



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA BIOQUÍMICA Y FARMACIA

EFECTO DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN DEL MUCÍLAGO DE
***Opuntia ficus-indica* SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS**
BROMATOLÓGICAS DE *Fragaria x ananasa* RECUBIERTA

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Trabajo Experimental

Presentado para optar al grado académico de:

BIOQUÍMICO FARMACÉUTICO

AUTOR: CHARLY ANDERSON PERALTA BAUTISTA

DIRECTORA: Dra. IRENE DEL CARMEN GAVILANES TERÁN, PhD.

Riobamba – Ecuador

2024

© 2024, Charly Anderson Peralta Bautista

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Charly Anderson Peralta Bautista, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 10 de mayo del 2024






Charly Anderson Peralta Bautista

C.I. 0550109805

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA BIOQUÍMICA Y FARMACIA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Trabajo Experimental, **EFFECTO DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN DEL MUCÍLAGO DE *Opuntia ficus-indica* SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS BROMATOLÓGICAS DE *Fragaria x ananasa* RECUBIERTA**, realizado por el señor: **CHARLY ANDERSON PERALTA BAUTISTA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Dr. Carlos Pilamunga Capus, MSc. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2024-05-10
Dra. Irene del Carmen Gavilanes Terán, PhD. DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-05-10
Dr. Julio César Idrovo Novillo, PhD. ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-05-10

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a mis padres, César Peralta y María Bautista, cuyo amor, sacrificio y apoyo incondicional han sido mi mayor fortaleza y motivación a lo largo de este camino académico. A mi hermana Melany Peralta, quien ha sido mi compañera de vida y fuente inagotable de inspiración, agradezco su constante aliento y ánimo. También quiero honrar la memoria de mi hermana fallecida, Katerin Peralta, cuya luz y bendiciones han guiado cada paso de mi trayectoria. A mi enamorada Salomé, quien me ha brindado un apoyo invaluable durante todo el proceso, gracias por estar siempre presente y por tu incondicional ayuda. Este logro es un tributo a su amor eterno y a la fuerza que me han brindado. Gracias por estar siempre presentes en cada capítulo de mi historia.

Charly

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi familia por su inquebrantable apoyo a lo largo de este arduo camino. A mi padres, hermanas y enamorada, quienes han sido mi mayor ejemplo de esfuerzo y dedicación, les debo mi gratitud eterna por su constante aliento y sacrificio. También quiero agradecer a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por haberme abierto sus puertas, a los docentes por sus enseñanzas, en especial a la Dra. Irene Gavilanes quien ha sido un apoyo incondicional durante esta etapa de titulación.

Charly

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPITULO I

1	DIAGNOSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1	Planteamiento del problema.....	2
1.2	Justificación.....	3
1.3	Objetivos.....	5
1.3.1	<i>Objetivo general</i>	5
1.3.2	<i>Objetivos específicos</i>	5
1.4	Hipótesis.....	6
1.4.1	<i>Hipótesis nula</i>	6
1.4.2	<i>Hipótesis alternativa</i>	6

CAPITULO II

2	MARCO TEÓRICO.....	7
2.1	Antecedentes de investigación.....	7
2.2	Referencias teóricas.....	9
2.2.1	<i>Frutilla</i>	9
2.2.2	<i>Nopal</i>	17
2.2.3	<i>Recubrimientos alimentarios</i>	28
2.2.4	<i>Análisis proximal</i>	33
2.2.5	<i>Análisis complementario</i>	36
2.2.6	<i>Análisis Físico-Químico</i>	39
2.2.7	<i>Análisis microbiológico</i>	40

CAPITULO III

3	MARCO METODOLÓGICO.....	42
---	-------------------------	----

3.1	Enfoque de investigación	42
3.2	Nivel de investigación	42
3.3	Diseño de la investigación	42
3.3.1	<i>Según o no de la manipulación de la variable independiente</i>	42
3.3.2	<i>Según las intervenciones en el trabajo de campo</i>	42
3.4	Tipo de estudio	42
3.5	Diseño experimental	43
3.6	Población y planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra	43
3.6.1	<i>Población y planificación</i>	43
3.6.2	<i>Selección y cálculo de la muestra</i>	43
3.7	Métodos, técnicas e instrumentos de investigación	44
3.7.1	<i>Diseño experimental</i>	44
3.7.2	<i>Materia prima</i>	44
3.7.3	<i>Materiales</i>	45
3.7.4	<i>Equipos</i>	45
3.7.5	<i>Reactivos</i>	46
3.7.6	<i>Medios de cultivo</i>	46
3.7.7	<i>Formulación utilizada para la elaboración de los recubrimientos alimentarios</i>	46
3.7.8	<i>Análisis Bromatológico proximal</i>	47
3.7.9	<i>Elaboración de los recubrimientos alimentarios</i>	52
3.7.10	<i>Análisis Bromatológico complementario</i>	53
3.7.11	<i>Análisis Físico Químico</i>	57
3.7.12	<i>Análisis Microbiológico</i>	58

CAPITULO IV

4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	61
4.1	Caracterización bromatología proximal y complementaria de la materia prima 61	
4.2	Análisis de metales pesados en la materia prima	65
4.3	Rendimiento del extracto de mucílago seco	66
4.4	Análisis físico químico de la materia prima.	67
4.5	Análisis bromatológico proximal y complementario de las frutas con recubrimientos	69
4.6	Pruebas de estabilidad durante el almacenamiento	72
4.6.1	<i>Estabilidad de las propiedades organolépticas</i>	72
4.6.2	<i>Estabilidad de las propiedades fisicoquímicas</i>	73
4.6.3	<i>Estabilidad de las propiedades microbiológicas</i>	76

4.7	Verificación de la Hipótesis	78
------------	---	-----------

CAPITULO V

5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	79
5.1	Conclusiones.....	79
5.2	Recomendaciones.....	81

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Descripción taxonómica de <i>Fragaria x ananasa</i>	11
Tabla 2-2: Caracterización del fruto de Frutilla.....	14
Tabla 2-3: Minerales presentes en la frutilla	14
Tabla 2-4: Vitaminas presentes en la frutilla.	15
Tabla 2-5: Descripción taxonómica de <i>Opuntia ficus-indica</i>	19
Tabla 2-6: Composición Fisicoquímica de los cladodios de <i>Opuntia ficus-indica</i>	22
Tabla 2-7: Análisis químico de la base seca de <i>Opuntia ficus-indica</i>	22
Tabla 2-8: Métodos de extracción del mucílago de nopal	24
Tabla 2-9: Aplicación y usos del mucílago de nopal	26
Tabla 3-1: Diseño experimental utilizado para la elaboración de yogurt.....	47
Tabla 3-2 Preparación de los estándares para la curva de calibración de Fe.....	55
Tabla 3-3 Preparación de los estándares para la curva de calibración de K.....	55
Tabla 3-4 Preparación de los estándares para la curva de calibración de Ca.	56
Tabla 3-5 Preparación de estándares para análisis de Fósforo por Espectrometría Ultravioleta - Visible.....	56
Tabla 4-1: Caracterización bromatológica proximal de la materia prima.	61
Tabla 4-2: Caracterización bromatológica complementaria de la materia prima.	63
Tabla 4-3: Análisis de metales pesado en la materia prima.	65
Tabla 4-4: Rendimiento de la extracción del mucílago deshidratado	66
Tabla 4-5: Análisis físico químico de la materia prima	67
Tabla 4-6: Formulación de los recubrimientos alimentarios con mucílago húmedo.....	68
Tabla 4-7: Formulación de los recubrimientos alimentarios con mucílago deshidratado	69
Tabla 4-8: Análisis bromatológico proximal de los tratamientos	69
Tabla 4-9: Análisis bromatológico complementario de los tratamientos	70
Tabla 4-10: Análisis de estabilidad organoléptica de los tratamientos	72
Tabla 4-11: Análisis de estabilidad Físico Químicos de los tratamientos al día 1	73
Tabla 4-12: Análisis de estabilidad Físico Químicos de los tratamientos al día 4	74
Tabla 4-13: Análisis de estabilidad Físico Químicos de los tratamientos al día 8	75
Tabla 4-14: Análisis de estabilidad microbiológica de las frutillas recubiertas	76

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1: Descripción botánica de <i>Fragaria x ananasa</i>	11
Ilustración 2-2: Estructura de la frutilla	12
Ilustración 2-3: Descripción botánica del nopal.....	19
Ilustración 2-4: Estructura química del glicerol.....	31
Ilustración 2-5: Estructura química del Polisorbato 80 / Tween 80.	32
Ilustración 2-6: Referencia del método de extracción Soxhlet.....	35
Ilustración 3-1 Diseño experimental	44

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: ANALISIS BROMATOLÓGICO PROXIMAL DEL MATERIAL VEGETAL.

ANEXO B: OBTENCIÓN DEL MUCÍLAGO DE NOPAL.

ANEXO C: ELABORACIÓN Y APLICACIÓN DE LOS RECUBRIMIENTOS ALIMENTARIOS

ANEXO D: ANALISIS BROMATOLÓGICO COMPLEMENTARIO.

ANEXO E: ANALISIS DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS.

ANEXO F: ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS

RESUMEN

La frutilla, siendo un fruto perecedero, comúnmente se guarda en refrigeración para atenuar los procesos bioquímicos internos que propician el deterioro. Sin embargo, a pesar de estas medidas, su daño sigue siendo acelerado. Por ende, se han introducido innovaciones en el ámbito alimentario, como los recubrimientos alimentarios, con el fin de preservar la calidad de la fruta a lo largo del tiempo. El objetivo de este trabajo fue evaluar el impacto del sistema de extracción del mucílago de *Opuntia ficus-indica* en las propiedades bromatológicas de *Fragaria x ananasa* recubiertas. Se eligieron frutillas y cladodios en buen estado para el estudio, extrayendo el mucílago mediante dos métodos diferentes. Los recubrimientos se aplicaron a las frutillas utilizando tres formulaciones con mucílago deshidratado (50%, 75% y 90%) y tres formulaciones con mucílago líquido en las mismas proporciones. Posteriormente, para todos los tratamientos se realizaron pruebas bromatológicas proximales y complementarias, junto con una evaluación de estabilidad. Los recubrimientos alimentarios demostraron capacidad para reducir los procesos de senescencia comunes en las frutillas. Es notable que las formulaciones 3 y 6 mostraron los mejores resultados en las pruebas de estabilidad, lo que sugiere una similitud en sus composición debido a un mayor contenido de mucílago. Además, se observó un aumento en los niveles de vitamina C y ciertos minerales en las frutillas, especialmente en el tratamiento 6, lo cual representa un aspecto positivo y nutritivo para los consumidores. De acuerdo con la similitud se determinó que la mejor formulación al reducir tiempo y recursos fue la F3 ya que no representó diferencias significativas en relación con la formulación 6.

Palabras clave: <RECUBRIMIENTO>, <FRUTILLA>, <CLADODIO>, <MUCÍLAGO>, <COMPUESTOS BIATIVOS>, <FORMULACIONES>, <EXTRACCIÓN>, <ESTABILIDAD>.

0651-DBRA-UPT-2024



ABSTRACT

The main objective of this research study was to evaluate the impact of the *Opuntia ficus-indica* on strawberries, being a perishable fruit, are commonly stored under refrigeration to attenuate the internal biochemical processes that lead to spoilage. However, despite these measures, damage is still accelerated. Therefore, food innovations, such as food coatings, have been introduced to preserve fruit quality over time. The impact of the *Opuntia ficus-indica* mucilage extraction system on the bromatological properties of coated *Fragaria x ananasa*. Strawberries and cladodes in good condition were chosen for the study, extracting the mucilage by two different methods. The coatings were applied to the strawberries using three formulations with dehydrated mucilage (50%, 75% and 90%) and three formulations with liquid mucilage in the same proportions. Subsequently, proximate and complementary bromatological tests were carried out for all treatments, together with a stability evaluation. The food coatings demonstrated ability to reduce common senescence processes in strawberries. It is notable that formulations 3 and 6 showed the best results in the stability tests, suggesting a similarity in their composition due to a higher mucilage content. In addition, an increase in the levels of vitamin C and certain minerals was observed in the strawberries, especially in treatment 6, which represents a positive and nutritious aspect for consumers. According to the similarity it was determined that the best formulation by reducing time and resources was F3 since it did not represent significant differences in relation to formulation 6.

Keywords: <RECUBRIUM>, <FRUIT>, <CLADODIUM>, <MUCILAGE>, <BIACTIVE COMPOUNDS>, <FORMULATIONS>, <EXTRACTION>, <STABILITY>.



Mgs. Evelyn Carolina Macias Silva

C.I. 0603239070

INTRODUCCIÓN

Fragaria x ananasa posee una historia que se remonta a unos 250 años, considerando que la primera especie de fresa fue domesticada y cultivada hace 2.000 años. Esta variante surge de la hibridación entre *F. chiloensis Duch* y *Fragaria virginiana Duch*, dando lugar a frutos rojos de exquisito sabor y aroma. Su cultivo se ha difundido ampliamente a nivel mundial, reflejando su domesticación progresiva. Debido a que este fruto es muy amado, para el año del 2019, su producción mundial logró contemplar el decimoquinto lugar con aproximadamente 8.885.028 toneladas.

No obstante, a pesar de ser un alimento muy valioso dentro del mercado y de la dieta diaria, la frutilla enfrenta desafíos significativos debido a su propenso deterioro después de la cosecha, especialmente durante el almacenamiento. De acuerdo al Índice de desperdicio de alimentos de 2021, anunciado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente señalan que alrededor de una quinta parte de toda la comida del mundo acaba en los botes de basura y las estimaciones sugieren que entre el 8% y el 10% de las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial están asociados a sus desperdicios (Forbes, 2021 , pág. 99). Por lo tanto, se han explorado diversas técnicas para mitigar este problema y prolongar la vida útil de estos alimentos, como el uso de bolsas herméticas, recipientes adecuados e incluso con la innovación del uso de recubrimientos alimentarios naturales. Según (Luna et al., 2023, págs. 51-61), los recubrimientos son capaces de reducir la tasa de transpiración, la actividad enzimática, la respiración y la carga microbiana, extendiendo así la vida de frutas y verduras.

La presente investigación posee un análisis cuantitativo, ya que busca obtener datos numéricos relacionados con los tiempos de preservación de las frutillas tratadas con el recubrimiento alimentario elaborado a partir de distintas concentraciones de mucilago de nopal. Se emplea un análisis de varianza ANOVA de un factor y un enfoque correlacional para examinar la relación entre cada bloque experimental, lo que permite identificar la formulación más efectiva mediante el uso de múltiples réplicas en el análisis. La población de estudio abarca a *Fragaria x ananasa* y el mucílago de *Opuntia ficus-indica* obtenidos en la provincia de Cotopaxi.

Por último, se investiga el impacto del método de extracción de mucílago en las propiedades fisicoquímicas y bromatológicas de las frutillas. Estos análisis se llevaron a cabo en el Laboratorio de Impactos y Protección Ambiental, el Laboratorio de Bromatología y el Laboratorio de Química Instrumental de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, con el fin de recopilar datos relevantes para la investigación.

CAPÍTULO I

1 DIAGNOSTICO DEL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

La *Fragaria x ananasa* (frutilla) se cultiva en más de 60 países, y para el año del 2020 China fue el mayor productor de este fruto a nivel mundial con un 37.5%, a nivel sudamericano Brasil lidera la producción con un 2.48%, seguido de Colombia con 0.58%, y en último lugar, con una menor producción, se encuentra Ecuador con un 0.02%, sin embargo, a pesar de las diferencias en las cifras de producción mundial, es importante tener en cuenta que la frutilla es una de las frutas más consumidas por la población en general (Axayacatl, 2022, págs. 2-6).

En todo el mundo la frutilla presenta el mismo problema debido su rápido deterioro. Es una fruta altamente vulnerable al daño mecánico, especialmente durante la cosecha y el almacenamiento. La mayoría de los desperdicios ocurren precisamente en estas etapas. De acuerdo a (Torres Morales y Pájaro González, 2015) explican que en países desarrollados como es el caso de España, las frutillas tienden a sufrir un daño mecánico en un 20 %. Además, cabe resaltar que el ciclo vital de la frutilla está estrechamente relacionado con su tasa de respiración, la técnica de cosecha y la temperatura a la que se conserva. El periodo de vida puede variar entre 2 y 8 días a temperaturas de 37°C y 4°C respectivamente (Castillo y Cuello, 2023 , págs. 290-308). Además, presenta características no climatéricas, es decir, que cuando se recoge verde ya no podrá madurar, pero por poseer un gran contenido de agua en la epidermis se modifica la tasa de respiración y se produce una alteración en su metabolismo, lo que induce la degradación de clorofila con cambios evidentes en la textura, aunque sin mejoras de sus características organolépticas (Granados Montero et al., 2022, págs. 9-28).

La merma de alimentos tiene un impacto negativo significativo en la viabilidad de la cadena alimentaria. Este fenómeno conduce a pérdidas económicas considerables, reduce los retornos de inversión y limita la disponibilidad y calidad de los suministros alimenticios. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) en el año 2013, la pérdida mundial de alimentos se considera una de las principales causas de las emisiones de gases de efecto invernadero. Este problema es especialmente grave en el caso de las hortalizas y frutas, donde las pérdidas y el desperdicio alcanzan porcentajes significativos, oscilando entre el 35% y el 55% en todo el mundo (Acuña et al., 2018, págs. 951-952).

En el 2022, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (Pnuma) estimaron que más de 600 millones de toneladas de alimentos terminaron en los contenedores de basura de

viviendas de todo el mundo. Desde otra perspectiva, América Latina, que representa al 9% de la población mundial, pero es responsable por el 20% del volumen global de alimentos que se desperdician. Por ello, República Dominicana es quien lidera la lista en desperdicios provenientes de los hogares, Ecuador se posiciona con cuarto país con más desperdicios y en última posición se encuentra Colombia. Por otro lado, Brasil se ubica en 5to puesto, pero cabe resaltar que del total de sus desperdicios el 62% proviene de frutas y verduras (Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2024, págs. 22-191).

Dado el elevado nivel de desperdicio de frutas y verduras debido a su rápido deterioro, es crucial investigar y desarrollar estrategias para prolongar la vida útil de estos productos. Este problema no solo genera pérdidas económicas significativas para los productores y consumidores, sino que también tiene un impacto negativo en el medio ambiente debido a la generación de gran parte de gases de efecto invernadero. Es por ello que un enfoque de interés es la investigación de técnicas económicas, como la aplicación de recubrimientos alimentarios naturales (Barba et al., 2022, págs. 930-952).

A pesar del potencial teórico de los recubrimientos alimentarios para reducir las pérdidas posteriores a la cosecha y mejorar la calidad del producto, los estudios sobre recubrimientos aún son reducidos. Por lo tanto, es necesario abordar esta brecha y realizar más investigaciones sobre cómo optimizar los revestimientos alimentarios para mantener la frescura y la vida útil de los alimentos (Badillo Solis et al., 2021, págs. 14-18).

1.2 Justificación

La frutilla es uno de los frutos más consumidos dentro de la población mundial ya que se considera como un alimento funcional, debido a sus altos contenidos de antocianinas, compuestos fenólicos, flavonoides, minerales y vitaminas, por lo tanto brinda una gran variedad de beneficios a la salud humana (Bárcenas-Santana et al., 2019, págs. 454-463).

Entre uno de los beneficios más conocidos de la frutilla es la actividad antioxidante que se origina a partir de la vitamina E, vitamina C, betacarotenos, quercetina y polifenoles. Estos compuestos actúan como captadores de radicales libres, es decir, retardan la oxidación de una molécula y por ende se reduce el riesgo de padecer ciertas enfermedades crónicas (Ticona y Quiroga, 2022, págs. 98-104). También es de destacar que la fruta contiene una gran cantidad de agua, carbohidratos en forma de fructosa, glucosa y xilitol, pero brinda poca energía, es rica en fibra y proporciona cantidades favorables de proteína (Abad Abad, Jiménez Álvarez y Capa Mora, 2020, págs. 131-141).

La gran variedad de compuestos esenciales presentes en la frutilla la hacen muy apetecida dentro de la dieta diaria, pero su rápido deterioro afecta su tiempo de conservación en el anaquel. Esta dificultad ha impulsado la búsqueda de nuevas tecnologías de preservación, tales como la aplicación de recubrimientos comestibles a base del mucílago de *Opuntia ficus-indica* (Castillo y Cuello, 2023, págs. 290-308).

La cubierta tiene como propósito retardar los cambios fisiológicos, evitar la pérdida de los componentes importantes y extender la vida útil del alimento. Es por ello que los cladodios de la tuna han sido motivo de numerosos estudios ya que en su interior se encuentra una sustancia denominada mucílago, este es un compuesto capaz de formar redes moleculares complejas y retener vigorosamente grandes cantidades de agua por lo que se pueden preparar un excelente recubrimiento para frutas y verduras, por ende preservaría sus características y retardaría sus tiempos de senescencia (Blando et al., 2019, págs. 1-13).

También es de reconocer que los cladodios del nopal tienen actividades antioxidantes y antimicrobianas, además, en la industria alimentaria, el mucílago ha demostrado la habilidad de modificar propiedades muy importantes tales como la elasticidad, viscosidad, textura y, además, funciona como un buen espesante, gelificante y emulsificante. (Aruwa, Amoo y Kudanga, 2019, págs. 337-344).

La investigación se basa en los Objetivos de Desarrollo Sostenible propuestos por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), en el objetivo 12 se centra en Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles. En el apartado 12.3, la meta que se pretende cumplir es “de aquí a 2030, reducir a la mitad el desperdicio de alimentos per cápita mundial en la venta al por menor y a nivel de los consumidores y reducir las pérdidas de alimentos en las cadenas de producción y suministro, incluidas las pérdidas posteriores a la cosecha”. Por lo general, con este trabajo se pretende aportar con nueva información que logre reducir los desperdicios alimenticios y aprovechar los frutos posteriores a la cosecha, aplicando nuevas técnicas de conservación como el uso del mucílago de nopal (Organización Mundial de las Naciones Unidas, 2023, pág. 17).

Por otro lado, a nivel nacional en la Constitución de la Republica del Ecuador 2008 en el título II de Derechos, en el capítulo segundo de Derechos de Buen vivir, en la sección primera de Agua y alimentación. El artículo 12 expone que “Las personas y colectividades tienen derecho al acceso seguro y permanente a alimentos sanos, suficientes y nutritivos; preferentemente producidos a nivel local y en correspondencia con sus diversas identidades y tradiciones culturales.” Según lo antes mencionado, la aplicación de un recubrimiento alimentario busca extender la vida útil de frutas y verduras con el objetivo de preservar sus características durante un largo tiempo (Martínez, Reyes y Rosero, 2021, págs. 2-18).

Dicho esto, el presente trabajo tiene como finalidad generar conocimientos sobre la reducción de la senescencia de la frutilla, un tema que aún no ha sido abordado centrándose en la eficiencia de conservación de frutas según el método de extracción. En la actualidad, existen varias investigaciones sobre los tiempos de preservación que han logrado extenderse en diversas frutas gracias al uso del mucílago y únicamente al método más eficaz de extracción del mucílago de *Opuntia ficus-indica*. Por lo tanto, los resultados de la investigación aportarán nueva información para que las frutas y hortalizas logren prolongar su tiempo de vida útil manteniendo sus propiedades características. Es por ello que, el objetivo de la investigación es determinar el efecto del sistema de extracción del mucílago de *Opuntia ficus-indica* sobre las características bromatológicas de *Fragaria x ananasa* recubierta.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Determinar el efecto del sistema de extracción del mucílago de *Opuntia ficus-indica* sobre las características bromatológicas de *Fragaria x ananasa* recubierta.

1.3.2 Objetivos específicos

- Elaborar recubrimientos alimentarios a base de mucílago de *Opuntia ficus-indica* con los diferentes tipos de extractos de mucílago obtenidos.
- Determinar los compuestos bioactivos de *Fragaria x ananasa* como objeto de estudio antes y después del uso del recubrimiento alimentario del mucílago de *Opuntia ficus-indica*.
- Realizar pruebas bromatológicas proximales y complementarias en las frutillas recubiertas con el extracto de mucílago *Opuntia ficus-indica* húmedo y seco.

1.4 Hipótesis

1.4.1 Hipótesis nula

No existe diferencia significativa en el método de extracción del mucilago de *Opuntia ficus-indica* como conservante alimentario de *Fragaria x ananasa*.

1.4.2 Hipótesis alternativa

Ho: Existe diferencia significativa en el método de extracción del mucilago de *Opuntia ficus-indica* como conservante alimentario de *Fragaria x ananasa*.

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de investigación

El poco conocimiento del recubrimiento comestible a base del mucílago de nopal ha sido motivo de interés investigativo para evaluar la reducción de los tiempos de senescencia de distintos alimentos, es por ello que se han incrementado los estudios sobre el revestimiento y los periodos de conservación. En un estudio realizado en Sudáfrica sobre “Los recubrimientos de mucílago de *Opuntia ficus indica* regulan las enzimas suavizantes de la pared celular y retrasan la maduración de la fruta de banano almacenada en condiciones de venta al por menor”; en donde se prepararon 3 recubrimientos a diferentes concentraciones de mucílago seco y posteriormente se evaluaron sus propiedades fisicoquímicas, luego se aplicó los revestimientos a los bananos y se los dejó secar por 12 días. En el estudio se evaluaron varios criterios y se logró evidenciar el retraso en la degradación de la clorofila, carotenoides y de la pared celular, además se inhibieron los procesos asociados a la maduración. Por tal motivo se comprobó que el mucílago de nopal puede mantener las calidades del banano y extender su vida útil al contrarrestar las enzimas suavizantes del banano (Shinga y Fawole, 2023, págs. 1-16).

En Indonesia, en otro artículo científico sobre el “Desarrollo de películas comestibles bioactivas de *Opuntia ficus-indica* que contienen probióticos como recubrimiento para frutas recién cortadas”; en este estudio preliminar, el mucílago de nopal fue objeto de estudios, y, por lo tanto, se evaluaron el contenido de azúcar total, los compuestos fenólicos, la vitamina C y la actividad captadora de DPPH. En lo que respecta a la película comestible, esta presentaba las siguientes características: grosor (0.02-0.11 mm), humedad (0.19-0.24%), solubilidad en agua (30.66-59.41%) y permeabilidad (0.15-1.5 g.mm/m².min.kpa). Por lo tanto, se desarrolló una formulación óptima para la película utilizando mucílago de nopal, gelatina, glicerol y *E. faesium*. Esta película se usó para recubrir tajos de manzana recién cortados, mejorando así sus propiedades fisicoquímicas, físicas y se mantuvo la calidad. Además, este recubrimiento prolongó la vida útil del producto y preservó sus características (Todhanakasem et al., 2022, págs. 2-16).

Posteriormente, en otra investigación a nivel latinoamericano en México se realizó una publicación sobre el “Efecto del recubrimiento con mucílago (*Opuntia ficus-indica*) en la conservación de Rambután (*Nephelium Lappaceum L.*) mínimamente procesado”; en esta experimentación se exploraron 3 factores relacionados con la aplicación del recubrimiento en el rambután que son el tipo de envase (frasco de poliestireno y fundas de polietileno),

revestimiento (con o sin recubrimiento alimentario) y el tiempo (0, 3, 6, 10 y 12 días). La técnica de inmersión fue empleada para aplicar el revestimiento, y las muestras se almacenaron a 5°C. Durante los distintos intervalos de tiempo establecidos, se evaluaron la firmeza, los sólidos totales, aceptabilidad sensorial y el color de cada lote almacenado. Los resultados mostraron una mayor aceptación sensorial, además el tiempo de consumo se prolongó hasta por 10 días envasados en frascos de poliestireno con tapa y bolsas de polietileno a temperaturas de 5°C (Brindis et al., 2020, págs. 3-13)

En el mismo país se realizó una investigación sobre la “Aplicación de un recubrimiento comestible a base de *Opuntia ficus-indica* para aumentar la vida en el anaquel de aguacate *Persea americana Hass*”; este proyecto permitió establecer un total de 9 tratamientos utilizando glicerina, fécula de maíz y mucílago de los cladodios de nopal. Cada formulación se pasteurizó por 15 minutos, luego se colocó 20 ml de cada muestra en cajas Petri y posteriormente fue secado a 113°F por 24 horas. Se evaluó el efecto del revestimiento sobre el aguacate cada 4 días con pruebas por triplicado para el peso, apariencia y la firmeza. Como resultado se pudo observar que los frutos con el revestimiento prolongaron su vida útil, conservando sus propiedades físicas y su calidad sensorial gracias a la reducción o eliminación de microorganismos que habitualmente se desarrollan en la superficie. En conclusión, se demostró la viabilidad del uso del mucílago de nopal como recubrimiento alimentario sobre el aguacate con efecto antimicrobiano (Robles y Ramos, 2021, págs. 2-5).

