

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA QUIMICA



**“FORMULACIÓN DE UN RECUBRIMIENTO COMESTIBLE
PRESERVANTE DE ARÁNDANO EMPLEANDO MUCÍLAGO
EXTRAÍDO DE LA PENCA DE TUNA (*Opuntia ficus-indica*)”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO QUÍMICO**

**AUTORES: PATRICIA GINEZ POVEZ
MELISSA SUE GODOY HERNÁNDEZ**

CALLAO, Enero, 2018

PERÚ

PRÓLOGO DEL JURADO

La presente tesis fue sustentada por las Bachilleres GINEZ POVEZ PATRICIA y GODOY HERNÁNDEZ MELISSA SUE, ante el JURADO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS conformado por los siguientes Docentes Ordinarios:

Dr. OSCAR JUAN RODRÍGUEZ TARANCO	Presidente
Ing. RICARDO RODRIGUEZ VILCHEZ	Secretario
Ing. CALIXTO IPANAQUE MAZA	Vocal
Ing. OSCAR MANUEL CHAMPA HENRIQUEZ	Asesor

Tal como está asentado en el libro de Actas de Sustentación de tesis N° 1, Folio N° 033, Acta N° 032, de fecha veintiseis de Enero de 2018, para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico, de acuerdo a lo normado por el Reglamento de Grados y Títulos aprobado por Resolución N° 082-2011-CU de fecha 29 de abril de 2011, modificado con Resolución N° 221-2012-CU de fecha 19 de setiembre de 2012.

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a nuestros padres por apoyarnos durante el camino hacia nuestra meta profesional.

ÍNDICE

TABLA DE CONTENIDO	4
RESUMEN	7
ABSTRACT	8
TABLAS DE CONTENIDO.....	4
I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	9
1.1 Identificación del problema	9
1.2 Formulación del problema	10
1.3 Objetivos de la investigación	10
1.4 Justificación	11
1.5 Importancia	12
II. MARCO TEÓRICO.....	13
2.1 Antecedentes del estudio.....	13
2.2 Bases teóricas	15
2.2.1 Transporte de gases	15
2.2.2 Tasa de respiración.....	16
2.2.3 Maduración	18
2.2.4 Estudios sobre recubrimientos comestibles preservantes de alimentos.....	19
2.2.5 Función de los recubrimientos comestibles preservantes de alimentos.....	20
2.2.6 Tipos de mucílago	21
2.2.7 Polímeros empleados para la elaboración de recubrimientos comestibles preservantes.....	21
2.2.8 Mecanismos de formación de recubrimientos comestibles ..	22
2.3 Marco conceptual	23
2.3.1 El arándano.....	23
2.3.2 Producción de los arándanos en el Perú.....	26

2.3.3	Penca de tuna	27
2.3.4	Mucílago de la penca de tuna	27
2.3.5	Composición química del mucílago.....	28
2.3.6	Métodos de extracción	29
2.3.7	Composición química de los diferentes macro componentes del mucílago	30
2.3.8	Recubrimientos comestibles y sus características	32
2.3.9	Matrices estructurales de los recubrimientos comestibles ...	33
2.3.10	Aditivos naturales en los recubrimientos comestibles	34
2.3.11	Componentes para la elaboración del recubrimiento comestible preservantes.....	35
2.3.12	Tecnologías para la aplicación del recubrimiento comestible.....	37
2.4	Términos básicos.....	38
III.	VARIABLES E HIPÓTESIS.....	41
3.1	Variables de la investigación	41
3.2	Operacionalización de variables	41
3.3	Hipótesis	42
3.3.1	Hipótesis general.....	42
3.3.2	Hipótesis específicas.....	42
IV.	METODOLOGÍA	43
4.1	Tipo de investigación	43
4.2	Diseño de la investigación	44
4.3	Población y Muestra	47
4.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	47
4.5	Procedimiento de recolección de datos	49
4.5.1	Tratamiento de la materia prima	49
4.5.2	Caracterización del mucílago de la penca de tuna.....	54

4.5.3	Formulación del recubrimiento comestible preservante del arándano	59
4.6	Procesamiento estadístico y análisis de datos	67
4.6.1	Tratamiento estadístico	67
4.6.2	Análisis estadístico	67
V.	RESULTADOS	68
5.1	Resultados de la extracción	68
5.2	Resultados de la caracterización	69
5.3	Resultados de la formulación del recubrimiento comestible preservante del arándano	70
VI.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	81
6.1	Contrastación de hipótesis con los resultados	81
6.2	Contrastación de resultados con investigaciones similares	81
VII.	CONCLUSIONES	85
VIII.	RECOMENDACIONES	86
IX.	REFERENCIALES	87
X.	ANEXOS	90

TABLAS DE CONTENIDO

Tablas

2.1 Clasificación de productos hortícolas de acuerdo a su tasa de respiración	17
2.2 Clasificación de algunos frutos de acuerdo a su comportamiento respiratorio durante la maduración.	18
2.3 % mínimo de css.....	19
2.4 Composición química del mucílago de la penca de tuna (g/100gr de muestra).....	28
2.5 Composición química del mucílago de la penca de la tuna (opuntia ficus-indica).....	29
2.6 Valores en porcentaje en peso de los diferentes macro componentes del mucílago en los diferentes procesos de extracción.....	31
2.7 Composición de azúcares en el hidrolizado de mucilago extraído por el método de escaldado	31
2.8 Determinación de azúcares y ácidos urónicos presentes en el mucílago de la penca de la tuna (opuntia ficus-indica)	32
3.1 Operacionalización de variables	41
4.1 Composición en volumen para la elaboración del recubrimiento comestible preservante	63
5.1 Relacion penca/agua-rendimiento	68
5.2 Características químicas del mucílago de la penca	69
5.3 Resultados del análisis icp óptico	70
5.4 Evaluación de la tasa de respiración (mg CO ₂ / kg arándano x h)	71
5.5 análisis estadístico de la tasa de respiración de MGA2.....	72
5.6 Tasa respiratoria y %disminución de producción de CO ₂	73
5.7 Evaluación de sólidos solubles	74
5.8 Análisis estadístico de la css de MGA2	75
5.9 Velocidad de maduración y % disminución de la velocidad de maduración	75
5.10 Evaluación del % pérdida de peso.....	76
5.11 Análisis estadístico % pérdida de peso de MGA2.....	77
5.12 %pérdida de peso	78
5.13 Evaluación del % firmeza al tacto	79

5.14 Evaluación del % pudriciones y hongos.....	80
10.1 Porcentaje de humedad.....	90
10.2 Porcentaje de ceniza.....	92

Figuras

2.1 Grado de madurez del arándano.....	24
2.2 Pudriciones observadas en el arándano.....	26
2.3. Planta de la penca de tuna.....	27
4.1. Diseño de la investigación.....	45
4.2. Diseño experimental.....	46
4.3. Cepillado de penca.....	49
4.4. Lavado de penca.....	49
4.5. Remoción de epidermis.....	49
4.6. Trozos de penca.....	49
4.7. Pesado de pencas.....	50
4.8. Molienda de pencas.....	50
4.9. Tratamiento térmico en solución de pencas.....	50
4.10. Precipitación del mucilago.....	51
4.11. Mucilago húmedo.....	51
4.12. Muestra de penca en la estufa.....	52
4.13. Mucilago seco.....	52
4.14. Mucilago en polvo.....	52
4.15. Diagrama del proceso de extracción del mucilago.....	53
4.16. Diagrama del proceso de caracterización.....	54
4.17. Diagrama del proceso de elaboración del recubrimiento.....	59
4.18. Preparación de solución precursora.....	60
4.19. Inmersión de los arándanos.....	63
4.20. Secado de los arándanos.....	64
4.21. Ensayo del detector de CO ₂	65
4.22. Signos de pérdida de peso.....	65
4.23. Signos de ablandamiento.....	66
4.24. Presencia de pudriciones y hongos.....	66

5.1 Relacion nopal/agua-rendimiento	68
5.2 Tasa de respiración	71
5.3 Sólidos solubles vs tiempo	74
5.4 % Pérdida de peso vs tiempo	77
5.5 % Firmeza al tacto vs tiempo	79
5.6 % Pudriciones y hongos vs tiempo	80

RESUMEN

La presente investigación se realizó a partir del mucílago en polvo que presentó características químicas, lo cual favorece a la formulación del recubrimiento comestible para el arándano, que se puede definir como una matriz continua, delgada y que se estructura alrededor del alimento generalmente mediante la inmersión. Dichas soluciones formadoras pueden estar conformadas por un polisacárido, un compuesto de naturaleza proteica, lipídica o por una mezcla de los mismos.

Primero se realizó la extracción del mucílago de la penca de tuna por el método de escaldado, para luego determinar mediante análisis químico y proximal sus características como son el contenido de elementos químicos, porcentaje de cenizas, proteínas, fibra, carbohidratos, grasas y humedad.

Después de realizar la caracterización del mucílago se obtuvieron los siguientes datos como el contenido de carbohidratos 69,40 %, fibra 7,44%, grasas 0,23 %, proteínas 3,18 %, cenizas 11,46 % y humedad 8,29 %; luego se realizaron siete pruebas experimentales en la cual se utilizó el mucílago en polvo, el aceite de sacha Inchi, glicerol, polietilenglicol y agua destilada en donde se determinó en cada formulación la tasa de respiración, cantidad de sólidos solubles, pérdida de peso y aparición de hongos; para obtener así las condiciones más adecuadas para el recubrimiento comestible.

Finalmente se determinó la formulación del recubrimiento comestible compuesta por la solución de mucílago (1%), glicerol (3%) y aceite de sacha inchi (1%) logrando un óptimo efecto en la preservación del arándano.

Palabras claves: Mucílago, escaldado, preservantes, tasa de respiración.

ABSTRACT

The present investigation was carried out from the powdered mucilage that presented chemical characteristics, which favors the formulation of the edible coating for cranberry, which can be defined as a continuous, thin matrix that is structured around the food, usually by immersion. That forming solutions can be formed by a polysaccharide, a compound of a protein, lipid nature or by a mixture of them.

First, the extraction of the mucilage of the prickly pear cactus by the blanching method was made, to then determine by chemical and proximal analysis its characteristics such as the content of chemical elements, percentage of ash, proteins, fiber, carbohydrates, fats and moisture.

After carrying out the characterization of the mucilage the following data were obtained as the content of carbohydrates 69.40%, fiber 7.44%, fats 0.23%, proteins 3.18%, ash 11.46% and humidity 8.29% ; then seven experimental tests were completed in which powdered mucilage, Sacha Inchi oil, glycerol, polyethylene glycol and distilled water were used, where the respiration rate, amount of soluble solids, weight loss and fungus emergence; to obtain the most suitable conditions for the edible coating.

Finally, the formulation of the edible coating composed of the solution of mucilage (1%), glycerol (3%) and Sacha Inchi oil (1%) was determined, achieving an optimal effect in the preservation of cranberry.

Keywords: Mucilage, blanching, preservatives, respiration rate.

I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Identificación del problema

Uno de los principales problemas que se tiene con las frutas como es el caso del arándano, es su corta duración, pues algunas son altamente delicadas ya sea a los múltiples microorganismos existentes en el ambiente, así como también, a la temperatura, humedad, entre otros múltiples factores que no favorecen a su conservación.

