuvo una alta aceptabilidad en términos de atributos sensoriales como color, olor, sabor y consistencia. El valor de aceptabilidad obteniendo fue de $3,98 \pm 0,76$, para el método de extracción prensado y de $4,15 \pm 0,77$ para el método despulpado.
- Se determinó el contenido de fitoquímicos, fructosa y pH. La bebida despulpada del nopal presentó un contenido de fenoles de 106.99 mg GAE/L, mientras que la bebida prensada mostró 101.69 mg GAE/L. Ambas bebidas contenían una cantidad significativa de fenoles, indicando un potencial antioxidante. En cuanto a los flavonoides, la bebida despulpada tuvo un contenido de 18.88 mg QE/L, mientras que la bebida prensada registró 17.19 mg QE/L, estos resultados indican una concentración relativamente alta de flavonoides en ambas bebidas. Sin embargo, el contenido de fructosa en la bebida despulpada fue de 1.29 mg/L, mientras que en la bebida prensada fue de 1.11 mg/L, lo cual son valores en un rango bajo. El pH de la bebida despulpada fue de 6.66, y el pH de la bebida prensada fue de 6.65, lo que indica que ambas bebidas tienen un carácter ligeramente ácido.

4.2.Recomendaciones.

- Para optimizar la formulación del zumo de nopal, se sugiere realizar pruebas adicionales utilizando diferentes proporciones de hoja y fruto del nopal. Estas pruebas permitirán encontrar la combinación óptima que maximice tanto las propiedades físico-químicas como los atributos sensoriales de la bebida. Además, se podría considerar la incorporación de otros ingredientes naturales o aditivos saludables para mejorar el perfil nutricional y sensorial de la bebida, como edulcorantes naturales o extractos de plantas con propiedades benéficas para la salud.
- Es importante ajustar el pH de las bebidas a base de nopal para garantizar su calidad y estabilidad. Se recomienda realizar ajustes precisos en el pH mediante la adición de agentes alcalinizantes o ácidos naturales. El objetivo es alcanzar un pH neutro (pH 7) o ligeramente ácido. Sin embargo, es necesario realizar estudios de estabilidad y análisis sensoriales para determinar los efectos del ajuste de pH en la conservación, sabor y aceptabilidad de las bebidas. De esta manera, se asegurará que se mantengan las propiedades beneficiosas de los compuestos presentes en el nopal.
- Realizar el análisis del tiempo de vida útil para verificar el tiempo de conserva sin alterar sus propiedades y su capacidad de mantener la calidad desde el momento en el que un consumiéndolo abra el envase.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, P., Vera, G. Z., Morinigo, M., Maidana, G. M., & Samaniego, L. (2018). Uso de plantas medicinales y fitoterápicos en pacientes con Diabetes Mellitus tipo 2. *Memorias Del Instituto de Investigaciones En Ciencias de La Salud*, 16(2), 6–11. [https://doi.org/10.18004/mem.iics/1812-9528/2018.016\(02\)06-011](https://doi.org/10.18004/mem.iics/1812-9528/2018.016(02)06-011)
- Aguilar-Becerril, G. (2005). Producción forzada del nopal (*Opuntia ficus-indica*, cv.) Tlaconopal mediante anillado parcial. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 28(3), 295. <https://doi.org/10.35196/rfm.2005.3.295>
- Alba, J. E., Chávez, J. L., Verdalet, I., Jesús, A., & Aquino, 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>
- Almeda, P., Bello, O. Y., Caballeros, C. R., Gómez, D. V., Viveros, T., Vargas, A., & Aguilar, C. A. (2018). Índices para la evaluación de la resistencia a la insulina en individuos mexicanos sin diabetes. *Gaceta Médica de México*, 154(92). <https://doi.org/10.24875/GMM.18004578>
- Ángeles, J. G., Anaya, J. L., Arévalo, Ma. de L., Leyva, G., Anaya, S., & Martínez, T. O. (2014). Análisis de la calidad sanitaria de nopal verdura en Otumba, Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(1), 129–141. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342014000100011&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Apodaca, J., Martínez, M. de la L., Robles, M. del R., & Rodríguez, A. (2017). Polifenol oxidasa, fenoles totales y oscurecimiento de nopal verdura. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(3), 531–543. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i3.306>
- Arreola, H. J., Cuevas, R., Guzmán, L., & González, A. (2017). *Opuntia setocarpa*, una especie nueva de nopal del occidente de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88(4), 792–797. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.10.028>
- Arroyo, G., Medina, T., Pérez, R. E., & Ortiz, R. (2020). Morfología y edad del cladodio de *Opuntia ficus-indica* sobre la producción de *Dactylopius coccus* costa y contenido de ácido carmínico. *Nova Scientia*, 12(25). <https://doi.org/10.21640/ns.v12i25.2519>