Por último, en Ecuador en la Universidad Técnica de Cotopaxi se realizó un estudio sobre los “Recubrimientos de mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*) y pectina con aceite esencial de romero (*Rosmarinus officinalis*) en la conservación de naranjas”. El mucílago de nopal tuvo que ser extraído de cladodios menores a 2 años de edad, se peló y cortó en cubos pequeños. Luego, se sometió a un tratamiento térmico con agua a 80°C por 20 minutos. Para aplicar el recubrimiento a las naranjas seleccionadas, se llevaron a cabo 4 tratamientos: T1(94% de mucílago, 6% de pectina y 1% de aceite de romero), T2 (94% de mucílago, 6% de pectina y 0.5% de aceite de romero), T3 (97% de mucílago, 3% de pectina y 1% de aceite de romero) y T4 (97% de mucílago, 3% de pectina y 0.5% de aceite de romero). Las coberturas se usaron mediante inmersión por 15s para luego ser almacenadas de 5-7°C y las evaluaciones se realizaron cada 7 días durante 28 días. Durante este periodo los valores del pH fueron de 2.55-3.99, la acidez de 0.6-0.98%, mientras que los sólidos solubles se incrementaron transcurrido tiempo de almacenamiento, el índice de madurez fue mejor para las frutas recubiertas, así mismo, la pérdida de peso se redujo. Por lo tanto, se concluyó que la mezcla compuesta por 94% de mucilago de nopal y 6% de pectina comercial, con adición de 0.5% de aceite de romero , demostró ser la mejor opción para reducir el deterioro de la fruta (Molina et al., 2019, págs. 53-58).

2.2 Referencias teóricas

2.2.1 *Frutilla*

Científicamente conocida como *Fragaria x ananasa*, la cual es una baya dulce perteneciente a la familia *Rosaceae*. Esta fruta, también llamada fresa, se caracteriza por su color rojo brillante, su forma cónica y su sabor dulce y jugoso. Se originó en Europa y América del Norte lo que la llevo a ser ampliamente cultivada en todo el mundo debido a su atractivo sabor y versatilidad culinaria. Actualmente se ha convertido en uno de los cultivos más populares y comerciales a nivel global. Además de su irresistible sabor, las frutillas presentan propiedades antioxidantes y son ricas en vitamina C, fibra y diversos compuestos beneficiosos para la salud (Contigiani, 2019, pág. 210).

2.2.1.1 *Especies de frutilla*

El género *Fragaria*, la familia *Rosaceae*, incluye frutas cultivadas por el hombre y las silvestres. Aproximadamente 20 especies pertenecientes a este género han sido distribuidas y plantadas a lo largo del globo terráqueo.

***Fragaria vesca*:** Comúnmente conocida como fresa del bosque o fresa silvestre, es una especie perteneciente al género *Fragaria* dentro de la familia *Rosaceae*. Es nativa de Europa y América del Norte, y se encuentra usualmente en bosques, praderas y bordes de caminos. Esta planta perenne produce pequeñas y jugosas fresas de color rojo brillante que son altamente apreciadas por su sabor dulce y aroma característico (Han et al., 2018, págs. 158-164).

***Fragaria chiloensis*:** Denominada como fresa blanca chilena, es una especie endémica de la región de Chile, esta presenta propiedades comerciales de gran interés económico como un sabor y aroma agradable, además, es reconocida por tener un fruto de calibre grande, alta tasa fotosintética y gran resistencia a enfermedades. Esta frutilla es la progenitora materna de la ampliamente cultivada fresa, *Fragaria x ananassa Duch.* (Morales y Ramos, 2019, págs. 769-776).

***Fragaria virginiana*:** Es la frutilla de Virginia, una especie originaria del Norte de América. Esta planta perenne se caracteriza por tener hojas trifoliadas dentadas y flores blancas o ligeramente rosadas que producen frutos rojos y jugosos en la temporada de verano. Las especies de *Fragaria virginiana* son más pequeñas, pero se distinguen por su sabor dulce y aroma intensamente fragante (Davis et al., 2020, págs. 2-15).

***Fragaria* × *ananasa*:** En Europa, a principios del siglo XVIII, ocurrió una hibridación entre *F. chiloensis* Duch y *Fragaria virginiana* Duch, lo que resultó en la variedad *Fragaria x ananasa* Duch, que se ha extendido ampliamente por todo el mundo. Es reconocida por ser una especie octoploide ampliamente cultivada por todo el mundo. Esta especie produce algunos de los frutos rojos más deliciosos y por ser ampliamente cultivada, se encuentra comúnmente en la mayoría de los mercados y tiendas de productos comestibles (Wang et al., 2020, págs. 1169-1184).

2.2.1.2 Origen de *Fragaria x ananasa*

La historia de la frutilla se remonta a miles de años atrás. Aunque la generación actual de frutillas que conocemos (*Fragaria x ananasa*) tiene alrededor de 250 años de antigüedad, se cree que la primera especie de fresa domesticada se cultivó hace aproximadamente 2.000 años. Estas primeras fresas, probablemente se cultivaron en los exuberantes jardines de la antigua Grecia y Roma, donde se valoraban por su sabor único y sus propiedades medicinales (Herrera, 2017, págs. 15-99).

Los registros históricos sugieren que las frutillas llegaron a Europa en la Edad Media, y hay evidencia de su cultivo en Francia desde el siglo XIV. Un gran dato histórico ocurrió durante el reinado de Carlos V de Francia en el siglo XVI, se dice que el rey plantó más de 1.000 plantas de frutilla en los impresionantes jardines del Louvre en París, lo que marcó un hito importante en la popularidad y el cultivo de las frutillas en Europa. A medida que avanzaba el tiempo, la gente comenzó a darse cuenta de las propiedades beneficiosas de esta pequeña fruta. En el siglo XVII, se reconocieron como plantas estoloníferas, lo que significa que se propagan mediante estolones o tallos rastreros que generan nuevas plantas, facilitando su cultivo y propagación en todo el mundo (Herrera, 2017, págs. 15-99)

En el año 1817, en Inglaterra, se iniciaron programas sistemáticos de mejoramiento genético para desarrollar variedades de fresas con mejores características, como mayor rendimiento, tamaño uniforme y sabor atractivo. Estos esfuerzos dieron lugar a la creación de una variedad que conocemos como *Fragaria x ananasa*, la cual se convirtió en la base para muchas de las variedades comerciales que disfrutamos hoy en día (Herrera, 2017, págs. 15-99).

2.2.1.3 Taxonomía

La familia *Rosaceae*, que incluye aproximadamente 300 especies de 107 géneros distintos. Esta familia presenta una gran relevancia económica debido a que varios de sus géneros tienen usos

diversos, como alimenticios, ornamentales y forestales. La clasificación taxonómica de la frutilla se describe en la Tabla 2-1.

Tabla 2-1: Descripción taxonómica de *Fragaria x ananasa*

Taxonomía	
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Rosales
Familia	Rosáceae
Subfamilia	Rosoideae
Género	<i>Fragaria</i>
Especie	<i>Ananasa</i>
Nombre científico	<i>Fragaria x ananasa</i>
Nombre común	Frutilla

Fuente: Sánchez, 2022, págs. 10-27.

Realizado por: Peralta, 2024.

2.2.1.4 Descripción botánica

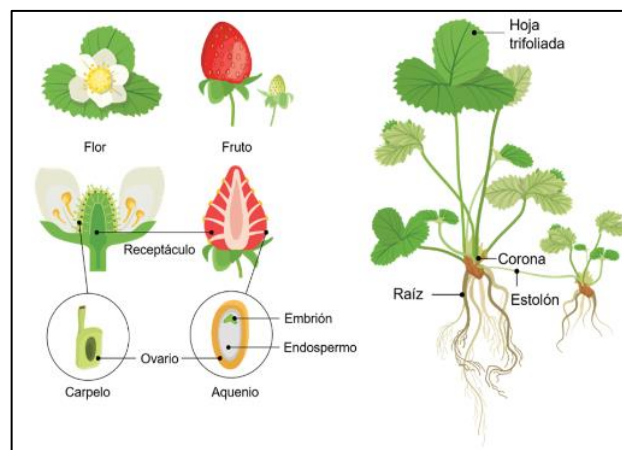


Ilustración 2-1: Descripción botánica de *Fragaria x ananasa*

Fuente: Salas, Salas y Calvo, 2022, págs. 55-68.

El género *Fragaria* pertenece a la familia de las Rosáceas y contiene especies que presentan variaciones al poder ser diploides, tetraploides, hexaploides y octoploides que resultan de un genoma haploide conformado por 7 cromosomas y su reproducción puede ser tanto asexual como sexual. Es importante tener en cuenta que las especies diploides suelen ser auto incompatibles,

mientras que las especies poliploides tienen la capacidad de auto fecundarse (Salas, Salas y Calvo, 2022, págs. 55-68).

La planta de frutilla es herbácea con raíces que pueden alcanzar una profundidad de 25 a 30 cm. Sus tallos son gruesos, cortos y forman la corola, que es el órgano a partir del cual se desarrollan los demás órganos aéreos: hojas, flores, frutos y tallos. Además, están presentes los estolones que son órganos rastreros y presentan un par de entrenudos largos. El segundo entrenudo es capaz de formar de 4 - 6 plantas nuevas, ya que estas son las responsables de generar nuevas hojas y raíces (Salas, Salas y Calvo, 2022, págs. 55-68).

Las hojas de la frutilla son de aspecto triple, con pecíolos en la base y de 300 - 400 estomas por milímetro cuadrado, por estas características la planta es muy sensible al exceso de temperatura e intensidad de luz, o insuficiencia de agua y humedad. Por último, la flor es hermafrodita con 5 pétalos blancos o rojos, los estambres están dispuestos alrededor del receptáculo y los estigmas son espirales que se ubican sobre el receptáculo. Después de la fertilización se forma el fruto, el cual comprende de 150 a 2200 aquenios y se encuentran en el engrosamiento del receptáculo (falso fruto) (Salas, Salas y Calvo, 2022, págs. 55-68).

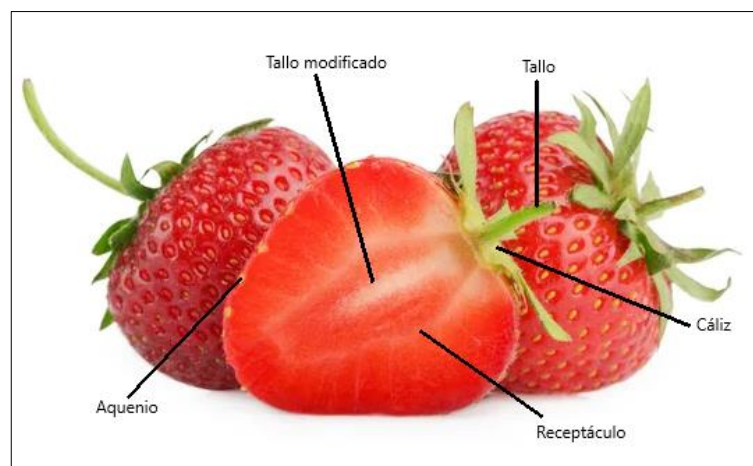


Ilustración 2-2: Estructura de la frutilla

Fuente: Salas, Salas y Calvo, 2022, págs. 55-68.

2.2.1.5 Producción mundial

Debido a las preferencias y demandas de los consumidores, la industria frutícola desempeña un papel de gran importancia a nivel mundial. El banano, la sandía, la manzana, la naranja y la uva son los productos más populares en esta categoría, conocidos por la gran demanda y por su producción global. En términos de volumen de producción, la frutilla ocupa el decimoquinto lugar, alcanzando aproximadamente 8,885,028 toneladas en 2019. Esto se logró con un

rendimiento promedio de alrededor de 22.41 toneladas por hectárea, y aproximadamente 396,401 hectáreas fueron dedicadas a su cultivo, lo que representa aproximadamente el 0.61% de la superficie total destinada a la producción de frutas a nivel mundial (Caamal, Jeronimo y Pat, 2021 , pág. 363).

2.2.1.6 *Cultivo*

La producción comercial del cultivo de frutillas ha sustituido gradualmente a la variedad silvestre que fue una de las primeras especies cultivadas a principios del siglo XVIII. Para llevar a cabo la propagación de estas plantas, se emplea principalmente el método de estolones, y los productos se comercializan en macetas o en estado libre de raíces (Villagra, Toffoli y Pedraza, 2021, págs. 39-50).

En la actualidad, la producción moderna ha adoptado el sistema de plasticultura, que implica el uso de camas enraizadas recubiertas con plástico negro con el propósito de prevenir el crecimiento de otras plantas competidoras. En este proceso, se practica la apertura de un orificio en el plástico, se introduce la planta y se eliminan los estolones para fomentar el desarrollo especialmente en la producción de frutos (Villagra, Toffoli y Pedraza, 2021, págs. 39-50).

2.2.1.7 *Características*

La frutilla, presenta una forma cónica o casi redonda y en ocasiones ovalada, con un diámetro variable que puede encontrarse entre 0.15 y 0.22 cm y en ocasiones superior. Está coronada por sépalos verdes y su cuerpo se presenta en un color rojizo, característico cuando se encuentra maduro, con un sabor dulce y fresco. Sin embargo, lo que realmente se enfatiza en la frutilla es su delicioso aroma intenso (Moreira y Etal., 2017, págs. 261-262).

La frutilla no es considerada como un fruto, sino se define como un engrosamiento del receptáculo floral. Es el proceso por el cual se implica una transformación del tallo de la planta, que tiene la función de amparar dentro de ella los frutos verdaderos, es decir, las diminutas semillas (aquenios). Cada frutilla puede sujetar entre 150 y 200 aquenios, que son los componentes reales de la fruta (Moreira y Etal., 2017, págs. 261-262).

2.2.1.8 *Valor nutricional*

Las frutillas son alimentos de bajo aporte calórico, siendo sus componentes principales el agua e hidratos de carbono, con una predominancia de fructosa, glucosa y xilitol. Además de su ligero contenido calórico, son una excelente fuente de vitamina C, superando en porcentaje a la naranja

(50mg / 100g), lo que las convierte en una opción saludable para fortalecer el sistema inmunológico. Esta deliciosa fruta también contiene diversos ácidos orgánicos, entre los que destacan el ácido cítrico, el ácido málico y el oxálico, y en cantidades reducidas, ácido salicílico (Moreira y Etal., 2017, págs. 261-262).

El característico color de las frutillas se debe a la presencia de antocianinas, pigmentos naturales con propiedades antioxidantes que no sólo proporcionan su atractiva tonalidad, sino que también contribuyen a la salud. Además de las antocianinas, las frutillas son ricas en polifenoles y vitamina C, lo que las coloca entre las frutas con mayor capacidad antioxidante, brindando beneficios significativos para la salud. Su consumo regular no sólo satisface el paladar, sino que también promueve un estilo de vida saludable (Moreira y Etal., 2017, págs. 261-262).

Tabla 2-2: Caracterización del fruto de Frutilla

	Unidades	Por cada 100 g de porción comestible
Energía	Kcal	30.000
Proteína	g	0.610
Carbohidratos	g	7.020
Grasa total	g	0.370
Fibra	g	2.300
Agua	g	91.570
Cenizas	g	0.430

Fuente: North Department Of Agriculture and Consumer Services., 2018, págs. 19-26.

Realizado por: Peralta, 2024.

Tabla 2-3: Minerales presentes en la frutilla

	Unidades	Por cada 100 g de porción comestible
Calcio	mg	14.000
Hierro	mg	0.380
Magnesio	mg	10.000
Fósforo	mg	19.000
Potasio	mg	166.000
Sodio	mg	1.000
Zinc	mg	0.130
Cobre	mg	0.049
Manganeso	mg	0.290

Selenio	μg	0.700
----------------	----	-------

Fuente: North Department Of Agriculture and Consumer Services., 2018, págs. 19-26.

Realizado por: Peralta, 2024.

Tabla 2-4: Vitaminas presentes en la frutilla.

	Unidades	Por cada 100 g de porción comestible
Vitamina C	mg	56.700
Tiamina	mg	0.020
Riboflavina	mg	0.066
Niacina	mg	0.230
Acido pantoténico	mg	0.340
Vitamina B-6	mg	0.059
Folato	μg	17.700
Vitamina B-12	μg	0.000

Fuente: North Department Of Agriculture and Consumer Services., 2018, págs. 19-26.

Realizado por: Peralta, 2024.

2.2.1.9 *Propiedades*

Las propiedades antioxidantes de las frutillas se derivan de una variedad de compuestos bioactivos. La vitamina C, es uno de los pilares principales, combate eficazmente los radicales libres y protege las células ante el estrés oxidativo. Las antocianinas, responsables del característico color rojo de las frutillas, también contribuyen con su acción antioxidante, ayudando a neutralizar los efectos perjudiciales de los radicales libres en el organismo. Estos antioxidantes, en conjunto con otros compuestos como la quercetina, el ácido elágico y el manganeso, operan en sinergia, brindando una defensa efectiva contra el envejecimiento celular, la inflamación y diversos trastornos de salud relacionados con el estrés oxidativo (Oviedo et al., 2018, págs. 80-86).

2.2.1.10 *Condiciones de almacenamiento*

La frutilla posee una vida relativamente corta posterior a la cosecha, de 3 a 5 días en condiciones de refrigeración entre 3°C - 4°C, lo cual puede ser influenciado y minimizado por la acción de patógenos ambientales, especialmente hongos y bacterias. El almacenamiento adecuado de las frutillas es esencial para mantener su frescura y calidad. Estas deben almacenarse a una

temperatura de aproximadamente 1°C a 4°C para ralentizar su proceso de maduración y evitar el deterioro (Ramírez et al., 2018, págs. 223-230).

2.2.1.11 *Enfermedades del fruto*

Las enfermedades que pueden presentarse en la frutilla reducen la calidad de sus frutos y por lo habitual acortan su vida. Entre los padecimientos más comunes podemos identificar las que ocurren con frecuencia y causan daños importantes a la plantación, las que ocurren ocasionalmente y las que ocurren bajo ciertas condiciones, logrando daños estructurales en las plantas y con frecuencia enfermedades postcosecha (Robert y Brown, 2020, págs. 1-14).

Las enfermedades después de la cosecha son originadas por lo general por *Botrytis*, *Penicilium*, *Rhizopus*, *Mucor*, *Aspergillus*, *Alternaria*, *Cladosporium*. Estas enfermedades suelen irradiarse debido al origen de la planta y al manejo durante la etapa de su crecimiento, además de las condiciones en las que sus frutos son almacenados. Es por ello que el uso de plantas no controladas durante su madurez y los problemas en el rendimiento de los cultivos son las principales causas de propagación y permanencia de enfermedades (Robert y Brown, 2020, págs. 1-14).

Botrytis cinérea

La problemática que aqueja al cultivo de frutillas se manifiesta inicialmente con la aparición de manchas marrones claro sobre los frutos, las cuales, en un corto período, quedan cubiertas por un moho de color gris sumamente característico y denso, que puede llegar a envolver por completo al fruto. Los frutos que sufren el mayor impacto de esta enfermedad son aquellos que entran en contacto con el suelo, el acolchado o con otros frutos ya afectados (Giménez, Paullier y Maeso, 2019, págs. 1-57).

El proceso de deterioro del fruto comienza con una pudrición blanda, seguida de la liberación de savia y el consecuente desarrollo masivo del micelio de color plomo, del cual deriva el nombre de esta enfermedad. A medida que la fruta alcanza su madurez, se torna especialmente vulnerable a la pudrición gris, y esta infección puede propagarse con facilidad si hay frutas enfermas en las proximidades. Además, la enfermedad puede perdurar en residuos, frutos descartados y restos florales, lo que complica aún más su control (Giménez, Paullier y Maeso, 2019, págs. 1-57).

Colletotrichum spp.

En cuanto a *Colletotrichum spp.*, es conocido por ser un patógeno que ejerce su atribución perjudicial en diversas partes de la planta, incluyendo a los pecíolos, estolones y pedúnculos

florales. Sus lesiones se manifiestan de forma ovalada, ligeramente deprimidas, de un tono oscuro y rojizo en la periferia, en algunas ocasiones con propagación de masas de conidios en el centro. A medida que la mancha progresa, puede llegar a sofocar el tejido afectado, causando daños significativos (Robert y Brown, 2020, págs. 1-14).

Con respecto a los frutos, se originan en áreas deprimidas, de consistencia firme y color castaño claro, acompañadas de una masa mucosa de un tono salmón. En ciertas ocasiones, la mancha presenta un matiz más oscuro en su perímetro. Cuando este hongo afecta a los frutos de menor tamaño, la consecuencia es la muerte de todo el racimo, dejando los frutos con un aspecto oscuro y momificado (Robert y Brown, 2020, págs. 1-14).

2.2.2 Nopal

La *Opuntia ficus-indica*, comúnmente conocida como nopal, es una especie de cactus originaria de las regiones desérticas de América. Pertenece a la familia de las cactáceas y se caracteriza por sus cladodios planos y ovalados, comúnmente llamados "pencas", que están cubiertos de espinas. Esta planta es apreciada por sus frutos, llamados tunas o higos chumbos, que son comestibles y se utilizan en diversas preparaciones culinarias. Además de su valor como alimento, el nopal también se ha utilizado tradicionalmente con fines medicinales y tiene propiedades nutricionales, siendo rico en fibra, vitaminas y minerales. Su capacidad para crecer en condiciones áridas y su resistencia a la sequía han hecho del nopal una planta importante en la agricultura y la cultura de las regiones donde se cultiva (Mostafa et al., 2014, págs. 14879-14901).

2.2.2.1 Especies de Nopal

Las variedades de especies de *Opuntia*, comúnmente conocidas como nopales o cactus, representan un grupo diverso y fascinante dentro de la familia de las *cactáceas*. Estas plantas resistentes se han adaptado a una amplia gama de hábitats, desde desiertos áridos hasta zonas semiáridas, y han sido una fuente invaluable de alimentos, medicinas y materiales para las culturas que las han cultivado durante siglos (Ahumada y Diversidad, 2017, págs. 181-196).

***Opuntia microdasys* (Nopalillo):** Difiere del resto por sus cladodios pequeños y ovalados, cubiertos de pequeñas espinas en lugar de espinas grandes. Esta especie es resistente y puede sobrevivir en condiciones extremadamente secas. Aunque sus frutos son comestibles, son más pequeños que los del Nopal común. El Nopalillo se cultiva a menudo como planta ornamental debido a su aspecto peculiar y su capacidad para crecer en entornos áridos (Maroyi, 2022, págs. 50-52).

***Opuntia robusta* (Nopal Xoconostle):** Es conocido por sus cladodios planos y frutos esféricos y ácidos llamados xoconostles. A diferencia de otras especies de *Opuntia*, los xoconostles son extremadamente ácidos y no se consumen crudos, pero se utilizan en la preparación de bebidas, salsas y dulces en la cocina tradicional mexicana (Celaya, 2017, págs. 291-300).

***Opuntia cochenillifera* (Nopal Cochinilla):** Esta especie de *Opuntia* es particularmente conocida por ser el hospedero de la cochinilla, un insecto utilizado para producir el tinte rojo carmín. Sus cladodios son planos y ovales, y produce frutos esféricos. La presencia de cochinilla en el Nopal Cochinilla lo distingue, ya que esta interacción es única en comparación con otras especies de *Opuntia* (Monroy et al., 2017, págs. 263-272).

***Opuntia ficus-indica* (Nopal):** Esta es una especie de *Opuntia* conocida por sus cladodios planos y ovalados, espinas y frutos llamados tunas. Esta especie es apreciada por su valor alimenticio y medicinal. Sus cladodios y frutos son consumidos en diversas preparaciones culinarias y también se han utilizado en la medicina tradicional debido a sus propiedades antioxidantes y antiinflamatorias. El Nopal se destaca por su capacidad para resistir condiciones áridas y suelos pobres, lo que lo convierte en una fuente importante de alimento en regiones semiáridas y desérticas (Torres et al., 2018 , pág. 275-285).

2.2.2.2 Origen

La *Opuntia ficus-indica*, se extiende por miles de años y abarca diversas culturas alrededor del mundo. Originaria de las regiones desérticas de América, esta planta ha sido un componente esencial en la vida de los pueblos indígenas. En América, especialmente en México, el nopal no solo era una fuente vital de alimento, sino también un recurso medicinal invaluable. Los antiguos habitantes de estas áreas comprendieron la versatilidad de esta planta, utilizando tanto sus jugosos frutos como sus cladodios, también conocidos como pencas, en su dieta diaria y en la medicina tradicional (Gutiérrez, López y Rodríguez, 2023 , pág. 5-7).

El nopal se convirtió en un símbolo de resistencia y adaptabilidad, creciendo en condiciones climáticas extremas y suelos áridos que desafiarían a muchas otras plantas. Su capacidad para sobrevivir en ambientes hostiles lo llevó a expandirse más allá de América, llegando a tierras lejanas como las regiones del Mediterráneo, África, Asia y Australia. En estas nuevas geografías, el nopal no solo se adaptó a una variedad de climas y suelos, sino que también se integró profundamente en las culturas locales (Gutiérrez, López y Rodríguez, 2023 , pág. 5-7).

2.2.2.3 Taxonomía

Esta planta suele pertenecer a la familia de los cactus, pero su clasificación es sumamente ardua, principalmente por diversas razones, una de las cuales es la gran diversidad de fenotipos dependiendo del ambiente, por qué se reproducen sexual y asexualmente, así como muchos híbridos interespecíficos (Rodríguez Henao, 2017 , pág. 1-84).

Tabla 2-5: Descripción taxonómica de *Opuntia ficus-indica*

Taxonomía	
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Caryophyllales
Familia	Cactaceae
Subfamilia	Opuntioideae
Género	<i>Opuntia</i>
Especie	<i>Ficus-indica</i>
Nombre científico	<i>Opuntia ficus-indica</i>
Nombre común	Tuna, Nopal

Fuente: (Gutiérrez, López y Rodríguez, 2023 , pág. 5-7).

Realizado por: Peralta, 2024.

2.2.2.4 Descripción botánica

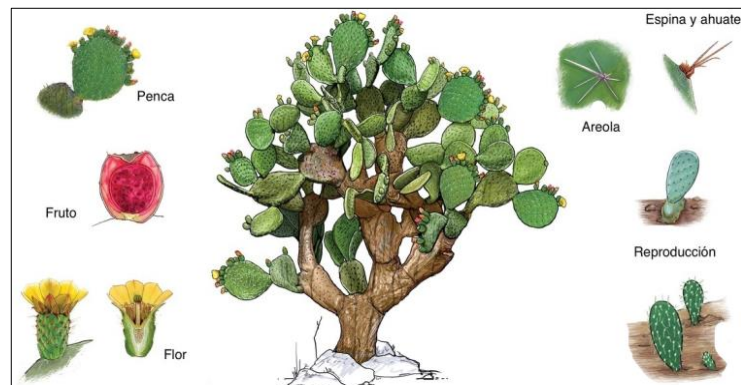


Ilustración 2-3: Descripción botánica del nopal.

Fuente: FAO, 2018, pág. 248.

Las plantas de nopal son arbustivas que pueden alcanzar una altura de 3,5 metros a 5 metros. Los tallos, también conocidos como follaje, tienen una rúcula alargada y pueden alcanzar una dimensión de 60 a 70 centímetros de largo dependiendo de la disponibilidad de agua y nutrientes

en el sitio donde se encuentren cultivadas (Rivera et al., 2017 , pág. 835-840). Existen dos tipos de espinas en la cavidad de la areola: las pequeñas llamadas "glochidia" y las grandes que parecen hojas modificadas. Esta especie tiene flores hermafroditas, solitarias, redondas y de 6-7 centímetros de largo; sus colores principales son rojo, amarillo y blanco. Los cladodios tienen forma de raqueta y en su interior contienen la capacidad de retener grandes cantidades de agua. (Ponce et al., 2023 , pág. 491-500).

Los frutos, que se producen durante la floración, se conocen comúnmente como tunas o higos chumbos, y son falsas bayas ovaladas, carnosas de sabor dulce y con muchas semillas. Estos frutos varían en tamaño y forma según la especie, pero cuando están maduros, tienen una morfología similar con muchas espinas pequeñas (Monroy et al., 2017 , pág. 263-272).

2.2.2.5 *Cultivo y cosecha*

El cultivo de nopal es una práctica agrícola de gran importancia en regiones áridas y en áreas semiáridas. Esta actividad ha sido transmitida a través de generaciones y por lo que ha desempeñado un papel fundamental en la subsistencia de comunidades en estas zonas. En cuanto al proceso de cultivo involucra la preparación del terreno, la siembra de segmentos de cladodios o "pencas" en surcos o pozos a una distancia apropiada, y la gestión adecuada del riego y la fertilización que garantizan un rendimiento óptimo (FAO, 2018 , pág. 248).

Esta planta es resistente y requiere de un bajo consumo de agua en comparación con otros tipos de cultivos, lo que lo convierte en una elección para áreas con recursos hídricos limitados. Dada su adaptabilidad a suelos poco fértiles, el nopal también se cultiva en terrenos marginales, contribuyendo a la conservación del suelo y la biodiversidad en regiones áridas al prevenir la erosión. El cultivo de nopal presenta una amplia cantidad de especies y variedades, cada una con características particulares que pueden influir en su manejo y aprovechamiento (FAO, 2018, pág. 248).

En cuanto a la cosecha del nopal, esta actividad se realiza tanto de las frutas como de sus cladodios. La época para cosechar las tunas varía de acuerdo con la disponibilidad de agua, pero generalmente se recogen cuando presentan el color característico de la especie, como puede ser amarilla, tomate o roja. Los cladodios alcanzan la madurez, generalmente entre los 6 y 18 meses después de la siembra, dependiendo de la variedad y las condiciones climáticas. Se cosechan cuidadosamente para evitar dañar a la planta madre, permitiendo así una cosecha continua a lo largo del año (FAO, 2018, pág. 248).

2.2.2.6 *Producción mundial*

El panorama global de la producción de nopal y sus frutos ha experimentado una expansión significativa más allá de las fronteras de México. Hasta el año 2022, México ha liderado la producción y el consumo mundial de nopal como verdura, manteniendo su posición dominante en este aspecto. Sin embargo, el consumo de las tunas ha ganado tracción al alrededor del mundo. En América, países como Estados Unidos, Perú y Chile han registrado crecimiento en la producción de tunas (Roldan Cruz y Miranda, 2022, págs. 100-123).