Los métodos de preservación que se utilizan son variados entre ellos están el uso de congeladores para evitar el deterioro rápido del alimento, utilizar empaques especiales para su almacenamiento, entre otras soluciones. El problema está en que a muy bajas temperaturas el alimento pierde su textura y muchas ocasiones su sabor cambia, lo que respecta al uso empaques, ocurre lo mismo ya que puede proteger el alimento de algunos factores externos como la contaminación con cuerpos extraños, pero incluso este método hace perecer el alimento en un menor tiempo que el congelado.

Una alternativa es determinar una formulación para elaborar un recubrimiento alimenticio utilizando el mucílago que es extraído de la penca de la tuna, con lo cual se busca preservar la vida útil del arándano y que nos permita almacenar sin el temor de que hayan perecido al momento que elijamos consumirlos.

Este tema surge a partir del estudio de diversos casos encontrados en la bibliografía sobre recubrimientos comestibles con otros tipos de alimentos, y su perfecta funcionalidad en cuanto a la duración del alimento conservado con estas películas protectoras.

El método de extracción del mucílago juega un papel importante ya que de este dependerán las características químicas y físicas de los extractos. El procedimiento que incluye el escaldado de la penca pelada y molida

fue el que dio un producto con mejores características para su uso como recubrimiento, pues presentaba mayor poder espesante, además, que la solubilidad era la más adecuada y presentaba mejor color.

1.2 Formulación del problema

❖ Problema general

¿Cómo debe ser la formulación de un recubrimiento comestible preservante del arándano empleando mucílago extraído de la penca de tuna?

❖ Problemas específicos

- A. ¿Qué método experimental será el adecuado para la extracción del mucílago de la penca de tuna?
- B. ¿Cómo se va a determinar las características químicas del mucílago extraído de la penca de tuna?

1.3 Objetivos de la investigación

❖ Objetivo general

Determinar la formulación de un recubrimiento comestible preservante del arándano empleando el mucílago de la penca de la tuna.

❖ Objetivos específicos

- A. Identificar el método experimental adecuado para la extracción del mucílago de la penca de tuna
- B. Determinar las características químicas del mucílago extraído de la penca de tuna.

1.4 Justificación

Los resultados de la investigación que se propone desarrollar, tiene valiosos aportes en los siguientes contextos:

❖ **Ambiental:**

El interés de los consumidores por productos naturales y que no generen residuos contaminantes es cada vez más creciente, por lo que esta tecnología es respetuosa con el medio ambiente y provee un alimento saludable y seguro con un procesado mínimo.

❖ **Legal:**

Respeta la normatividad del Código de Protección y Defensa del Consumidor. Título I, Capítulo IV, Subtítulo II, Art. 33.- Alimentos modificados.

❖ **Teórica:**

Se dará a conocer una forma de conservación natural, mejorando su eficiencia mecánica, capacidad de barrera, estabilidad bioquímica, física y microbiológica en el arándano.

❖ **Tecnológica:**

Permitirá desarrollar una tecnología simple de fabricación y aplicación de un recubrimiento alimenticio para la conservación del arándano.

❖ **Económica:**

Es una alternativa viable ya que la materia prima no requiere de una gran inversión económica, ni tampoco se requiere de equipos muy costosos para su obtención y elaboración del recubrimiento final.

❖ **Social:**

Desarrollará un producto saludable y de calidad lo cual responde a la creciente demanda de alimentos naturales libre de una gran cantidad de procesos que por lo general les restan calidad y nutrientes,

además se verán favorecidas las personas que cultivan tunas, ya que se puede dar otros usos a las pencas.

❖ **Práctica:**

Permitirá inhibir el crecimiento de diversos microorganismos, evitará la oxidación y los daños causados por la humedad los cuales son la principal causa de la pérdida de firmeza, color y sabor del alimento.

1.5 Importancia

Es relevante obtener un recubrimiento comestible que proteja la calidad de un alimento ya que esto nos garantizará un producto con una reducción de su deterioro habitual, en adición a eso el recubrimiento es de origen natural, seguro y aumenta la resistencia mecánica de la fruta, no genera residuos por lo que es consumido conjuntamente con el alimento, con lo cual se aporta una alternativa más para preservar alimentos de manera natural.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del estudio

Aguilar, Miguel (2009) desarrolló una investigación de **“Propiedades físicas y mecánicas de películas biodegradables y su empleo en el recubrimiento de frutos de aguacate”** con el objetivo de elaborar y caracterizar películas biodegradables a base de gelatina-almidón para evaluar su efecto como recubrimientos, formulando tres películas con distintas propiedades para evaluar su efecto, encontrando que las concentraciones de almidón y glicerol así como el pH tuvieron influencia significativa en las propiedades mecánicas, como resultado se obtuvo un retraso en los procesos de maduración y una mayor duración de la vida útil.

Abraján, Myrna (2008) desarrolló una investigación de **“Efecto del Método de Extracción en las Características Químicas y Físicas del Mucílago del Nopal (*Opuntia ficus-indica*) y estudio de su Aplicación como Recubrimiento Comestible”** con el objetivo de optimizar el método de extracción del mucílago del nopal y estudiar su posible utilización como recubrimiento comestible en productos alimentarios, experimentando con cuatro métodos de extracción dando como resultado que el escaldado fue el más óptimo para elaborar el recubrimiento más apropiado, debido a que presenta mayor poder espesante y mejor coloración.

Apoiada en los estudios de Re et al. Bonilla, Jeannine (2007) desarrolló una investigación de **“Efecto de la adición de aceites esenciales en las propiedades mecánicas, permeabilidad al vapor de agua y microestructura de films comestibles de caseinato sódico”** con el objetivo de estudiar el efecto de la adición de dos aceites esenciales (canela y jengibre) sobre las propiedades mecánicas, barrera al vapor de agua y microestructurales de films de SC, utilizando el método

espectrofotométrico para comparar la actividad antioxidante de los aceites esenciales obteniendo como resultado que el aceite de canela tenía un poder antioxidante superior al del aceite de jengibre.

González, Leandro (2011), desarrolló una investigación sobre **"Desarrollo y evaluación de una película comestible obtenida del mucilago de nopal (*Opuntia ficus-indica*) utilizada para reducir la tasa de respiración de nopal verdura"** con el objetivo de desarrollar y evaluar una película a partir de mucilago de penca de nopal, empleando plastificantes como el glicerol, polietilenglicol y ácido oleico para recubrir el nopal verdura e incrementar su vida de anaquel.

Rojas, Rosa (2006), desarrolló una investigación de **"Recubrimientos comestibles y sustancias de origen natural en manzana fresca cortada: Una nueva estrategia de conservación"** con el objetivo de determinar las condiciones óptimas para el procesado de manzana fresca cortada y determinar los métodos que resulten eficientes en la conservación y extensión de su vida útil, evaluando el efecto de distintos tratamientos antioxidantes en la conservación del color aplicando el empleo el de recubrimientos comestibles de base polisacárida con lo cual obtuvo resultado favorables para prolongar la vida útil del alimento.

Lozada, Marco (2008), en su proyecto de investigación: **"Extracción y caracterización reológica de polisacáridos tipo pectina de la cáscara de tuna (*Opuntia spp.*)"** tuvo como objetivo extraer polisacáridos tipo pectina de la cascara de tuna (*Opuntia spp.*) con propiedades reológicas de interés en la agroindustria, evaluando distintas condiciones de extracción a nivel frasco agitado (volumen total:1000ml,volumen de medio de extracción :200ml) como resultado obtuvo la caracterización reológica de los polimeros extraídos para su uso como agentes viscosificantes y/o gelificantes en la agroindustria.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Transporte de gases

Se da a través del recubrimiento, ocurre por dos mecanismos: difusión capilar y difusión activa. La difusión capilar domina en materiales porosos o que tienen imperfecciones. La difusión activa involucra la solubilización del gas permeado en la película, la difusión a través de la película y finalmente, la liberación al lado opuesto de la misma. En ausencia de imperfecciones, el gas permea a través de la película por difusión activa. Si el gas es insoluble en la película, el aumento de presión generado por su acumulación hace que en un momento dado penetre en la película y el mecanismo dominante es el flujo capilar. No se debe confundir la difusión activa con la difusión facilitada, que se refiere al mecanismo que presentan las células vivas. El primero se aplica al proceso de difusión que es dependiente de la temperatura y presenta una cierta energía de activación. La humedad relativa tiene una fuerte influencia sobre la velocidad de transmisión del oxígeno y dióxido de carbono. A mayor humedad relativa, las películas y recubrimientos comestibles presentan mayor permeabilidad a estos gases.

Una combinación de la primera ley de difusión de Fick (Ecuación 2.1) y la ley de Henry de solubilidad (Ecuación 2.2) se utiliza para expresar la permeabilidad en estado estacionario del permeado a través de una barrera no porosa y con imperfecciones no significativas:

$$J = -D \frac{dC}{dx} \quad (2.1)$$

Donde J es el flujo permeado, D la difusividad y dC/dX es el gradiente de concentración de permeado en la película. El signo negativo significa que la migración ocurre en la dirección de mayor a menor concentración. Por otro lado, la concentración (C) del permeado en la película es el producto del coeficiente de solubilidad (S) y la presión parcial del permeado del aire adyacente (P) (Ecuación 2.2)

$$C = S \times P \quad (2.2)$$

Combinando ambas expresiones se obtiene la ecuación 2.3:

$$\text{Permeabilidad} = J \frac{dx}{dP} \quad (2.3)$$

Experimentalmente la permeabilidad se puede obtener a partir de la variación de peso de permeado, en estado estacionario, mediante aplicación de la ecuación 2.3 El término permeabilidad y coeficiente de permeabilidad en ocasiones se consideran equivalentes (ASTM, 1980). Otro parámetro que se puede determinar es la velocidad de transmisión del vapor de agua a través del film, a partir de la variación de peso de permeado con el tiempo y por unidad de área del film.

2.2.2 Tasa de respiración

La respiración es un proceso oxidativo por el cual complejos sustratos almacenados en la célula se degradan a moléculas más simples, con la liberación de energía. Estas pérdidas de reservas almacenadas implican disminución del valor energético y alimenticio del producto. En algunos casos se producen cambios en las características organolépticas, como en el sabor por pérdida de azúcares. El oxígeno es usado y el dióxido de carbono es producido en este proceso. La pérdida de las reservas de material orgánico en el producto durante la respiración significa:

- Aceleración de la senescencia conforme las reservas que mantienen vivo al producto se agotan.
- Reducción en el valor nutritivo (valor energético) para el consumidor.
- Pérdida de la calidad del sabor, especialmente la dulzura.