- Bastías, J. M., & Cepero, Y. (2016). La vitamina C como un eficaz micronutriente en la fortificación de alimentos. *Revista Chilena de Nutrición*, 43(1), 81–86. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182016000100012>
- Bello, D., Carrera, Emilia., & Díaz Yuset. (2006). Determinación de azúcares reductores totales en jugos mezclados de caña de azúcar utilizando el método del ácido 3,5 dinitrosalicílico. *Red de Revistas Científicas de América Latina, El Caribe, España y Portugal.*, 45–50. <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223120664006.pdf>
- Bodicoat, D. H., Mundet, X., Davies, M. J., Khunti, K., Roura, P., Franch, J., Mata-Cases, M., Cos, X., & Cano, J. F. (2015). The impact of a programme to improve quality of care for people with type 2 diabetes on hard to reach groups: The GEDAPS study. *Primary Care Diabetes*, 9(3), 211–218. <https://doi.org/10.1016/j.pcd.2014.08.001>
- Bravo-Hollis, Helia. (1978). *Las cactáceas de México* (Universidad Autónoma de México, Ed.; 2nd ed., Vol. 1).
- Butera, D., Tesoriere, L., Di Gaudio, F., Bongiorno, A., Allegra, M., Pintaudi, A. M., Kohen, R., & Livrea, M. A. (2002). Antioxidant Activities of Sicilian Prickly Pear (*Opuntia ficus indica*) Fruit Extracts and Reducing Properties of Its Betalains: Betanin and Indicaxanthin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(23), 6895–6901. <https://doi.org/10.1021/jf025696p>
- Cabanillas, E., & Aurora, E. F. (2020). Cinética de Degradación de Vitamina C y Color de Pulpa de Pitahaya (*Hylocereus Monacanthus*) Pasteurizada. *TZHOECOEN*, 12(3), 277–288. <https://doi.org/10.26495/tzh.v12i3.1325>
- Cartaya, O., & Reynaldo, I. (2001). Flavonoides: Características químicas y aplicaciones. *Gaveta Postal*, 22(2), 5–14. <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/699/pdf>
- Castro Juárez, C. J., Villa Ruano, N., Ramírez García, S. A., & Mosso González, C. (2014). Uso medicinal de plantas antidiabéticas en el legado etnobotánico oaxaqueño. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 19(1), 101–120. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1028-47962014000100012&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Catania, A. S., Barros, C. R. de, & Ferreira, S. R. G. (2009). Vitaminas e minerais com propriedades antioxidantes y risco cardiometabólico: controvérsias e perspectivas.

Arquivos Brasileiros de Endocrinologia & Metabologia, 53(5), 550–559.
<https://doi.org/10.1590/S0004-27302009000500008>

- Chávez, Roberto. (2017). *El cultivo de tuna ocupa 180 hectáreas en el país*.
- Coello, G., & Gallegos, D. (2018). La carga económica de la diabetes para los pacientes y sus familias en el Ecuador. *Meciencias UTA*, 19, 18–20.
- Corduras, A., Del Llano, S., & Gómez, M. (2016). *INFORME MUNDIAL SOBRE LA DIABETES* (OMS).
- Cornejo, V., & Raimann, E. (2004). Alteraciones del metabolismo de la fructosa. *Revista Chilena de Nutrición*, 31(2), 93–99. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182004000200003>
- Flores, C. (2003). *NOPALITOS Y TUNAS producción, comercialización, poscosecha e industrialización* (1st ed., Vol. 1).
- Gallegos, C., & Ferreira, F. (2015). Plantas medicinales en el tratamiento de la Diabetes Mellitus Tipo 2. *Farmacéuticos Comunitarios*, 7(4), 27–34.
- García, M. (2014). Análisis sensorial de alimentos. *PÄDI Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías Del ICBI*, 2(3). <https://doi.org/10.29057/icbi.v2i3.533>
- González, F. (2010). *Caracterización de compuestos fenólicos presentes en la semilla y aceite de oliva (Salvia hispánica L.), mediante electroforesis capilar*. [Instituto Politécnico Nacional]. <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/9536/36.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Guevara, T., Jiménez, H., Reyes, M. L., Mortensen, A. G., Laursen, B. B., Lin, L.-W., De León, A., Fomsgaard, I. S., & Barba de la Rosa, A. P. (2010). Proximate composition, phenolic acids, and flavonoids characterization of commercial and wild nopal (*Opuntia* spp.). *Journal of Food Composition and Analysis*, 23(6), 525–532. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2009.12.003>
- Gutiérrez, D., Ortiz, Christopher., & Mendoza, Arturo. (2008, October 24). Medición de Fenoles y Actividad Antioxidante en Malezas Usadas para Alimentación Animal. *Centro Nacional de Metrología*, 1–5.