Europa, con naciones como España e Italia, también ha incursionado en su cultivo. Además, en el continente africano, países como Marruecos, Etiopía, Argelia, Túnez, Sudáfrica y naciones de Asia como India y Egipto han comenzado con esta producción. La popularidad de estas frutas también se ha extendido a Asia, donde países como Japón, Taiwán y Corea han entrado en el mercado. Este fenómeno global demuestra un interés creciente en las tunas de nopal como un producto alimenticio versátil y saludable (Roldan Cruz y Miranda, 2022, págs. 100-123).

2.2.2.7 *Cladodios*

Son también conocidos como pencas o paletas, son una de las características distintivas de esta especie de cactus. Estos cladodios son aplanados y ovalados, con bordes dentados y espinas que se distribuyen en forma de areolas a lo largo de su superficie. Tienen una apariencia carnosa y están cubiertos por una capa cerosa que ayuda a reducir la pérdida de agua, lo que es particularmente útil en entornos desérticos. Los cladodios de *Opuntia ficus-indica* son resistentes y pueden almacenar agua, permitiendo que la planta sobreviva en condiciones de sequía. (Jiménez et al., 2018, págs. 101-105).

El nopal ha sido ampliamente cultivado por sus cladodios comestibles, que son una fuente valiosa de nutrición en diversas culturas. Esta especie vegetal no solo es apreciada por sus cladodios comestibles, sino también por el mucílago valioso que se produce. Es una sustancia gelatinosa y viscosa que se encuentra dentro de las células de los cladodios. El mucílago de nopal se ha utilizado tradicionalmente en la industria alimentaria y farmacéutica, debido a su capacidad para retener agua (Jiménez et al., 2018, págs. 101-105).

2.2.2.8 *Caracterización química*

Los cladodios del nopal se destacan por sus minerales, pectina, mucílago y también posee un gran contenido de ácido málico relacionado al metabolismo del CAM (Metabolismo del ácido

crasuláceo). La riqueza nutricional y su composición química puede variar según su grado de madurez. Este cactus se considera un alimento altamente nutritivo debido a su origen vegetal, ya que proporciona abundantes minerales, fibra y compuestos fitoquímicos. Entre las vitaminas que aporta se encuentran la A, B1, B2, B3 y C, mientras que su contenido mineral incluye calcio y potasio en cantidades significativas (Zarate et al., 2021, págs. 89-95).

Tabla 2-6: Composición Fisicoquímica de los cladodios de *Opuntia ficus-indica*.

Componente	Cladodios (g/100g) base	
	seca	húmeda
Agua	/	88 – 95
Carbohidratos	64 – 71	3 – 7
Ceniza	19 – 23	1 – 2
Fibra	18	1 – 2
Proteínas	4 – 10	0.5 – 1
Lípidos	1 – 4	0.5 – 1
Ácido ascórbico	/	0.2

Fuente: Pérez, 2016, págs. 390-392.

Realizado por: Peralta, 2024.

La concentración de cada uno de los constituyentes dependerá en gran medida del clima, la ubicación del cultivo, la variedad y la edad de la planta. Además, los cladodios de esta especie vegetal contienen una combinación de fibra dietética tanto soluble como insoluble, lo cual puede contribuir a la regulación de los niveles de glucosa en la sangre y al manejo del peso corporal, brindando beneficios específicos en la salud. (Barba et al., 2022, págs. 930-952).

Tabla 2-7: Análisis químico de la base seca de *Opuntia ficus-indica*

Ensayo %	1 mes (60 g)	2 meses (130 – 140 g)	3 meses (190 – 210 g)
Humedad	94.44 ± 0.21	94.12 ± 0.1	94.88 ± 0.54
Cenizas	19.15 ± 1.23	18.27 ± 0.16	17.83 ± 0.88
Grasa	2.59 ± 0.35	2.60 ± 0.52	3.85 ± 0.21
Proteínas	2.59 ± 0.49	2.07 ± 0.32	2.43 ± 0.18
Fibra	11.40 ± 0.48	13.42 ± 1.40	8.57 ± 0.46

Fuente: Pérez, 2016, págs. 390-392.

Realizado por: Peralta, 2024.

La variabilidad en los componentes de los cladodios del nopal es notable a medida que la planta madura. Cuando los cladodios envejecen, se pueden observar cambios notables en la composición de nutrientes y compuestos bioactivos, como el contenido de fibra, proteínas y otros

constituyentes. Esta variabilidad puede estar influenciada por factores ambientales, la edad de la planta y la variedad (Ponce et al., 2023, págs. 491-500).

2.2.2.9 Mucílago

Los cladodios de *Opuntia ficus-indica* se caracterizan porque contienen una sustancia denominada mucílago, dicha sustancia es polimérica compleja, con una masa molecular de 2.3×10^4 a 3×10^6 g/mol, de naturaleza no amilácea, estructura altamente ramificada, y contenido variable de L-arabinosa (24.6 - 42%), D-galactosa (21 - 40.1%), L-ramnosa (7 - 13.1%), D-xilosa (22.2%) y ácido galacturónico (8 - 12.7%) (García, 2017). Las investigaciones han demostrado que el peso molecular del mucilago puede diferir de acuerdo al método y técnica de extracción, además de la contaminación con diferentes compuestos celulares (Galicia et al., 2017, págs. 1087-1099).

El mucílago de nopal posee una alta capacidad para retener agua lo convierte en un recurso eficaz para combatir la deshidratación en regiones áridas, al proporcionar humedad a las plantas y el suelo. También se ha mencionado que puede ser utilizado como hidrocoloide dentro de la industria de alimentos, por ello, se emplea como agente gelificante, encapsulante, modificador de textura y viscosidad y estabilizador de espumas entre otros. (Herrera, Herrera y Ojeda, 2021, págs. 408-421).

El mucílago del género *Opuntia* proporciona un potencial terapéutico contra afecciones del hígado graso no alcohólico, isquemia cerebral, reumatismo, ciertos tipos de cáncer e infecciones, obesidad, diabetes mellitus tipo 2 (DM2), inflamación tópica, ulceraciones cutáneas, gastritis y homeostasis de iones intestinales, entre otros padecimientos (Reyes et al., 2020, págs. 1-14).

2.2.2.10 Métodos de extracción

Los métodos más utilizados para la extracción del mucílago tienen un papel importante tanto en la aplicación de la industria alimentaria como en la conservación de frutas o verduras. Para la extracción del mucílago de los cladodios de *Opuntia ficus-indica*, se emplea el método más común, en el cual se usa la maceración después de ser mezclado con agua destilada a temperatura ambiente, para luego pasar por un proceso térmico. Estos métodos pueden ser efectivos, sin embargo, son extensos y la mayoría pueden ser costosos (Osorio, 2022, págs. 11-21).

Tabla 2-8: Métodos de extracción del mucilago de nopal

Método	Materia prima vegetal	Objetivo	Técnicas para seguir durante el método de extracción	Ventaja
Ultrafiltración por extracción mecánica: Ultrafiltración de flujo cruzado UF	Cladodios enteros	Obtener extracto concentrado, mucílago seco.	Molienda Centrifugado Decantación Filtración al vacío Evaporación (60°C a 75mbar) Secado	Tiempo de vida útil hasta por 60 días almacenado a 4°C.
Método de filtrado simple (SFM). Método de concentración (FCM) y clarificación-concentración (FCCM)	Cladodios enteros (15 días de edad)	Obtención del extracto de mucílago seco.	Filtrado: 3 veces, a una presión de 670 mbar. Determinación de la masa seca: usando 10 - 25 g de material crudo, pesado y secado 12 h a 60 °C. Secado por aspersión: atomización a 20.000 rpm, temperatura de entrada 135 °C. Filtración (3 veces) Evaporar hasta una sexta parte de su volumen (evaporador rotativo de vacío). Temperatura del vapor de entrada 110 °C y temperatura del líquido de salida 80 °C.	Rendimiento para SFM 1,17 % de peso seco. Método sencillo en principio para obtener el mucílago a partir del jugo del filocladio. Se obtuvo mayor viscosidad con FCM y FCCM, 0,318 Pa·s, que, con el método simple, 0,101 Pa·s.
MAE (extracción asistida por microondas)	Cladodios	Obtener extracto de mucílago seco.	Molienda MAE: 5 minutos a 700 W y 3 minutos a 900 W Centrifugar, 15 minutos a 4 °C. Precipitar con etanol 95 % (v/v), 8 h a 4 °C.	La MAE tiene características de economización del tiempo de extracción, cantidad de solvente y consumo de energía.

				Lavado del precipitado con etanol 75 % (v/v). Liofilización 12 h a -55 °C.	La recuperación del mucílago extraído aumenta la potencia de microondas. Un aumento en la potencia de microondas mejorará la solubilidad de la muestra para una mayor eficiencia de extracción.
Extracto acuoso de mucílago.	Cladodios enteros de 1 año de edad	Obtención de extracto acuoso de mucílago.	de	Cocción en microondas, 3 - 5 minutos a 900 W Homogenizar. Centrifugar a 8117 x g, 15 minutos a 4 °C. Decantar.	Método sencillo
Extracto de mucílago.	Polvo de cladodios	Obtener extracto mucílago seco.	de	Extracción sólido - líquido con agua destilada en proporción 1:15 (w/v), 90 minutos a temperatura ambiente. Centrifugar 20 minutos a 4000 rpm. Extracción con alcohol isopropílico.	Método sencillo, fácil extracción, poco tiempo de extracción.
Método casero	Cladodios enteros	Obtener extracto mucilago acuoso.	de	Pelado, cortado de los cladodios Cocción de los cladodios con agua en relación 1:2 a 80°C por 1 hora. Filtrado.	Método sencillo.

Fuente: Osorio, 2022, págs. 11-21.

Realizado por: Peralta, 2024.

2.2.1.1.1 Usos

En la actualidad, existen evidencias que explican el rendimiento del mucílago de nopal, dependiendo en gran medida del método de extracción y de las condiciones en que fueron recolectados los cladodios. Es por ello por lo que la industria alimentaria ha llevado a cabo una revisión para explicar algunas aplicaciones del mucílago como aditivo alimentario, debido a sus propiedades gelificantes, espesantes y estabilizantes.

Tabla 2-9: Aplicación y usos del mucílago de nopal

Uso	Producto adicionado	Principales resultados
Estabilizante	Malvaviscos	Sustitución de gelatina por mucílago. Buenas características de consistencia, textura y suavidad del gel fueron alcanzadas
	Huevo deshidratado	El polvo de huevo deshidratado por aspersión en solución de mucílago mostró estabilidad térmica y mecánica, y morfología uniforme y definida
Material de encapsulación	Antocianinas de berenjena	La relación entre porcentaje de eliminación de radicales y concentración de antocianinas se conservó en un 64 % en las muestras tratadas con mucílago y secadas por aspersión.
	Pulpa de tuna amarilla-naranja	Las micropartículas de pulpa de tuna de color amarillo anaranjado, con una mezcla de mucílago y maltodextrina, mantuvieron su color después de 28 días en almacenamiento.
	Betalaínas de los frutos <i>Escontría chiotilla</i> y <i>Stenocereus queretaroensis</i>	Microcápsulas de mucílago suaves y esféricas fueron obtenidas, logrando la retención de betalaínas en más de 90 % después de tres meses de almacenamiento.
Nutracéutico	Pan	La adición de mucílago mejoró la concentración de compuestos bioactivos en el pan.
Material de recubrimiento	Nopal verdura	Disminuyó la tasa de respiración
	Guayaba	Conservación del color, firmeza y sólidos solubles
	Manzana mínimamente procesada	Disminución en la tasa de respiración Disminución en la actividad de pectin - metil esterasa y polifenol oxidasa Se mantuvo la firmeza
	Higo	El peso fresco, la firmeza, el contenido de carotenoides y las características sensoriales fueron mantenidas
	Tomate	Efecto antifúngico contra <i>Rhizopus stolonifer</i> . El fruto aumentó su vida útil.

	Rebanadas de banana deshidratadas	Menor oscurecimiento enzimático. Mejoró el aspecto de las rebanadas de plátano. Preservación de la calidad en almacenamiento.
Otros usos	Leche cruda	Los recuentos bacterianos de mesófilos aeróbicos y coliformes totales fueron reducidos.
	Sopa de elote tipo crema	Igualizó características físicas, como pH, color y viscosidad de la sopa espesada con almidón comercial.

Fuente: Luna et al., 2023, págs. 51-61.

Realizado por: Peralta, 2024.

Estabilizante

El propósito fundamental de los estabilizantes consiste en disminuir la tensión que existe entre dos fases (interfacial), lo que conduce a la formación de una emulsión con una estabilidad coloidal mejorada. Los emulsificantes absorben rápidamente la interfase agua-aceite, lo que permite la estabilización a corto plazo de la emulsión. Además de esta función, previenen la precipitación de partículas dispersas en la emulsión y crean una barrera eficaz contra la coalescencia de las gotas de aceite. Es decir, facilitan la formación de una emulsión estable al evitar que las fases dispersas se separen y aseguran que la emulsión conserve su integridad estructural durante un período de tiempo significativo (Jaimes, Ramírez y Stouvenel, 2017, págs. 66-75).

Material de encapsulación

La microencapsulación se refiere al proceso mediante el cual las gotas de un líquido, partículas sólidas o compuestos gaseosos quedan atrapadas en películas delgadas que forman una matriz, ya sea homogénea o heterogénea. Esta técnica se emplea con el fin de proteger estos compuestos de factores externos, como la temperatura del aire, el pH y la humedad, con el objetivo de preservar la estabilidad y viabilidad de los elementos encapsulados. Los materiales más comúnmente utilizados como encapsulantes son los lípidos, proteínas y polisacáridos (Luna et al., 2023, págs. 51-61).

Nutracéutico

Es un compuesto que ofrece beneficios significativos para la salud de los consumidores y posee diversas propiedades terapéuticas, incluyendo efectos antidiabéticos, antihipertensivos, hipocolesterolémicos, antioxidantes, antimicrobianos, entre otros. Estas propiedades se les atribuyen a vitaminas, tocotrienoles, flavonoides, carotenoides, compuestos alilsulfuros y polifenoles. Además de las propiedades mencionadas, el

mucílago también se ha relacionado con otros efectos sobre la función digestiva y la mejora del sistema inmunológico (Román et al., 2018, págs. 245-253).

Material de recubrimiento

Los recubrimientos comestibles naturales contribuyen de manera sostenible y económica en prolongar la vida útil de los productos frescos o mínimamente procesados, ya que, además de alargar la duración de los alimentos, estos recubrimientos también preservan, hasta cierto punto, las características sensoriales y organolépticas de los productos durante su almacenamiento. Según (Luna et al., 2023, págs. 51-61), los recubrimientos son capaces de reducir la tasa de transpiración, la actividad enzimática, la respiración y la carga microbiana, contribuyendo significativamente al mantenimiento de la firmeza, el color, los compuestos bioactivos y las características sensoriales en frutas y verduras.

2.2.3 Recubrimientos alimentarios

El recubrimiento alimentario se refiere a cualquier tipo de material destinado a rodear ciertos tipos de alimentos con la finalidad de perdurar su vida durante el almacenamiento y puede ser consumidos en conjunto, también suelen proporcionar esterilidad superficial y reduce el daño de otros componentes importantes. Generalmente, su espesor es menor a 0.3 milímetros y a veces es casi imperceptible. En ciertas ocasiones los recubrimientos son confundidos con las películas comestibles pero su aplicación es lo que los hacen diferentes, ya que las películas se realizan por separado y posteriormente se adiciona al alimento (Magnolia y Palma, 2021, págs. 4605-4625).

Los recubrimientos alimentarios, son utilizados para mejorar la calidad y durabilidad de los alimentos y presentan una serie de propiedades beneficiosas. Estos recubrimientos actúan como una barrera física que protege los alimentos de la humedad, el oxígeno y otros factores ambientales, lo que a su vez reduce la oxidación y el deterioro. Además, pueden incorporar ingredientes activos, como antioxidantes o conservantes, que contribuyen a mantener la frescura de los productos (Daza, 2018, págs. 1-5).

2.2.3.1 Diferentes elaboraciones de los Recubrimientos Alimentarios.

Los recubrimientos alimentarios han experimentado un notable crecimiento en las últimas dos décadas debido a los beneficios ambientales que ofrecen en comparación con los recubrimientos sintéticos. Este proceso tiene como objetivo reducir los procesos metabólicos para prolongar la vida útil de los productos y facilitar su distribución y comercialización (Fernández et al., 2017, págs. 134).

- **Recubrimiento elaborado a partir de almidón de yuca:** Se realiza una dilución del almidón con agitación constante a 70°C hasta conseguir una coagulación térmica, luego se le adiciona los aceites y se continúa agitando por 15 minutos, luego de este tiempo se consigue una mezcla estable y homogénea. La metodología puede variar de acuerdo al tipo de almidón a utilizarse (Ordoñez et al., 2014, pág. 795).
- **Recubrimiento elaborado a partir de quitosano:** Se obtiene disolviendo 10 g/kg de quitosano en solución de ácido acético agitado magnéticamente por 48 horas. Después la mezcla se desgasifica y se filtra para eliminar partículas sin disolver. Otros métodos sugieren que el quitosano se disuelve en 80 ml de agua destilada con 0,7 ml de ácido láctico, con agitación magnética e incubado a 22°C, por último, se adiciona glicerol y se agita por 30 minutos a temperatura ambiente (22-25°C) (Leceta et al., 2015, págs. 142-150).
- **Recubrimiento elaborado a base de aloe vera:** La matriz de Aloe Vera o comúnmente conocida como sábila se separa de la corteza exterior, la parte incolora y uniforme se mezcla y se filtra para eliminar las fibras, obteniendo así la base del recubrimiento, luego se diluye 200 ml de mucílago de aloe vera en 4 litros de agua destilada y diversos aditivos que al ser combinados logran generar un óptimo recubrimiento comestible (Benítez et al., 2015, págs. 184-193).
- **Recubrimientos con mezcla de varios componentes:** Se empieza realizando una solución homogénea de almidón de maíz con glicerol, posteriormente efectúa una solución de quitosano con ácido acético, luego la solución se mezcla las soluciones anteriores a 12.500 rpm por 3 minutos. Para finalizar una solución mezcla se le agrega Tween 80 y aceite de girasol, nuevamente se agita a 12.500 rpm para evitar la separación de fases (Fernández et al., 2017, págs. 134).
- **Recubrimiento elaborado con mucílago de nopal:** El mucílago se disuelve en agua a 25°C con agitación constante por 24 horas. Se agrega Grenetina y cera a concentraciones necesarias y se eleva la temperatura a 35°C, luego se agrega Tween 80 y glicerol. Por último, se calienta a 90°C y se mezcla a 12.000 rpm durante 1 minuto más 4 minutos a 22.000 rpm (Salinas et al., 2022, págs. 181-192). La mayoría de los recubrimientos alimentarios a base de mucílago de nopal aún no se ha estandarizado por lo que varias bibliografías disponen ciertas formulaciones con el fin de realizar nuevos aportes en la comunidad científica.

2.2.3.2 *Propiedades*

Retención de Humedad

Cuando se aplica como recubrimiento en frutas y verduras, este mucílago actúa como un protector natural contra la deshidratación. Esto es de particular importancia para productos que son propensos a perder humedad durante el almacenamiento prolongado. La capa de mucílago que rodea el alimento ayuda a mantener un equilibrio óptimo de agua, evitando la pérdida excesiva de humedad y, por lo tanto, contribuyendo a la conservación de la textura, el sabor y la calidad general de los productos frescos (Valencia y Torres, 2016, págs. 162-174).

Formación de Barrera

La película comestible a base de mucílago de nopal funciona como una barrera física efectiva que protege los productos de la exposición a factores ambientales perjudiciales. Al evitar el contacto directo con el oxígeno, la luz y la humedad, esta barrera reduce la oxidación y el deterioro de los alimentos, lo que prolonga su vida útil (Valencia y Torres, 2016, págs. 162-174).

Propiedades Antioxidantes

El mucílago de nopal contiene una serie de antioxidantes naturales, como polifenoles y vitamina C. Estos compuestos antioxidantes desempeñan un papel fundamental en la protección de los alimentos contra la oxidación. Al aplicar recubrimientos de mucílago de nopal en frutas y verduras, se proporciona una defensa adicional contra la degradación de los componentes sensibles al oxígeno. De esta manera, los antioxidantes presentes en el mucílago contribuyen a preservar la calidad nutricional de los productos (Valencia y Torres, 2016, págs. 162-174).

Carácter Biodegradable y Sostenible: Los recubrimientos de mucílago de nopal se destacan por su carácter biodegradable y su origen sostenible. La biodegradabilidad de estos recubrimientos significa que, una vez que cumplen su función, se descomponen de manera segura en el medio ambiente, evitando la acumulación de residuos (Camacho, Vega y Campos, 2011, págs. 292-306).

Minimización de la Proliferación Microbiana

El mucílago se caracteriza por minimizar de la proliferación microbiana en alimentos frescos, envolviendo al alimento para crear una barrera física que limita el acceso de microorganismos, como bacterias y mohos, a la superficie del producto. Si bien el mucílago de nopal no reemplaza por completo la necesidad de medidas de higiene y almacenamiento adecuadas, su capacidad para reducir la exposición de los alimentos a microorganismos puede contribuir a prolongar la vida útil y mantener la seguridad alimentaria (Camacho, Vega y Campos, 2011, págs. 292-306).

2.2.3.3 Componentes

Glicerol

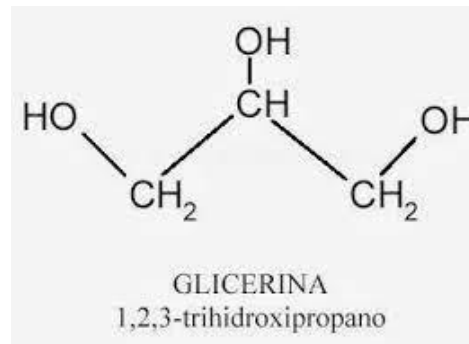


Ilustración 2-4: Estructura química del glicerol

Fuente: Torres, Ben y Pérez, 2019, págs. 18-28.

El glicerol, también conocido como 1,2,3-trihidroxipropano o 1,2,3-propanotriol, es un polialcohol con la fórmula química $C_3H_8O_3$. A temperatura ambiente, se presenta como un líquido viscoso e incoloro, con un ligero sabor dulce y sin olor perceptible. Este compuesto, comercialmente denominado glicerina, es un alcohol que contiene tres grupos hidroxilo (-OH).

Debido a la presencia de los tres grupos hidroxilo, el glicerol tiene propiedades higroscópicas, lo que significa que tiene la capacidad de absorber agua del ambiente. Lo más importante del glicerol es que se vuelve fácilmente soluble en agua y alcoholes, y ligeramente soluble en disolventes orgánicos como éteres y dioxanos, siendo insoluble en hidrocarburos (Lafuente, 2017, págs. 6-7).

Dentro de las formulaciones de los recubrimientos alimentarios, se puede mencionar que el glicerol proporciona varias propiedades beneficiosas como brindar una mejora en la viscosidad, flexibilidad y elasticidad, mejora la textura, actúa como conservante y facilita la compatibilidad con otros ingredientes activos (Vargas et al., 2016, pág. 8-11).

Aceite de oliva

El aceite de oliva es un líquido denso y untuoso de origen vegetal, obtenido a partir de las aceitunas, fruto del olivo (*Olea europea*). Este aceite, es ampliamente conocido por sus beneficios para la salud, su composición se relaciona principalmente por ácidos grasos, siendo el ácido oleico el componente mayoritario. Además de su composición lipídica, contiene una variedad de compuestos bioactivos, como polifenoles y tocoferoles, que le confieren propiedades antioxidantes (Sánchez y Mesa, 2018, págs. 80-94).

El aceite de oliva, también denota propiedades antibacterianas gracias a los polifenoles, quienes han demostrado tener efectos antimicrobianos contra diversas cepas bacterianas. Su capacidad para combatir bacterias lo convierte en un recurso natural valioso para diversas aplicaciones, reforzando aún más su reputación como un producto versátil y beneficioso tanto para la salud como para la higiene (Godínez et al., 2017, págs. 36-43).

Tween 80

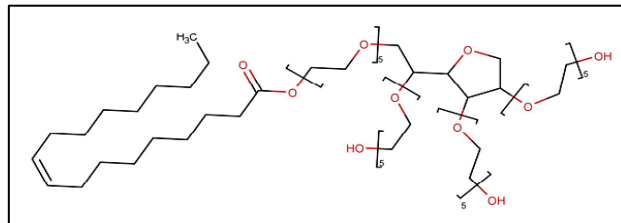


Ilustración 2-5: Estructura química del Polisorbato 80 / Tween 80

Fuente: Kopanichuk et al., 2018, págs. 8047-8055.

El tween 80 también conocido como Polisorbato 80, es considerado como un aditivo alimentario con acción detergente, emulsionando y disolviendo las grasas presentes en una mezcla. Según la Unión Europea, es categorizada como E-433, aprobada e identificada como emulsionante, de color amarillo con características solubles en agua. Según la (Comisión Europea, 2011, págs. 178-204), es una sustancia que no presenta un límite de consumo diario, pero se sugiere que no se consuma más allá de lo necesario.

2.2.3.4 Técnicas de aplicación

Gelación térmica

Este proceso usa un tratamiento térmico que logran forman geles estables con una estructura rígida. Comúnmente utilizado para películas y recubrimientos hechos de proteínas, se caracteriza por ser un proceso en el que la desnaturalización térmica genera inestabilidad en las moléculas proteicas, dando lugar a una estructura estable entre las partículas (Solano, Alamilla y Jiménez, 2018, pág. 30).

Eliminación del disolvente

Se forma una estructura molecular que se estabiliza por interacciones químicas y físicas. La disolución formadora se agrega en un disolvente que contiene plastificantes, agentes de reticulación o solutos; después se elimina el disolvente, y como resultado se obtiene una capa delgada que se seca y es fácil de desprender (Solano, Alamilla y Jiménez, 2018, pág. 30).

Solidificación

Aquí las macromoléculas se disuelven junto al plastificante hasta encontrar una solución homogénea y se vierte en moldes para obtener una capa fina (Solano, Alamilla y Jiménez, 2018, pág. 30).

Método de Casting

Se forma la película por evaporación del disolvente a temperatura y humedad controlada (Solano, Alamilla y Jiménez, 2018, pág. 30).

Microfluidización

Es un proceso en el que se implementan micro canales para realizar dispersiones y obtener nanopartículas que proporcionan películas con mejores propiedades físicas, luego se usa el método de casting para culminar con el proceso de la formación de la película (Solano, Alamilla y Jiménez, 2018, pág. 30).

Pulverización electrodinámica

Método por el cual se realiza una atomización del líquido que formará la película por acción de fuerzas eléctricas. Las gotas que se obtienen son pequeñas y esto genera ventaja ya que se tiene una película puede llegar a medir nanómetros (Solano, Alamilla y Jiménez, 2018, pág. 30).

2.2.4 *Análisis proximal*

2.2.4.1 *Humedad*

El análisis bromatológico de la humedad implica la determinación del porcentaje de agua presente en frutas, vegetales, harinas, cereales, y otros productos alimenticios. Esta técnica reviste una gran importancia y su aplicación es habitual en los procesos de producción, conservación y control de calidad, dado que muchos productos exhiben niveles significativos de humedad, especialmente las frutas y vegetales, y su presencia en los alimentos suele ser un indicador del tiempo de estabilidad del producto (Vargas et al., 2019, págs. 1-11).

2.2.4.2 *Ceniza*

La prueba de ceniza constituye un proceso de incineración destinado a eliminar la materia orgánica y discernir la fracción mineral presente en los alimentos. No obstante, las sales metálicas de los ácidos orgánicos experimentan transformaciones durante la incineración, convirtiéndose

en carbonatos, óxidos, fosfatos, sulfatos o haluros, y escapando en forma de gases volátiles, lo que imposibilita su retención en las cenizas. En virtud de ello, la determinación de la variabilidad mineral resulta ser un desafío, y se sugiere que la temperatura en la mufla no debe exceder los 550 °C, a fin de evitar la pérdida de otras sustancias debido a la volatilización (Méndez, 2020, págs. 5-66).

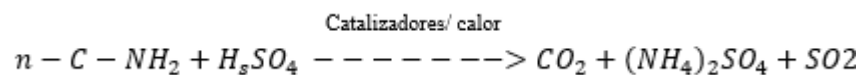
2.2.4.3 Proteína

Existen diversas técnicas disponibles para determinar el contenido proteico de los alimentos. La modalidad más prevalente consiste en una aproximación indirecta, la cual se basa en la estimación del contenido proteico a partir del análisis del nitrógeno presente en la muestra, o bien, mediante la deducción basado de la presencia de uno o dos aminoácidos específicos que constituyen la proteína. No obstante, el segundo enfoque exhibe una mayor imprecisión. Es por esta razón que la técnica Kjeldahl ha sido empleada durante más de un siglo para analizar el nitrógeno, siendo reconocida como un método oficial por distintas normativas, tales como la ISO, US-EPA, AOAC, Farmacopeas y diversas Directivas Comunitarias (Iturbe y Sandoval, 2011, págs. 20-26).

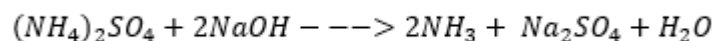
2.2.4.3.1 Método Kjeldahl

Este método comprende 3 fases que detallan a continuación:

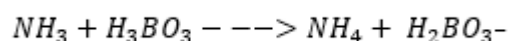
1. Digestión: caracterizado por aplicar ácido sulfúrico concentrado (H₂SO₄), en conjunto de un catalizador y ebullición para convertir el nitrógeno orgánico en ion amonio



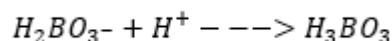
2. Destilación: La muestra digerida se alcaliniza y el nitrógeno se desprende en forma de amoníaco (NH₃).