TABLA 2.1
CLASIFICACIÓN DE PRODUCTOS HORTÍCOLAS DE ACUERDO A SU
TASA DE RESPIRACIÓN

Clase	Rango a 5°C (mgCO ₂ /Kg-hr.)	Productos
Muy baja	<5	Nueces, dátiles, frutas y hortalizas secas
Baja	5-10	Manzana, cítricos, uva, kiwi, ajo, cebolla, papa(madura),camote, betabel, apio, arándano, melón, papaya, piña, sandía
Moderada	10-20	Plátano, cereza, arándano azul , pimiento, durazno, tomate, pera, ciruela, higo, col, zanahoria
Alta	20-40	Fresa, zarzamora, frambuesa, coliflor, poro, palta, frijol, lechuga, frijol
Muy alta	40-60	Alcachofa, germinados, brócoli, col de Bruselas, cebollín
Extremadamente alta	>60	Espárragos, champiñón, perejil, espinaca, maíz dulce

Fuente: A.A.Kade (1992)

Factores que afectan la respiración:

- El tipo de tejido u órgano: hojas>frutas>raíces
- El tamaño del producto: mayor tamaño < tasa de respiración
- La edad o estado de desarrollo del producto: En frutas depende si son climatéricas o no, según su patrón respiratorio y de producción de etileno durante la maduración organoléptica o de consumo.

TABLA 2.2
CLASIFICACIÓN DE ALGUNOS FRUTOS DE ACUERDO A SU
COMPORTAMIENTO RESPIRATORIO DURANTE LA MADURACIÓN.

Frutas Climatéricas		Frutas No-Climatéricas	
Palta	Pera	Aceituna	Naranja
Arándano	Higo	Berenjena	Pepino
Chirimoya	Kiwi	Cacao	Piña
Ciruela	Mango	Frambuesa	Sandia
Plátano	Manzana	Fresa	Toronja
Guanábana	Melón	Limón	Tuna
Tomate	Papaya	Mandarina	Uva

Fuente: A.A.Kader (1992)

2.2.3 Maduración

Muchos cambios se dan lugar durante la maduración de las frutas, como el desarrollo de antocianinas (azul y rojo), cambios en las antocianinas y otros compuestos fenólicos pueden dar como resultado pardeamiento de tejidos, que es debido a la desintegración de las membranas dando lugar a la reacción entre la enzima polifenol oxidasa y los compuestos fenólicos, lo cual da una apariencia indeseable en la fruta.

La respiración es un proceso que produce cambios durante la maduración, este factor influye directamente en la tasa de respiración por lo que también determina la vida útil de una fruta. La conversión de almidón y azúcares a CO₂ y agua son producidos por la respiración. La desintegración de pectinas y polisacáridos produce ablandamiento lo cual hace susceptible a futuros daños mecánicos en la fruta.

El contenido de sólidos solubles (CSS) son los grados Brix equivalentes al porcentaje en peso de sacarosa en una solución acuosa, es decir la

cantidad de azúcares presentes en la fruta, el %CSS determina el buen sabor dependiendo de que su valor esté por encima del mínimo establecido, como apreciamos en la tabla 2.3.

TABLA 2.3
% MÍNIMO DE CSS

Producto	% Mínimo de CSS
Albaricoque	10
Arándano azul	10
Cereza	14 - 16
Uva	14 - 17.5
Kiwi	6.5
Mango	10-12
Melón	10

Puente: A.A. Kader (1999)

La pérdida de agua produce un deterioro mayor de la fruta, pues esto influye directamente en la pérdida de peso, así como también la pérdida de la apariencia debido al marchitamiento, pérdida de textura crujiente (en el caso del arándano), así como valor nutricional. Esta transpiración que sufre la fruta es influenciada por factores internos (daños en la superficie y el estado de madurez), y ambientales (temperatura, humedad relativa, aire y presión atmosférica).

2.2.4 Estudios sobre recubrimientos comestibles preservantes de alimentos

Diferentes autores han estudiado el desarrollo de recubrimientos comestibles compuestos a base de carbohidratos, como almidones, quitosano u otros hidrocoloides como proteína de pescado, proteínas

lácteas, así como el efecto de la incorporación de plastificantes y lípidos en las propiedades del film.

El mucílago de la penca de la tuna contiene pectinas como componente mayoritario de sus carbohidratos. Las pectinas han sido estudiadas en su capacidad para formar recubrimientos por diferentes autores. Las fuentes de pectina estudiadas han sido las provenientes de cítricos, manzana, plátano y algunas bayas.

2.2.5 Función de los recubrimientos comestibles preservantes de alimentos

Las propiedades funcionales de películas y recubrimientos comestibles son:

- Retardan la pérdida de humedad de los alimentos frescos o congelados.
- Retardan la absorción de humedad en otros casos como en alimentos en polvo o crujientes.
- Retardan la transferencia de gases (O_2 , CO_2) con lo que se puede controlar la respiración y por tanto la maduración de ciertos productos o la oxidación de ciertos compuestos contenidos en el alimento. Se considera que crean una atmósfera modificada.
- Imparten integridad estructural a los alimentos y favorecen el manejo del mismo.
- Retienen compuestos volátiles asociados con el sabor.
- Son vehículos para la incorporación de aditivos como los compuestos aromáticos, antioxidantes, colorantes, sustancias nutritivas, iones y conservantes.
- Ayudan a mejorar ciertas propiedades de apariencia del producto.
- Retardan o previenen el crecimiento microbiano durante el almacenamiento.

Los recubrimientos comestibles, además de tener propiedades de barrera, deben ser compatibles organoléptica y funcionalmente con el alimento. Estos materiales además de ser selectivos en el transporte de masa también pueden ser activos a través de la incorporación de sustancias antimicrobianas, antioxidantes, etc. Que contribuyen a la conservación del producto.

2.2.6 Tipos de mucilago

a. Mucílagos neutros

Reciben este nombre ya que su estructura química corresponde a polímeros heterogéneos de la manosa que incorporan en su estructura un porcentaje variable de las otras osas.

b. Mucílagos ácidos

Reciben este nombre porque en su composición figuran derivados ácidos de osas. Dentro de este grupo se consideran a varios mucílagos dependiendo del tipo de familia botánica a la que pertenezcan.

2.2.7 Polímeros empleados para la elaboración de recubrimientos comestibles preservantes

• Polímeros de origen natural

Entre los polímeros de origen natural que están siendo utilizados en la elaboración de recubrimientos biodegradables se encuentran las proteínas como colágeno, queratina, gelatina, gluten de maíz, gluten de trigo, proteínas de leche, proteínas de soya entre otras; polisacáridos como almidón, derivados de celulosa, quitosano, alginato carragenatos, pectinas, el mucilago que es un heteropolisacárido que es utilizado como ingrediente para la formulación de RC, forma soluciones coloidales con el agua, proporcionando propiedades de barrera para los gases (O_2 , CO_2); lípidos como ceras, ácidos grasos y monoglicéridos (Tang et al. 2012).

- **Polímeros de origen sintético**

Los polímeros de origen sintético biodegradables, son el resultado de la fermentación de polímeros primarios (celulosa, almidón, proteína, pectina, entre otros), utilizados como sustratos por diferentes microorganismos, obteniendo diferentes productos finales tales como el ácido poliláctico (PLA), polihidroxi alcanosatos (PHA) entre otros (Robertson, 2010)

2.2.8 Mecanismos de formación de recubrimientos comestibles

En la formación de un recubrimiento comestible preservante se necesita los componentes que conforman la matriz estructural con suficiente cohesividad. Los recubrimientos se elaboran combinando diversos componentes lo cual disminuye las desventajas que se tendría si se elaborara un recubrimiento solo con uno de los componentes, de manera que al combinarlos aprovechamos sus características y propiedades funcionales de cada uno. La formación de un recubrimiento comestible involucra los siguientes procesos (M. Aguilar, 2005)

- **Coacervación simple**

En este proceso el recubrimiento se forma por el cambio de fase o precipitación de un hidrocoloide en solución acuosa mediante modificación de alguna propiedad del disolvente (pH, carga eléctrica, etc.) o la adición de otro disolvente donde el polímero es insoluble.

- **Coacervación compleja**

En este proceso dos soluciones de hidrocoloides de cargas opuestas se combinan, provocando la interacción y la precipitación de la mezcla de polímeros.

- **Gelificación**

También conocido como coagulación térmica, donde el calentamiento de la macromolécula implica su desnaturalización seguida de una gelificación

o precipitación, incluso el enfriamiento de una dispersión de hidrocoloide que provoca una transición gel-sol.

- **Eliminación del disolvente**

En este proceso la formación de un recubrimiento sólido se lleva a cabo por la evaporación del solvente que se aplica, para obtener un recubrimiento con propiedades mecánicas adecuadas es necesario ajustar correctamente la temperatura y velocidad de secado.

- **Fusión y solidificación**

Este proceso se emplea en recubrimientos de naturaleza lipídica, consiste en el calentamiento de la sustancia empleada por encima de su punto de fusión y su posterior enfriamiento.

2.3 Marco conceptual

2.3.1 El arándano

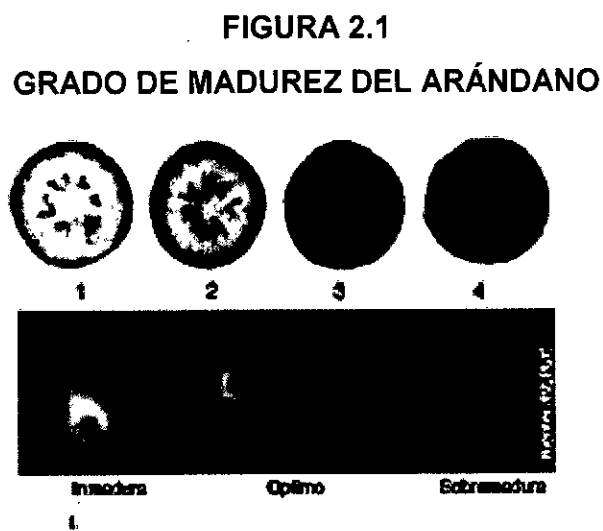
Conocido como berries, bayas o frutos del bosque, son frutos pequeños y comestibles de sabor dulce o ácido, jugosas, crujientes e intensamente coloreadas. Sus fuertes colores son pigmentos sintetizados por la planta. Algunas investigaciones han descubierto propiedades medicinales de los polifenoles pigmentados, como flavonoides, antocianinas, taninos y otros fitoquímicos localizados principalmente en la piel y semillas. Muchas frutas del bosque tienen pigmentos antioxidantes y una alta capacidad de absorción de radicales de oxígeno entre alimentos vegetales. Las especies de mayor interés comercial son *Vaccinium corymbosum* L. (arándano alto, highbush) y el *Vaccinium ashei* (arándano ojo de conejo, rabbiteye).

Los contenidos de propiedades beneficiosas para la salud han convertido a los arándanos en un producto muy consumido y registra un aumento creciente al ser catalogado como alimento funcional con excelentes propiedades nutritivas y terapéuticas.

- **Madurez del fruto**

El arándano posee un color azul uniforme característico el cual evidencia su buena calidad. Al momento de la cosecha se debe cuidar que el fruto no reciba daños por golpes o exposición a elevadas temperaturas, teniendo especial cuidado en el manipuleo del mismo ya que no se desea remover la cera de su piel.

Los compradores exigen una buena apariencia del arándano, así como una textura adecuada, ausencia de defectos como frutos deformes, inmaduros, color y brillo adecuados, buen sabor (ausencia de sabores extraños producto de la fermentación) y por supuesto ausencia de pudriciones y hongos.