https://www.cenam.mx/simposio2008/sm_2008/memorias/M2/SM2008-M220-1108.pdf

Gutiérrez, N., & Barrera, O. M. (2015). Selección y entrenamiento de un panel en análisis sensorial de café *Coffea arabica* L. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 32(2), 77–87. <https://doi.org/10.22267/rcia.153202.15>

Guzmán, D., & Chávez, J. (2007). 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

Harborne, J. B., & Williams, C. A. (2000). Advances in flavonoid research since 1992. *Phytochemistry*, 55(6), 481–504. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)00235-1](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)00235-1)

Hernández, M. (2017). *Identificación de la especie del picudo que afecta a la espina del nopal (Opuntia-ficus indica) en el Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, México*. http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/67838/Tesina_Fernanda_nopal_2017.pdf?sequence=3

INEN 380. (1986). *Conservación de Vegetales: Determinación de Sólidos Solubles: Método Refractométrico*. Norma Técnica Ecuatoriana. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/380.pdf>

INEN 2337. (2008). *Jugos, pulpas, concentrados, néctares, bebidas de frutas y vegetales. Requisitos*. Instituto Ecuatoriano de Normalización. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2337.pdf>

INEN-ISO 1842. (2013). *Productos Vegetales y de Frutas. Determinación de pH (IDT)*. Normativa Técnica Ecuatoriana. https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_iso_1842_extracto.pdf

Inglese, Paolo., Mandragon, C., Nefzaoui, Ali., & Sáenz, Carme. (2018). *Ecología del cultivo, manejo y usos del nopal*. (FAO, Ed.; 1st ed., Vol. 1). <https://www.fao.org/3/i7628es/I7628ES.pdf>

Knishinskiy, R. (2010). *Usos Médicos del Nopal: Tratamientos para la diabetes, el colesterol, y el sistema inmunitario* (1st ed., Vol. 2). <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=cV0oDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT>

3&dq=nopal+para+diabeticos+&ots=kUVk75mjZl&sig=I0xMQ-feWbWik8GF-BM3dWnrj4#v=onepage&q=nopal%20para%20diabeticos&f=false

- Kudanga, T., & Aruwa, C. E. (2021). Industrial Applications of *Opuntia* spp. (Nopal, Fruit and Peel). In *Opuntia spp.: Chemistry, Bioactivity and Industrial Applications* (pp. 841–875). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-78444-7_42
- Kumazawa, S., Hamasaka, T., & Nakayama, T. (2004). Antioxidant activity of propolis of various geographic origins. *Food Chemistry*, 84(3), 329–339. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(03\)00216-4](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(03)00216-4)
- Lazo, C., & Durán, S. (2019). Efecto del diagnóstico de la diabetes mellitus y su complicación con los trastornos de la conducta alimentaria. *Revista Chilena de Nutrición*, 46(3), 352–360. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182019000300352>
- Luna, V., López, J. A., Vázquez, M., & Fernández, M. ^a L. (2014). Hidratos de carbono: actualización de su papel en la diabetes mellitus y la enfermedad metabólica. *Nutrición Hospitalaria*, 30(5), 1020–1031. <https://doi.org/10.3305/nh.2014.30.5.7475>
- Maestro, R., & Borja, R. (1993). Actividad antioxidante de los compuestos fenólicos. *Consejo Superior de Investigaciones Científicas*, 44(2), 101–106. <https://pdfs.semanticscholar.org/df19/125e7dec3bd08e23690c3ac7f298cf8b7a6e.pdf>
- Malpica, E. (2010). *Mejoramiento en la formulación de una bebida de papelón con limón* [Coordinación de Ciencia de los Alimentos y Nutrición]. <https://docplayer.es/21274899-Mejoramiento-de-la-formulacion-de-una-bebida-de-papelon-con-limon.html>
- Mandujano, A., Morales, J., Herrera, H., Corona, L. E., & Juárez, J. M. (2017). Evaluation of Electrochemical Behavior of Nopal Extract (*Opuntia Ficus- Indica*) as Possible Corrosion Inhibitor. *Revista de Metalurgia*, 53(4), 108. <https://doi.org/10.3989/revmetalm.108>
- Martín, D. A. (2018). Los Compuestos Fenólicos, Un Acercamiento A Su Biosíntesis, Síntesis Y Actividad Biológica. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9(1), 81–104. <https://doi.org/10.22490/21456453.1968>