El NH₃ destilado se extrae sobre un exceso de H₃BO₃ desconocido.



3. Valoración: El nitrógeno amoniacal se cuantifica mediante una volumetría ácido-base del ion borato formado, utilizando HCl o H₂SO₄, y una disolución alcohólica de una mezcla de rojo de metileno y azul de metileno como indicador (Segovia, 2014, págs. 2-6).



2.2.4.4 Grasa

Los métodos de extracción con disolventes orgánicos como Soxhlet, Goldfish y Mojonnier suelen usarse para calcular el contenido total de lípidos; sin embargo, también se pueden usar métodos de extracción que no incluyen disolventes y métodos instrumentales que se basan en las propiedades físicas o químicas de los lípidos (Iturbe y Sandoval, 2011, págs. 20-26).

2.2.4.4.1 Método Soxhlet

Es una extracción semicontinua que utiliza un solvente orgánico generalmente hexano o éter. Este método calienta, volatiliza y condensa el disolvente goteando sobre la muestra, de manera que queda sumergida en el disolvente. Posteriormente, se sifonea en el matraz de calentamiento para reanudar el procedimiento. El matraz con extracto lipídico y el matraz a peso constante tienen una diferencia de peso para calcular el contenido de grasa (Iturbe y Sandoval, 2011, págs. 20-26).

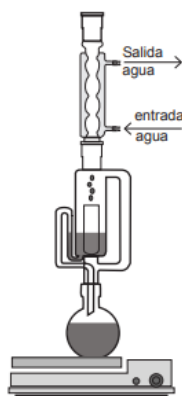


Ilustración 2-6: Referencia del método de extracción Soxhlet

Fuente: Iturbe y Sandoval, 2011, págs. 20-26.

2.2.4.5 Fibra

Uno de los componentes de los alimentos de origen vegetal es la fibra bruta, también conocida como fibra dietaria, que se compone principalmente de celulosa, lignina, suberina, cutina,

alginatos y pectinas. Las estructuras celulares de las plantas se conforman con estos componentes y con trazas de sustancias nitrogenadas. En términos fisiológicos, la fibra disminuye el vaciamiento gástrico y por ende existe una sensación de saciedad, reduce los niveles de colesterol, facilita la formación de ácidos grasos de cadena corta para facilitar la absorción de calcio, promueve la proliferación de la flora intestinal y reducir la formación de células tumorales, además de otras propiedades (Romero, 2016, págs. 1-7).

2.2.4.6 Extracto libre no nitrogenado

El extracto libre no nitrogenado es la fracción más valiosa del alimento que se compone de mono y disacáridos, la parte soluble de la celulosa, las pentosanas y la lignina, las hemicelulosas, el almidón, la inulina y toda clase de azúcares, materias pépticas, ácidos orgánicos y otras materias solubles libres de nitrógeno. Los carbohidratos, a excepción de los polisacáridos, son generalmente solubles en agua debido a su fuerte polaridad. Por ello, esta medida se aplica a los nutrientes que no se analizan utilizando los métodos descritos en el análisis proximal y para obtener este parámetro se debe restar del 100% cada porcentaje de los ítems antes valorados (Méndez, 2020, págs. 5-66).

2.2.5 Análisis complementario

2.2.5.1 Metales pesados

Los metales pesados son elementos químicos de alta densidad que presentan riesgo tóxico para la salud humana, con valores que se encuentren por encima de 4,5 g/cm³ hasta 7 g/cm³. Entre los más perjudiciales se encuentran el mercurio (Hg), el plomo (Pb), el cadmio (Cd) y el talio (Tl), así como los semimetales como el arsénico (As) y el selenio (Se), y los elementos ligeros como el berilio (Be) y el aluminio (Al). La absorción de metales por parte de las plantas está sujeta a factores, como la concentración total de metales en el suelo, el tipo de agua empleado en el riego, las prácticas agrícolas empleadas y las estrategias adoptadas para tolerar elevadas concentraciones de metales pesados. Estos elementos representan una amenaza para la calidad de los alimentos y por tanto para la salud humana, ya que pueden generar efectos adversos a la salud y en muchos casos son cancerígenos (García, Bravo y Pérez, 2022, págs. 122-135).

La Espectroscopia de Masas por Plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) surge como una técnica analítica destinada a la determinación precisa de concentraciones de una gran variedad de elementos y trazas isotópicas presentes en una amplia variedad de muestras. Esta metodología agrupa la potencia de una fuente de plasma de argón, capaz de generar iones, con la sensibilidad

característica en la detección mediante la espectrometría de masas. La combinación de estos elementos confiere a la ICP-MS una capacidad para explorar la composición elemental de las muestras con una gran exactitud y sensibilidad (Ríos y Hernández, 2020, págs. 4-15).

2.2.5.2 *Macro y micronutrientes*

2.2.5.2.1 Vitamina C

La vitamina C o ácido ascórbico, cumple funciones importantes dentro del organismo humano como neutralizar a los radicales libres, generar la vitamina E, potenciar al hierro y actúa como cofactor de enzimas. Actualmente la ingesta diaria de vitamina C, puede variar de acuerdo al país en donde se consuma, ya que esto se ve regulado de acuerdo al sexo, grupo etario y grupo de riesgo, pero de acuerdo a las revisiones bibliográficas, la ingesta diaria debe alcanzar una concentración plasmática cercana a 50 μM y como mínimo 30 μM (Villagrán et al., 2019, págs. 800-808).

El análisis se fundamenta en la generación de una coloración oscura mediante la interacción entre el yodo y el almidón, un proceso que se lleva a cabo en ausencia de vitamina C. Este fenómeno de coloración azulada surge debido a la inserción de los iones yodo disueltos en la hélice de amilosa. Sin embargo, cuando el yodo entra en contacto con el ácido ascórbico, se produce su reducción a iones yoduro, al mismo tiempo que la vitamina C se convierte en ácido dehidroascórbico. En otras palabras, el complejo azul no se forma hasta que la vitamina no se haya oxidado por completo (Campos, 2021, págs. 14-16).

2.2.5.2.2 Hierro (Fe)

El hierro desempeña un papel decisivo en el desarrollo y crecimiento del cuerpo humano. Es un elemento fundamental en la síntesis de hemoglobina, la proteína encargada de transportar el oxígeno a todas las células del organismo, así como en la producción de mioglobina, que facilita la entrega de oxígeno a los músculos. Además, el hierro es necesario para la formación del tejido conectivo y la regulación hormonal. Debido a estas funciones vitales, las necesidades diarias de ingesta de hierro varían según la edad y el sexo de cada individuo. Sin embargo, las personas que siguen una dieta vegetariana enfrentan el desafío de absorber el hierro no hemo presente en frutas, alimentos fortificados y vegetales, el cual no se absorbe con la misma eficiencia que el hierro hemo de origen animal. Por lo tanto, los vegetarianos deben estar sujetos al doble consumo de hierro para prevenir la anemia y satisfacer las demandas metabólicas durante el crecimiento (National Institute of Health, 2022, págs. 1-3).

El procedimiento utilizado para analizar la presencia de hierro (Fe) y otros minerales es la espectroscopia de absorción atómica, una técnica que se apoya en la capacidad de los átomos para absorber radiación de una longitud de onda específica. Los átomos que cuentan con niveles energéticos coincidentes con la energía de los fotones incidentes absorben selectivamente la radiación emitida. La determinación de la cantidad de fotones absorbidos se realiza empleando la ley de Lambert-Beer, la cual establece una correlación entre la disminución del poder radiante, la concentración de la sustancia absorbente y la densidad del recipiente que alberga los átomos absorbentes (Peñaloza et al., 2023, págs. 157-176).

2.2.5.2.3 Potasio (K)

El potasio se encuentra abundantemente presente en frutas, verduras crudas, así como en las cortezas, cáscaras y tallos de diversos vegetales comestibles. Este mineral es esencial para una amplia gama de funciones orgánicas, incluido el adecuado funcionamiento de los riñones y el corazón, la contracción muscular y la transmisión nerviosa. Se ha teorizado que la ingesta de potasio ha sido un requisito crucial a lo largo de la evolución y la historia de las especies. Es posible que, debido a esta importancia, los riñones cuenten con la capacidad de eliminar con facilidad el exceso de este elemento de nuestra corriente sanguínea (National Institute of Health, 2019, págs. 1-4).

2.2.5.2.4 Calcio (Ca)

El calcio es un elemento importante para la formación y el mantenimiento de una estructura ósea robusta, así como para llevar a cabo una variedad de funciones en el organismo. Se destaca por ser el mineral más abundante en el cuerpo humano, principalmente almacenado en los huesos y dientes, proporcionándoles rigidez y firmeza. Su presencia es fundamental para la contracción muscular, la transmisión nerviosa y la liberación de hormonas que regulan numerosos procesos corporales. Además, contribuye al adecuado funcionamiento del sistema circulatorio al facilitar el flujo sanguíneo a través de los vasos. La absorción del calcio se ve facilitada por la presencia de vitamina D, lo que subraya la importancia de una ingesta equilibrada de ambos nutrientes para mantener la salud ósea y el funcionamiento fisiológico óptimo (National Institute of Health, 2022, págs. 1-6).

2.2.5.2.5 Fosforo (P)

El fósforo (P) constituye uno de los minerales primordiales, con una presencia en el cuerpo humano que puede alcanzar hasta los 800 gramos en un adulto. Aproximadamente el 85% del

fósforo corporal se encuentra concentrado en los huesos y dientes, mayormente en forma de hidroxiapatita. El fósforo restante se distribuye en diversos órganos y tejidos, como el hígado, los músculos, el intestino, el tejido nervioso, la piel, entre otros, mayoritariamente en forma de ésteres orgánicos. En los fluidos biológicos, el fósforo se halla presente en la forma de iones fosfato. Este desempeña un papel fundamental en el metabolismo de los carbohidratos, lípidos y proteínas, actuando como cofactor en numerosos sistemas enzimáticos. Además, contribuye al potencial metabólico al formar compuestos de alta energía, principalmente a través del adenosín trifosfato (ATP), aunque también mediante el guanosín trifosfato (GTP), el inosín trifosfato (ITP) y otros nucleótidos (National Institute of Health, 2019, págs. 1-3).

2.2.6 Análisis Físico-Químico

2.2.6.1 pH

El pH es un indicador de la concentración de iones hidrógeno presentes en una solución, siendo este un parámetro determinante del nivel de acidez. Según la definición de Bronsted-Lowry, los ácidos y las bases se relacionan con la concentración de los iones hidrógeno. Es decir, los ácidos incrementan dicha concentración, mientras que las bases tienden a reducir, lo que posibilita la comprobación de la acidez o alcalinidad (Gatto y García, 2017, págs. 1-10).

Generalmente, se recurre a un sistema de electrodos para la medición del pH. Este sistema consta de un electrodo de referencia que ofrece un voltaje constante e inmutable a lo largo del tiempo, independientemente de las condiciones externas, así como de un sensor de pH cuyo voltaje varía de manera proporcional a la actividad de los iones hidrógeno en la solución. El voltímetro, o medidor, registra la diferencia de potencial establecida entre el electrodo de referencia y el electrodo sensible al pH. Al final el valor se puede visualizar en unidades mV o pH (Toledo, 2016, pág. 60).

2.2.6.2 °Brix

Los sólidos solubles totales, representan una técnica convencional empleada para estimar la cantidad aproximada de sacarosa pura presente en vinos, líquidos procesados, frutas, jugos y otros alimentos. La relación que existe entre los grados Brix y la sacarosa es equivalente, es decir, 1° Brix corresponde a 1g de sacarosa. En cuanto a la determinación, esta se lleva a cabo mediante un refractómetro, un instrumento que se basa en la medición del fenómeno de refracción, el cual

se sostiene en la observación del ángulo crítico generado por la reflexión total al atravesar un medio con un índice de refracción diferente (Salazar, Pacheco y Caballero, 2019).

2.2.6.3 *Acidez titulable*

Los ácidos orgánicos presentes en los alimentos influyen en el sabor, color y la estabilidad de estos. Entre los ácidos más conocidos de las frutas tenemos a él málico, cítrico y el tartárico, pero en cuanto a su contenido de acidez puede ser muy variable. La cuantificación se determina al encontrar un punto de equivalencia por medio de una volumetría ácido-base al usar hidróxido de sodio al 0.1 N y fenolftaleína o un pH-metro (Salazar, Pacheco y Caballero, 2019).

2.2.7 *Análisis microbiológico*

2.2.7.1 *Mohos y levaduras*

Los mohos, son integrantes del reino *Fungi*, se caracterizan por su estructura eucariota, albergando un núcleo delimitado por membrana que contiene material genético. Usualmente, el término "moho" se atribuye a ciertos hongos multicelulares filamentosos que exhiben un micelio verdadero, de tamaño microscópico, y cuyo desarrollo en los alimentos se distingue por su aspecto aterciopelado o algodonoso. Aunque son perceptibles a simple vista, generan estructuras reproductoras y vegetativas de índole imperceptible, requiriendo el auxilio de instrumentos microscópicos para su estudio detallado (Salazar, 2016, págs. 16-40).

Las levaduras, se presentan como organismos unicelulares que se desarrollan en disposiciones de agregados sueltos, adoptando formas que pueden ser ovoides, piriformes, globosas, alargadas o casi cilíndricas. La mayoría de las levaduras encuentran aplicación en la industria alimentaria, donde desencadenan procesos fermentativos esenciales para la producción de alimentos, como el pan, el vino, la cerveza y la sidra, entre otros. Sin embargo, también pueden desempeñar un papel crucial en los procesos de alteración de los alimentos (Salazar, 2016, págs. 16-40).

Papa Glucosado Agar es un medio de aislamiento y recuento de hongos y levaduras en productos farmacéuticos, alimenticios y otros materiales de importancia sanitaria cumpliendo con los requerimientos de Farmacopeas Europeas, Japonesa y de Estados Unidos. Los microorganismos se desarrollan en un ambiente de aerobiosis, a una temperatura controlada de 30 ± 2 °C durante un lapso de 72 horas, lo que permite una evaluación de su presencia y concentración en la muestra analizada (Britania, 2021a, págs. 1-2).

2.2.7.2 *Coliformes*

Los coliformes, son bacterias que adoptan la morfología de bacilos facultativos aerobios de naturaleza gramnegativa, carecen de la capacidad de esporulación y se distinguen por su habilidad para fermentar la lactosa. La cuantificación de estas entidades bacterianas se erige como un indicador primordial para evaluar la seguridad microbiológica de los alimentos. Estas bacterias fermentan la lactosa a temperaturas comprendidas entre los 35 °C y los 37 °C, en un lapso de 24 ± 2 horas, sobre agar Violet Red Bile Dextrose (VRBD) (Párraga y Pilla, 2013, págs. 48).

2.2.7.3 *Aerobios mesófilos*

Los microorganismos aerobios mesófilos, están dotados de la capacidad de proliferar en entornos de aerobiosis, con un rango térmico que oscila entre los 20 °C y los 45 °C, alcanzando su punto ideal entre los 30 °C y los 40 °C. La cuantificación total no proporciona información detallada sobre la diversidad de los microorganismos presentes. Los alimentos, albergan comunidades microbianas variadas, desde poblaciones escasas en la mayoría de los productos preparados hasta cifras considerablemente significativas en alimentos sometidos a procesos fermentativos. En ciertas circunstancias, estos microorganismos pueden portar agentes patógenos o sus correspondientes toxinas, representando un riesgo potencial para la salud del consumidor (Amazará y Quintero, 2022, págs. 1-6).

El Recuento en Placa Agar es el medio de cultivo selectivo empleado para el recuento de las bacterias aeróbicas en aguas residuales, aguas, productos lácteos y otros productos alimenticios. Para su crecimiento se utilizan temperaturas de 32 °C a 35 °C por un periodo de 24 a 48 horas (Britania, 2021b, págs. 1-2).

CAPITULO III

3 MARCO METODOLÓGICO

3.1 Enfoque de investigación

De acuerdo con las características de la investigación y en consonancia con los objetivos planteados, se determina que el presente trabajo posee un enfoque cuantitativo, ya que el propósito es obtener datos numéricos relacionados con los tiempos de preservación de las frutillas tratadas con el recubrimiento alimentario elaborado a partir de distintas concentraciones de mucilago de nopal, con el fin de explorar una nueva alternativa para la preservación de las características bromatológicas de frutas y vegetales.

3.2 Nivel de investigación

Esta investigación se distingue por su naturaleza experimental, ya que implica la manipulación controlada de variables como la temperatura, el pH y la concentración, entre otras, con el objetivo de analizar y evidenciar su influencia en las características bromatológicas de las fresas.

3.3 Diseño de la investigación

3.3.1 *Según o no de la manipulación de la variable independiente*

El presente estudio se enmarca en un contexto experimental, ya que involucra la manipulación de la variable independiente.

3.3.2 *Según las intervenciones en el trabajo de campo*

Este estudio se categoriza como un diseño de investigación longitudinal, ya que involucra la recolección de múltiples muestras, y la ejecución de varios análisis a lo largo del período experimental.

3.4 Tipo de estudio

El presente estudio se enmarca en una investigación de campo, puesto que implica la recolección del material vegetal necesario de *Opuntia ficus-indica* y *Fragaria x ananasa* dentro del cantón Salcedo de la provincia Cotopaxi. Esta experimentación permite la preparación de los

recubrimientos alimentarios, generando datos con relevancia contextual para contribuir significativamente al conocimiento en la comunidad científica.

3.5 Diseño experimental

Se realizó un análisis de varianza ANOVA de un solo factor con la aplicación de la prueba de Tukey en el aplicativo SPSS, además posee un enfoque correlacional para elegir la mejor formulación a partir del tipo de extracto de mucílago.

3.6 Población y planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra

3.6.1 Población y planificación

La población objeto de estudio está conformada por las pencas del nopal, las cuales contienen un compuesto especial conocido como mucílago, esencial en la elaboración de recubrimientos alimentarios, específicamente su uso en este trabajo para frutillas debido a su corto tiempo de vida; buscando reducir su deterioro y evaluar la eficiencia del recubrimiento alimentario. Por ello la población de estudio en el presente trabajo experimental constituyen los recubrimientos alimentarios en fresas.

3.6.2 Selección y cálculo de la muestra

Para seleccionar la materia vegetal se realizará un muestro al azar, considerando conseguir alrededor de 8 kg pencas de nopal y 2 kg de frutillas, además, deben presentar características necesarias para la elaboración del trabajo experimental.

3.6.2.1 Criterio de inclusión

- Los mejores cladodios de *Opuntia ficus-indica* que presenten buen estado, además, deben poseer superficies integrales.
- Los cladodios de nopal deben poseer como máximo 3 años.
- Los mejores frutos de *Fragaria x ananasa* que presenten buen estado, deben contener superficies integrales, uniformidad de tamaño.

3.6.2.2 Criterio de exclusión

- Aquellos materiales vegetales que presenten daños por acción de animales o insectos.
- Cladodios de nopal que se encuentren en proceso de descomposición, presenten cortes o con contaminación fúngica.
- Frutilla que se encuentren golpeadas, en procesos de descomposición, que se hayan recogido verdes y que tenga contaminación fúngica.

3.7 Métodos, técnicas e instrumentos de investigación

3.7.1 Diseño experimental

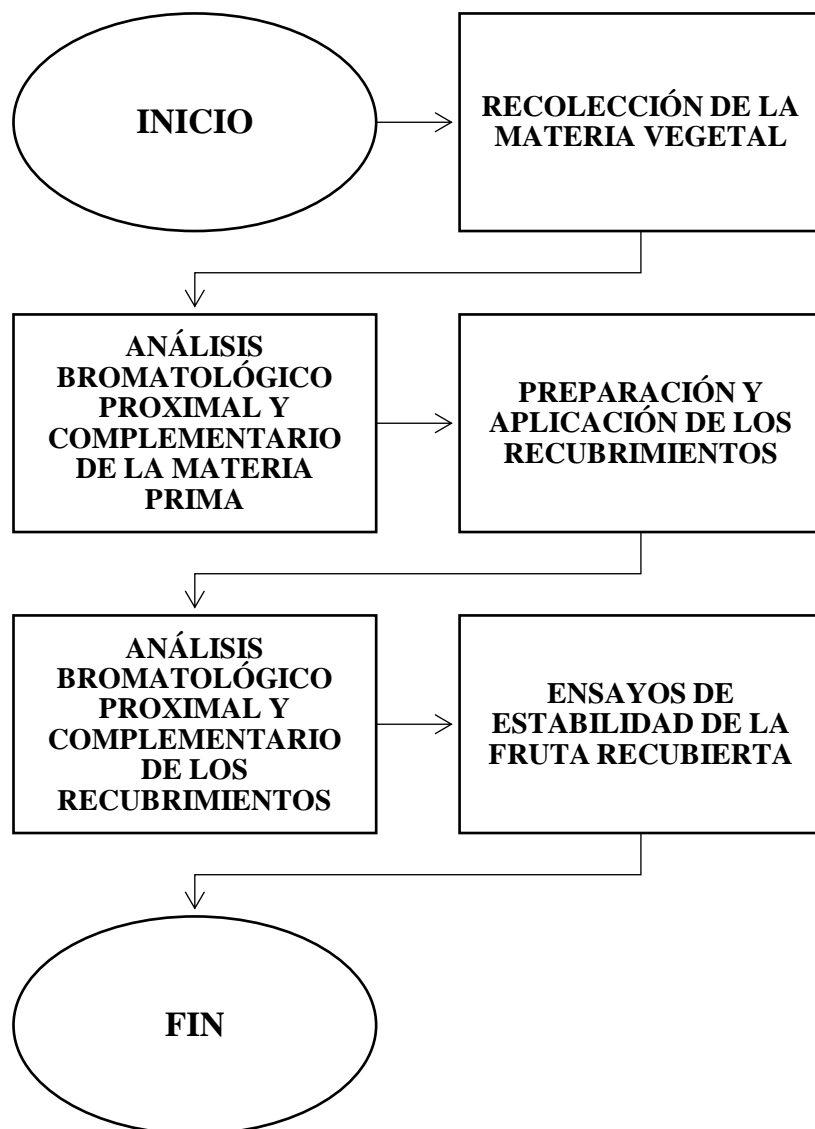


Ilustración 3-1 Diseño experimental

3.7.2 Materia prima

- Frutilla (*Fragaria x ananasa*)
- Nopal (*Opuntia ficus-indica*)
- Aceite de oliva

3.7.3 *Materiales*

- Vaso de precipitados 50, 100, 500, 1000 ml.
- Balón de aforo 50, 100 ml
- Tubo de vidrio borosilicato
- Soporte universal
- Condensador
- Bureta
- Matraz Erlenmeyer 250, 500, 1000
- Crisoles
- Capsulas
- Condensador
- Pinzas para crisoles
- Pinzas universales
- Tubos Kjeldahl
- Papel filtro
- Mortero
- Termómetro
- Pipeta automática
- Probeta 50, 100 ml
- Embudo de Buchner
- Kitasato

3.7.4 *Equipos*

- Estufa
- Mufla
- Analizador de fibra ANKOM 2000
- Incubadora
- Unidad de destilación-NTK
- Unidad de Digestión-NTK
- Balanza analítica

- Sorbona
- Sistema de extracción de gases
- Rotavapor
- Reverbero
- pH-metro
- Refractómetro
- Autoclave
- Refrigerador
- Equipo de absorbancia atómica
- Equipo ICP-MS

3.7.5 Reactivos

- Ácido Sulfúrico 98 %
- Hexano 100 %
- Ácido nítrico al 15%
- Ácido clorhídrico 37 %
- Indicador mixto (rojo de metilo y verde de bromuro)
- Ácido bórico
- Hidróxido de sodio
- Peróxido de hidrógeno al 30 %
- Agua destilada
- Yodo
- Almidón
- Etanol al 96 %
- Éter 99%
- Tween 80
- Glicerol

3.7.6 Medios de cultivo

- Peptona
- Agar PCA
- Agar PDA
- Agar VRBD

3.7.7 Formulación utilizada para la elaboración de los recubrimientos alimentarios

Tabla 3-1: Diseño experimental utilizado para la elaboración de yogurt

Formulación	Cantidad de mucílago líquido (ml)	Cantidad de mucílago rehidratado (ml)	Cantidad de agua	Cantidad de glicerol	Cantidad de aceite de oliva	Cantidad de Tween 80
F1	100	0	100	20	0,5	0,1
F2	150	0	50	20	0,5	0,1
F3	180	0	20	20	0,5	0,1
F4	0	100	100	20	0,5	0,1
F5	0	150	50	20	0,5	0,1
F6	0	180	20	20	0,5	0,1

Realizado por: Peralta, 2024.

3.7.8 Análisis Bromatológico proximal

3.7.8.1 Preparación de la muestra

- Triturado de la materia vegetal. En el caso del mucílago, solo será necesario que sea extraído.
- Colocar las muestras en crisoles para secarlas en la estufa a 90 °C por 24 horas.
- Molienda de las muestras secas.
- Almacenar en fundas Ziploc.
-

3.7.8.2 Humedad

- Codificar las capsulas de porcelana con lápiz.
- Tarar el crisol a 105°C durante 24 horas con la finalidad de eliminar la humedad.
- Pasar al desecador durante 30 minutos hasta que logre alcanzar la temperatura ambiente.
- Anotar el peso del crisol.
- Añadir 5 gramos de muestra.
- Colocar en la estufa durante 24 horas a 105°C.
- Después de las 24 horas pasar al desecador por 30 minutos para que alcance la temperatura ambiente.
- Pesar la muestra y calcular con la siguiente fórmula:

$$\%H = \frac{(\text{Peso cápsula} + \text{muestra fresca}) - (\text{peso cápsula} + \text{muestra})_{\text{secos a } 105^{\circ}\text{C}}}{(\text{peso cápsula} + \text{muestra fresca}) - (\text{peso cápsula})} * 100$$

Ecuación 1

3.7.8.3 Cenizas

- Codificar los crisoles con lápiz, antes de continuar con el proceso.
- Tarar los crisoles a 105 °C por al menos 24 horas para eliminar la humedad.
- Pasar al desecador por 30 minutos con el objetivo de que alcance la temperatura ambiente.
- Pesarse el crisol para asegurarse de tener un peso estable y contante. Anotar el peso.
- Colocar 5 gramos de la muestra y anotar el peso.
- Con ayuda de unas pinzas llevar el crisol con la muestra hacia la mufla y programar la temperatura de 500 a 550 °C durante 24 horas.
- Sacar de la mufla y colocar en el desecador por 2 horas.
- Pesarse el crisol, con cada dato recopilado y proceder a realizar el siguiente calculo:

$$\%C = \left(\frac{m1 - m}{m2 - m} \right) * 100$$

Ecuación 2

En donde:

%C = contenido de cenizas en porcentaje de masa

m= masa de la capsula vacía

m1= masa de la capsula con la muestra después de la incineración

m2= masa de la capsula con muestra antes de la incineración

3.7.8.4 Proteína

Se determinó mediante el método macro Kjeldahl (Gavilanes, Chuquín y Valverde, 2023, págs. 69-74), que se detalla a continuación:

- **Preparación de reactivos**

Hidróxido de sodio al 40 %: colocar 400 gramos de NaOH en un vaso de precipitación, añadir agua y agitar lentamente hasta que se disuelva las hojuelas de NaOH, una vez disuelto esperar que se enfríe y llevar a 1 litro.

Ácido bórico al 2%: colocar 20 gramos de H₃BO₃ en un vaso de precipitación, mezclar con agua y agitar. Usar un reverbero para facilitar el proceso. Dejar enfriar y luego aforar a 1 litro.

Preparación de HCl 0.1 N: Colocar 8.35 ml de HCl al 37% y aforar a 1 litro.

Procedimiento

- Pesar 1 gramos de a muestra seca
- Colocar en el tubo de digestión y registrar los pesos
- Depositar 3.4 gramos de K_2SO_4 y 0.2 gramos de $CuSO_4$ en el tubo de digestión
- Agregar 20 ml de H_2SO_4 al 98%

Digestión

- Colocar los tubos Kjeldahl en el digestor, verificar que la cabina de extracción de vapores este encendida y que el digestor esté conectado con el Scrubber (lavados de gases)
- Culminada la digestión, sacar los tubos para poder enfriar hasta la temperatura ambiente.

Destilación

- Encender la unidad de destilación, abrir la válvula de paso de agua para el condensador.
- Colocar un Erlenmeyer de 500 ml.
- Proceder con la destilación siguiendo las instrucciones del equipo.
- El equipo automáticamente dosificará 50 ml de una solución de H_3BO_3 al 2% en el Erlenmeyer, 50 ml de agua destilada y 70 ml de NaOH al 40% en el tubo de digestión.
- Añadir 5 gotas del indicador mixto rojo de metilo y verde bromocresol luego agite para que se homogenice.
- Retirar el Erlenmeyer con el destilado sacudiendo la boquilla de la manguera del condensador.

Estandarización

Para el cálculo de estandarización de HCl se utilizará la siguiente fórmula:

$$N = \frac{g_{Na_2CO_3} * 1000}{ml\ de\ HCl * \left(\frac{105.988}{2}\right)}$$

Ecuación 3

Donde:

N = Normalidad estandarizada de HCl

ml de HCl= Volumen de HCl gastado en la estandarización

105.988= Peso molecular de Carbonato de Sodio

Titulación

Titular hasta el cambio de color con HCl 0.1 N estandarizado. Anotar el volumen consumido.