Fuente: B. Defilippi, S. Rivera. (2014)

El arándano es susceptible a los siguientes factores:

a) Deshidratación

La deshidratación se da principalmente por la pérdida de peso del arándano con relación al tiempo que lleva expuesto y las condiciones a las cuales se encuentra, la pérdida de peso se puede disminuir usando

bolsas de embalaje (genera contaminación), controlando la atmósfera o medio (proceso costoso y aplicado a gran escala) al cual se encuentra el fruto y también utilizando recubrimientos comestibles que sirven de protección, es decir retardan la transferencia de gases y la pérdida de humedad con los cual se evita el marchitamiento del arándano proporcionándole las condiciones de calidad óptimas.

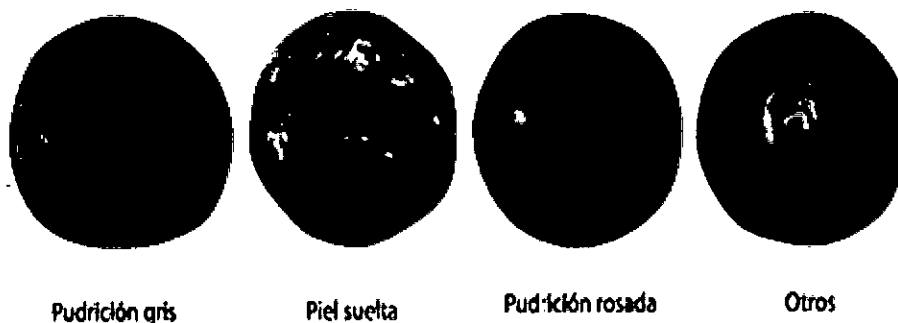
b) Ablandamiento

El ablandamiento se da como consecuencia a la pérdida de humedad o deshidratación del arándano, por lo cual existe una alta correlación entre la deshidratación y firmeza de la fruta, también está relacionado a la temperatura, mientras el arándano esté expuesto a una temperatura alta, se ablandará fácilmente es decir perderá firmeza, este factor es importante en cuanto a la calidad del fruto.

c) Pudriciones

Uno de los principales problemas que sufren las frutas son la presencia de pudriciones y hongos, de los patógenos que frecuentemente aparecen en los arándanos tenemos botritis (*Botrytis cinérea*), antracnosis (*Colletotrichum sp.*) y rhizopus (*Rhizopus sp.*). Pero el principal problema fungoso es el botritis, el cual puede reducir la incidencia con un buen manejo de la temperatura, esto no es suficiente ya que este hongo puede llegar a desarrollarse hasta a 0°C, con los recubrimientos comestibles se tiene una barrera para retardar la emisión de gases como el etileno que está relacionado con el desarrollo de *Botrytis cinérea*, organismo acusante de pudriciones.

FIGURA 2.2
PUDRACIONES OBSERVADAS EN EL ARÁNDANO



Fuente: B. Defilippi, et al. (2014).

2.3.2 Producción de los arándanos en el Perú

En el Perú se iniciaron los primeros estudios y experimentos hace poco más de una década. En el 2004, bajo un proyecto de cooperación con la Unión Europea (UE-Perú/PENX ALA/2004/016-913) se identificaron ubicaciones geográficas de las zonas potenciales para el desarrollo de cultivos de arándanos a Cajamarca y otras zonas similares del país como ámbitos potenciales que reúnen de acuerdo a la zonificación realizada, las condiciones para la producción comercial de arándanos con fines de exportación, por lo que sugerían adoptar la tecnología productiva apropiada para la obtención de cosechas rentables y competitivas. En ese sentido, se prioriza su cultivo en la sierra, muy en especial en la parte norte del país, teniendo en consideración las características agro climáticas, como vientos, periodos de heladas o frío, suelo, etc.

Las exportaciones peruanas de arándanos llegarán el 2018 a un total de 24 mil toneladas, cifra con la que Perú desplazaría a Argentina y se posicionaría como segundo exportador en el mundo. Así lo refirió el gerente de agroveterinaria de Química Suiza Industrial, Carlos Komatsudani.

2.3.3 Penca de tuna

Esta cactácea se encuentra ampliamente distribuida en el país, especialmente en los valles interandinos donde han encontrado condiciones adecuadas para su establecimiento. Los cladodios adultos son denominados como pencas, de ellos se puede extraer el mucílago que es un polisacárido adecuado para la elaboración de recubrimientos comestibles por poseer características específicas. La epidermis de la tuna tiene dos capas, una de células verdes que es conocida como clorenquima y otra capa interna que está formada por un cilindro de células blancas llamada parénquima, dentro de este tejido existen células mucilaginosas que es donde se almacena el mucílago.

FIGURA 2.3

PLANTA DE LA PENCA DE TUNA



Fuente: Revista Journal of Food Process Engineering (2014).

Se le han atribuido diversas propiedades funcionales, como el contenido de fibra dietética y pectina, lo cual sugiere su uso como alimento funcional. Entre otras propiedades destacan las medicinales como son el poder antioxidante, antiviral, anticancerígeno, antiolesterolémico y control de la diabetes.

2.3.4 Mucílago de la penca de tuna

De acuerdo con Nobel (1986) el mucílago es un hetero-polisacárido de alto peso molecular, según Cárdenas et al. (1997) 3×10^6 Da,

puede tener cerca de 30 000 sub-unidades de arabinosa (35 a 45%), galactosa (20 a 25%), ramnosa (7 a 8%), xilosa (7 a 8%) y ácido galacturónico (19 a 31%) y las moléculas de mucílago tienen numerosas cargas negativas es decir son polielectrolitas (Majdoub et al. 2001), que unen al Ca^{+2} , al igual que la pectina.

Se presenta en diversas proporciones tanto en los cladodios como en la piel y pulpa de la fruta. Estudios efectuados por Sáenz y Sepúlveda (1993) indican que el rendimiento en todos los casos es bajo: 0,5 por ciento en la cáscara y 1,2 por ciento en los cladodios.

2.3.5 Composición química del mucílago

La proporción de sus monómeros en la molécula varía de acuerdo a diversos factores como: variedad, edad, condiciones ambientales y estructura empleada para la extracción (fruto, cáscara, cladodio), entre otros factores. El mucílago está presente como su sal de calcio en las células de mucílago del parénquima de la penca.

TABLA 2.4
COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL MUCÍLAGO DE LA PENCA DE TUNA
(g/100gr de muestra)

Solvente	Humedad	Proteína	Cenizas	Ca	K
Etanol	4.9 ± 0.6	7.9 ± 1.5	36.2 ± 2.3	10.9 ± 0.7	1.6 ± 0.2
Isopropanol	5.5 ± 1.1	6.1 ± 0.7	39.1 ± 2.4	12.7 ± 1.6	2.0 ± 0.3

Fuente: Sepúlveda (2007)

Sin embargo, en investigaciones como la presentada por S. Rodríguez et al. (2014), encontramos la siguiente caracterización del mucílago de penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) obtenido por escaldado y utilizando etanol como solvente, como podemos apreciar en la tabla 2.5

TABLA 2.5
COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL MUCÍLAGO DE LA PENCA DE LA
TUNA (*Opuntia ficus-indica*)

Humedad	Total de fibra dietética	Fibra soluble	Fibra insoluble	Ceniza	Proteína	Grasa	Carbohidratos totales
5.39	57.23	51.79	5.43	15.13	5.24	0.09	16.92

Fuente: S. Rodríguez et al (2014).

2.3.6 Métodos de extracción

Las metodologías de extracción del mucílago señaladas en los diferentes estudios realizados son muy variadas, desde metodologías muy simples hasta otras más complicadas. El método cambia según la fuente de mucílago (cladodio o fruto) y la parte concreta de la que se extraerá el hidrocoloide (piel, pulpa, cladodio o semillas). Se toman los métodos de los modificados por S. Rodríguez et al. 2014, entre ellos tenemos:

- **Escaldado de la penca de la tuna:** Se seleccionan y limpian las pencas de la tuna, se pela, se reduce de tamaño de preferencia en cubos de 2 cm³ luego se llevan los cubos a escaldar por espacio de 7 minutos a una temperatura de 83°C. Este paso es fundamental para obtener el mucílago sin el color café indeseado, el cual se debe a la oxidación de la clorofila o a la oxidación enzimática de los polifenoles presentes en la penca, con esto se obtiene un mucílago con el color adecuado para la elaboración de recubrimientos. Luego se pasa a molienda con agua destilada, se centrifuga y se trabaja con el sobrenadante, haciendo precipitar el mucílago con etanol posteriormente lo llevamos a secar y obtenemos el mucílago en polvo.
- **Método tradicional:** Se obtiene el mucílago de color café claro, este color se obtiene debido a la oxidación de la clorofila o una oxidación

enzimática de los polifenoles presentes en la penca. El procedimiento es muy similar, seleccionar y limpiar las pencas, se pasa a la molienda con agua destilada, luego se lleva a la centrifuga y se trabaja con el sobrenadante, se precipita con etanol para provocar la insolubilización del polisacárido (mucilago), se seca y se obtiene el mucilago.

- **Decolorado del mucilago:** Se selecciona y limpia la penca de la tuna se pela, pasa por una molienda, se centrifuga luego va a precipitar con etanol para provocar la insolubilización del polisacárido (mucilago), después de esta operación se decolora el polisacárido con hipoclorito de sodio, este paso se debe realizar con una agitación suave durante 1h, posteriormente se separó de nuevo el precipitado mediante filtración y se lava con etanol para facilitar el secado.
- **Cocido de la penca de la tuna:** Se selecciona y limpia la penca de la tuna luego se corta en trozos de aproximadamente 5cm de lado, se lleva a cocción durante 30 min (se elimina la parte sólida y se trabaja con el líquido), se centrifuga, se lleva a precipitar con etanol para provocar la insolubilización del polisacárido (mucilago), por último, se seca y se obtiene el mucilago sin color indeseado.

2.3.7 Composición química de los diferentes macro componentes del mucilago

El contenido de carbohidratos para todos los casos fue de alrededor del 70g/100g ss. El contenido de proteínas y lípidos residuales puede ser beneficioso cuando se utilice el mucilago para desarrollar el film o recubrimiento ya que como se sabe, las proteínas pueden tener capacidad emulsionante y, con frecuencia, son incorporadas como aditivos emulsionantes a las dispersiones formadoras de films y recubrimientos.

TABLA 2.6
VALORES EN PORCENTAJE EN PESO DE LOS DIFERENTES MACRO
COMPONENTES DEL MUCÍLAGO EN LOS DIFERENTES PROCESOS
DE EXTRACCIÓN.

Porcentaje	Escaldado	Tradicional	Decolorado	Cocido
Carbohidratos	72.9	68.9	72.6	74.8
Fibra cruda	0.6	1.3	0.1	0.1
Proteínas	4.0	3.0	3.7	3.9
Grasa	0.6	0.9	0.8	0.7
Ceniza	21.9	25.9	22.8	20.5

Fuente: Abraján V. (2008)

Comparando los diferentes mucilagos extraídos, se puede observar que los productos obtenidos en los procesos de escaldado y cocido son los más similares en composición.

Según la investigación realizada por Abraján V. (2008) tenemos la Tabla 2.7 donde se muestran la composición de azúcares del hidrolizado del mucílago extraído por escaldado.