- Martínez, S., González, J., Culebras, J. M., & Tuñón, M. (2002). Los flavonoides: Propiedades y acciones antioxidantes. *Nutricion Hospitalaria*, 17(6), 271–278.
- Matallo, Heirto., Casa, Fernando., & Migongo, E. (2002). Use of live fences of Nopal (Opuntia) and associated crops to rehabilitate and protect sloping land in Loja, Ecuador. *Investigación y Desarrollo de Montañas*, 22(1), 22–25.
- Mendes, E., Alves, V., Henrique, R., Aroucha, M., & Sobreira, M. (2010). Acidez em Frutas e Hortaliças. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável GVAA*, 5(2), 1–4. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7450230>
- Muñoz, A. M., Ramos, D. F., Alvarado, C., & Castañeda, B. (2007). Evaluación de la capacidad antioxidante y contenido de compuestos fenólicos en recursos vegetales promisorios. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 73(3), 142–149. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2007000300003&lng=es&nrm=iso&tlng=pt
- Muñoz, A., & Ramos, F. (2007). Componentes fenólicos de la dieta y sus propiedades biomedicinales. *Revista Horizonte Médico*, 7(1), 23–31. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/38428499/Art3_Vol7_N1-libre.pdf?1439163188=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DComponentes_fenolicos_de_la_dieta_y_sus.pdf&Expires=1684332745&Signature=O8GuujFRy4Y1k7diU2NfQ60dAf5soPC9sG~pjH221EUvzvIDSzLCibDaA5PkG00NPfjawbW9N0t8PgPZFF7Yjg5--Oc-2b1uQdJbVzAQHsvBiENHh6xCjb9mfZRRxotEFfrUX8Jr6Jtut08R1nfB4r760GxOGXE3aQkK0CM-iYToLJ8Ecn0Qe1KZmL0uky~mNCMZCqpwgZPxmYjhJiwlMkHwVIDcgFTFM YIQNUtSPvpf8yRYvDuzG7~byVrwyAljZiP13Lk2efTpF91~OXa1suohfpuM9rZ2BACZQMuhN8SFSnjfMa1386mCyK-jwrsfw7XQ1hkQbbh6Ua6xhn97pw__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA
- Navarro, I., Periago, M. J., & García, F. J. (2017). Estimación de la ingesta diaria de compuestos fenólicos en la población española. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 21(4), 320–326. <https://doi.org/10.14306/renhyd.21.4.357>
- Nobel, S. P. (1998). *Los incomparables agaves y cactus* (Ed. Trillas).

- Nostas, C. (1998). *Simposio Internacional “El Nopal (Opuntia sp.). Aprovechamiento y Aplicación en la Lucha contra la desertificación”*, Memoria. (Universidad Católica de Santa María, Ed.).
- NTE INEN-ISO 750. (2013). *Productos Vegetales y de Frutas - Determinación de Acidez Titulable*. Norma Técnica Ecuatoriana. https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_iso_750_extracto.pdf
- Ochoa, C. I., & Ayala, A. A. (1969). Los Flavonoides: Apuntes Generales y su Aplicación en la Industria de Alimentos. *INGENIERÍA Y COMPETITIVIDAD*, 6(2), 64–74. <https://doi.org/10.25100/iyc.v6i2.2280>
- Organización Mundial de la Salud. (2022, September 16). *Diabetes, Datos y Cifras*. OMS.
- Pascoe, S., Rodríguez, R., Robledo, J. R., Salcedo, E., Zamora, J. F., Rabelero, M., & Vargas, J. (2019). Identificación de propiedades presentes en jugo de Opuntia megacantha Salm-Dyck importantes para la producción de biopolímeros. *TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 22, 1–10. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2019.0.197>
- Pazdro, R., & Burgess, J. R. (2010). The role of vitamin E and oxidative stress in diabetes complications. *Mechanisms of Ageing and Development*, 131(4), 276–286. <https://doi.org/10.1016/j.mad.2010.03.005>
- Peña, C. B., García, R., Arévalo, M. L., Calderón, G., & Anaya, S. (2015). Características físicas y químicas de nopal verdura (Opuntia ficus-indica) para exportación y consumo nacional. In *Agrociencia* (Vol. 49, Issue 1). Colegio de Postgraduados. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952015000100003&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Pietro, C., Santos, H., Daghasanli, K., & Thedier, G. (2001). Using a classical method of vitamin C quantification as a tool for discussion of its role in the body. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 29(3), 110–114. [https://doi.org/10.1016/S1470-8175\(01\)00039-X](https://doi.org/10.1016/S1470-8175(01)00039-X)
- Quiñones, M., Miguel, M., & Aleixandre, A. (2012). Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular. *Nutrición Hospitalaria*, 27(1), 76–89.