El contenido de Nitrógeno Total de Kjeldahl en alimentos se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$NTK \frac{mg}{Kg} = \frac{((ml\ HCl)_{muestra} - (ml\ HCl)_{Blanco}) * 14 * N\ HCl * 1000}{WM}$$

Ecuación 4

$$\%NTK = \frac{NTK\ mg/Kg}{10000}$$

Ecuación 5

Donde:

N= Normalidad de HCl

WM=Masa de muestra utilizado en el ensayo

ml HCl muestra= Volumen de HCl gastado en la titulación de la muestra

ml HCl blanco= Volumen de HCl gastado en la titulación del blanco

Para convertir el resultado de nitrógeno Kjeldahl en contenido de proteína, se usa un factor de conversión dado para alimentos que es:

Factor conversión general: 6.25 (se asume que la proteína contiene aproximadamente el 16% de nitrógeno).

3.7.8.5 Grasas

Se determino a través del método Soxhlet (Gavilanes, Chuquín y Valverde, 2023, págs 64-69), descrito a continuación:

- Pesar 2 gramos de la muestra seca
- Colocar la muestra pesada en tubos.
- Realizar la digestión por 3 horas.
- Filtrar la muestra con papel filtro para obtener la parte sedimentada.
- Secar el papel filtro en la estufa a 90°C por 24 horas.

- Colocar el papel filtro en bolsas realizadas con papel filtro.
- Pesar los balones que son usados en el sistema de extracción
- Colocar las bolsas en el sistema de extracción con hexano.
- Llevar la extracción al rotavapor para separar la grasa del hexano.
- Pesar los balones y obtener el resultado por diferencia de masas.

$$\% \text{ Grasas} = \left(\frac{\text{Peso Final Balón} - \text{Peso Balón Vacío}}{\text{Peso muestra}} \right) * 100$$

Ecuación 6

3.7.8.6 Fibra

Este proceso se realiza mediante el uso del analizador de fibra ANKOM 2000 (ANKOM, 2021 , págs. 2-44), se detalla a continuación:

- Tarar los crisoles a 105 °C por 24 horas, colocar en el desecador por 45 minutos y luego anotar el peso.
- Tarar las bolsitas a 105 °C por 24 horas, colocar en el desecador por 45 minutos y posteriormente pesar (W1).
- Enumerar las bolsitas con marcador que evite ser borrado durante el proceso.
- Pesar 0.5 gramos de la muestra y colocar en cada bolsita (W2).
- Cerrar las bolsitas con el sellador haciendo presión de 2 a 3 segundos.
- Mezclar 7 ml de H₂SO₄ con agua destilada para aforar a 1L y agregarlo al equipo de extracción.
- Mezclar 12.5 gramos de NaOH con agua destilada para aforar a 1L y agregar al equipo de extracción.
- Llevar las bolsitas con muestra al equipo de extracción de fibra por 3 horas.
- Colocarlas en la estufa a 105°C por 1 hora.
- Pasar al desecador por 45 minutos.
- Pesar las bolsitas con muestra y anotar el peso.
- Colocar las muestras en los crisoles tarados y llevarlos a la mufla por 3 horas.
- Sacar los crisoles y ponerlos en el desecador por 45 minutos.
- Pesar los crisoles (W3).
- Realizar los cálculos con la siguiente formula:

$$\%F = \frac{100 * (w3 - (w1 * C1))}{W2}$$

Ecuación 7

En donde:

W1= Peso de la bolsa tarada

W2= Peso de la muestra

W3= Peso de la ceniza

C1= Peso después de la estufa / bolsa blanco

3.7.9 Elaboración de los recubrimientos alimentarios

Este proceso se llevó a cabo de acuerdo a lo expuesto por (Vargas, Vera y Suppé, 2019, págs. 305-314), (Todhanakasem et al., 2022, págs. 2-16) y (Salinas et al., 2022, págs. 181-192):

Extracción del mucílago

- Retirar las espinas de los cladodios y posteriormente lavarlas con abundante agua.
- Retirar la parte externa de los cladodios.
- Cortar la parte interna en cubos pequeños y pesar.
- Colocar los cubos en un recipiente grande junto con el doble de agua.
- Calentar por 1 hora a 80°C.
- Filtrar y obtener la parte acuosa. Una parte almacenarla (Mucílago líquido).
- La otra parte mezclarla con etanol al 96°C y esperar que precipite el mucílago.
- Separar el mucílago del etanol.
- Colocar el mucílago en bandejas y llevarlo al desecador de 48 a 72 horas a 40°C.
- Triturar y almacenar (Mucílago seco).

Recubrimientos

Este proceso se llevó a cabo de acuerdo a lo expuesto por (Shinga y Fawole, 2023, págs. 1-16) y (Brindis et al., 2020, págs. 3-13) con ligeras modificaciones:

- En tres recipientes (de acuerdo con cada formulación) colocar el mucilago líquido junto con glicerol, aceite de oliva y tween 80.
- Mezclar vigorosamente por 5 minutos.
- En un recipiente grande agregar el mucílago liofilizado con agua destilada, mezclar y dejar rehidratarse por 24 horas.
- Agregar una parte del mucílago rehidratado junto con el glicerol, aceite de oliva y tween 80. Esto en tres envases a las concentraciones descritas en la formulación.
- Mezclar por 5 minutos.

Aplicación de los recubrimientos

- Higienizar las frutillas con una solución de vinagre al 2%.
- Secar muy bien las frutillas con toallas de papel.
- Sumergir las frutillas en cada formulación por 30 segundos.
- Retirarlas y colocarlas en bandejas que ayuden a escurrir el exceso de la formulación, además, las frutillas deben tener separaciones prudentes para evitar el contacto entre una y otra.
- Dejarlas secar a temperatura ambiente por 18 a 24 horas.

3.7.10 Análisis Bromatológico complementario

3.7.10.1 Determinación de vitamina C

El análisis se realizó de acuerdo a lo expuesto por (Reinoso, 2021, págs. 64-65), a continuación se detalla la técnica:

- Lavar el fruto entero.
- Preparar equipo para la titulación.
- Pesar 15 g de muestra vegetal en 100 ml de agua destilada, licuar por 1-2 minutos.
- Adicionar 1 ml de H₂SO₄ conc.
- Agregar 1 ml de la solución de almidón soluble
- Titular con la solución de yodo (0.01 N) hasta observar la coloración azul.
- Anotar el valor del yodo consumido.
- Realizar el cálculo correspondiente y anotar el resultado. o Ecuación:

$$mg \text{ de } \acute{A}c. \text{ Ascórbico} = \frac{v * Eq}{V}$$

Donde:

v = Volumen de la solución de yodo gastado en ml.

Eq= Equivalente químico del ácido ascórbico.

V = Volumen equivalente de ácido ascórbico (1ml).

3.7.10.2 *Determinación de metales pesados*

Se determinó mediante las técnicas de (Gavilanes, Chuquín y Valverde, 2023, págs. 75-79):

3.7.10.2.1 Digestión Asistida por Microondas de Muestras Para Análisis De Metales Totales

- Pesar en una balanza analítica 0.5 g de la muestra.
- Vaciar la muestra en los envases de teflón y agregar 10 ml de HNO₃.
- Tapar los envases, verificando que el cierre sea el adecuado.
- Posteriormente colocar los envases con las muestras en el rotor, procurando que la disposición sea la adecuada.
- Colocar el rotor en el interior del Microondas y seleccionar el método en la pantalla del equipo.
- Al culminar la digestión esperar 30 minutos para que los tubos se enfríen y poder retirarlos del rotor.
- Filtrar al vacío a través membranas de 0.45 µm.
- Colectar el filtrado en un tubo para centrifuga con tapa y llevar a un volumen de 50 ml.
- Las muestras podrán ser analizadas en el equipo ICP-MS.

3.7.10.3 *Determinación de Fe*

Este parámetro se determinó mediante el método de Espectrometría de absorción atómica por atomización por llama (Gavilanes, Chuquín y Valverde, 2023, págs. 95-96):

- Preparar los estándares

Tabla 3-2 Preparación de los estándares para la curva de calibración de Fe.

NIVEL	C1	V1	C2	V2
	Concentración inicial (ppm)	Valor a tomar de la concentración inicial (ml)	Concentración a la que se quiere llegar (ppm)	Volumen a aforar (ml)
Stock	1000	2.5	25	100
1	25	0.5	0.25	50
2	25	1	0.5	50
3	25	2	1	50
4	25	4	2	50
5	25	6	3	50

Fuente: Gavilanes, Chuquín y Valverde, 2023, págs. 95-96.

Realizado por: Peralta, 2024.

- Encender el equipo de absorción atómica.
- Pasar lo estándares, el coeficiente de variación debe encontrarse por encima de 0.99.
- Leer las muestras previamente digeradas y anotar los resultados.

3.7.10.4 Determinación de K

Este parámetro se determinó mediante el método de Espectrometría de absorción atómica por atomización por llama (Gavilanes, Chuquín y Valverde, 2023, págs. 107-108):

- Preparar los estándares

Tabla 3-3 Preparación de los estándares para la curva de calibración de K.

NIVEL	C1	V1	C2	V2
	Concentración inicial (ppm)	Valor a tomar de la concentración inicial (ml)	Concentración a la que se quiere llegar (ppm)	Volumen a aforar (ml)
Stock	1000	1	10	100
1	25	1.25	0.25	50
2	25	2.5	0.5	50
3	25	5	1	50
4	25	10	2	50
5	25	12.5	2.5	50

Fuente: Gavilanes, Chuquín y Valverde, 2023, págs. 107-109.

Realizado por: Peralta, 2024.

- Encender el equipo de absorción atómica.
- Pasar lo estándares, el coeficiente de variación debe encontrarse por encima de 0.99.
- Leer las muestras previamente digeradas y anotar los resultados.

3.7.10.5 Determinación de Ca

Este parámetro se determinó mediante el método de Espectrometría de absorción atómica por atomización por llama (Gavilanes, Chuquín y Valverde, 2023, págs. 104-105):

- Preparar los estándares

Tabla 3-4 Preparación de los estándares para la curva de calibración de Ca.

NIVEL	C1	V1	C2	V2
	Concentración inicial (ppm)	Valor a tomar de la concentración inicial (ml)	Concentración a la que se quiere llegar (ppm)	Volumen a aforar (ml)
Stock	1000	2	20	100
1	25	2.5	1	50
2	25	5	2	50
3	25	10	4	50
4	25	15	6	50
5	25	20	8	50

Fuente: Gavilanes, Chuquín y Valverde, 2023, págs. 104-105.

Realizado por: Peralta, 2024.

- Encender el equipo de absorción atómica.
- Pasar los estándares, el coeficiente de variación debe encontrarse por encima de 0.99.
- Leer las muestras previamente digeridas y anotar los resultados.

3.7.10.6 Determinación de P

Este parámetro se determinó mediante el método de Espectrometría Ultravioleta Visible (UV-Vis) (Gavilanes, Chuquín y Valverde, 2023, págs. 110-117):

- Tomar 5 ml de la muestra procedente de la digestión ácida y agregar hidróxido de sodio hasta alcanzar un pH de 3 a 3.5.
- Una vez estabilizado el pH, aforamos a 50 ml con ayuda de un balón de aforo. Tener en cuenta el factor de dilución.
- Preparar los estándares para la curva de calibración.

Tabla 3-5 Preparación de estándares para análisis de Fósforo por Espectrometría Ultravioleta-Visible.

NIVEL	C1	V1	C2	V2
	Concentración inicial (ppm)	Valor a tomar de la concentración inicial (ml)	Concentración a la que se quiere llegar (ppm)	Volumen a aforar (ml)

Stock	1000	0.25	25	100
1	25	0.20	0.10	50
2	25	0.80	0.40	50
3	25	1.60	0.80	50
4	25	3.00	1.50	50
5	25	4.00	2.00	50

Fuente: Gavilanes, Chuquín y Valverde, 2023, págs. 110-117.

Realizado por: Peralta, 2024.

- Culminado el aforado, tomamos 5 ml de la solución previamente aforada y 5 ml de cada estándar y adicionamos 5 ml de la solución de color.
- Esperar 15 minutos para evidenciar el color luego de que se dé la reacción.
- Preparar el espectrofotómetro a 880 nm para la lectura de estándar y muestras.
- Una vez preparado el Espectrofotómetro, y calibrado con las soluciones estándar, se leen las muestras.

3.7.11 Análisis Físico Químico

3.7.11.1 pH

Se determinó mediante la Normativa Técnica Ecuatoriana NTE INEN-ISO 1842:2013. Se debe seguir el siguiente procedimiento:

- Colocar en el vaso de precipitación la cantidad de muestra necesaria a temperatura de ensayo. De ser necesario se debe triturar o moler la materia prima.
- Introducir los electrodos del pH-metro en el vaso de precipitación con la muestra, evitando de toquen las paredes del recipiente
- Medir y anotar el valor del pH.

3.7.11.2 °Brix

Se determinó mediante el método refractométrico y de la Normativa Técnica Ecuatoriana NTE INEN 380. Se debe seguir el siguiente procedimiento:

- El análisis debe realizarse por duplicado sobre la misma muestra.
- Ajustar la circulación de agua del refractómetro para operar a la temperatura requerida.
- Colocar 2 o 3 gotas de la muestra sobre el prisma fijo del refractómetro. Continuar el paso de agua durante el tiempo necesario para que tanto los prismas como la solución de

ensayo alcancen la temperatura requerida, que debe permanecer constante, dentro del rango de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ durante toda la determinación.

- Leer el valor de índice de refracción o el porcentaje de sacarosa.

3.7.11.3 *Acidez titulable*

Se determinó mediante la Normativa NTE INEN 381 con una modificación de (Castro et al., 2015, págs. 1-7), ya que la coloración natural de la frutilla evita que el indicador pueda darnos el viraje de color. Para esto se debe seguir el siguiente procedimiento:

- Lavar y secar el matraz Erlenmeyer en la estufa a $103^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$ durante un lapso de 30 min.
- Dejar enfriar en el desecador y luego pesar con aproximación al 0,1 mg.
- Homogenizar la muestra preparada e inmediatamente transferir al matraz Erlenmeyer y pesar aproximadamente 20 g de muestra con proximidad al 0,1 mg.
- Diluir la cantidad contenida en el matraz con agua destilada en un volumen dos veces mayor.
- Lentamente y con agitación continua, agregar la solución de hidróxido de sodio 0,1 N hasta que el pH se encuentre a 8.1 ± 0.2 .
- Leer en la bureta el volumen de solución utilizada, con aproximación a 0,05 ml

3.7.12 *Análisis Microbiológico*

3.7.12.1 *Preparación de la muestra*

La preparación de la muestra para el análisis microbiológico se realizó de acuerdo con la Norma INEN NTE 1 529-2:99, esta se detalla a continuación:

- La muestra se debe tener en una bolsa estéril que permita realizar porciones mucho más pequeñas.
- Pesar 0.1 g de la muestra en un frasco estéril o en una funda plástica 10 g, añadir 90 ml de diluyente o múltiplo de 90 (10^{-1}).
- Mezclar vigorosamente o con un homogeneizador a baja velocidad y en pocos segundos aumentar la velocidad entre 15000 a 20000 rpm. Esperar que los sólidos precipiten.
- Tomar 1 ml de la suspensión inicial a un tubo que contenga 9 ml de diluyente estéril y mezclar (10^{-2}).

- Realizar el mismo proceso para seguir realizando las diluciones necesarias.

3.7.12.2 Mohos y levaduras

Este método se realizó de acuerdo a la técnica de (Britania, 2021a, págs. 1-2):

- Disolver 39 g de Papa Glucosado Agar en 1 litro de agua, mezcla y posteriormente llevar al autoclave a 121°C.
- Distribuir en placas Petri estériles.
- Agregar 1 ml de dilución sobre el agar solidificado.
- Incubar en aerobiosis a 30-32 °C por 72 horas.

Cálculo del número de microorganismos por gramo o cm³:

$$N = \frac{\Sigma c}{V(n_1 + 0.1n_2)d}$$

Ecuación 9

Σc = Suma de todas las colonias contadas en todas las placas seleccionadas

V = Volumen inoculado en cada caja Petri

n_1 = Número de placas de la primera dilución seleccionada

n_2 = Número de placas de la segunda dilución seleccionada

d = Factor de dilución

3.7.12.3 Coliformes

Este método se realizó de acuerdo a la técnica de (Britania, 2021c, págs. 1-2):

- Suspender 41.5 g del agar en 1 litro de agua destilada. Calentar con agitación frecuente y llevar a ebullición durante 1 minuto para disolución total.
- Enfriar y distribuir en las placas Petri estériles.
- Agregar 1ml de la dilución sobre el agar solidificado.
- Incubar en aerobiosis de 33-37 °C durante 18 a 24 horas.
- Para el cálculo se utiliza la Ecuación 9.
-

3.7.12.4 Aerobios mesófilos

Este método se realizó de acuerdo a la técnica de (Britania, 2021b, págs. 1-2):

- Suspender 23.5 g del agar en 1 litro de agua destilada, mezcla y posteriormente llevar al autoclave a 121°C.
- Enfriar y distribuir en las placas Petri estériles.
- Agregar 1ml de la dilución sobre el agar solidificado.
- Incubar en aerobiosis de 33-37 °C durante 18 a 24 horas.
- Para el cálculo se utiliza la Ecuación 9.

CAPITULO IV

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización bromatología proximal y complementaria de la materia prima.

Tabla 4-1: Caracterización bromatológica proximal de la materia prima.

	Unidad	Muestra		
		Frutilla	Cladodio	Mucílago
Humedad	%	89,720 ± 0,141	97,052 ± 0,012	98,684 ± 0,025
Ceniza	%	0,482 ± 0,008	1,484 ± 0,119	0,489 ± 0,116
Proteína	%	0,974 ± 0,002	0,278 ± 0,035	0,048 ± 0,007
Grasa	%	0,199 ± 0,003	0,046 ± 0,002	0,052 ± 0,001
Fibra	%	1,935 ± 0,021	0,443 ± 0,092	0,398 ± 0,004
Azúcares	%	6,723 ± 0,201	0,707 ± 0,210	0,336 ± 0,129

Realizado por: Peralta, 2024.

Después de realizar el análisis proximal de la materia prima, se obtuvieron los siguientes resultados: el porcentaje de humedad obtenido de la frutilla fue de $89,720\% \pm 0,141$, y al compararlo con la información publicada por (North Department Of Agriculture and Consumer Services., 2018, págs. 19.26), se encontró que el valor obtenido se asemeja en gran medida, pues mencionan un porcentaje de humedad del $91,570\%$, siendo este mayor y sin relevancia significativa. Este dato proporciona un parámetro adecuado de referencia.

Por otro lado, el cladodio de nopal presentó una humedad de $97,052\% \pm 0,012$, que también se cotejó con el estudio de (Pérez, 2016, págs. 390-392), donde se demostró una humedad entre el 88% y 95%. Esto indica que la réplica experimental proporcionó un valor por encima del reportado en la bibliografía. No obstante, esta alteración no reviste gran importancia, dado que el género *Opuntia* se caracteriza por tener una alta cantidad de agua en sus cladodios. La humedad del mucílago de los cladodios de nopal fue de $98,684\% \pm 0,025$. Este valor se comparó con el estudio de (Cachay et al., 2022, págs. 191-198), donde se reportan valores entre el 93% y 94% de humedad. La diferencia puede ser atribuida al método de extracción del mucílago.

En relación al porcentaje de cenizas obtenido experimentalmente de la frutilla, se registró un resultado de $0,482\% \pm 0,008$. Este valor guarda coherencia con el determinado por (North Department Of Agriculture and Consumer Services., 2018, págs. 19.26), quienes indican un valor de cenizas de 0,430, el cual se encuentra cercano al valor determinado. Los cladodios de nopal presentaron

un contenido de cenizas de $1,484\% \pm 0,119$, cifra que se correlaciona con el estudio de (Pérez, 2016, págs. 390-392), quienes establecen un porcentaje de cenizas entre el 1% y 2%. En relación con el mucílago, se registró un porcentaje del $0,489\% \pm 0,116$. Sin embargo, la comparación directa con la teoría es complicada debido a la extracción realizada, lo que diluye significativamente los minerales presentes en el mucílago. Además, cabe destacar que la bibliografía disponible solo proporciona datos de cenizas por medio del mucílago en base deshidratada, lo que complica aún más la comparación con nuestros resultados. No obstante, (Cachay et al., 2022, págs. 191-198) mencionan que los cladodios de nopal en materia seca pueden contener entre un 10% y un 25% de cenizas, lo cual sugiere una presencia significativa de minerales.

El contenido proteico de la frutilla registró un $0,974\% \pm 0,002$, superando el valor reportado por (North Department Of Agriculture and Consumer Services., 2018, págs. 19-26) de 0,610%. Este hallazgo sugiere una mayor cantidad de proteína en la frutilla, lo cual puede ser considerado como un aspecto positivo sin implicaciones adversas. Por otro lado, los cladodios presentaron un contenido proteico de $0,278\% \pm 0,035$, cifra que se encuentra por encima del valor reportado por (Villanueva, 2020, págs. 32-39), dicho valor es de 0,17%. Este resultado indica una mayor cantidad de proteína de los cladodios, por ende, genera aspectos beneficiosos sobre el valor nutricional. Respecto al mucílago de nopal, se evidenció un contenido proteico de $0,048\% \pm 0,007$. Dicho valor no puede ser comparado directamente con la literatura debido a limitaciones antes mencionadas. Es importante resaltar, que la materia seca reportada por (Rodríguez Henao, 2017, págs. 1-84) presenta un contenido proteico de $7,5\% \pm 0,1$, lo cual sugiere una considerable diferencia entre el contenido proteico del mucílago en comparación con la materia seca.

El contenido de grasa de la frutilla se registró en $0,199\% \pm 0,003$, mientras que el del cladodio fue de $0,046\% \pm 0,002$ y el del mucílago alcanzó un valor de $0,052\% \pm 0,001$. Al contrastar estos resultados con la bibliografía, se observan discrepancias significativas. Según fuentes previas, la frutilla presenta un contenido de grasa de 0,370% (North Department Of Agriculture and Consumer Services., 2018, págs. 19.26), el cladodio de nopal tiene un rango de grasa entre 0,5% y 1% (Bercedo Sanz et al., 2016 , pág. 20), y el mucílago en muestra seca exhibe un 0,2% (Cortina, 2020. págs. 18-23). Estas discrepancias pueden ser atribuidas a variaciones en las muestras, el método de análisis, o incluso diferencias en las técnicas de cultivo. Pero, es importante destacar que la presencia de niveles bajos de grasa en las muestras analizadas no necesariamente indica un efecto negativo, al contrario, reducir la cantidad de grasa sugiere que la materia prima es un alimento saludable.

La cantidad de fibra obtenida en la frutilla fue de $1,935\% \pm 0,021$, cifra que se encuentra por debajo de lo reportado por el (North Department Of Agriculture and Consumer Services., 2018, págs. 19-26) y por (Moreira y Etal., 2017, págs. 261-262), quienes mencionan un contenido del 2,300% y 2,200% respectivamente. Esta discrepancia en los valores puede atribuirse a la composición del suelo y al

grado de madurez de la fruta. Ya que a medida que la fruta madura, es probable que su contenido de fibra aumente y posiblemente la frutilla fue recolectada antes de su óptima madurez. En cuanto a los cladodios de nopal, se registró un porcentaje de fibra del $0,443\% \pm 0,092$, valor que se encuentra por debajo de lo reportado por (Bercedo Sanz et al., 2016, pág. 20), quienes indican un rango del 1-2%, así como por (Portillo et al., 2021, págs. 13-15), que expresan un valor del 1,100%. Por su parte, el mucílago presentó un valor de $0,398\% \pm 0,004$, reducido en más de la mitad en comparación con la porción seca referenciada por (Torres et al., 2015, págs. 92-114), que es del 1,1%.

En cuanto al porcentaje de azúcares en frutillas, se registró un valor de $6,723\% \pm 0,201$, el cual se relaciona de manera satisfactoria con el reportado por (Moreira y Etal., 2017, págs. 261-262), que es del 7,000%. Al contrario, los cladodios de nopal expresaron un $0,707\% \pm 0,210$, valor por debajo de lo expresado por (Bercedo Sanz et al., 2016, pág. 20), que es del 3-7%. El mucílago mostró un $0,336\% \pm 0,129$ de azúcares, mientras que el estudio de (Torres et al., 2015, págs. 92-114) expone un resultado del 4,500% en materia seca del mucílago. Es importante considerar que la mayoría de los parámetros obtenidos de los cladodios de nopal y del mucílago se sitúan por debajo de los valores reportados en la bibliografía. Esto podría atribuirse a las variaciones de las propiedades bromatológicas de las especies del género *Opuntia*, las cuales pueden modificar sus características nutricionales en función de su grado de madurez y de la localización del cultivo.

Tabla 4-2: Caracterización bromatológica complementaria de la materia prima.

Muestra	Vitamina C mg/100g	Hierro mg/100g	Fósforo mg/100g	Potasio mg/100g	Calcio mg/100g
Frutilla	$59,587 \pm 2,906$	$0,589 \pm 0,015$	$0,116 \pm 0,004$	$125,922 \pm 5,275$	$7,951 \pm 0,177$
Cladodio	$15,557 \pm 1,245$	$0,175 \pm 0,001$	$0,318 \pm 0,003$	$261,383 \pm 6,028$	$13,594 \pm 0,033$
Mucílago	$2,055 \pm 0,415$	$0,059 \pm 0,001$	$0,066 \pm 0,002$	$61,220 \pm 0,731$	$2,647 \pm 0,242$

Realizado por: Peralta, 2024

Los análisis experimentales revelan que la frutilla contiene $59,587 \pm 2,906$ mg de ácido ascórbico por cada 100 gramos de muestra, un compuesto bioactivo que posee propiedades antioxidantes, protegiendo las células contra los daños causados por los radicales libres. Al comparar este valor con el de (Faicán, 2021), que es de 60,000 mg por cada 100 gramos de muestra, observamos un parámetro sobresaliente en la muestra. Cabe recalcar que la frutilla tiene mayor cantidad de vitamina C en comparación a la naranja, ya que en 100 gramos se encuentra en 56,01 mg de ácido ascórbico (Rodríguez, Florido y Hernández, 2020, págs. 233-238).

En cuanto a los cladodios de nopal, la cantidad de vitamina presente fue de $15,557 \pm 1,245$ mg / 100g, valor que se sitúa por debajo de lo expuesto por (Cachay et al., 2022, págs. 191-198), que es de $56,2 \pm 0,02$ mg / 100g. Esta discrepancia puede atribuirse al tiempo de madurez de los cladodios, como lo señalan (Guzmán y Chávez, 2007, págs. 41-45). Según su estudio, los cladodios presentan 37,270 mg / 100g de Vitamina C al primer mes de edad, mientras que alrededor de un año, esta cifra desciende a 23,110 mg/100g. En otras palabras, a medida que los cladodios envejecen, la concentración de vitamina C tiende a disminuir. Por otro lado, los valores de vitamina C del mucílago de nopal fueron del $2,055 \pm 0,415$ mg / 100g, de igual forma la reducción de este compuesto bioactivo presente en el mucílago se puede deber a la forma de extracción y a la madurez del cladodio.

En cuanto al hierro presente en la frutilla, el cladodio y el mucílago demuestran valores de $0,589 \pm 0,015$ mg / 100 g, $0,175 \pm 0,001$ mg / 100 g y $0,059 \pm 0,001$ mg / 100 g respectivamente, datos que se comparan con el de (Faicán, 2021) 0,8 mg/ 100 g para la frutilla, (Portillo et al., 2021, págs. 13-15) 1,60 mg / 100 g en el caso del cladodio y en relación al mucílago no se puede comparar este parámetro pero se puede deducir que el hierro presente puede ser igual al del cladodio o inferior debido a la dilución empleada durante la extracción.

El fosforo determinado para la frutilla es de 0,116 mg / 100 g con una desviación estándar de 0,004, valor que se encuentra muy por debajo de lo reportado por (Faicán, 2021) que es 26 mg / 100 g de fruta fresca. El cladodio de nopal contiene $0,318 \pm 0,003$ mg / 100 g, pero de acuerdo a (Sales Torres, 2015, págs. 143-151), su valor determinado fue de 0,10 mg. Esta diferencia de valores no tiene complicaciones y el valor diario de consumo para mayores de edad es de 700 mg (National Institute of Health, 2019, págs. 1-3). Mientras que el mucilago tiene $0,066 \pm 0,002$ mg / 100 g de muestra.

La cantidad de potasio para las 3 muestra fue de $125,922 \pm 5,275$ mg, $261,383 \pm 6,028$ mg y $61,220 \pm 0,731$ mg por cada 100 gramos. Según (Faicán, 2021), el potasio presente en la frutilla es alrededor de 190 mg y por ende lo obtenido experimentalmente fue menor. En cuanto al cladodio se reportó 2,3 g de acuerdo a lo publicado por (Pérez, 2016, págs. 390-392). Los resultados obtenidos sugieren que las muestras constituyen una fuente nutricional relevante de potasio para la dieta diaria del ser humano a pesar de presentar valores menores a los observados en fuentes bibliográficas.