TABLA 2.7
COMPOSICIÓN DE AZÚCARES EN EL HIDROLIZADO DE MUCILAGO
EXTRAÍDO POR EL MÉTODO DE ESCALDADO

Componente	% en moles
Arabinosa	44.54
Galactosa	18.16
Xilosa	23.98
Ramnosa	6.58
Ácido galacturónico	6.8

Fuente: Abraján Myrna (2008)

También se incluye en su investigación los monosacáridos y ácidos urónicos presentes en el mucílago, como se muestra en la tabla 2.8

TABLA 2.8
DETERMINACIÓN DE AZÚCARES Y ÁCIDOS URÓNICOS
PRESENTES EN EL MUCÍLAGO DE LA PENCA DE LA TUNA (*Opuntia*
***ficus-indica*)**

Componente	%
L-arabinosa	35.36
D-galactosa	27.26
D-xilosa	16.32
L-glucosa	5.18
L-ramnosa	1.93
Ácidos urónicos	13.91

Fuente: S. Rodríguez et al. (2014)

2.3.8 Recubrimientos comestibles y sus características

Un recubrimiento comestible (RC) es una matriz continua delgada que está dispuesta alrededor del alimento, este proceso se da por lo general mediante la inmersión del alimento en la solución que conforma el recubrimiento (García-Ramos et al., 2010). Dichas soluciones pueden estar compuestas de un polisacárido, una proteína, un lípido o mezcla de ellos (Krochta et al., 1994)

Las características que deben tener los recubrimientos comestibles dependen principalmente de la finalidad con que se apliquen a los alimentos que van a cubrir. Por ejemplo, para alimentos sensibles a la oxidación se requerirán materiales de baja permeabilidad al oxígeno. La efectividad para controlar la transferencia de masa selectiva es necesaria para permitir el proceso respiratorio o el intercambio de etileno en alimentos como frutos y vegetales.

Los RC deben cubrir los siguientes requerimientos para poder ser utilizados en alimentos:

- Buenas cualidades sensoriales

- Compuestos considerados seguros y libre de toxicidad
- Eficiencia mecánica y gran capacidad de barrera al O₂, CO₂ y vapor de agua, aunque deben permitir un 3% de oxígeno entorno al producto para evitar efectos negativos de anaerobiosis.
- Suficiente estabilidad bioquímica, física y microbiológica
- Buena adhesión al alimento.
- Tecnología simple de fabricación y aplicación
- No contaminante
- Bajo coste como materia prima y proceso

2.3.9 Matrices estructurales de los recubrimientos comestibles

Los RC son biopolímeros que dependiendo del tipo de compuesto que incluyen en su formulación se pueden agrupar en tres categorías (Dahall, 2013):

- **Hidrocoloides**

Forman recubrimientos con buenas propiedades mecánicas y son una buena barrera para los gases (O₂, CO₂), pero no impiden la transmisión de vapor de agua. Están constituidos por polisacáridos (derivados de celulosa, almidón, quitosano, alginatos, carragenanos, gelanos, pectinas de fruta, mucilago) y proteínas de origen animal (gelatina, caseína y albuminas o proteínas de suero de leche) o de origen vegetal (soja, zeína de maíz).

- **Lípidos**

Formados por compuestos hidrofóbicos no poliméricos con buenas propiedades de barrera contra la humedad, debido a su baja polaridad, pero con poca capacidad para formar películas. Reducen la transpiración, la deshidratación, la abrasión en la manipulación posterior y puede mejorar el brillo y el sabor (De Ancos Begoña et al. 2004). Dentro de los más usados tenemos al glicerol, polietilenglicol, sorbitol, aceites, ceras,

ácidos grasos de bajo peso molecular y baja volatilidad. También se puede incluir plastificantes, emulsificantes, agentes tensoactivos (surfactantes), agentes de liberación controlada.

- **Compuestos**

Son formulaciones mixtas de hidrocoloides y lípidos. En general, los lípidos aportan resistencia al vapor de agua y los hidrocoloides, la permeabilidad selectiva al O₂ y CO₂ y una buena cohesión estructural (De Ancos Begoña et al. 2004). Se tienen recubrimientos elaborados con mezcla de polímeros, tratando de buscar mejorar las propiedades generales de los recubrimientos comestibles, proporcionándole diferentes características dependiendo del tipo de polímero empleado.

- **Polisacáridos**

La mayoría de polisacáridos utilizados con éxito para elaborar RC en frutas o vegetales son de origen marino y vegetal. Los polisacáridos más utilizados y abundantes en la naturaleza son la celulosa, almidón y quitosano.

La eficiencia funcional de los recubrimientos comestibles depende básicamente de la naturaleza de sus componentes y de la composición y estructura. La elección de las sustancias formadoras de la película y/o de los aditivos activos está en función del objetivo, la naturaleza del producto y del método de aplicación.

2.3.10 Aditivos naturales en los recubrimientos comestibles

En la actualidad los RC están siendo utilizados como vehículos para incorporar a alimentos determinados aditivos de forma más eficaz. Esta vía de incorporación de aditivos mejora su efectividad y reduce la cantidad necesaria para su acción con el consiguiente beneficio para la seguridad y calidad sensorial y nutricional del producto. Se pueden incorporar aditivos con distintas funciones como sustancias para mantener la textura,

antimicrobianos, antioxidante, nutrientes e ingredientes bioactivos capaces de incrementar el valor nutricional y funcional del alimento vegetal. Entre los aditivos naturales con propiedades antimicrobianas tenemos a las enzimas como la lactoperoxidasa (leche) y lisozimas (clara de huevo), bacteriocinas como la nisina (bacterias lácticas); polisacáridos como el quitosano y compuestos fenólicos, también se le adicionan aceites esenciales de plantas aromáticas (romero,

2.3.11 Componentes para la elaboración del recubrimiento comestible preservantes

- **Glicerol**

También conocido como glicerina o 1, 2,3 propanotriol, es un compuesto alcohólico con tres grupos –OH (hidroxilos) que son responsables de su solubilidad en agua. Posee un aspecto de líquido viscoso, no tiene color, pero si un característico olor, además de un sabor dulce y baja toxicidad. El glicerol es un compuesto higroscópico, lo que quiere decir que tiene la capacidad de ceder o absorber la humedad presente en el medio ambiente que lo rodea. Su temperatura de ebullición y descomposición es 290°C, es miscible no solo en agua sino también en etanol. Es un compuesto líquido si se encuentra a temperatura ambiente.

Gracias al grupo OH presente en su estructura, el glicerol se vincula con un polisacárido a través de los puentes de hidrógeno, reemplazando las interacciones entre polímeros por interacciones plastificante-polímero generando así una reducción de la rigidez en los recubrimientos, es decir aumenta la flexibilidad al aumentar el volumen libre o movilidad molecular de los polímeros ya que reducen los enlaces hidrógeno internos entre las cadenas de polímeros. El tamaño molecular la configuración y el número total de grupos hidroxilo funcionales del plastificante, como así también su compatibilidad con el polímero, afectan el tipo y cantidad de interacciones entre el plastificante y las cadenas poliméricas (Miramont, 2012).

El glicerol incrementa la permeabilidad al vapor de agua debido a su naturaleza hidrofílica el cual forma puentes de hidrógeno con las moléculas de agua (Velasco y col. 2012).

- **Polietilenglicol**

Su estructura química se puede representar como HO-(CH₂-CH₂-O)_n-H. Se obtiene de la interacción de óxido de etileno con agua, etilenglicol u oligómeros de etilenglicol. Es soluble en agua, por lo que su mayoría de sus aplicaciones se dan en soluciones acuosas. Es un plastificante utilizado para la elaboración de recubrimientos comestibles, una de sus contribuciones es que da una mayor flexibilidad al recubrimiento, ya que forma enlaces a través de interacciones hidrofílicas entre el mucilago de nopal y el glicerol, pero también tienen mayor permeabilidad al vapor de agua en formulaciones a base de celulosa (Park et al. 1994). La elasticidad generada por el polietilenglicol se debe a la cadena de carbono larga presente en este plastificante (Arizmendi, 2004).

- **Aceite de Sacha Inchi**

Su nombre científico es *Plukenetia volubilis* L. es un aceite de alta calidad para la alimentación y salud. Los principales componentes del mencionado aceite son: proteínas, aminoácidos, ácidos grasos esenciales (omegas 3, 6, y 9) y vitamina E. Se utilizó este aceite para analizar la influencia que tenía al ser incorporado a la solución filmogénica preparada y para observar las propiedades que aporta al recubrimiento, ya que es conocido su actividad antioxidante, entre otras propiedades medicinales.

- **Agua destilada**

Líquido transparente, inodoro e insípido. Sus características principales son que está libre de microorganismos y sales. Los azúcares presentes

en el mucílago al tener contacto con el agua se hinchan formando soluciones viscosas lo cual le da una facilidad de embeberla, esto es muy importante en el mecanismo de retención del agua y geles que no se adhieren, algunos mucílagos son capaces de absorber más de cien veces su peso en agua.

Existen dos polímeros naturales orgánicos que componen principalmente el mucílago y son: La amilasa, que se encuentra formando una cadena helicoidal y en solución forma películas delgadas que al secar presentan alta rigidez; y la amilopectina que es altamente soluble en agua, juntas en solución forman capas con diferentes propiedades mecánicas y fuertes características de cohesión (Masschelein-Kleiner, 1995).

2.3.12 Tecnologías para la aplicación del recubrimiento comestible

Al aplicar estas tecnologías debemos tener en cuenta que al entrar en contacto el recubrimiento con el alimento se establecen dos tipos de fuerza, adhesiva y cohesiva. La adhesiva del recubrimiento sobre la superficie del alimento depende de su afinidad y no de la técnica de aplicación (Abraján, 2008), los factores involucrados en la cohesividad son: la estructura del polímero, el tipo de solvente, la temperatura, la técnica de aplicación, la eliminación del solvente y la presencia de plastificantes, así como el tipo de unión entre las moléculas. Se tienen diversas tecnologías para la aplicación de los recubrimientos comestibles de las que destacan las siguientes:

- **Inmersión**

Consiste en la aplicación del recubrimiento sumergiendo el alimento en la solución filmogénica elaborada. Se utiliza en alimentos que presentan formas irregulares y requieren una cobertura completa y uniforme, hay que tener en cuenta que el alimento debe estar lavado y secado

previamente, posterior a eso se debe dejar el alimento secar y drenar el excedente para obtener un recubrimiento uniforme.

- **Spray**

Esta técnica consiste en la aplicación de la solución filmogénica presurizada, se debe mantener la presión adecuada para conseguir el espesor requerido (Tharanathan, 2003) lo cual permite obtener un recubrimiento comestible más fino y uniforme alrededor del alimento, se emplea en alimentos de superficie lisa.