https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112012000100009&lng=es&nrm=iso&tlng=es

- Quintero, S. L., Domínguez, A., & López, J. A. (2021). Catálogo de ejemplares tipo del Herbario CODAGEM (México). *Polibotánica*, 0(52), 51–62. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.52.4>
- Reyes, Abigail., Martínez, J., & Vázquez, A. (2014). Determination of antioxidant activity and microencapsulation of active compounds of *Opuntia ficus-indica*. *Revista Académica de Investigación Tlatemoani*, 16(2), 1–18.
- Rico, A., Vázquez, E., Vallejo, G., Gutiérrez, S., Vázquez, A., Cortés, C., & Fetón, B. (2019). COMPUESTOS HIPOGLUCEMIANTES EN PLANTAS MEDICINALES CONTRA LA DIABETES. *Hospital de Especialidades CMN SXXI*, 7(4), 1–2. https://congresos.cio.mx/14_enc_mujer/cd_congreso/archivos/resumenes/S4/S4-MCS08.pdf
- Riveros, M. J., Parada, A., & Pettinelli, P. (2014). Consumo de fructosa y sus implicaciones para la salud: malabsorción de fructosa e hígado graso no alcohólico. *Nutrición Hospitalaria*, 29(3), 491–499. <https://doi.org/10.3305/nh.2014.29.3.7178>
- Rodríguez, Y. C. (2017). Evaluación del mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*) como agente estabilizante en néctar de maracuyá (*Passiflora edulis*). *Ciencia La Salle*, 1–84. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_alimentos/67/
- Ruiz, A., Urcia, J., & Paucar, L. (2020). Pitahaya (*Hylocereus* spp.): Culture, physicochemical characteristics, nutritional composition, and bioactive compounds. *Scientia Agropecuaria*, 11(3), 439–453. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.16>
- Sáenz, C., Corrales, J., García, V., Higuerra, I., Mondragón, C., & Varnero, M. (2006). *Utilización Agroindustrial del Nopal* (FAO-CACTUSNET, Vol. 2). <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=llaxlnmJjFoC&oi=fnd&pg=PR10&dq=usos+del+nopal&ots=AfK-AZxu1s&sig=Eh04h4dUt5zmBbD0sFwMWJpII90#v=onepage&q=usos%20del%20nopal&f=false>