Por último, la cantidad de Ca presente en la frutilla fue de $7,951 \pm 0,177$ mg por cada 100 g, pero de acuerdo a (Faicán, 2021) lo reportado es 25 mg / 100 g por lo que se observa una diferencia entre los valores. El cladodio de contiene $13,594 \pm 0,033$ mg que según (Portillo et al., 2021, págs. 13-15) publica un valor de 90,0 mg. El mucílago denota un valor de $2,647 \pm 0,242$. La discrepancia de los valores al ser comparados con la bibliografía puede deberse a una serie de factores, entre ellos

tenemos al propio metabolismo de la planta, el tipo de suelo, la absorción que depende del tipo de fertilizante usado durante el crecimiento y el tiempo de cosecha.

4.2 Análisis de metales pesados en la materia prima

Tabla 4-3: Análisis de metales pesado en la materia prima.

	Hg	Pb	Cr	Co	Ni	Cu	As	Se	Cd
	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg
Frutilla	0,004	0,008	0,544	0,012	0,262	0,673	0,004	0,023	0,005
	± 0,002	± 0,001	± 0,028	± 0,001	± 0,013	± 0,024	± 0,000	± 0,005	± 0,000
Cladodio	0,004	0,017	0,529	0,027	1,532	0,863	0,004	0,027	ND
	± 0,001	± 0,001	± 0,043	± 0,002	± 2,138	± 0,061	± 0,001	± 0,010	
Mucílago	0,004	0,010	0,976	0,157	0,772	1,229	0,493	0,043	0,011
	± 0,001	± 0,001	± 0,440	± 0,013	± 0,348	± 0,026	± 0,008	± 0,002	± 0,001

Realizado por: Peralta, 2024

Los metales pesados presentes en las muestras analizadas a través del equipo ICP-MS, demuestran estar por debajo de los rangos máximos expresados por la Unión Europea en la cual demuestra que la cantidad de Hg máxima para frutas y vegetales es de 0,01 mg / kg (Unión Europea, 2018, pág. 13). La determinación de Pb en el laboratorio se encuentra por debajo del valor máximo expresado por la (Unión Europea, 2021, págs. 1-4) que es 0,2 mg / kg.

En cuanto al Cr se puede evidenciar que los valores se encuentran por encima de lo reportado por el (Gobierno de México, 2012, págs. 9-23) que es 0,5 mg / kg, Los valores de la frutilla y el cladodio no se encuentran muy alejados del límite máximo a comparación del mucílago que este se encuentra por al menos el doble del rango con $0,976 \pm 0,440$ mg / kg. Lo característico del cromo es que puede existir como Cr III y Cr VI; el trivalente se encuentra naturalmente en la mayoría de los alimentos y siendo esencial a pequeñas cantidades en el organismo, en cambio la forma hexavalente procede de la contaminación industrial y categorizándose como más toxico. Cuando el cromo VI se ingiere, la mayor parte se convierte en Cr III para ser excretado rápidamente por la vía urinaria reduciendo la toxicidad, pero otra parte del cromo hexavalente se puede acumular en células y tejidos causando daños a largo plazo (European Food Safety Authority, 2014, págs. 1-261). Por lo tanto, se considera que la presencia de cromo en la materia prima puede ser el de estado trivalente, ya que como se entiende, este elemento se encuentra en mayor proporción en los alimentos y puede ser eliminado rápidamente del organismo sin provocar daños evidentes.

Según (ATSDR, 2004, págs. 1-9) define que el rango de Co debe encontrar entre 0,16 a 1,0 mg / kg. Estos parámetros han sido empleados en el área de farmacia con el fin de mitigar afecciones como la anemia, dado que el cobalto actúa sobre la estimulación de glóbulos rojos. Por consiguiente, se observa que los valores de la frutilla, los cladodios y el mucílago se sitúan por debajo de las cifras de referencia. Conforme a la normativa de la (Unión Europea, 2019, págs. 101-114) el límite de Ni y Cu se establece en 3 mg / kg y 10 mg / kg respectivamente, por ello, los valores de la materia prima se sitúan dentro de los parámetros aceptables para su consumo, lo que sugiere que no existen riesgos ante la salud del ser humano.

En cambio, la Unión Europea referencia que la cantidad de As aceptada en Rusia es del 0,2 mg / kg. Únicamente el mucílago muestra niveles por encima de lo referenciado y su elevada concentración puede deberse a una variedad de factores, como la incineración en grandes hornos industriales, incendios forestales, erosión de rocas, en el suelo y agua depositado por animales (Unión Europea, 2024, págs. 1-4).

Por último, el Se y el Cd son datos que no generan problemas al encontrarse en una proporción reducida a comparación con lo expuesto por la (Unión Europea, 2019, págs. 101-114) con 0,3 mg / kg y (Unión Europea, 2021, págs. 13-18) con 0,03 mg / kg. Es por esto que los valores se encuentran dentro de los criterios de aceptabilidad.

4.3 Rendimiento del extracto de mucílago seco

Tabla 4-4: Rendimiento de la extracción del mucílago deshidratado

	Unidad	Rendimiento
Mucílago deshidratado	%	0,831

Realizado por: Peralta, 2024.

La extracción del mucílago siguió las pautas de (Vargas, Vera y Suppé, 2019, págs. 305-314) con ligeras modificaciones. Por lo que, el método de extracción empleado para obtener mucílago seco o deshidratado alcanzó un porcentaje de rendimiento del 0,831 %. Este valor supera a lo reportado por (Reyes et al., 2020, págs. 1-14), quienes informan un rendimiento del 0,520 %. La variación puede ser atribuida al método específico de extracción utilizado, así como la disponibilidad de humedad en el suelo y la temperatura ambiente durante el crecimiento. La etapa de desarrollo resulta ser crucial, dado que se ha demostrado un rendimiento de 11,72 % en cladodios jóvenes, significativamente mayor en comparación a especies silvestres como la *O. Streptacanta* que alcanza un 7,18%.

4.4 Análisis físico químico de la materia prima.

Tabla 4-5: Análisis físico químico de la materia prima

Muestra	pH	Acidez titulable (%)	Sólidos solubles totales (°Brix)
Frutilla	3,830 ± 0,017	0,970 ± 0,082	10,010 ± 0,028
Cladodio	5,293 ± 0,025	0,365 ± 0,003	4,105 ± 0,007
Mucílago	5,563 ± 0,015	0,066 ± 0,001	1,455 ± 0,007

Realizado por: Peralta, 2024.

En el análisis de las propiedades fisicoquímicas, se observa que la frutilla presenta un pH de 3,830 ± 0,017, una acidez titulable de 0,970 ± 0,082%, y un contenido de °Brix de 10,010 ± 0,001. Según los datos proporcionados por (Cahuaya, 2021), se proporciona un pH de 3,410-3,500, una acidez de 0,910% a 1,110%, y sólidos solubles de 8,00 a 10,20. De igual forma (Petter et al., 2024, págs. 4-14) expone tener 6,2 – 13,4 de °Brix y 0,64 – 1,26 en la acidez. Se destaca que solo el pH muestra una discrepancia, que podría atribuirse al momento de la cosecha, el transporte y el grado de madurez del fruto. Los cambios observados en la frutilla se atribuyen a las modificaciones en su composición química, las cuales implican la reducción de sus ácidos orgánicos, lo que conlleva un aumento gradual del pH. Es importante considerar que las frutas cuentan con una defensa propia relacionada con su acidez. A mayor acidez, los agentes patógenos encuentran dificultades para proliferar, ya que requieren mayores niveles de energía para mantener la homeostasis de su citoplasma en un entorno ácido. Debido a esta dificultad, muchos de estos microorganismos mueren. Por lo tanto, el pH óptimo para el crecimiento de estos microorganismos se sitúa en un rango de 6,5 a 7,5 (Alzamora et al., 2010, pág. 69).

Por otro lado, los cladodios de nopal exhiben valores de pH, acidez y sólidos solubles totales de 5,293 ± 0,025, 0,365 ± 0,003%, y 4,105 ± 0,007 respectivamente. Según (Torres et al., 2015, págs. 92-114), los valores de pH de los cladodios oscilan entre 4,000 y 5,500, lo que confirma la coherencia con la literatura. En cuanto a la acidez y los °Brix, se compararon con los datos de (Rodríguez Henao, 2017, pág. 1-84), que señalan cifras de 0,520% - 0,680% y 3,00 - 4,40 respectivamente. Es importante destacar que solo la acidez se sitúa por debajo de los valores reportados en la literatura, posiblemente debido a la influencia del área de cultivo en la composición nutricional de la planta.

En lo que respecta al mucílago, los valores obtenidos son un pH de 5,563 ± 0,015, una acidez de 0,066 ± 0,001%, y un contenido de °Brix de 1,455 ± 0,007. De acuerdo con (Vargas, Vera y Suppé, 2019, págs. 305-314), el pH del mucílago deshidratado disuelto en agua muestra un promedio de 5.315, cercano al valor experimental obtenido para el mucílago líquido. A pesar de la disolución,

la capacidad de mantener un pH ácido se atribuye a los ácidos glucurónicos, que constituyen aproximadamente el 14% del mucílago. Los sólidos solubles totales, según (García, 2017), oscilan entre 1-4 °Brix, lo que respalda los resultados del análisis experimental. Esta comparación entre los valores experimentales y los datos bibliográficos resalta la importancia del contexto de cultivo y la madurez de las muestras en la variabilidad de las propiedades físico-químicas observadas. Por último, la acidez se ve reducida en gran medida en relación a lo publicado por (Osorio, 2022, págs. 11-21), cifra que se encuentra en 3,0 %.

1.4. Elaboración de los recubrimientos alimentarios.

Al culminar la caracterización de la materia prima, se procedió a realizar la formulación y elaboración de 6 recubrimientos comestibles, mismos que se encuentran detallados en la tabla 1-4.

Tabla 4-6: Formulación de los recubrimientos alimentarios con mucílago húmedo

	FORMULACIONES		
	50%	75%	90%
	F1 (ml)	F2 (ml)	F3 (ml)
Mucílago	100	150	180
Agua	100	50	20
Glicerol	20	20	20
Aceite de oliva	0,5	0,5	0,5
Tween 80	0,1	0,1	0,1
Σ	220,6	220,6	220,6

Realizado por: Peralta, 2024.

Las formulaciones de los recubrimientos se llevaron a cabo siguiendo las pautas de lectura bibliográfica proporcionadas por (Shinga y Fawole, 2023, págs. 1-16) y (Brindis et al., 2020, págs. 3-13), con algunas adaptaciones. Se utilizaron tres concentraciones diferentes del mucílago: 90%, 75% y 50%, las cuales se diluyeron a un volumen de 200 ml con agua destilada. Los demás componentes se mantuvieron constantes, resultando en un volumen total de 220,6 ml para cada formulación.

Es importante destacar que la cantidad de glicerol y Tween 80 utilizado se ajustó según lo necesario, siguiendo las directrices de la normativa europea publicada por la (Comisión Europea, 2011, págs. 178-204). Esta normativa no establece un límite de consumo para el glicerol, sino que emplea el término “quantum satis” para indicar que las sustancias deben usarse de manera que no se exceda la cantidad necesaria para lograr el objetivo previsto, y siempre evitando inducir al consumidor a error. Por otro lado, el aceite de oliva es un alimento convencional conocido por

sus beneficios antiinflamatorios, inmunológicos y, especialmente, por sus propiedades antimicrobianas, que son de gran importancia en este estudio.

Tabla 4-7: Formulación de los recubrimientos alimentarios con mucílago deshidratado

	FORMULACIONES		
	50%	75%	90%
	F4 (ml)	F5 (ml)	F6 (ml)
Mucílago	100	150	180
Agua	100	50	20
Glicerol	20	20	20
Aceite de oliva	0,5	0,5	0,5
Tween 80	0,1	0,1	0,1
Σ	220,6	220,6	220,6

Realizado por: Peralta, 2024.

Es importante destacar que el mucílago utilizado en esta formulación fue deshidratado y posteriormente disuelto en agua destilada. Esto permitió llevar a cabo las mismas formulaciones mencionadas anteriormente, con el propósito de realizar un estudio comparativo entre ambas formas de extracción.

4.5 Análisis bromatológico proximal y complementario de las frutas con recubrimientos

En la tabla 4-8, se resumen los valores obtenidos mediante el análisis de varianza (ANOVA) entre las diversas formulaciones de los recubrimientos alimentarios, además, se efectuó la prueba de Tukey-b para determinar los subconjuntos homogéneos que puede haber.

Tabla 4-8: Análisis bromatológico proximal de las tratamientos

Tratamiento	Azúcares	Humedad	Ceniza	Proteína	Grasa	Fibra
Control	6,887 c	89,57 a 4	0,44 b 4	0,92 a 5	0,19 a 3	1,94 a 5
F1	4,123 ab	90,63 a 5	0,34 a 7	0,99 ab 0	2,07 b 1	1,78 a 9
F2	3,894 a	90,86 a 6	0,33 a 5	0,90 a 0	2,07 b 2	1,93 a 3
F3	4,302 ab	90,37 a 4	0,34 a 8	0,91 a 1	2,05 b 2	1,90 a 2
F4	4,939 b	89,75 a 9	0,40 ab 5	1,16 b 0	1,99 b 9	1,90 a 8
F5	5,022 b	92,85 a 5	0,39 ab 3	1,05 ab 9	2,06 b 1	1,87 a 1
F6	4,678 ab	89,66 a 2	0,39 ab 6	1,06 ab 0	2,14 b 1	2,04 a 3

F-ANOVA	29,831 ***	0,840 NS	6,197 ***	6,698 **	376,561 ***	1,068 NS
---------	------------	----------	-----------	----------	-------------	----------

Realizado por: Peralta, 2024.

***, ** y *: significa $p < 0,001$, $p < 0,01$ y $p < 0,05$, respectivamente. Los valores seguidos de la misma letra no son estadísticamente diferentes según la prueba de Tukey-b en $p < 0,05$.

No se observa diferencia significativa en el contenido de azúcares entre las formulaciones F1, F3 y F6. Sin embargo, se detecta una diferencia significativa de F2 con respecto a F4 y F5, lo que apunta a que el tipo de concentración de mucílago empleado afecta de manera significativa el contenido de azúcares. Además, se constata que el tratamiento control tiene mayor concentración de azúcares.

Todos los tratamientos presentan similar humedad, lo cual indica que el empleo del mucílago como agente de recubrimiento no afecta al contenido de agua de las frutillas. El empleo de los recubrimientos F1, F2 y F3 disminuye la cantidad de ceniza.

La formulación F4 presenta un valor promedio de proteínas significativamente mayor. El empleo de los recubrimientos aumenta significativamente el contenido de grasa, lo que podría tener relación con los componentes presentes en el recubrimiento alimentario, dado que cada formulación contiene un 9,066 % de glicerol y un 0,227 % de aceite oliva, lo que puede influir en la variación de los valores grasos. Finalmente, las formulaciones no afectan al contenido de fibra, lo que se podría atribuir a la delgadez e imperceptibilidad de la capa aplicada sobre la frutilla.

Tabla 4-9: Análisis bromatológico complementario de los tratamientos

Tratamiento	Vitamina C mg /100g		Hierro mg/kg		Fósforo mg/kg		Potasio mg/kg		Calcio mg/kg	
Control	59,493	ab	5,930	a	1,163	b	1258,192	d	80,558	b
F1	57,533	ab	8,727	c	0,337	a	821,750	ab	71,815	ab
F2	57,239	ab	7,373	b	0,330	a	681,925	a	70,895	ab
F3	58,413	ab	7,520	b	0,307	a	817,147	ab	73,701	ab
F4	56,358	a	7,182	ab	0,343	a	911,733	bc	60,690	a
F5	61,936	b	9,124	c	0,386	a	981,439	bc	79,433	b
F6	61,349	b	6,993	ab	0,343	a	1089,594	cd	95,016	c
F-ANOVA	5,496 **		16,755 ***		90,862 ***		21,454 ***		15,988 ***	

Realizado por: Peralta, 2024.

***, ** y *: significa $p < 0,001$, $p < 0,01$ y $p < 0,05$, respectivamente. Los valores seguidos de la misma letra no son estadísticamente diferentes según la prueba de Tukey-b en $p < 0,05$.

El tratamiento F4 presenta menor cantidad de ácido ascórbico mientras que los tratamientos F5 y F6 tienen un pequeño mínimo incremento. Este aumento puede tener relación con la cantidad de vitamina C que se encuentra en el cladodio de nopal, del cual se extrae el mucílago. Al deshidratar el mucílago, los componentes se concentran, y es por ello que la formulación F5 y F6 contienen un valor diferente a los demás tratamientos y control. La vitamina C cumple funciones importantes dentro del organismo humano como neutralizar a los radicales libres, generar la vitamina E, potenciar al hierro y actúa como cofactor de enzimas.

En términos generales, el empleo de los recubrimientos incrementa la cantidad de hierro con respecto al control, siendo los tratamientos F1 y F5 los que presentan mayor cantidad con 8,727 mg/kg y 9,124 mg/kg, respectivamente. Es por ello, que se puede decir que el uso del mucílago de nopal contribuye en gran medida a elevar los valores de hierro en frutillas recubiertas. De acuerdo a lo reportado por (National Institute of Health, 2022, págs. 1-3), la cantidad recomendada es de 8 mg/día para ejercer beneficios para los adultos y el límite máximo es de 45 mg/día. Debido a esto, 1 kilogramo del tratamiento F5 y F1 logran satisfacer la cantidad de hierro recomendada para adultos por día ya que es un elemento fundamental en la síntesis de hemoglobina y en la producción de mioglobina (Peñaloza et al., 2023, págs. 157-176).

Cabe mencionar que la presencia de ácido ascórbico logra aumentar la biodisponibilidad de hierro en el organismo, ya que la vitamina forma complejos solubles con los iones del hierro, manteniendo la solubilidad inclusive en medios básicos como en el duodeno. Por esto se determina que la presencia de 25 mg de vitamina C potencia en dos veces la absorción del hierro (RACIM, 2020, págs. 1-9).

El uso de las formulaciones disminuye significativamente la cantidad de fósforo. Esta discrepancia en los niveles de fósforo puede atribuirse a una variedad de factores, siendo uno de ellos la procedencia de las frutillas. Es importante destacar que las frutillas del grupo de control provienen de la marca AKI, a diferencia de los obtenidos en el mercado, cuyas prácticas de cultivo y manejo pueden incidir en los niveles de fósforo registrados. Según (National Institute of Health, 2019, págs. 1-3) se recomienda consumir 700 mg diarios para adultos y como máximo 4000 mg/día. Debido a que, dicho mineral desempeña un papel fundamental en el metabolismo de los carbohidratos, lípidos y proteínas. Además, contribuye al potencial metabólico al formar compuestos de alta energía.

Los niveles de potasio tienden a disminuir al aplicar los recubrimientos. Es importante destacar que el contenido de potasio puede diferir por el origen de las frutillas y el uso del mucílago deshidratado en los recubrimientos, tal como se registró a lo obtenido en el laboratorio en materia fresca (612,200 mg/kg). En cuanto a su consumo diario, (National Institute of Health, 2019, págs. 1-4)

sugiere consumir 3400 mg de potasio por día ya que su importancia se debe a que participa en el funcionamiento de los riñones y el corazón, la contracción muscular y la transmisión nerviosa.

Por último, la cantidad de calcio presente en la formulación F6 es significativamente mayor (95,016 mg/kg), lo que puede atribuirse a la utilización del mucílago deshidratado, el cual, según el análisis complementario, reveló un valor de 26,470 mg/kg. Este hallazgo respalda la idea de que el mucílago deshidratado concentra aún más sus minerales, lo que explica su mayor contenido en comparación con las demás formulaciones. De igual forma, la cantidad de Ca recomendado diariamente es de 1000 mg para los adultos con un límite máximo de 2500 mg al día (National Institute of Health, 2022, págs. 1-6).

Cabe resaltar que la formulación F6 exhibe los valores más destacados en términos de compuestos bioactivos considerados en el estudio. Sin embargo, se muestra una menor cantidad de fósforo y potasio en comparación con el grupo de control, mantiene niveles superiores de vitamina C y calcio. Aunque el hierro no es el componente más sobresaliente en esta formulación, su cantidad supera la del grupo de control.

4.6 Pruebas de estabilidad durante el almacenamiento

4.6.1 Estabilidad de las propiedades organolépticas

Los resultados obtenidos luego de realizar la prueba de estabilidad organoléptica de las diversas formulaciones tras 8 días de almacenamiento a 4 °C, se pueden encontrar en la Tabla 4-10.

Tabla 4-10: Análisis de estabilidad organoléptica de los tratamientos

Formulación	Días	Color	Olor	Sabor
Control	1	Rojizo	Característico	Característico
	4	Rojos oscuro	Fermentado	Dulce
	8	Rojos oscuro	Fermentado	Dulce
F1	1	Rojizo	Característico	Característico
	4	Rojos oscuro	Característico	Característico
	8	Rojos oscuro	Fermentado	Dulce
F2	1	Rojizo	Característico	Característico
	4	Rojizo	Característico	Característico
	8	Rojos oscuro	Fermentado	Dulce
F3	1	Rojizo	Característico	Característico
	4	Rojizo	Característico	Característico
	8	Rojos oscuro	Fermentado	Característico

F4	1	Rojizo	Característico	Característico
	4	Rojo oscuro	Fermentado	Característico
	8	Rojo oscuro	Fermentado	Dulce
F5	1	Rojizo	Característico	Característico
	4	Rojizo	Característico	Característico
	8	Rojo oscuro	Fermentado	Dulce
F6	1	Rojizo	Característico	Característico
	4	Rojizo	Característico	Característico
	8	Rojo oscuro	Característico	Característico

Realizado por: Peralta, 2024.

Según el análisis realizado, a 5 °C durante 8 días como lo publica (Dussán, Ramírez y Hleap, 2017, págs. 67-74), se observa que la frutilla control, al cuarto día, ya presentaba un ligero olor a fermentación y su sabor también era ligeramente más dulce que el día 1. Por otro lado, las formulaciones que contenían mucílago líquido (F1, F2 y F3) mantenían parámetros adecuados hasta el cuarto día, pero en el octavo día se percibió un olor fermentado y un sabor muy dulce, con la excepción de la formulación F3, que conservó sus parámetros hasta ese día con un imperceptible olor a fermentado y leve sabor azucarado. Es importante señalar que, además, la consistencia se mantuvo en la formulación F3, mientras que, en el control, F1 y F2 se volvieron más blandas con el paso de los días.

Las formulaciones F4, F5 y F6, mostraron características similares durante los días posteriores, comparables a las observadas con el uso del mucílago líquido. Sin embargo, la formulación F6 se destacó por mantener su olor y sabor impecables hasta el último día del ensayo, aunque se observó una ligera variación en su color, que pasó a un tono rojo oscuro.

4.6.2 Estabilidad de las propiedades fisicoquímicas

La Tabla 4-11 muestra las diferencias encontradas en las propiedades fisicoquímicas de los 6 tratamientos junto con el control después de 8 días de almacenamiento a temperatura de 4°C.

Tabla 4-11: Análisis de estabilidad Físico Químicos de los tratamientos al día 1

Tratamiento	Día 1					
	pH		Acidez		° Brix	
Control	3,539	c	1,013	a	12,275	ab
F1	3,525	c	1,183	b	11,710	a
F2	3,476	bc	1,009	a	12,650	ab
F3	3,434	ab	0,998	a	13,075	b
F4	3,511	bc	1,031	a	11,855	a

F5	3,463	bc	0,995	a	12,670	ab
F6	3,680	a	1,015	a	13,285	b
F-ANOVA	9,870 ***		17,389 ***		6,736 **	

Realizado por: Peralta, 2024.

***, ** y *: significa $p < 0,001$, $p < 0,01$ y $p < 0,05$, respectivamente. Los valores seguidos de la misma letra no son estadísticamente diferentes según la prueba de Tukey-b en $p < 0,05$.

El análisis de las propiedades fisicoquímicas se llevó a cabo en las mismas condiciones que fueron evaluadas las pruebas organolépticas, con una variación en los parámetros como el pH, acidez titulable y sólidos solubles totales. De acuerdo al pH, en el día 1 se puede evidenciar que las formulaciones F3 y F5 presentaron los valores más bajos. Al ser valores iniciales se puede mantener una relación entre los parámetros evaluados considerando que el pH (Cubero et al., 2022, págs. 102587), se encuentra en 3.7, indicando que el pH bajo evita el deterioro del fruto.

En cuanto a la acidez, se puede identificar que el tratamiento F1 tiene mayor acidez que los demás. Hay que tener en cuenta que a medida que el pH aumenta, la acidez disminuye y por ende reducen los factores de protección frente al deterioro. De acuerdo a (Petter et al., 2024, págs. 4-14), la cantidad de acidez para frutillas se puede encontrar entre 0,64 – 1,26.

La cantidad de sólidos solubles presentes en las formulaciones F1, F2, F4, F5 y el grupo de control no exhiben diferencias significativas. Asimismo, las formulaciones F2, F3, F5, F6 y el grupo de control tampoco muestran diferencias significativas entre sí; sin embargo, únicamente F1 y F4 no guardan relación con F3 y F6. Dado que estos valores iniciales fueron utilizados para los análisis de estabilidad, aún no es posible determinar la mejor formulación. No obstante, según (Petter et al., 2024, págs. 4-14), la cantidad de sólidos solubles puede oscilar entre 6,2 y 13,4.

Tabla 4-12: Análisis de estabilidad Físico Químicos de los tratamientos al día 4

Tratamiento	Día 4					
	pH		Acidez		° Brix	
Control	3.646	d	0,982	a	13,085	bcd
F1	3,604	d	1,194	b	11,975	a
F2	3,589	cd	0,995	a	12,890	bc
F3	3,404	a	0,998	a	13,245	cd
F4	3,531	bc	1,021	a	11,925	a
F5	3,472	b	0,974	a	12,845	b
F6	3,371	a	1,003	a	13,375	d
F-ANOVA	44.309 ***		13,679 ***		58,308 ***	

Realizado por: Peralta, 2024.

***, ** y *: significa $p < 0,001$, $p < 0,01$ y $p < 0,05$, respectivamente. Los valores seguidos de la misma letra no son estadísticamente diferentes según la prueba de Tukey-b en $p < 0,05$.

Durante el día 4, las formulaciones F3 y F6 presentan menores cantidades del pH y por ende son catalogadas como las mejores. Respecto a la acidez, únicamente la formulación F1 difiere significativamente del resto de tratamientos incluido el control. Este valor (1,194 %) es superior al del día 1, el cual no sigue un orden de decrecimiento como se esperaría, por lo que esta discrepancia puede atribuirse a la selección de la muestra para el análisis.

En los sólidos solubles únicamente F1 y F4 se relacionan entre sí manteniendo un valor menor de sólidos solubles con respecto a los demás tratamientos, pero en cambio, el control con F3 y F6 presentan los mayores valores de grados brix, indicando que son las frutillas más propensas al daño en menor tiempo.

Tabla 4-13: Análisis de estabilidad Físico Químicos de los tratamientos al día 8

Tratamiento	Día 8					
	pH		Acidez		° Brix	
Control	3,991	d	0,656	A	15,610	c
F1	3,820	c	0,877	B	13,745	ab
F2	3,793	bc	0,887	B	13,190	a
F3	3,398	a	0,929	B	13,140	a
F4	3,824	c	0,929	B	13,370	b
F5	3,766	b	0,974	B	13,005	a
F6	3,373	a	0,981	B	13,025	a
F-ANOVA	700,340 ***		21,628 ***		24,094 ***	

Realizado por: Peralta, 2024.

***, ** y *: significa $p < 0,001$, $p < 0,01$ y $p < 0,05$, respectivamente. Los valores seguidos de la misma letra no son estadísticamente diferentes según la prueba de Tukey-b en $p < 0,05$.

Para el día 8, se observa que el pH de la formulación F3 y F6 es significativamente más bajo. En lo que respecta a la acidez, la aplicación de las formulaciones provoca su incremento. Los grados Brix disminuyen con el uso de las formulaciones.

Las variaciones en las propiedades químicas revelan un aumento gradual de los sólidos solubles y del pH, así como una disminución de la acidez. Esta problemática se sustenta en lo expuesto por (García y Serrano, 2022, págs. 6-97), donde se señala que el incremento de los grados Brix es una etapa de maduración y deterioro que se caracteriza por la acumulación de sólidos solubles y una disminución simultánea de la acidez total, evidenciando una relación inversa entre los sólidos solubles y la acidez. Este cambio en los parámetros es especialmente notorio en la frutilla control, mientras que las demás formulaciones, recubiertas con mucílago de *Opuntia Ficus-indica*, logra favorecer la conservación durante los 8 días de análisis. Pese a los valores iniciales del día 1, es evidente que la formulación F3 y F6 muestran una reducción controlada en la acidez y un aumento moderado en los sólidos solubles y el pH.

Al contrastar las formulaciones F3 y F6, se puede confirmar que el método de extracción no produce diferencias notables entre ellas. De esta manera, se sugiere que la extracción del mucílago húmedo no difiere sustancialmente del mucílago deshidratado, lo que hace que la formulación F3 sea más práctica en términos de reducción de recursos y tiempo.

4.6.3 Estabilidad de las propiedades microbiológicas

La formulación del recubrimiento alimentario tiene el objetivo de reducir los tiempos de senescencia en frutas y verduras, así como el control microbiológico. La presencia de una mayor cantidad de microorganismos durante el deterioro del fruto mantiene la importancia de verificar la efectividad de la aplicación del recubrimiento a base de mucílago de nopal, lo cual se llevó a cabo mediante los análisis detallados en la Tabla 4-12. Destacar que se mantuvieron condiciones constantes de temperatura (5°C) y durabilidad (8 días) durante el análisis.