2.4 Términos básicos

- **Agente antimicrobiano:** Son sustancias activas o preparaciones que contienen una o más sustancias activas, que se utilizan con la intención de destruir, impedir, prevenir la acción, o ejercer efecto controlador de algún microorganismo perjudicial, por medio químicos o biológicos
- **Antocianina:** Está constituida por una aglicona (antocianidina) unida a un azúcar por medio de un enlace glucosídico, se encuentran en el reino vegetal y son responsables de la gama de colores que abarcan desde el rojo al azul.
- **Cladodios:** También conocidos como pencas, son tallos de color verde que están recubiertos por una gruesa cutícula del tipo lipídico que evitan la deshidratación provocada por las altas temperaturas; en donde se localiza la función clorofílica.
- **Coacervación:** Es un tipo único de separación de la fase de líquidos conducidos electrostáticamente, dando por resultado lo opuesto de la asociación de macro iones con carga. El término " *coacervado* " se utiliza a veces para referirse a los agregados esféricos de gotitas al coloide por fuerza hidrofóbicas.

- **Cohesividad:** Se define como la Unión íntima entre las moléculas de un cuerpo, así como la cualidad de los cuerpos que produce su cohesión interna, unión, atracción que existe entre sus moléculas.
- **Emulsionante:** Es una sustancia que ayuda en la mezcla de dos sustancias que normalmente son poco miscibles o difíciles de mezclar. De esta manera, al añadir este emulsionante, se consigue formar una emulsión.
- **Grados Brix:** Es el porcentaje de sólidos solubles presentes en alguna sustancia. En frutas, este valor indica la cantidad de azúcar (sacarosa).
- **Hidrocoloide:** Son un grupo de compuestos químicos que se caracterizan por un elevado peso molecular, se caracterizan por su elevado número de grupos hidroxilo a través de la cual se hidratan y retienen mucha agua por formación de puentes hidrógenos.
- **Lípidos:** Son un grupo de compuestos biológicos que se clasifican conjuntamente por su estructura, generalmente apolar (carbono, hidrógeno y oxígeno), que hace que sean poco solubles en agua. Están formados principalmente por ácidos grasos y glicerina u otros alcoholes.
- **Mucilago:** Es una sustancia hidrocoloidal, heteropolisacarida (con residuos de arabinosa, galactosa, rammosa y xilosa como azúcares neutros) que se encuentran en los cladodios, como en la piel y en la pulpa de la fruta.
- **Pardeamiento enzimático:** Es un conjunto de reacciones muy complejas producidas en los alimentos tratados térmicamente y que da lugar a la formación de productos pardos.
- **Pectinas:** Son un tipo de heteropolisacáridos, también son una mezcla de polímeros ácidos y neutros muy ramificados. En presencia de agua forman geles.

- **Permeabilidad al vapor de agua:** Es la cantidad de vapor (gramos) que pasa por unidad de superficie (m^2) de un material de espesor unidad (cm) por unidad de tiempo (día) cuando entre sus paredes existe una diferencia de presión unitaria (mmHg).
- **Plastificante:** Se define como una sustancia no volátil, la cual es añadida a otro material y su función es atenuar las fuerzas intermoleculares entre las cadenas de polímeros adyacentes, lo que origina un decremento en la resistencia a la tensión y un incremento en la flexibilidad de las películas
- **Polietilenglicol:** El polietilenglicol o glicol de polietileno (PEG) es un poliéter con muchas aplicaciones desde la industria manufacturera hasta la industria medicinal.
- **Polifenol:** Son compuestos bio-sintetizados por las plantas, conformados por un grupo hidroxilo (oh) unido a uno o más anillos bencénicos, los cuales no sólo se caracterizan por ser antioxidantes; sino también por las actividades biológicas 4 potencialmente beneficiosas para la salud.
- **Polímeros:** Son macromoléculas que se forman con la vinculación de otras clases de moléculas denominadas monómeros. La síntesis de los polímeros se produce por una reacción provocada por sus monómeros que se denomina, como ya mencionábamos, polimerización.
- **Polisacáridos:** Son biomoléculas formadas por la unión de una gran cantidad de monosacáridos. Se encuentran entre los glúcidos, y cumplen funciones diversas, sobre todo de reservas energéticas y estructurales.
- **Recubrimiento Comestible:** Es una matriz continua, delgada, que se estructura alrededor del alimento generalmente mediante la inmersión del mismo en una solución formadora del recubrimiento.

III. VARIABLES E HIPÓTESIS

3.1 Variables de la investigación

$$Y = f(X_1, X_2)$$

Y = Formulación de un recubrimiento comestible preservante del arándano.

X₁ = Método de extracción del mucílago de la penca de tuna.

X₂ = Características químicas del mucílago extraído de la penca de tuna.

3.2 Operacionalización de variables

TABLA 3.1
OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
Y = Formulación de un recubrimiento comestible preservante del arándano	<ul style="list-style-type: none"> • Concentración • Tasa de respiración • Sólidos solubles • Pérdida de peso • Firmeza al tacto • Evaluación de hongos y pudriciones 	<ul style="list-style-type: none"> • % • mgCO₂/g arándano x h • °Brix • gr • % • % 	<ul style="list-style-type: none"> • Experimental • Observacional • Comparativo
VARIABLE INDEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
X ₁ = Método de extracción del mucílago de la penca de tuna	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura • Concentración • Tiempo de secado • Rendimiento 	<ul style="list-style-type: none"> • °C • % • Horas • % 	<ul style="list-style-type: none"> • Experimental • Observacional • Comparativa
X ₂ = Características químicas del mucílago de la penca de tuna	<ul style="list-style-type: none"> • Minerales (N, Ca, K) • Humedad • Proteína • Ceniza • Grasas • Fibra 	<ul style="list-style-type: none"> • ppm • % • % • % • % • % 	<ul style="list-style-type: none"> • Experimental • Observacional • Comparativa

3.3 Hipótesis

3.3.1 Hipótesis general

“Si determinamos la formulación adecuada a partir del mucílago, entonces se logrará obtener el recubrimiento comestible preservante del arándano”.

3.3.2 Hipótesis específica

- A. “Si identificamos el método experimental adecuado para la extracción del mucílago de la penca de tuna, entonces se logrará obtener el recubrimiento comestible preservante del arándano”.

- B. “Si determinamos las características químicas del mucílago de la penca de la tuna, entonces se logrará obtener el recubrimiento comestible preservante del arándano”.

IV. METODOLOGÍA

4.1 Tipo de investigación

➤ **Por su finalidad**

La investigación fue del tipo aplicada ya que los resultados están orientados a la elaboración de un recubrimiento comestible óptimo preservante para el arándano.

➤ **Por su diseño interpretativo**

La investigación fue de tipo experimental ya que los estudios realizados se basaron en la evaluación por observación y análisis de las variables que intervinieron.

➤ **Por el énfasis en la naturaleza de los datos manejados**

Los datos fueron tanto de carácter cuantitativo como cualitativo

➤ **Por el nivel de estudio: Comparativa**

Se hicieron formulaciones con la adición de glicerol, polietilenglicol y aceite de Sacha Inchi para la elaboración de recubrimientos comestibles a base de mucílago de penca de tuna comparando la más adecuada que cumpla con preservar el arándano por mayor tiempo.

➤ **Tipo de investigación por su temporalidad**

Transversal

Se estudió durante un tiempo determinado y posterior a ello se obtienen los resultados.

➤ **Por el ámbito de desarrollo**

De laboratorio

Se realizaron pruebas de laboratorio con la finalidad de elaborar un recubrimiento comestible adecuado a base de mucílago de la penca de tuna.

4.2 Diseño de la investigación

La investigación realizada es una propuesta experimental ya que se permitió introducir y modificar el factor causal para determinar su efecto.

El estudio consistió en extraer con el método de escaldado la materia prima, el hidrocoloide identificado como mucílago, con el que se elaboró un recubrimiento comestible, el cual preserva el arándano.

Durante el desarrollo de la extracción del mucílago se controlaron parámetros como temperatura y tiempo de secado, concentración del agente precipitante que fue el etanol a 96%, para posteriormente llevar a cabo los análisis de caracterización, en cuanto a la elaboración del recubrimiento, se fijó las concentraciones del mucílago, glicerol a las cuales se trabajaría y se varió los componentes así como las concentraciones del Sacha Inchi en todos los recubrimientos y el polietilenglicol sólo se varió en un recubrimiento con la finalidad de realizar una comparación adecuada.

La investigación realizada tuvo 3 etapas que detalladamente se muestran en la figura 4.1.

Luego se realizaron las pruebas experimentales siguiendo el diseño experimental que se muestra en la figura 4.2.