- Salomé, S., & Jaramillo, R. A. (2023). Análisis de aceptabilidad y percepción del consumidor de aplicaciones alimentarias de subproductos de café. *Informador Técnico*, 87(1), 40–52. <https://doi.org/10.23850/22565035.5192>
- San Mauro, I., & Garicano Vilar, E. (2015). Papel de la vitamina C y los β -glucanos sobre el sistema inmunitario: revisión. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 19(4), 238–245. <https://doi.org/10.14306/renhyd.19.4.173>
- Sanzana G., M. G., & Durruty A., P. (2016). OTROS TIPOS ESPECÍFICOS DE DIABETES MELLITUS. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 27(2), 160–170. <https://doi.org/10.1016/j.rmclc.2016.04.005>
- Schroeter, H., Heiss, C., Balzer, J., Kleinbongard, P., Keen, C. L., Hollenberg, N. K., Sies, H., Kwik-Urbe, C., Schmitz, H. H., & Kelm, M. (2006). Epicatechin mediates beneficial effects of flavanol-rich cocoa on vascular function in humans. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(4), 1024–1029. <https://doi.org/10.1073/pnas.0510168103>
- Sopla, R., & Padilla, A. (2019). *Evaluación de los coagulantes Hylocereus undatus (pitahaya) y Opuntia ficus indica (tuna) para remover parámetros fisicoquímicos en aguas mieles de Coffea arabica (café)* [Universidad César Vallejo]. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/46892/Padilla_HA-Sopla_GRF-SD.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- Sumaya, M. T., Cruz, S., Madrigal, E., García, J. D., Cariño, R., Cruz, N., Valadez, C., Martínez, L., & Alanís, E. (2011). Betalain, Acid Ascorbic, Phenolic Contents and Antioxidant Properties of Purple, Red, Yellow and White Cactus Pears. *International Journal of Molecular Sciences*, 12(10), 6452–6468. <https://doi.org/10.3390/ijms12106452>
- Terán, Y., Navas, D., Petit, D., Garrido, E., & D'Aubeterre, R. (2015). Análisis de las Características Físico-Químicas del fruto de Opuntia Ficus- Indica (L.) Miller, Cosechados en Lara, Venezuela. *Red de Revistas Científicas de América Latina, El Caribe, España y Portugal*, 16(1), 69–74. <https://www.redalyc.org/pdf/813/81339864010.pdf>
- Ticsihua Huaman, J., & Orejon Montalvo, T. Y. (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>
- Torres, R., Morales, D., Ballinas, M., & Nevárez, G. (2015). El nopal: planta del semidesierto con aplicaciones en farmacia, alimentos y nutrición animal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6, 1129–1142.
- Troncoso, J. (2016). Capacidad antioxidante del fruto de la *Opuntia apurimacensis* (ayrampo) y de la *Opuntia ficus-indica* (tuna). *Anales de La Facultad de Medicina*, 77(2), 105. <https://doi.org/10.15381/anales.v77i2.11812>
- Trujillo, M. P., Villa, D. S., Álvarez, O., Hernando, H., Larrea, V., & Hernández, M. (2023). Formulación de un producto lácteo a partir de Tuna Blanca (*Opuntia ficus-indica*) y sus subproductos. *Investigación y Desarrollo En Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 8(1), 697–707. <https://doi.org/10.29105/idcyta.v8i1.91>
- Valdés, F. (2006). Vitamina C. *Actas Dermo-Sifiliográficas*, 97(9), 557–568.
[https://doi.org/10.1016/S0001-7310\(06\)73466-4](https://doi.org/10.1016/S0001-7310(06)73466-4)
- Vargas, L., Arroyo, G., Herrera, C. H., Pérez, A., García, M. I., & Rodríguez, J. R. (2016a). Physical properties of mucilage prickly pear. *Acta Universitaria*, 26(NE-1), 8–11. <https://doi.org/10.15174/au.2016.839>
- Vargas, L., Arroyo, G., Herrera, C. H., Pérez, A., García, M. I., & Rodríguez, J. R. (2016b). Physical properties of mucilage prickly pear. *Acta Universitaria*, 26(NE-1), 8–11. <https://doi.org/10.15174/au.2016.839>
- Yaselga, W. K. Q. (2011). *UTILIZACIÓN DE LA PENCA DE NOPAL (Opuntia ficus indica), PARA LA ELABORACIÓN DE JUGO*.
- Zavala, A. M., & Fernández, E. (2018). Diabetes mellitus tipo 2 en el Ecuador: revisión epidemiológica. *Mediciencias UTA*, 2(4), 3.
<https://doi.org/10.31243/mdc.uta.v2i4.132.2018>
- Zenteno, G., Juárez, B. I., Aguirre, J. R., Ortiz, M. D., Zamora, C., & Rendón, J. A. (2015). Evaluación de azúcares y fibra soluble en el jugo de variantes de tunas (*Opuntia* spp.). *Agrociencia*, 49(2), 141–152.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952015000200003&lng=es&nrm=iso&tlng=es

ANEXOS

Anexo 1. Fotos del proceso de recolección, análisis de la materia prima y producto final



Imagen 8. Recolección de la materia prima hoja y fruto del nopal



Imagen 9. Trituración del fruto y la hoja



Imagen 10. Análisis fisicoquímico de la materia prima

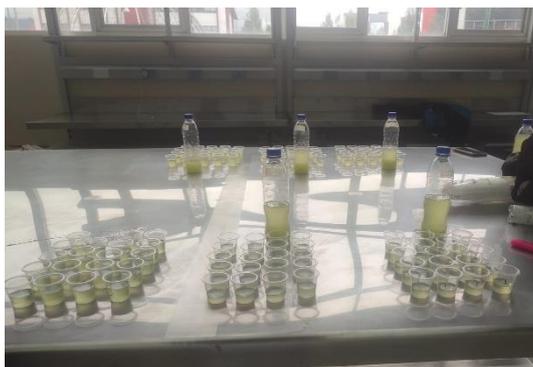


Imagen 11. Bebidas con sus respectivas formulaciones.

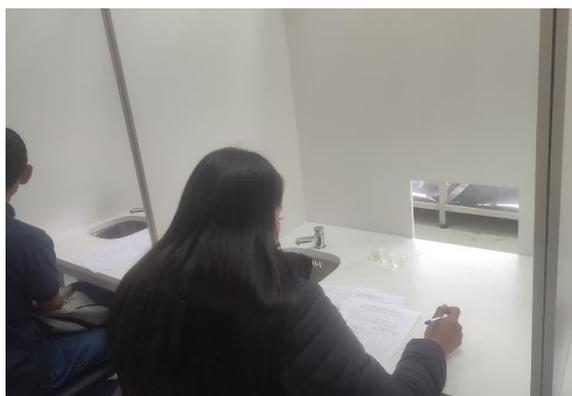


Imagen 12. Análisis Sensorial de las bebidas.