Tabla 4-14: Análisis de estabilidad microbiológica de las frutillas recubiertas

Formulación	Día	Mohos y levaduras UFC/g	Coliformes UFC/g	Aerobios mesófilos UFC/g
Control	1	9.4x10 ⁴	2.6x10 ³	3.2x10 ³
	4	7.6x10 ⁵	1.9x10 ⁵	6.9x10 ⁴
	8	>3.0x10 ⁶	>3.0x10 ⁶	4.9x10 ⁵
F1	1	6.0x10 ³	1.0x10 ³	1.6x10 ³
	4	2.4x10 ⁴	1.9x10 ³	1.7x10 ⁴
	8	2.0x10 ⁵	5.0x10 ⁴	1.1x10 ⁵
F2	1	1.0x10 ³	8.0x10 ²	2.0x10 ³
	4	1.2x10 ³	5.0x10 ⁴	1.2x10 ⁴
	8	3.0x10 ⁴	1.0x10 ⁴	9.0x10 ⁴
F3	1	1.6x10 ³	0	1.1x10 ³
	4	1.0x10 ³	7.0x10 ²	2.1x10 ³
	8	3.0x10 ³	5.2x10 ³	5.2x10 ⁴
F4	1	2.2x10 ²	3.0x10 ²	1.2x10 ⁴
	4	1.0x10 ³	1.5x10 ³	9.7x10 ³
	8	1.4x10 ⁴	0	6.0x10 ⁵
F5	1	5.0x10 ³	3.0x10 ²	4.1x10 ³
	4	9.0x10 ³	0	7.5x10 ⁴
	8	1.0x10 ⁴	8.0x10 ³	1.0x10 ⁵
F6	1	5.0x10 ²	4.0x10 ³	2.1x10 ³
	4	1.0x10 ³	5.6x10 ³	2.5x10 ³

8	7.0×10^3	7.6×10^3	6.0×10^4
---	-------------------	-------------------	-------------------

Realizado por: Peralta, 2024.

Al concluir el análisis microbiológico y relacionar los valores obtenidos, podemos recalcar que los análisis entre los parámetros contienen distintos valores. Para el estudio de mohos y levaduras, durante el primer día todos los tratamientos reportaron tener menor contenido de microorganismos a comparación del lote control, esto se vuelve importante por que como se había dicho antes, que el mucílago y el aceite de oliva pueden aportar propiedades antimicrobianas. De acuerdo a (Aguilar et al., 2016, págs. 3-8), quienes explican que hay evidencias que el nopal posee propiedades naturales antibacterianas, relacionadas con el metabolismo ácido crasuláceo (CAM), el cual, inhibe o suspende el crecimiento bacteriano.

En el día 4 se nota el crecimiento gradual controlado de las bacterias para los 6 tratamientos, pero hay que tener en cuenta que el control comienza a elevar sus microorganismos de manera más acelerada. Al obtener los datos microbiológicos de los 8 días, las formulaciones con menor cantidad de crecimiento de mohos y levaduras fue F3, seguido de F4 y F6. Por otro lado, en el análisis de coliformes se puede evidenciar que de la misma forma F3 es quien muestra menor proliferación de estos microorganismos, acompañado de F5, F4 y F6. En cuanto al análisis de aerobios mesófilos se destaca que F3 mantiene sus niveles más bajos que los demás y va seguido de F6 y F4.

Estos valores no tienen una norma vigente en la cual podamos sustentar nuestros resultados pero, de acuerdo a (Moragas y Valcarcel, 2022, págs. 1-63), quienes han recopilado las normativas existentes hasta esa fecha, podemos justificar que los valores de zumo de frutas frescas sin pasteurizar, no disponen límites de crecimiento para coliformes, aerobios mesófilos y de mohos y levaduras. En cambio, para frutas congeladas podemos relacionar con 5×10^5 UFC/g para aerobios mesófilos, $10^2 - 3 \times 10^2$ UFC/g para coliformes y 10^2 UFC/g para mohos y levaduras. Pero hay que tener en cuenta que nuestras frutas no fueron congeladas por lo que los valores que podemos relacionar en gran medida, son los de verduras y hortalizas frescas que presentan $10^2 - 10^5$ UFC/g, $10^2 - 10^4$ UFC/g y $10 - 10^4$ UFC/g, respectivamente. Es pertinente destacar que las formulaciones óptimas se sitúan dentro de los rangos establecidos. Además, para demostrar el efecto del crecimiento de los microorganismos, se incluye una frutilla control, cuyos valores difieren considerablemente de aquellos que contienen el mucílago de nopal.

De igual manera para correlacionar los datos, podemos tomar en cuenta el estudio de (Gil, Morón y Gaesrte, 2010, págs. 117-120), quienes encontraron $3,8 \times 10^6$ UFC/g de aerobios mesófilos y $3,2 \times 10^6$ UFC/g de coliformes totales en fresas. Sugiriendo que el ambiente, el transporte y el tipo de almacenado inciden de manera drástica sobre las propiedades microbiológicas de las frutillas,

especialmente debido a la falta de procesos de saneamiento desde la cosecha hasta la venta por parte de los agricultores. En base a esta información, el secado de las frutillas con recubrimiento a temperatura ambiente, sin el uso de equipos especializados que mantengan una temperatura constante y un flujo de aire controlado, puede contribuir a la presencia de microorganismos, incluso si las frutas se han lavado con una solución de vinagre al 2%.

4.7 Verificación de la Hipótesis

En el presente trabajo se rechaza la hipótesis alternativa que señala que existe diferencia significativa en el método de extracción del mucilago de *Opuntia ficus-indica* como conservante alimentario de *Fragaria x ananasa*.

Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula, es decir, que no existe diferencia significativa en el método de extracción del mucilago de *Opuntia ficus-indica* como conservante alimentario de *Fragaria x ananasa*, puesto que a un nivel de confianza del 95% se determinó las formulaciones del mucílago líquido se relacionaban con las del mucílago rehidratado de tal manera que no existieron variaciones importantes.

CAPITULO V

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Se realizó seis formulaciones de recubrimientos alimentarios empleando mucílago de *Opuntia ficus-indica* extraído mediante dos métodos distintos. El primer conjunto de formulaciones incorporó 50%, 75% y 90% de mucílago líquido, mientras que el segundo grupo utilizó 50%, 75% y 90% de mucílago rehidratado. Cada formulación se enriqueció con glicerol para mejorar su flexibilidad y compatibilidad, aceite de oliva como agente antimicrobiano, y Tween 80 como agente emulsionante y detergente para prevenir la separación de fases.
- Después de analizar los valores iniciales de los compuestos bioactivos presentes en las frutillas. Se aplicó el recubrimiento alimentario y se observó que las formulaciones F5 y F6 registraron un leve incremento de ácido ascórbico, alcanzando valores de 61,936 y 61,349 mg/100g respectivamente. En cuanto al hierro, hubo un aumento significativo en la formulación F1 (0,873 mg/100g) y F5 (0,912 mg/100g). Por otro lado, el fósforo se redujo en todas las formulaciones en comparación con las frutillas sin recubrimiento, siendo el valor máximo de 0,386 mg/100g para la formulación F5. Respecto al potasio, de igual forma, todas las formulaciones presentaron valores inferiores a las frutillas sin recubrimiento, destacando la formulación F6 con 108,959 mg/100g. Finalmente, el calcio fue más abundante en la formulación F6, con un contenido de 9,502 mg/100g. Basándose en los hallazgos obtenidos, se puede concluir que la formulación F6, al emplear el mucílago rehidratado al 90%, demuestra una concentración mejorada de compuestos bioactivos. Esta formulación se presenta como una opción prometedora para fortalecer los procesos metabólicos que requieren la presencia de estos compuestos en el organismo.
- Al concluir los análisis bromatológicos de los 6 tratamientos, se observó variaciones significativas únicamente en el contenido de azúcar y cenizas. Respecto a la grasa, todos los tratamientos mostraron un incremento, atribuible a la presencia de glicerol y aceite de oliva en la elaboración de los recubrimientos. En cuanto al análisis complementario, se destacó la influencia del tipo de extracto en la cantidad de vitamina C y otros minerales, resaltando la superioridad de la formulación F6 respecto a la frutilla control y el resto de tratamientos. De acuerdo al análisis de estabilidad, se observó que las formulaciones F3

y F6 redujeron significativamente el crecimiento bacteriano, así como el aumento de los sólidos solubles y el pH, además de la reducción de la acidez. En este contexto, cabe resaltar que no se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos que se llevó a cabo con mucílago líquido y deshidratado. Al realizar la comparación, la formulación F3 muestra resultados similares a la F6. Por lo que, al analizar detenidamente, se considera que la formulación F3 se posiciona como el tratamiento más eficiente al reducir el tiempo y los recursos.

5.2 Recomendaciones

- Se sugiere llevar a cabo pruebas de estabilidad a temperaturas superiores a 4°C, con el propósito de simular las condiciones ambientales propias de las regiones de la Costa y Amazonía. Esto permitirá evaluar de manera más precisa los beneficios del recubrimiento bajo diversas condiciones climáticas.
- Se recomienda evaluar la calidad del suelo de origen tanto de las frutillas como de los nopales utilizados a modo de materia prima, con el propósito de verificar la posible presencia de metales pesados.
- Se sugiere llevar a cabo evaluaciones microbiológicas en frutas frescas de los mercados de Salcedo para obtener parámetros microbiológicos y garantizar la inocuidad a los consumidores.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ABAD, Carlos, et al.** "Efecto de la cubierta (microtúnel) en la productividad de dos variedades de fresa (*Fragaria vesca*) en el sector Cajanuma cantón Loja". *La Granja* [en línea], 2022, vol. 31 (1), págs. 131-141. [Consulta: 16 agosto 2023]. ISSN 1390-3799. Disponible en: http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-85962020000100131.
2. **ACUÑA, Daniela, et al.** "Manual de Pérdidas y Desperdicios de Alimentos". *Angewandte Chemie International Edition* [en línea], 2018, vol. 6 (11), págs. 951-952. [Consulta: 15 febrero 2024]. ISSN 1098-6596. Disponible en: [10.1016/j.lwt.2019.05.028. https://5aldia.cl/wp-content/uploads/2018/07/Manual_de_Perdida_y_Desperdicios_Alimentos-.pdf](https://5aldia.cl/wp-content/uploads/2018/07/Manual_de_Perdida_y_Desperdicios_Alimentos-.pdf).
3. **AGUILAR, Luis, et al.** "Efecto de la adición de mucilago de dos variedades (opuntia ficus-indica y opuntia atropes) en leche cruda sobre el contenido de mesófilas aerobias y coliformes totales". *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos* [en línea], 2016, vol. 1 (1), págs. 3-8. [Consulta: 13 julio 2023]. Disponible en: <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume1/1/5/99.pdf>.
4. **AHUMADA, María & TRILLO, Cecilia.** "Diversidad de especies naturalizadas del género opuntia (cactaceae) utilizadas por los pobladores del norte de córdoba (argentina)". *Bol. Soc. Argent. Bot.* [en línea], 2017, vol. 52 (2) págs. 181-196. [Consulta: 13 julio 2023]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/315913763_Diversidad_de_especies_naturalizadas_del_genero_Opuntia_Cactaceae_utilizadas_por_los_pobladores_del_norte_de_Cordoba_Argentina.
5. **ALZAMORA, Stella, et al.** "Conservación de frutas y hortalizas mediante tecnologías combinadas «Manual de Capacitación»". *Fao* [en línea], 2010, pág. 69. ISSN 0717-6163. [Consulta: 26 febrero 2024]. Disponible en: <https://openknowledge.fao.org/bitstreams/8d011b8b-4d65-4acd-93ce6fa89803a389/download>.
6. **AMAZARÁ, Estiven & QUINTERO, Yeison.** "Recuento de los microorganismos aerobios mesofilos". *ResearchGate* [en línea], 2022, vol 1 (5), págs. 1-6. [Consulta: 20 febrero 2024]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/361449495_MICROBIOLOGIA_DE_ALIMENTOS_RECUESTO_DE_LOS_MICROORGANISMOS_AEROBIOS_MESOFILOS
7. **ANKOM, Operator 's Manual.** *ANKOM TECHNOLOGY.*
8. **ARUWA, Christiana E., et al.** "Phenolic compound profile and biological activities of Southern African Opuntia ficus-indica fruit pulp and peels". *Lwt* [en línea], 2019, vol. 111 (1). págs. 337-344. [Consulta: 20 febrero 2024]. ISSN 00236438. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.05.028>.

9. **ATSDR.** "Resumen de salud pública Cobalto (Cobalt)". *División de Toxicología y Ciencias de la Salud* [en línea], 2004, vol. 4 (48), págs. 1-9. [Consulta: 20 febrero 2024]. Disponible en: https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs33.html https://www.atsdr.cdc.gov/es/T%0Ahttps://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs7.pdf.
10. **AXAYACATL, Olmo.** "Mundo Producción Fresa 2020". [en línea], 2022, vol 1 (2). [Consulta: 20 febrero 2024]. Disponible en: <https://sioc.minagricultura.gov.co/Fresa/Documentos/2021-0331%20Cifras20Sectoriales.pdf>.
11. **BADILLO SOLIS, Kenia I., et al.** "Uso de recubrimientos a base de nanoemulsión como alternativa para conservar la calidad poscosecha del jitomate". *Boletín de Ciencias Agropecuarias del ICAP* [en línea], 2021, vol. 7 (14), págs. 14-18. [Consulta: 20 febrero 2024]. Disponible en: https://www.sciencegate.app/source/311409#google_vignette
12. **BARBA, Francisco J., et al.** "Opuntia Ficus Indica Edible Parts: A Food and Nutritional Security Perspective". *Food Reviews International* [en línea], 2022, vol. 38 (5), págs. 930-952. [Consulta: 3 septiembre 2023]. ISSN 15256103. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1756844>.
13. **BÁRCENAS SANTANA, Daniel, et al.** "Etiología de la secadera de la fresa (*Fragaria* spp.) en Morelos, México". *Revista Mexicana de Fitopatología, Mexican Journal of Phytopathology* [en línea], 2019, vol. 37 (3), págs. 454-463. [Consulta: 3 septiembre 2023]. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0185-33092019000300007&lng=en&nrm=iso&tlng=es.
14. **BENÍTEZ, Sebastian, et al.** "Aloe vera as an alternative to traditional edible coatings used in fresh-cut fruits: A case of study with kiwifruit slices". *Lwt* [en línea], 2015, vol. 61 (1), págs. 184-193. [Consulta: 3 septiembre 2023]. ISSN 00236438. Disponible en: https://scholar.google.com/ec/scholar?q=10.1016/j.lwt.2014.11.036.&hl=es&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholart.
15. **BERCEDO SANZ, Maria.** "Protocolos del GVR (P-GVR-6) Rinitis Alérgica". *Asociación Española de Pediatría de Atención Primaria* [en línea], 2016, pág. 20. [Consulta: 3 septiembre 2023]. Disponible en: <http://www.respirar.org/index.php/grupo-vias-respiratorias/protocolos>.
16. **BLANDO, Federica, et al.** "Antimicrobial and Antibiofilm Activity against *Staphylococcus aureus* of *Opuntia ficus-indica* (L.)". *Antioxidants* [en línea], 2019, vol. 8 (117), págs. 1-13. [Consulta: 3 septiembre 2023]. Disponible en: <https://www.semanticscholar.org/paper/Antimicrobial-and-Antibiofilm-Activity-against-of-Blando-Russo/2ce5f54f0441d172a63bfa2a3a4a685bff9b111d>.
17. **BRINDIS, Raúl, et al.** "Efecto del recubrimiento con mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*) en la conservación de Rambután (*Nephelium lappaceum* L.) mínimamente

- procesado". *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* [en línea], 2020, vol. 21 (1), págs. 3-13. [Consulta: 3 septiembre 2023]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81363356012>.
18. **BRITANIA**. "Papa Glucosado Agar". *Laboratorio britania s. a* [en línea], 2021a. vol. 2, págs. 1-2. [Consulta: 20 febrero 2024]. Disponible en: https://www.britanialab.com/back/public/upload/productos/upl_60707ad8180cb.pdf.
19. **BRITANIA**. "Recuento en placa de aerobios". *Laboratorio britania s. a* [en línea], 2021b. vol. 2, págs. 1-2. [Consulta: 20 febrero 2024]. Disponible en: https://www.britanialab.com/back/public/upload/productos/upl_60707e324c182.pdf.
20. **BRITANIA**. "Violeta Rojo y Bilis Glucosa Agar". *Laboratorios Britania* [en línea], 2021c. págs. 1-2. [Consulta: 20 febrero 2024]. Disponible en: <http://www.britanialab.com.ar/esp/productos/b02/violetarojobilisglugar.htm>.
21. **CAAMAL, Ignacio, et al.** "Seminario Internacional de Economía y Desarrollo Problemas del Crecimiento Económico en América Latina y el Caribe". *ResearchGate* [en línea], 2021, vol. 1 (2), págs. 363. [Consulta: 18 noviembre 2023]. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/AlfredoZarazuaRodriguez/publication/366701304_ANALISIS_DE_LA_LOCALIZACION_GEOGRAFICA_DE_LAS_INDUSTRIAS_DE_LA_CONSTRUCCION_Y_ENERGIA_EN_MEXICO_2014/links/63af2713097c7832ca79a267/ANALISIS-DE-LA-LOCALIZACION-GEOGRAFICA.
22. **CACHAY, Jose, et al.** "Physicochemical characterization, bioactive compounds and antioxidant capacity of the juice and flour of secondary cladodes of *Opuntia ficus-indica*". *Agroindustrial Science* [en línea], 2022, vol. 12 (2), págs. 191-198. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/362626334_Physicochemical_characterization_bioactive_compounds_and_antioxidant_capacity_of_the_juice_and_flour_of_secondary_cladodes_of_Opuntia_ficus-indica.
23. **CAHUAYA, Yesenia**. "Evaluación de las características físico-químicas de la frutilla (*fragaria sp.*) en estado de post-cosecha con diferentes niveles de recubrimiento comestible a base de proteína". RI-UMSA(Trabajo de Titulación) [en línea], 2021. [Consulta: 18 noviembre 2023]. Disponible en: <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/27752/T-2966.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
24. **CAMACHO, Melissa, et al.** "Uso De Nanomateriales En Polímeros Para La Obtención De Bioempaques En Aplicaciones Alimentarias". *Scielo* [en línea], 2011, vol. 77 (4), págs. 292-306. [Consulta: 18 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.revistavirtualpro.com/biblioteca/uso-de-nanomateriales-en-polimeros-para-la-obtencion-de-bioempaques-en-aplicaciones-alimentarias>.
25. **CAMPOS, Cynthia**. "Métodos analíticos para la determinación de vitamina C". *Universidad de la Laguna* [en línea], 2021, págs. 14-16. [Consulta: 18 noviembre 2023].

ISSN 2020-2021. Disponible en:
[https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/24595/Metodos analiticos para la determinacion de vitamina C.pdf?sequence=1](https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/24595/Metodos_analiticos_para_la_determinacion_de_vitamina_C.pdf?sequence=1).

26. **CASTILLO, Daniela B. & CUELLO, Maribel.** " Application of an edible coating to the strawberry (*Fragaria Vesca L .*) to preserve it post-harvest". *Scielo* [en línea], 2023, vol. 43 (2), págs. 290-308. [Consulta: 16 noviembre 2023]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2224-61852023000200290&script=sci_abstract&tlng=en.
27. **CASTRO, J., et al.** "Caracterización morfológica y composición química de chayotas (*Sechium edule*) cultivadas en las Islas Canarias (España)". *Scielo* [en línea], 2015, vol. 65 (4), págs. 1-7. [Consulta: 16 noviembre 2023]. Disponible en: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222015000400005.
28. **CELAYA, De.** "Características Físicoquímicas Y Perfil Sensorial De Opuntia robusta y O. ficus-indica". *Archivos latinoamericanos de nutrición* [en línea], 2017, vol. 67, págs. 291-300. [Consulta: 16 noviembre 2023]. Disponible en: http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0004-06222017000500291 &script=sci_abstract.
29. **COMISIÓN EUROPEA.** "Reglamento (UE) N o 1130/2011 De La Comisión de 11 de noviembre de 2011 por el que se modifica el Reglamento (CE) n o 1333/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre aditivos alimentarios, para establecer una lista de aditivos alimentarios de la Uni". *Diario Oficial de la Unión Europea* [en línea], 2011, vol. 2011, págs. 178-204. [Consulta: 16 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.boe.es/doue/2011/295/L00178-00204.pdf>.
30. **CONTIGIANI, Eunice.** Desarrollo de estrategias alternativas para la conservación post-cosecha de frutillas. (Trabajo de Titulación) (Pregrado). Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. 2019. págs. 17-35. [Consulta: 16 noviembre 2023]. Disponible en: https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/collection/tesis/document/tesis_n6634_Contigiani.
31. **CORTINA, Alejandro.** Propiedades físicoquímicas del mucílago de nopal químicamente modificado. (Trabajo de titulación). Universidad Veracruzana. Instituto de Ciencias Básicas. 2020. págs. 23-26. [Consulta: 16 noviembre 2023]. Disponible en: <https://cdigital.uv.mx/handle/1944/50800?show=full>.
32. **CUBERO, Juan, et al.** "Enhancing the recovery of volatile fatty acids from strawberry extrudate through anaerobic fermentation at different pH values". *Environmental Technology and Innovation* [en línea], 2022, vol. 28, pág. 102587. [Consulta: 3 noviembre 2023]. ISSN 23521864. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102587>.
33. **DAVIS, Thomas M., et al.** "A pentaploid-based linkage map of the ancestral octoploid strawberry *Fragaria virginiana* reveals instances of sporadic hyper-recombination". *Horticulture Research* [en línea], 2020, vol. 7 (1), págs. 2-15. [Consulta: 3 noviembre 2023].

ISSN 20527276. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1038/s41438-020-0308-2>.

34. **DAZA, Helena.** "Desarrollo de un recubrimiento alimenticio a partir de residuos agroindustriales como almidón de papa y mucílago de nopal en el departamento de Boyacá". *CEMI* [en línea], 2018, vol. 1, págs. 1-5. [Consulta: 3 noviembre 2023]. ISSN 2559654. Disponible en: https://scda.medellin.unal.edu.co/images/XICIM/LIBRO_DE_MEMORIAS_XI_CIM_2022_SANTAMARTA_COLOMBIA_OCTUBRE_26-28.pdf.
35. **DUSSÁN, Saúl.** "Conservación de Mango Mínimamente Procesado usando un Recubrimiento Comestible a base de Aceite de Aguacate". *Informacion Tecnologica* [en línea], 2017, vol. 28 (3), págs. 67-74. ISSN 07180764. [Consulta: 5 noviembre 2023]. Disponible en: https://www.scielo.org/pe/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0718-07642017000300008&lng=es&nrm=iso
36. **EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY.** "Scientific Opinion on the risks to public health related to the presence of chromium in food and drinking water". *EFSA Journal* [en línea], 2014, vol. 12 (3), págs. 1-261. [Consulta: 5 noviembre 2023]. ISSN 18314732. Disponible en: <https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/3595>.
37. **FAICÁN, María A.** Evaluación de la factibilidad de la impregnación por vacío suave en la elaboración de frutillas y manzanas frescas cortadas. [en línea]. (Maestría) Universidad Nacional del Litoral. Facultad de Ingeniería Química. 2021. págs. 63-67. [Consulta: 5 noviembre 2023] Disponible en: <https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/bitstream/handle/11185/6584/Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
38. **FAO.** *Ecología del cultivo, manejo y usos del Nopal*. [en línea]. 2018. [Consulta: 5 noviembre 2023]. Disponible en: https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/Tuna/25-Ecologia_del_cultivo.pdf.
39. **FERNÁNDEZ, Natalia M. et al.** "Estado Actual Del Uso De Recubrimientos Comestibles En Frutas Y Hortalizas". *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* [en línea], 2017, vol. 15 (2), págs. 134. [Consulta: 5 noviembre 2023]. Disponible en: <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotechnologia/article/view/572>.
40. **FORBES, Hamish, et al.** *Informe sobre el índice de desperdicio de alimentos 2021*. Pnuma [en línea]. Naitobi, Kenia. 2021. [Consulta: 5 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.unep.org/resources/report/unep-food-waste-index-report-2021>.
41. **GALICIA, Silvia, et al.** "Plantación experimental de nopal para evaluación de sistemas de fertilización y extracción de mucílago". *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* [en línea], 2017, vol. 8 (5), págs. 1087-1099. [Consulta: 5 noviembre 2023]. ISSN 2007-0934. Disponible en: <https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/110>.
42. **GARCÍA, Nidia.** Optimización de la extracción acuosa y secado del biopolímero de nopal

- (Opuntia ficus-indica). [en línea]. Universidad de Chile. Facultad de ciencias agronómicas. Santiago, Chile. 2017. págs. 25-39. [Consulta: 5 noviembre 2023]. Disponible en: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/151051>.
43. **GARCÍA, Ramón, et al.** "Determinación de metales pesados en pulpa de fruta de Capsicum annum L. cultivado en la comuna Joá, cantón jipijapa". *Centro Azúcar* [en línea], 2022, vol. 49 (2), págs. 122-135. [Consulta: 5 noviembre 2023]. ISSN: 2223-4861. Disponible en: <https://portal.issn.org/resource/ISSN/2223-4861>.
44. **GARCÍA, Santiago & SERRANO, María.** *III Congreso o Universitario en Innovación y Sostenibilidad Agro alimentaria (CUUISA)*. [en línea]. Orihuela, España: Universitas Miguel Hernandez, 2022. [Consulta: 5 noviembre 2023]. Disponible en: <https://masterresiduos.umh.es/2022/05/05/congreso-iii-congreso-universitario-en-innovacion-y-sostenibilidad-agroalimentaria-2022/>.
45. **GATTO, Anarella & GARCÍA, Melody.** *Módulo 17. pH*. [en línea]. Uruguay: *Creative Commons Atribución 4.0 Internacional*, 2017. [Consulta: 5 noviembre 2023]. Disponible en: http://scoutsanpatricio.com.ar/libros/bomberos_17.pdf.
46. **GAVILANES, Irene, et al.** *Técnicas de Análisis de Laboratorio*. [en línea]. Riobamba, Ecuador: Puerto Madero, 2023. [Consulta: 5 noviembre 2023]. Disponible en: <https://puertomaderoeditorial.com.ar/index.php/pmea/catalog/view/37/155/265>.
47. **GIL, Alexander, et al.** "Calidad microbiológica en frutas de conchas comestibles expandidas en mercados populares de los municipios Valencia y San Diego, estado Carabobo, Venezuela". *Scielo* [en línea], 2010, vol. 35 (2), págs. 117-120. [Consulta: 23 febrero 2024]. ISSN 1315-2556. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=199444210010>.
48. **GIMÉNEZ, Gustavo, et al.** "Identificación y manejo de las principales enfermedades y plagas en el cultivo de frutilla". *Unidad de Agronegocios y Difusión del INIA*. [en línea], 2019, vol 1 (82), págs. 1-57. [Consulta: 23 febrero 2024]. Disponible en: <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos compartidos/111219240807161309.pdf>.
49. **GOBIERNO DE MÉXICO.** "Norma Nacional de Seguridad Alimentaria Niveles máximos de contaminantes en los alimentos". *Gob.mx* [en línea], 2012, págs. 9-23. [Consulta: 23 febrero 2024]. Disponible en: <https://www.bing.com/ck/a?!&&p=f9e46a8872f9e2b5JmltdHM9MTcwODkwNTYwMCZpZ3VpZD0zMGM4YmRhNC01NzFkLTU3NDYtMGU5YS1hZmlyNTZiMjY2YTUmaW5zaWQ9NTE5Nw&ptn=3&ver=2&hsh=3&fclid=30c8bda4-571d-6746-0e9a-afb256b266a5&psq=Norma+Nacion+al+de+Seguridad+Alimentaria+Niveles+>.
50. **GODÍNEZ, Angélica, et al.** "Evaluación del efecto antibacterial del aceite de oliva ozonizado contra Listeria Evaluation of the antibacterial effect of ozonized olive oil against Listeria monocytogenes". *Abanico* [en línea], 2017, vol. 7 (1), págs. 36-43. [Consulta: 23