FIGURA 4.1
DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

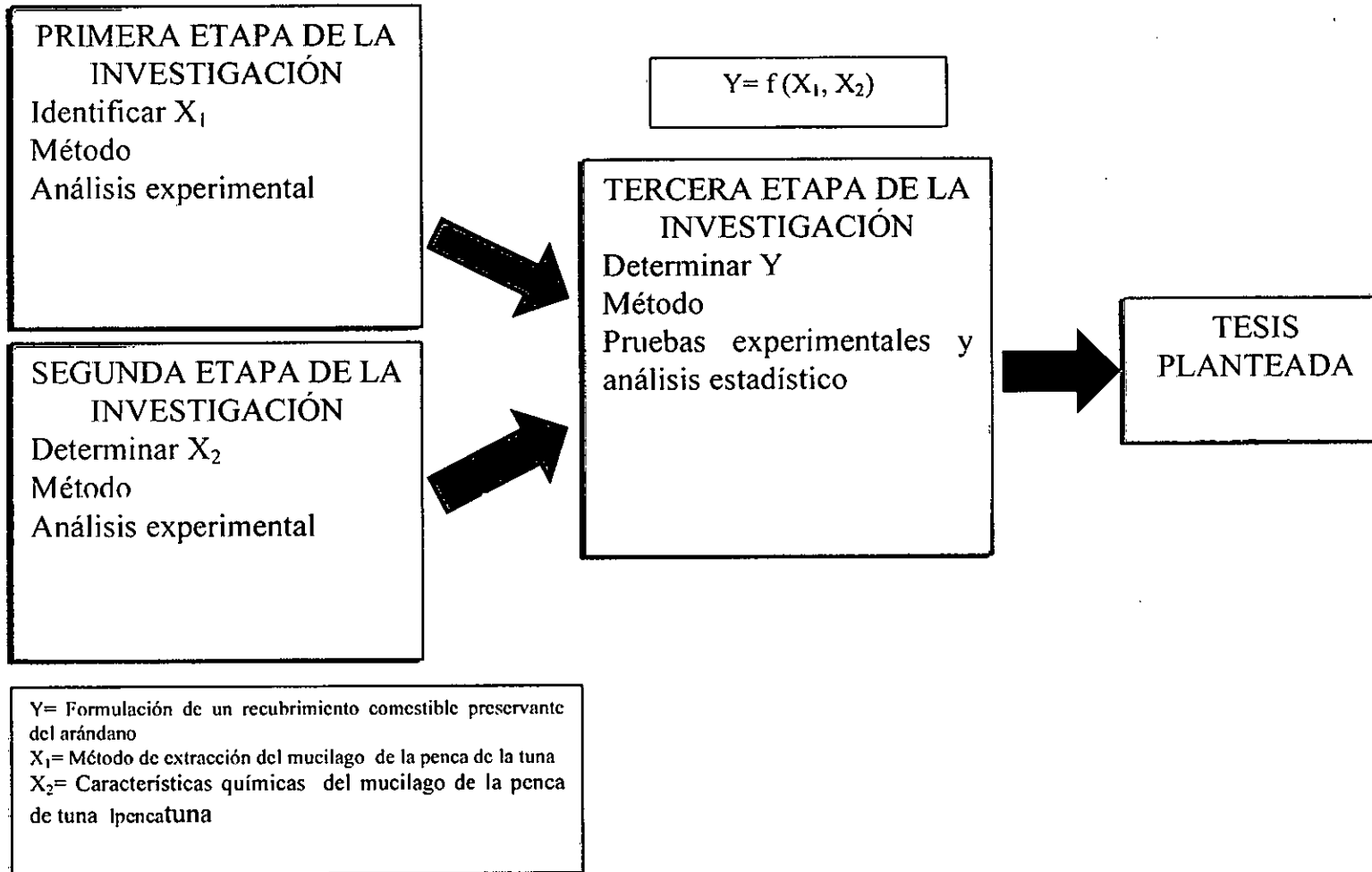
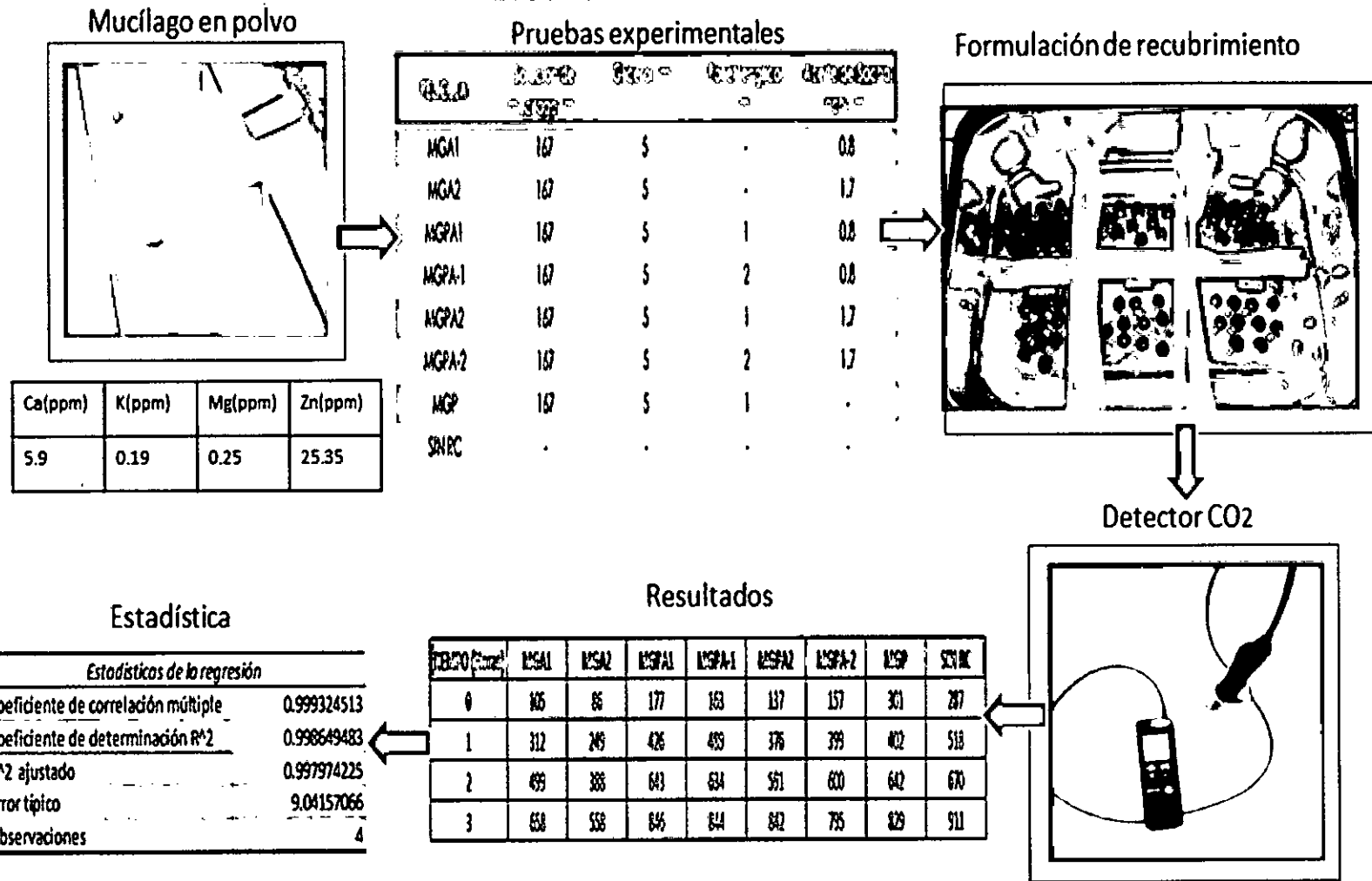


FIGURA 4.2
DISEÑO EXPERIMENTAL



4.3 Población y Muestra

El criterio población y muestra no es aplicable a la presente investigación lo que sí se aplicó fue el criterio muestra experimental.

Muestra experimental: Estuvo conformada por 21 Kg de pencas obtenidas de los bosques de tunas ubicados en el distrito de Parco, departamento de Junín provincia de Jauja.

4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las técnicas para la recolección de datos fueron las siguientes:

- Para la determinación de humedad: Método AOAC 950.46
- Para la determinación de cenizas: Método AOAC 938.08
- Para la determinación de proteínas: Método AOAC 940.25
- Para la determinación de grasas: Método AOAC 948.16
- Para la determinación de fibra: Método AOAC 920.98

Los instrumentos para la recolección de datos fueron las siguientes:

- Para controlar la temperatura en los procesos de escaldado y calentamiento: Termómetro calibrado.
- Para el calentamiento del extracto: Plancha de calentamiento marca Makrosonic modelo MS-007
- Para medir el pH del extracto filtrado: Tiras de papel indicador.
- Para tomar los pesos que se requirieron durante el proceso: Balanza analítica marca Sartorius, modelo TE4101 con capacidad de 1g hasta 4,1 Kg y balanza TWINER con capacidad máxima de 10 Kg.
- Para la etapa de secado: Estufa marca Venticell, modelo LSIS / VC 111.
- Para la etapa de formulación: Agitador magnético con calentamiento, marca Velp Científica.

- Para la medición de los mg de CO₂: Medidor de CO₂, marca Testo 535, modelo 0560 5350.
- Para la obtención de los °Brix: Refractómetro de mano de 0 – 80% Brix con ATC, marca Boeco.
- Para medir los tiempos durante los procesos: Cronómetro calibrado.

4.4.1 Materiales

- Vasos de precipitados de 2000, 1000, 500, 250 mL
- Matraz Erlenmeyer de 250 mL
- Probeta graduada de 100 mL
- Pipeta volumétrica de 50, 10 y 1mL
- Piceta
- Mortero y pilón
- Malla de 1mm²
- Bandejas de aluminio
- Placas descartables
- Pencas de tuna
- Arándanos
- Bagueta

4.4.2 Reactivos y soluciones

- Agua destilada
- Polvo de mucílago de la penca de tuna
- Aceite de Sacha Inchi
- Glicerol
- Polietilenglicol
- Etanol 96%

4.5 Procedimiento de recolección de datos

4.5.1 Tratamiento de la materia prima

El tratamiento de la materia prima para la extracción por el método del escaldado se realizó en el Laboratorio de Investigación de la Facultad de Ingeniería Química de la UNAC, a continuación se detalla los pasos a seguir:

Se recolectó las pencas de tuna que se encontraron en estado idóneo, la materia prima se colocó en unos baldes con agua para evitar que estas pierdan humedad y sin exposición directa a rayos solares. Luego se pasó a remover la piel y las espinas, para posteriormente hacer una reducción de tamaño que consistió en cortar cubos de 2 cm^3 aproximadamente.

FIGURA 4.3

LAVADO DE PENCA



FIGURA 4.4

CEPILLADO DE PENCA



FIGURA 4.5

REMOCIÓN DE EPIDERMIS



FIGURA 4.6

TROZOS DE PENCA



Una vez culminado el troceado se pesa, y procedemos con el escaldado de los trozos, teniendo en cuenta la ley de Fick que dice que mientras mayor es el grado de división de la muestra, mayor será la superficie entre las fases de extracción y por tanto mayor será la difusión a través de la membrana porosa, es decir para que durante la extracción entre en íntimo contacto con el tejido de la planta, se evaluó la temperatura de escaldado de los trozos de penca con agua a la temperatura de $82 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ por 7 minutos.

FIGURA 4.7
PESADO DE PENCA

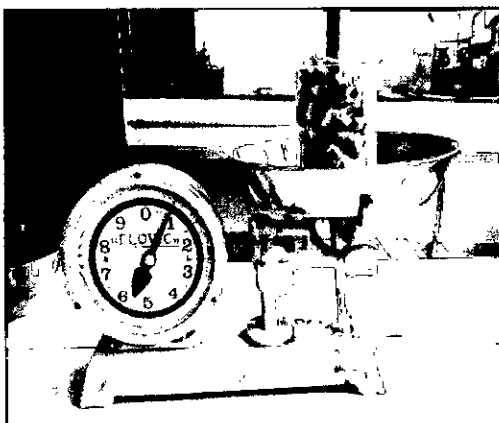
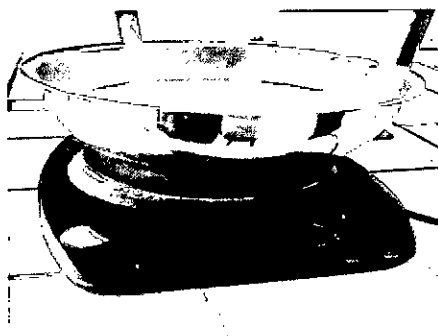


FIGURA 4.8
MOLIENDA DE PENCA



Luego se lleva a cabo la molienda de la penca escaldada con agua destilada en una relación de 1:2 (w penca/v agua), también se hicieron pruebas con las siguientes relaciones: 1:1, 1:3, 1:4. Este paso se da con la finalidad de obtener el extracto de penca que se llevará a una plancha de calentamiento a $82 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ por 1 h.

FIGURA 4.9
TRATAMIENTO TÉRMICO DEL EXTRACTO
DE PENCA



El extracto de penca ya con tratamiento térmico se dejó macerar por 24 horas a 5 °C, luego se filtró con una malla 1 mm² para eliminar los trozos que no hayan sido reducidos durante la molienda y las fibras de la penca, así obtuvimos la solución sobrenadante sobre la cual se procedió a realizar la precipitación del mucílago.

FIGURA 4.10
PRECIPITACIÓN DEL MUCÍLAGO



El sobrenadante ya concentrado, se le agregó etanol a 96° en una relación de 1:4 (v/v) para precipitar el mucílago existente en él.