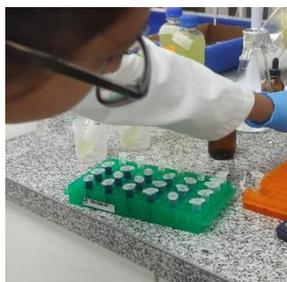


Imagen 13. Diluciones para elaborar las curvas de calibración



Imagen 14. Cuantificación de fenoles, flavonoides y fructosa por espectrofotometría.

Anexo 2. Datos del Análisis Sensorial de las diferentes formulaciones de la bebida.

Tabla 14. Evaluación sensorial prensado

Característica	Alternativa	Muestras Prensado		
		Muestra 1 50T50N	Muestra 2 75T25N	Muestra 3 25T75N
COLOR	1. Me disgusta mucho	0	0	1
	2. Me disgusta	1	5	14
	3. Ni me gusta ni me disgusta	7	15	20
	4. Me gusta	19	13	6
	5. Me gusta mucho	13	7	0
OLOR	1. Me disgusta mucho	0		1
	2. Me disgusta	3	7	13
	3. Ni me gusta ni me disgusta	15	18	22
	4. Me gusta	12	11	4
	5. Me gusta mucho	10	4	0
SABOR	1. Me disgusta mucho	0	0	1
	2. Me disgusta	0	2	7
	3. Ni me gusta ni me disgusta	7	19	28
	4. Me gusta	21	11	4
	5. Me gusta mucho	12	8	0
TEXTURA	1. Me disgusta mucho	0	0	1
	2. Me disgusta	0	3	8
	3. Ni me gusta ni me disgusta	8	20	27
	4. Me gusta	20	10	4
	5. Me gusta mucho	12	7	0
ACEPTABILIDAD	1. Me disgusta mucho	0	0	1
	2. Me disgusta	0	1	7
	3. Ni me gusta ni me disgusta	10	27	29
	4. Me gusta	17	7	3

	5. Me gusta mucho	13	5	0
--	-------------------	----	---	---

Tabla 15. Evaluación sensorial despulpado

Característica	Alternativa	Muestras Despulpado		
		Muestra 1 50T50N	Muestra 2 75T25N	Muestra 3 25T75N
COLOR	1. Me disgusta mucho	0	0	2
	2. Me disgusta	2	6	12
	3. Ni me gusta ni me disgusta	8	13	21
	4. Me gusta	18	15	4
	5. Me gusta mucho	12	6	1
OLOR	1. Me disgusta mucho	0	0	2
	2. Me disgusta	2	6	12
	3. Ni me gusta ni me disgusta	14	19	21
	4. Me gusta	13	12	5
	5. Me gusta mucho	11	3	0
SABOR	1. Me disgusta mucho	0	0	2
	2. Me disgusta	0	3	9
	3. Ni me gusta ni me disgusta	6	21	25
	4. Me gusta	19	9	4
	5. Me gusta mucho	15	7	0
TEXTURA	1. Me disgusta mucho	0	0	2
	2. Me disgusta	0	4	9
	3. Ni me gusta ni me disgusta	8	22	26
	4. Me gusta	18	8	3
	5. Me gusta mucho	14	6	0
ACEPTABILIDAD	1. Me disgusta mucho	0	0	2
	2. Me disgusta	0	1	10