- febrero 2024]. ISSN 2448-6132. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2017.71.3>.
51. **GRANADOS MONTERO, Milagro, et al.** "Patogenicidad de hongos asociados a plantas de fresa (*Fragaria ananassa*) y descripción ultraestructural del patosistema". *Agronomía Costarricense* [en línea], 2022, vol. 46 (2), págs. 9-28. [Consulta: 23 febrero 2024]. ISSN 0377-9424. Disponible en: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0377-94242022000200009&script=sci_abstract&tlng=es.
 52. **GUTIÉRREZ, Rebeca, et al.** "Alimentos tradicionales de origen mexicano". *Concientifica. Revista de divulgación científica iBIO* [en línea], 2023, vol. 5 (1), págs. 5-7. [Consulta: 23 febrero 2024]. ISSN 2954-4890. Disponible en: <http://revistaibio.com/ojs33/index.php/main/article/view/119>.
 53. **GUZMÁN, Deysi & CHÁVEZ, Jorge.** "Chemical compositional study of nopal (*Opuntia ficusindica*) cladophyll for human consumption". *Rev Soc Quim Perú* [en línea], 2007, vol. 73 (1), págs. 41-45. [Consulta: 23 febrero 2024]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=371937604004>
 54. **HAN, Yonghua, Q., et al.** "Integrated Karyotyping of Woodland Strawberry (*Fragaria vesca*) with Oligopaint FISH Probes". *Cytogenetic and Genome Research* [en línea], 2018, vol. 153 (3), págs. 158-164. [Consulta: 24 febrero 2024] ISSN 1424859X. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29262412/>
 55. **HERRERA, Eduardo.** Elaboración de un abono líquido a partir de residuos de fresa (*fragaria x ananassa*) por fermentación láctica. [en línea]. (Trabajo de Titulación) (Pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ciencias. Lima, Perú. 2017. págs. 15-99. [Consulta: 23 febrero 2024]. Disponible en: <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/3590/herrera-cardenas-ricardo-eduardo.pdf?sequence=5&isAllowed=y>.
 56. **HERRERA, Violeta, et al.** "Aplicación del mucílago de nopal como opción de espesante en yogurt bebible". *Pistas educativas* [en línea], 2021, vol. 43 (139), págs. 408-421. [Consulta: 23 febrero 2024]. ISSN: 2448-847X. Disponible en: <http://itcelaya.edu.mx/ojs/index.php/pistas>.
 57. **ITURBE, Francisca & SANDOVAL, Julieta.** *Análisis de Alimentos Fundamentos y Técnicas*. [en línea]. México, 2011. [Consulta: 23 febrero 2024]. Disponible en: https://amyd.quimica.unam.mx/pluginfile.php/14545/mod_resource/content/1/An%C3%A1lisis%20de%20alimentos%20fundamentos%20y%20t%C3%A9cnicas.pdf
 58. **JAIMES, Sebastián, et al.** "Estabilizantes más utilizados en helados". *ResearchGate* [en línea], 2017, vol. 251 (1), págs. 66-75. [Consulta: 23 febrero 2024]. Disponible en: <https://docplayer.es/71522708-Estabilizantes-mas-utilizados-en-helados.html>.
 59. **JIMÉNEZ VENEGAS, J.** "Hidrólisis ácida de cladodios de nopal para la obtención de azúcares fermentables". *Conamti* [en línea], 2018 vol 3 (1), págs. 101-105. [Consulta: 5

- noviembre 2023]. ISSN 2395-8510. Disponible en: http://200.79.179.163/conamti/descargas/2018/23_Jimenez_et_al_2018a.pdf, pág. 101-105.
60. **KOPANICHUK, Iliá V.** "Structural properties of span 80/tween 80 reverse micelles by molecular dynamics simulations". *Journal of Physical Chemistry B* [en línea], 2018, vol. 122 (33), págs. 8047-8055. [Consulta: 5 noviembre 2023]. ISSN 15205207. Disponible en: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jpcc.8b03945>
61. **LAFUENTE, Gustavo.** Glicerol : síntesis y aplicaciones. [en línea]. (Trabajo de Titulación) (Maestría). Universidad Nacional de educación a distancia, Facultad de ciencias. 2017, págs. 6-7. [Consulta: 5 noviembre 2023]. Disponible en: http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/bibliuned:master-Ciencias-CyTQGlafuente/Lafuente_Aranda_Gustavo_TFM.pdf
62. **LECETA, I., et al.** "Quality attributes of map packaged ready-to-eat baby carrots by using chitosan-based coatings". *Postharvest Biology and Technology* [en línea], 2015, vol. 100, págs. 142-150. [Consulta: 5 noviembre 2023]. ISSN 09255214. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.09.022>.
63. **LUNA, Edén A., et al.** "Cactus pear (opuntia spp.) mucilage and its application as food additive: an overview". *Revista Fitotecnia Mexicana* [en línea], 2023, vol. 46 (1), págs. 51-61. [Consulta: 5 noviembre 2023]. ISSN 01877380. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/369625675_MUCILAGO_DE_NOPAL_Opuntia_spp_Y_SU_APLICACION_COMO_ADITIVO_ALIMENTARIO_UNA_VISION_GENERAL.
64. **MAGNOLIA, Roberta, et al.** "Recubrimientos comestibles para extender la vida de anaquel de productos hortofrutícolas". *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar* [en línea], vol 5 (4), págs 4605-4625. [Consulta: 5 noviembre 2023]. ISSN 2707-2215. Disponible en <https://doi.org/10.>
65. **MAROYI, Alfred.** "New record of *Opuntia microdasys* (Lehm.) Pfeiff. (Cactaceae) for the flora of Zimbabwe". *Plant Science Today* [en línea], 2022, vol. 9 (1827), págs. 50-52. [Consulta: 5 noviembre 2023]. ISSN 23481900. Disponible en: <https://horizonpublishing.com/journals/index.php/PST/article/view/1548>.
66. **MÉNDEZ, Lilia.** "Manual de Análisis de Alimentos". Facultad de Química Farmacéutica Biológica de la Universidad Veracruzana [en línea], 2020, págs. 5-66. [Consulta: 5 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.uv.mx/qfb/files/2020/09/Manual-Analisis-de-Alimentos-1.pdf>.
67. **MOLINA, Franklin, et al.** "Recubrimientos de mucilagos de nopal (*opuntia ficus-indica*) y pectina con aceite esencial de romero (*Rosmarinus officinalis*) en la conservacion de naranjas". *Ciencia y tecnologia de alimentos* [en línea], 2019, vol 29 (2). págs. 53-58. [Consulta: 5 noviembre 2023]. ISSN 1816-7721. Disponible en:

<https://revcitecal.iiiia.edu.cu/revista/index.php/RCTA/article/view/26/22>.

68. **MONROY, Teresa, et al.** "Compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en frutos de xocotuna, tuna y xoconostle (*Opuntia* spp.)". *Chilean Journal of Agricultural and Animal Sciences* [en línea], 2017, vol. 33 (3), págs. 263-272. [Consulta: 5 noviembre 2023]. ISSN 07193890. Disponible en: https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0719-38902017005000704&script=sci_abstract.
69. **MORAGAS, Manuel & VALCARCEL, Santiago.** "Recopilación De Normas Microbiológicas De Los Alimentos". *Norma RM- MINSA* [en línea], 2022, págs. 1-63. [Consulta: 5 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.boe.es/boe/dias/2018/08/01/pdfs/BOE-A-2018-10940.pdf> <https://www.boe.es/doue/2013/068/L00019-00023.pdf>.
70. **MORALES, Luis & RAMOS, Patricio.** "Chilean strawberry (*Fragaria chiloensis*): An integrative and comprehensive review". *Food Research International* [en línea], 2019, vol. 119 (5), págs. 769-776. [Consulta: 5 noviembre 2023]. ISSN 18737145. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.10.059>.
71. **MOREIRA, A. et al.** "Fresa, Fresón". *Consenso de la Sociedad Española de Nutrición Comunitaria* [en línea], 2017, págs. 1-3. [Consulta: 5 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.fen.org.es/MercadoAlimentosFEN/pdfs/fresa.pdf>.
72. **MOSTAFA, Karym, et al.** "Nopal cactus (*Opuntia ficus-indica*) as a source of bioactive compounds for nutrition, health and disease". *Molecules* [en línea], 2014, vol. 19 (9), págs. 14879-14901. [Consulta: 5 noviembre 2023]. ISSN 14203049. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/molecules190914879>.
73. **NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE.** *Think Eat Save. Tracking Progress to Halve Global Food Waste.* [en línea]. *Pnuma*. Estados Unidos. 2024. [Consulta: 23 febrero 2024]. Disponible en: <https://www.unep.org/resources/publication/food-waste-index-report-2024>.
74. **NATIONAL INSTITUTE OF HEALTH.** "Datos sobre el fósforo". *NIH* [en línea], 2019, vol. 2, (7), pág. 1-3. [Consulta: 23 febrero 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.32473/edis-fs252-2014>.
75. **NATIONAL INSTITUTE OF HEALTH.** "Datos sobre el potasio". *NIH* [en línea], 2019, vol 1, pág. 1-4. [Consulta: 23 febrero 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.32473/edis-fy1214-2011>.
76. **NATIONAL INSTITUTE OF HEALTH.** "Datos sobre el calcio". *NIH* [en línea], 2022, vol. 1, pág. 1-6. [Consulta: 23 febrero 2024]. Disponible en: <http://ods.od.nih.gov>.
77. **NATIONAL INSTITUTE OF HEALTH.** "Datos sobre el hierro". *Nih* [en línea], 2022, vol. 1 (10), págs. 1-3. [Consulta: 23 febrero 2024]. Disponible en: <https://ods.od.nih.gov/pdf/factsheets/Iron-DatosEnEspanol.pdf>.

- 78. NORTH DEPARTMENT OF AGRICULTURE AND CONSUMER SERVICES.** "Fresas". *Food and Drug protection Division* [en línea], 2018, (919), págs. 19-26. [Consulta: 23 febrero 2024]. Disponible en: <https://www.nasda.org/about-nasda/staff/joe-reardon-bio/>.
- 79. ORDOÑEZ, D., et al.** "Efecto de recubrimiento de almidón de yuca modificado y aceite de tomillo aplicado al pimiento (*Capsicum annuum*)". *Revista mexicana de ciencias agrícolas* [en línea], 2014, vol. 5 (5), págs. 795. [Consulta: 24 febrero 2024]. ISSN 2007-0934. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342014000500006.
- 80. OSORIO, Andrea.** Comparativa y selección de métodos de extracción de mucílago de *Opuntia ficus-indica* para su uso como recubrimiento comestible. [en línea]. (Trabajo de titulación)(Maestría). Universitat Politècnica de Catalunya, Escola d'Enginyeria Agroalimentària i de Biosistemes UPC - BarcelonaTech de Barcelona. Barcelona, España. 2022. págs. 11-21. [Consulta: 24 febrero 2024]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/370509/memoria.pdf?sequence=1>.
- 81. OVIEDO, Cecilia I., et al.** "Los polifenoles de la fresa disminuyen el estrés oxidativo en enfermedades crónicas". *Gaceta Medica de Mexico* [en línea], 2018, vol. 154 (1), págs. 80-86. [Consulta: 15 noviembre 2023]. ISSN 00163813. Disponible en: <https://doi.org/10.24875/GMM.17002759>.
- 82. PÁRRAGA, Katheryn J. & PILLA, Paulina M.** "Verificación de los métodos para la determinación de coliformes totales y bacterias mesófilas aerobias en el Laboratorio de Microbiología de Alimentos de Zamorano". *Escuela Agrícola Panamericana* [en línea], 2013. Honduras. pág. 48. [Consulta: 15 noviembre 2023]. Disponible en: <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/1697/1/AGI-2013-T038.pdf>.
- 83. PEÑALOZA, Dámaris J., et al.** "Técnica espectroscópica de absorción atómica para determinaciones en química ambiental". *Informes Científicos Técnicos - UNPA* [en línea], 2023, vol. 15 (3), págs. 157-176. [Consulta: 24 febrero 2024]. ISSN: 1852-4516. Disponible en: <https://doi.org/10.22305/ict-unpa.v15.n3.987>.
- 84. PÉREZ, Samuel.** Determinación de flavonoides y actividad antioxidante de cladodios de nopal (*Opuntia ficus-indica*). [en línea]. (Trabajo de Titulación)(Pregrado). Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Químicas. Guayaquil, Ecuador. págs. 390-392. 2016. [Consulta: 15 noviembre 2023]. Disponible en: [http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/10947/Miñano Guevara%2C KarenAnali.pdf?sequence=1&isAllowed=y%0Ahttps://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/3346/DIVERSIDAD_DE_MACROINVERTEBRADOS_ACUÁTICOS_Y_SU.pdf](http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/10947/Miñano%20Guevara%20KarenAnali.pdf?sequence=1&isAllowed=y%0Ahttps://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/3346/DIVERSIDAD_DE_MACROINVERTEBRADOS_ACUÁTICOS_Y_SU.pdf)
- 85. PETTER, Jens, et al.** "Inter seasonal validation of non-contact NIR spectroscopy for measurement of total soluble solids in high tunnel strawberries". *ScienceDirect* [en línea],

2024, vol. 309 (2), pág. 4-14. [Consulta: 15 noviembre 2023]. ISSN 13861425. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.saa.2024.123853>.

86. **PONCE, A., et al.** "Potencial del nopal (*Opuntia ficus-indica*) para su incursión en la industria de la confitería : Una breve revisión". *Investigación y Desarrollo en Ciencias y Tecnología de Alimentos* [en línea], 2023, vol. 8 (6), págs. 491-500. Disponible en: <https://idcyta.uanl.mx/index.php/i/article/view/66>.
87. **PORTILLO, Liberato, et al.** *Opuntia. Aportaciones a su conocimiento y aprovechamiento.* [en línea]. Guadalajara , México. CUCBA. 2021. [Consulta: 15 noviembre 2023]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/354517702_Opuntia_Aportaciones_a_su_conocimiento_y_aprovechamiento.
88. **RACIM.** *Vitamina C.* [blog] Argentina. 2020. [Consulta: 15 noviembre 2023]. Disponible en: <http://cime.fcq.unc.edu.ar/wp-content/uploads/sites/15/2020/09/RACIM-Vit-C-versión-1-01.07.2020-1.pdf>.
89. **RAMÍREZ, Rafael A., et al.** "Evaluation of the use of reactive oxygen species (ROS) generated through oxyion technology in strawberry (*Fragaria × ananassa* (Duchesne ex Weston) Duchesne ex Rozier cv. Monterrey) storage". *Acta Agronomica* [en línea], 2018, vol. 67 (2), págs. 223-230. [Consulta: 16 noviembre 2023]. ISSN 23230118. Disponible en: <https://doi.org/10.15446/acag.v67n2.66580>.
90. **REINOSO, Rony.** Estudio comparativo de las propiedades fisicoquímicas del rábano (*Raphanus Sativus*) en cultivos hidropónicos inoculados con *Bacillus subtilis* y *Pseudomonas Aeruginosa* [en línea]. (Trabajo de Titulación) (Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Riobamba, Ecuador. 2021. págs. 16-38. [Consulta: 16 noviembre 2023]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/15316>.
91. **REYES, Claudia, et al.** "Sopa de elote (*Zea mays*) tipo crema con mucílago de nopal (*Opuntia* spp.) como espesante, sus características físicas y aceptación sensorial". *Revista especializada en ciencias Químico-Biológicas* [en línea], 2020, vol. 23, págs. 1-14. [Consulta: 16 noviembre 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2020.0.257>.
92. **RÍOS, M. & HERNÁNDEZ, Hector.** "Fundamentos Teóricos de icp-ms y su importancia en el análisis de elementos tóxicos en agua subterránea". *Glosa Revista de Divulgación* [en línea], 2020, vol. 8 (14), págs. 4-15. [Consulta: 16 noviembre 2023]. ISSN: 2448-766X. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/341310570>.
93. **RIVERA, Bonilla, et al.** "Determinación estructural de flavonoides en el extracto etanólico de cladodios de opuntia ficus-indica. tuna verde". *EsSalud* [en línea], 2017, vol. 2 (4), págs. 835-840. [Consulta: 16 noviembre 2023]. ISSN: 2415-2692. Disponible en: <https://rpm.pe/index.php/rpmi/article/view/629>.
94. **ROBERT, By & BROWN, Bob.** *Guía para la identificación de las enfermedades de frutilla*

[en línea]. Argentina. Ediciones INTA. 2020. [Consulta: 16 noviembre 2023]. Disponible en: <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/7799>.

95. **ROBLES, Reyes & RAMOS, Roa.** "Aplicación de un recubrimiento comestible a base de *Opuntia ficus-indica* para aumentar la vida de anaquel de aguacate *Persea americana* Hass". *Avances de Investigación en Inocuidad de alimentos* [en línea], 2021, vol. 4 (9), págs. 2-5. [Consulta: 16 noviembre 2023]. ISSN: 1665-5745. Disponible en: <http://www.e-gnosis.udg.mx/index.php/inocuidad>.
96. **RODRÍGUEZ HENAO, Yurley C.** Evaluación del mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*) como agente estabilizante en néctar de maracuyá (*Passiflora edulis*). [en línea]. (Trabajo de titulación)(Pregrado). Universidad de la Salle, Facultad de ingeniería. Bogotá, Colombia. 2017. págs. 1-84. [Consulta: 10 noviembre 2023]. Disponible en: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_alimentos/67/.
97. **RODRÍGUEZ, J., et al.** "Determinación de parámetros fisicoquímicos en jugos de frutas cítricas". *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos* [en línea], 2020, vol. 5 págs. 233-238. [Consulta: 10 noviembre 2023]. Disponible en: [http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume 5/5/3/47.pdf](http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume%205/5/3/47.pdf).
98. **ROLDAN CRUZ, Edgar & MIRANDA, Hugo.** "Nopal/tuna, mercado y territorio en México: un enfoque de capacidades". *Eutopía. Revista de Desarrollo Económico Territorial* [en línea], 2022, (21) págs. 100-123. [Consulta: 10 noviembre 2023]. ISSN 1390-5708. Disponible en: <https://doi.org/10.17141/eutopia.21.2022.5435>.
99. **ROMÁN, Nallely R., et al.** "Nutritional and nutraceutical characteristics of vegetables of ancestral use in Mexico". *Revista Fitotecnia Mexicana* [en línea], 2018, vol. 41 (3), págs. 245-253. [Consulta: 24 febrero 2024]. ISSN 01877380. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S018773802018000300245&script=sci_abstract&tlng=en.
100. **ROMERO, Jorge.** "Documentación y verificación del análisis de fibra cruda por medio del equipo fibrecbag fbs-6 para el laboratorio de análisis de aguas y alimentos de la Universidad Tecnológica de Pereira". *Scientia et Technica* [en línea], 2016, págs. 1-7. [Consulta: 24 febrero 2024]. Disponible en: <https://repositorio.utp.edu.co/items/cb9f5c2a-3b00-4454-bdc5-772b058f65f0>.
101. **SALAS, Karla M., et al.** "Potencial bioactivo de los residuos del cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa*) en Costa Rica". *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales* [en línea], 2022, vol. 9 (2), págs. 55-68. [Consulta: 10 noviembre 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.23850/24220582.4875>.
102. **SALAZAR, Ana, et al.** *Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos*. [en línea]. Barrancabermeja, Colombia. Instituto Universitario de la Paz – UNIPAZ. 2019. [Consulta: 10 noviembre 2023]. Disponible en:

<https://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2018/12/pub-0013ManualdeTécnicasAnalíticasParalaDeterminacióndeParámetrosFísicoquímicosyContaminantesMarinosAguasSedimentosyOrganismos-pages-deleted-compressed.pdf>.

- 103. SALAZAR, Viviana.** *Manual de Micología Básica* [en línea]. Santiago de Chile, Chile. ResearchGate. 2016. [Consulta: 10 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/333774015>
- 104. SALES TORRES, Aldo.** "Composición química del nopal y sus implicaciones en la nutrición de rumiantes (experiencias de Brasil)". *Revista Salud Pública y Nutrición* [en línea], 2015, vol. 5 págs. 143-151. [Consulta: 10 noviembre 2023]. ISSN 1870-0160. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/279513642>.
- 105. SALINAS, Víctor M., et al.** "Aplicación de recubrimientos comestibles a base de mucílago de nopal, gretina y cera de abeja en ciruela almacenada en refrigeración". *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* [en línea], 2022, vol. 23 (2), págs. 181-192. [Consulta: 10 noviembre 2023]. ISSN: 1665-0204. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81373798008>.
- 106. SÁNCHEZ, Estefanía & MESA, María D.** "Compuestos bioactivos del aceite de oliva virgen". *Nutrición Clínica en Medicina* [en línea], 2018, vol. 12 (2), págs. 80-94. [Consulta: 10 noviembre 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.7400/NCM.2018.12.2.5064>.
- 107. SÁNCHEZ, Naayeli.** Evaluación de las propiedades bioestimulantes de dos productos alternativos en tres variedades de fresa (fragaria x ananassa) en la parroquia montalvo, provincia de tungurahua. [en línea]. (Trabajo de titulación)(Pregrado). Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Ambato, Ecuador. 2022, págs. 10-27. [Consulta: 10 noviembre 2023]. Disponible en: <https://medium.com/@arifwicaksanaa/pengertian-use-case-a7e576e1b6bf>.
- 108. SEGOVIA, Fernández.** "Determinación de proteínas de un alimento por el método Kjeldahl. Valoración con un ácido fuerte". (Trabajode Titulación)(Maestría)Universitat Politecnica de Valencia [en línea], 2014, vol 1, págs. 2-6. [Consulta: 10 noviembre 2023]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/16338>.
- 109. SHINGA, Mawande & FAWOLE, Olaniyi.** "Opuntia ficus indica mucilage coatings regulate cell wall softening enzymes and delay the ripening of banana fruit stored at retail conditions". *International Journal of Biological Macromolecules* [en línea], 2023, vol. 245, págs. 1-16. [Consulta: 10 noviembre 2023]. ISSN 18790003. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.125550>.
- 110. SOLANO, Luz, et al.** "Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados". *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas* [en línea], 2018, vol. 21, pág. 30. [Consulta: 10 noviembre 2023] ISSN 1405-888X. Disponible en: <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2018.0.153>.

- 111. TICONA, Osbaldo & QUIROGA, Brigido.** "Kinetic behavior of anthocyanin , phenolic compounds and antioxidant activity under thermal treatment in the production of strawberry jam (*Fragaria sp .*)". *Cibum Scientia* [en línea], 2022, vol. 1, págs. 98-104. [Consulta: 17 noviembre 2023]. ISSN: 2791-1217. Disponible en: <https://doi.org/10.53287/ikjf6985ym26w> Recibido.
- 112. TODHANAKASEM, Tatsaporn, et al.** "Development of Bioactive Opuntia ficus-indica Edible Films Containing Probiotics as a Coating for Fresh-Cut Fruit". *Polymers* [en línea], 2022, vol. 14 (22), págs. 2-16. [Consulta: 17 noviembre 2023]. ISSN 20734360. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/polym14225018>.
- 113. TOLEDO, M.** *Guía teórica de pH*. [en línea]. Greifensee, Suiza. 2016. [Consulta: 17 noviembre 2023]. Disponible en: https://www.sesst.org/wp-content/uploads/2019/06/30237094a_v04.16_ph_measurement_guide_es_lr.pdf.
- 114. TORRES, César, et al.** "Influence of Eucalyptus camaldulensis Dehnh and Opuntia ficus-indica L. Mill in physical and chemical soil properties". *Terra Latinoamericana* [en línea], 2018, vol. 36 (3), págs. 275-285. [Consulta: 18 noviembre 2023]. ISSN 23958030. Disponible en: <https://doi.org/10.28940/terra.v36i3.199>.
- 115. TORRES, Ligia, et al.** "Características de la glicerina obtenida del proceso de la reacción del metóxido de sodio en la producción del Biodiesel". *Revista de Energía Química y Física* [en línea], 2019, vol. 6 (18), págs. 18-28. [Consulta: 18 noviembre 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.35429/JCPE.2019.18.6.18.28>
- 116. TORRES MORALES, Karen & PÁJARO GONZÁLEZ, John.** Evaluación de los daños mecánicos de la fresa variedad Albión con el uso de una película comestible durante la cadena poscosecha [en línea].(Trabajo de Titulación) (Pregrado). Universidad De La Salle, Facultad de Ingenierías. Bogotá, Colombia. 2015. págs. 10-13. [Consulta: 18 noviembre 2023]. Disponible en: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_alimentos/254.
- 117. TORRES, Pablo, et al.** "La baba y el mucílago de nopal, una alternativa natural para la conservación de acabados arquitectónicos de tierra". *Revista Interdisciplinaria del INAH* [en línea], 2015, págs. 92-114. [Consulta: 18 noviembre 2023]. Disponible en: <https://revistas.inah.gob.mx/index.php/antropologia/article/view/8197>.
- 118. UNIÓN EUROPEA.** *Reglamento (UE) 2018/ 73 de la comisión - de 16 de enero de 2018 - por el que se modifican los anexos II y III del Reglamento (CE) n.o 396/2005 del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo a los límites máxim.* Disponible en: <https://www.boe.es/doue/2018/013/L00008-00020.pdf>
- 119. UNIÓN EUROPEA.** *Contenidos máximos en metales pesados en productos alimenticios.* 2021. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32018R0073>
- 120. UNIÓN EUROPEA.** *Reglamento (Ue) 2021/1317 De La Comisión de 9 de agosto de 2021*

por el que se modifica el Reglamento (CE) n.º 1881/2006 en lo relativo a los contenidos máximos de plomo en determinados productos alimenticios. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/HTML/?uri=CELEX%3A32018R0073>

- 121. UNIÓN EUROPEA.** *Reglamento (UE)2021/1323 de la Comisión de 10 de agosto de 2021 que modifica el Reglamento (CE) n° 1881/2006 por lo que respecta al contenido máximo de cadmio en determinados productos alimenticios.* Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2021-81124>
- 122. UNIÓN EUROPEA.** *Evaluación del riesgo de Arsénico. Unión Europea. Agencia española de seguridad alimentaria y nutrición.* Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2021-81124>
- 123. VALENCIA, Silvia & TORRES, Jenny.** "Recubrimientos comestibles aplicados en productos de IV y V gamma". *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* [en línea], 2016, vol. 17 (2), págs. 162-174. [Consulta: 18 noviembre 2023]. ISSN: 1665-0204. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/813/81349041004.pdf>.
- 124. VARGAS, Juan, et al.** "Caracterización físico-química, microscópica de barrido y dispersión de rayos x del mucílago de cladodios de opuntia ficus indica en la región alta de tacna". *Revista de la Sociedad Química del Perú* [en línea], 2019, vol. 85 (3), págs. 305-314. [Consulta: 19 noviembre 2023]. ISSN 1810-634X. Disponible en: <https://doi.org/10.37761/rsqp.v85i3.248>.
- 125. VARGAS, Lorena, et al.** "Physical properties of mucilage prickly pear". *Acta Universitaria* [en línea], 2016, vol. 26 (1), págs. 8-11. [Consulta: 19 noviembre 2023]. ISSN 01886266. Disponible en: <https://doi.org/10.15174/au.2016.839>.
- 126. VARGAS, María, et al.** "Aprovechamiento de cáscaras de frutas: análisis nutricional y compuestos bioactivos". *Ciencia ergo sum* [en línea], 2019, vol. 26 (2), págs. 1-11. [Consulta: 18 noviembre 2023]. ISSN 14050269. Disponible en: <https://doi.org/10.30878/ces.v26n2a6>.
- 127. VILLAGRA, Elizabeth, et al.** "Evaluación de crecimiento y desempeño productivo del cultivo de frutilla (Fragaria x ananassa Duch.) inoculado con Azospirillum brasilense". *Revista Agrónoma Noroeste Argentina* [en línea], 2021, vol. 41 (1), págs. 39-50. [Consulta: 18 noviembre 2023]. ISSN 2314-369X. Disponible en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2314-369X2021000100057.
- 128. VILLAGRÁN, Marcelo, et al.** "Vitamin c en salud y enfermedad". *Revista Chilena de Nutrición* [en línea], 2019, vol. 46 (6), págs. 800-808. [Consulta: 18 noviembre 2023]. ISSN 07177518. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182019000600800>.
- 129. VILLANUEVA, Susan.** Evaluación del mucílago del nopal (Opuntia ficus indica) como agente estabilizante en la elaboración de néctar de aguaymanto (Physalis peruviana) [en línea]. (Trabajo de titulación)(Maestría). Universidad Le Cordon Bleu, Facultad de Ciencias

de los Alimentos. Lima, Perú. 2020. págs. 1-4. [Consulta: 18 noviembre 2023]. Disponible en:<http://www.unpcdc.org/media/15782/sustainableprocurementpractice.pdf%0A>

130. WANG, Hua, et al. "The control of red colour by a family of MYB transcription factors in octoploid strawberry (*Fragaria* × *ananassa*) fruits". *Plant Biotechnology Journal* [en línea], 2020, vol. 18 (5), págs. 1169-1184. [Consulta: 17 noviembre 2023]. ISSN 14677652. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/pbi.13282>.

131. ZARATE, Lizbeth, et al. "Effect of dehydrated nopal (*Opuntia* spp) powder on physicochemical and sensory properties of Vienna sausages". *Revista de ciencias biológicas y de la salud* [en línea], 2021, vol. 23 (2), págs. 89-95. [Consulta: 17 noviembre 2023]. Disponible en: <http://biotecnia.unison.mx>.

Total 131 referencias bibliográficas



ANEXOS

ANEXO A: ANÁLISIS BROMATOLÓGICO PROXIMAL DEL MATERIAL VEGETAL.



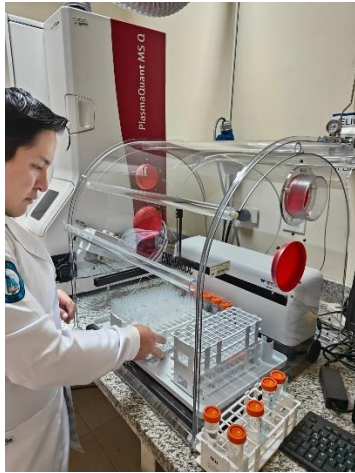
ANEXO B: OBTENCIÓN DEL MUCÍLAGO DE NOPAL.



ANEXO C: ELABORACIÓN Y APLICACIÓN DE LOS RECUBRIMIENTOS ALIMENTARIOS



ANEXO D: ANALISIS BROMATOLÓGICO COMPLEMENTARIO.



ANEXO E: ANALISIS DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS.






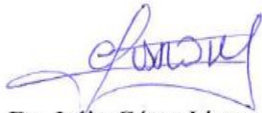
ANEXO F: ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS





ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA
NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO

Fecha de entrega: 31/05/2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR
Nombres – Apellidos: Charly Anderson Peralta Bautista
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Bioquímica y Farmacia
Título a optar: Bioquímico Farmacéutico
 Dra. Irene del Carmen Gavilanes Terán, PhD. Directora del Trabajo de Integración Curricular
 Dr. Julio César Idrovo Novillo, PhD. Asesor del Trabajo de Integración Curricular