	3. Ni me gusta ni me disgusta	9	27	25
	4. Me gusta	16	6	3
	5. Me gusta mucho	15	6	0

Anexo 3. Curvas de calibración

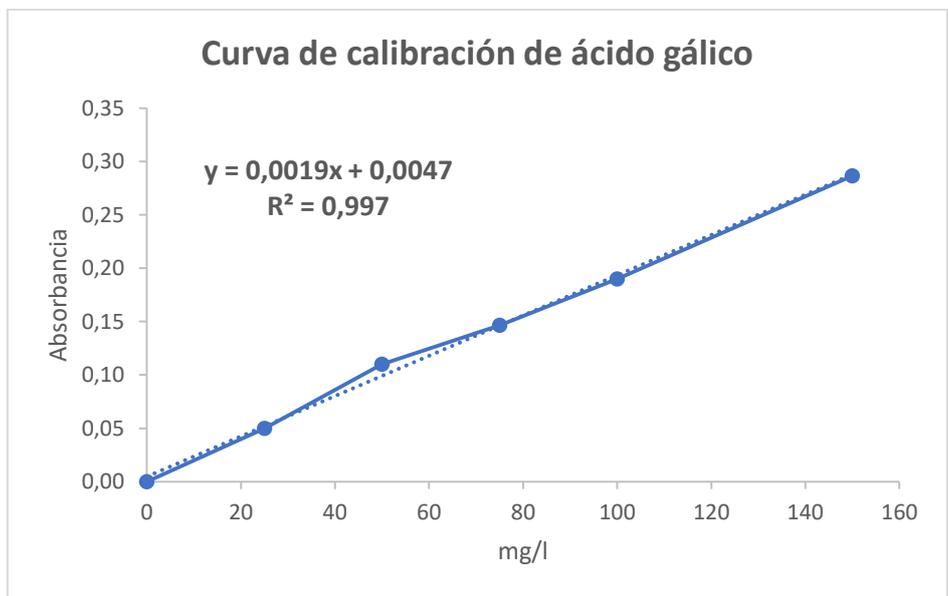


Figura 7. Curva de calibración de ácido gálico

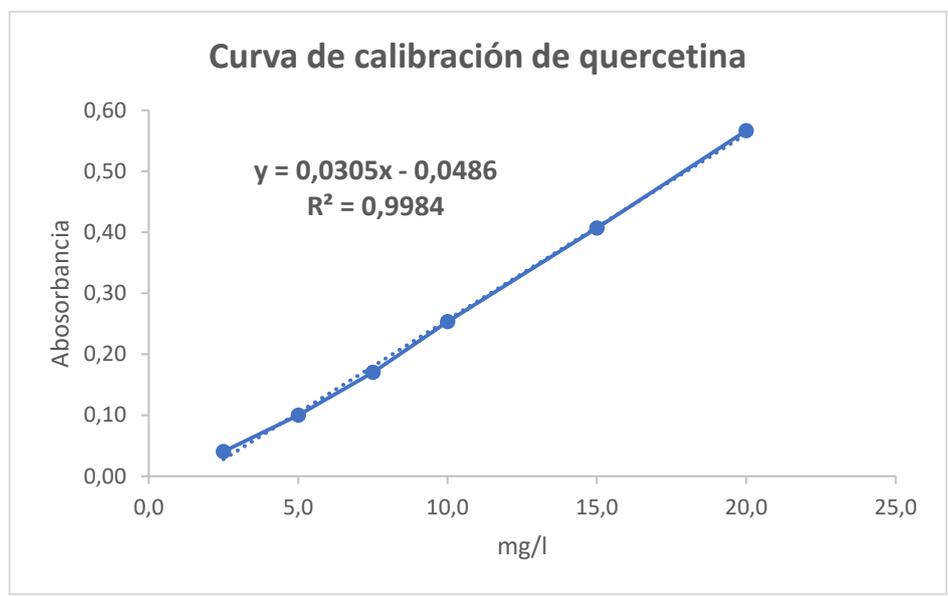


Figura 8. Curva de calibración de quercetina

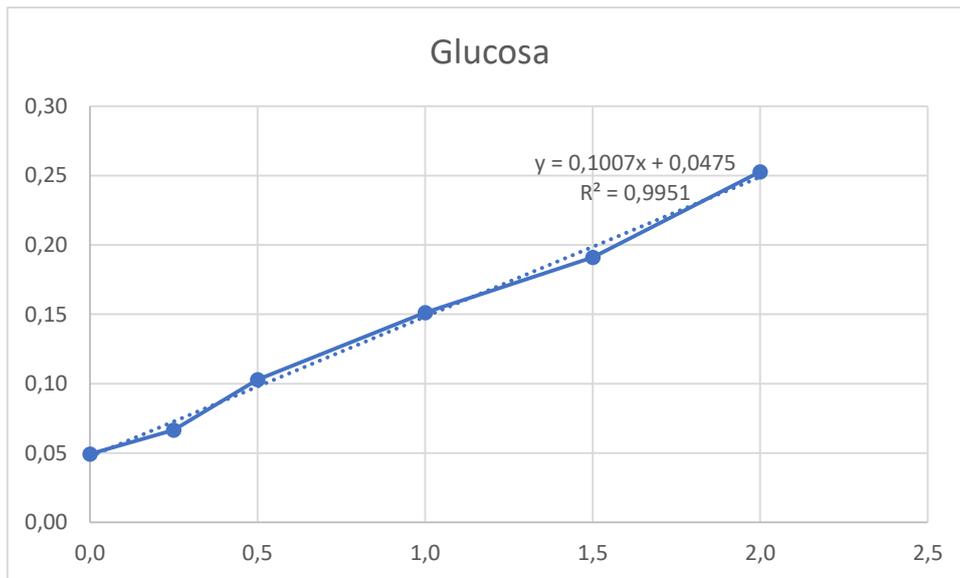


Figura 9. Curva de calibración de la Glucosa