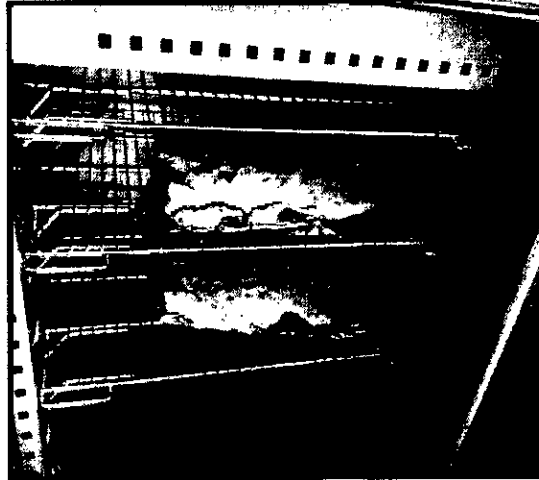
Después de obtener el mucílago precipitado, se dispone a extenderlo en bandejas de aluminio y lo llevamos a la estufa donde se realizó el secado.

FIGURA 4.11
MUCILAGO HÚMEDO



Se programó la estufa en 80 °C y se realizó el secado durante 15 horas.

FIGURA 4.12
SECADO DE LA PENCA



El mucílago ya seco se colocó en un mortero para reducir el tamaño por molienda.

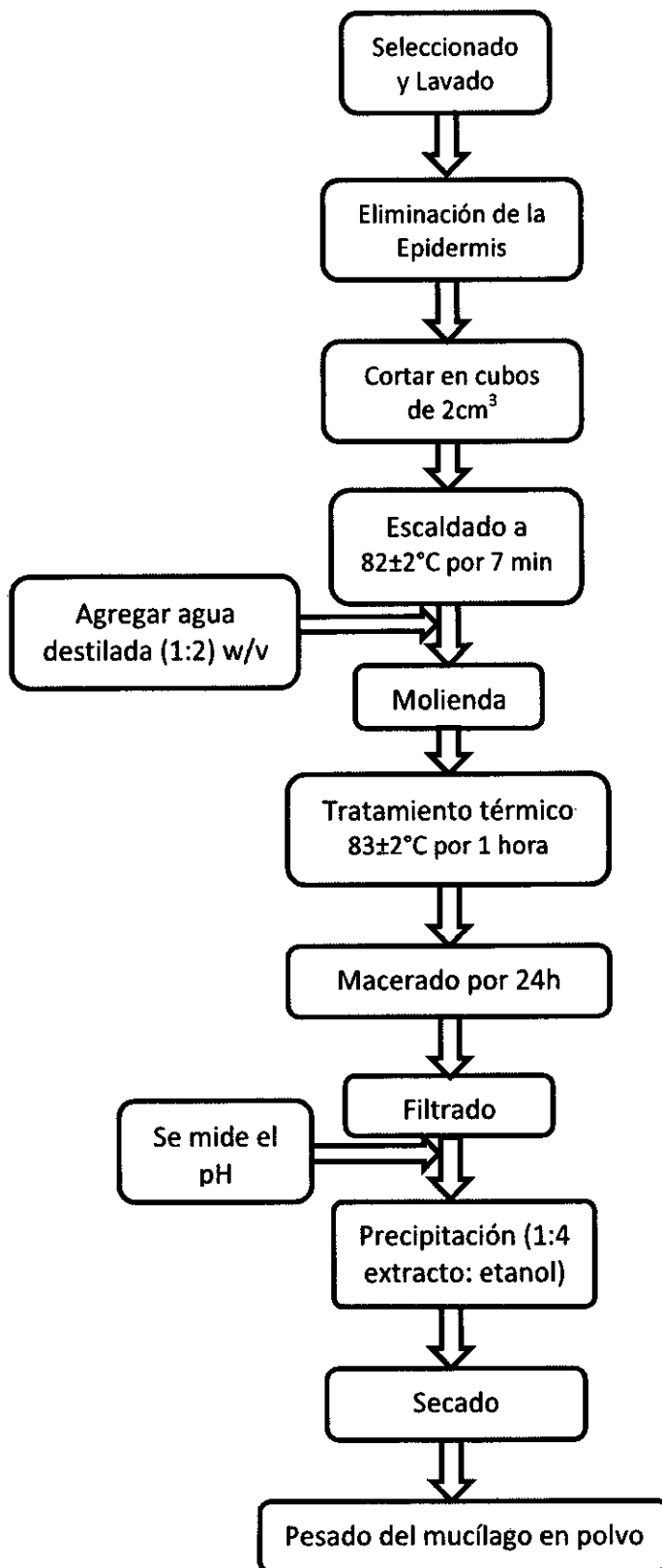
FIGURA 4.13
MUCÍLAGO SECO



FIGURA 4.14
MUCÍLAGO EN POLVO

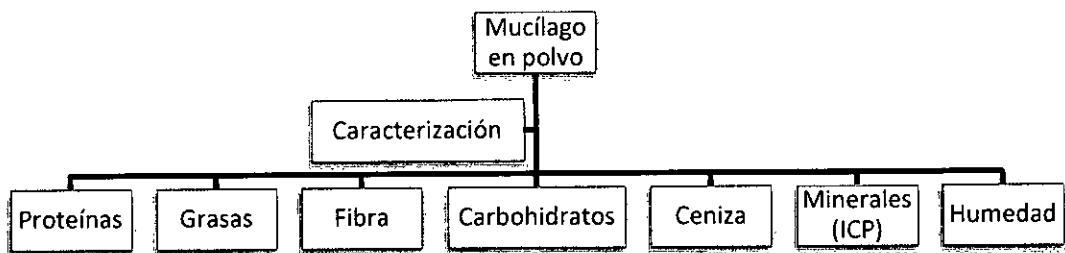


FIGURA 4.15
DIAGRAMA DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE MUCILAGO



4.5.2 Caracterización del mucílago de la penca de tuna

FIGURA 4.16
DIAGRAMA DEL PROCESO DE
CARACTERIZACIÓN



- **Análisis Proximal**

Los análisis comprendidos dentro de este grupo, también conocido como análisis proximales Weende, se aplican en primer lugar a los materiales que se usarán para formular una dieta como fuente de proteína o de energía y a los alimentos terminados, como un control para verificar que cumplan con las especificaciones o requerimientos establecidos durante la formulación.

- **Humedad**

El método se basó en el secado de una muestra en un horno y se determinó por diferencia de peso entre el material seco y húmedo.

Procedimiento

1. Se pesó alrededor de 5 – 10 g de la muestra previamente molida.
2. Se colocó la muestra en un horno a 105 °C por un mínimo de 12 h.
3. Se dejó enfriar la muestra en un desecador.
4. Se pesó nuevamente cuidando de que el material no este expuesto al medio ambiente.

- **Proteínas**

Su evaluación permitió controlar la calidad de los insumos proteicos que están siendo adquiridos o del alimento que se está suministrando. Su análisis se efectúa mediante el método de Kjeldahl, mismo que evalúa el contenido de nitrógeno total en la muestra, después de ser digerida con ácido sulfúrico en presencia de un catalizador de mercurio o selenio.

Procedimiento

1. Se pesó con precisión de miligramos 1 g de muestra y se colocó en el matraz Kjeldahl; se agregó 10 g de sulfato de potasio, 0,7 g de óxido de mercurio y 20 mL de ácido sulfúrico concentrado.
2. Se colocó el matraz en el digestor en un ángulo inclinado y caliente a ebullición hasta que la solución se vea clara, se continuó calentando por media hora más.
3. Se dejó enfriar; durante el enfriamiento se adicionó poco a poco alrededor de 90 ml de agua destilada y desionizada. Ya frío se agregó 25 ml de solución de sulfato de sodio y se mezcló
4. Se agregó una perla de ebullición y 80 ml de la solución de hidróxido de sodio al 40% manteniendo inclinado el matraz. Se formaron dos capas.
5. Se conectó rápidamente el matraz a la unidad de destilación, se calentó y colectó 50 mL del destilado conteniendo el amonio en 50 ml de solución indicadora.
6. Al terminar de destilar, se removió el matraz receptor, se enjuagó la punta del condensador y se tituló con la solución estándar de ácido clorhídrico.

- **Grasas**

En este método, las grasas de la muestra son extraídas con éter de petróleo y evaluadas como porcentaje del peso después de evaporar el solvente.

Procedimiento

1. Se sacó del horno los matraces de extracción sin tocarlos con los dedos, se enfrió en un desecador y se pesó con aproximación de miligramos.
2. Se pesó en un dedal de extracción manejado con pinzas, de 3 a 5 g de la muestra seca con aproximación de miligramos y colocó en la unidad de extracción. Se conectó al extractor el matraz con éter de petróleo a 2/3 del volumen total.
3. Se llevó a ebullición y se ajustó el calentamiento de tal manera que se obtengan alrededor de 10 reflujos por hora. La duración de la extracción dependerá de la cantidad de lípidos en la muestra; para materiales muy grasosos será de 6 horas.
4. Al término, se evaporó el éter por destilación o con rotovapor. Se colocó el matraz en el horno durante hora y media para eliminar el éter. Se enfrió los matraces en un desecador y se pesó con aproximación de miligramos. La muestra desengrasada puede usarse para la determinación de fibra cruda.

- **Fibra**

Este método permitió determinar el contenido de fibra en la muestra, después de ser digerida con soluciones de ácido sulfúrico e hidróxido de sodio y calcinado el residuo. La diferencia de pesos después de la calcinación nos indica la cantidad de fibra presente.

Procedimiento

1. Se pesó con aproximación de miligramos de 2 a 3 gramos de la muestra desengrasada y seca. Se colocó en el matraz y se adicionó 200ml de la solución de ácido sulfúrico en ebullición.

2. Se colocó el condensador y se llevó a ebullición en un minuto. Se dejó hervir exactamente por 30 min, manteniendo constante el volumen con agua destilada y moviendo periódicamente el matraz para remover las partículas adheridas a las paredes.
3. Se instaló el embudo Buchner con el papel filtro y se precalentó con agua hirviendo. Simultáneamente y al término del tiempo de ebullición, se retiró el matraz, se dejó reposar por un minuto y se filtró cuidadosamente usando succión; la filtración se debe realizar en menos de 10 min. Se lavó el papel filtro con agua hirviendo.
4. Se transfirió el residuo al matraz con ayuda de una pizeta conteniendo 200 mL de solución de NaOH en ebullición y se dejó hervir por 30 min como en paso 2.
5. Se precalentó el crisol de filtración con agua hirviendo y se filtró cuidadosamente después de dejar reposar el hidrolizado por 1 min.
6. Se lavó el residuo con agua hirviendo, con la solución de HCl y nuevamente con agua hirviendo, para terminar con tres lavados con éter de petróleo. Se colocó el crisol en el horno a 105 °C por 12 horas y se enfrió en desecador.
7. Se pesó rápidamente los crisoles con el residuo y se colocó en la mufla a 550 °C por 3 horas, se dejó enfriar en un desecador y se pesó nuevamente.

- **Ceniza**

El método aquí presentado se empleó para determinar el contenido de ceniza en los alimentos o sus ingredientes mediante la calcinación. Se considera como el contenido de minerales totales o material inorgánico en la muestra.

Procedimiento

1. En un crisol de porcelana que previamente se calcinó y se llevó a peso constante, se colocó de 2.5 a 5 g de muestra seca.

2. Se colocó el crisol en una mufla y se calcinó a 550°C por 12 horas, se dejó enfriar y se llevó a un desecador.
3. Cuidadosamente se pesó nuevamente el crisol conteniendo la ceniza.

Todos estos análisis se llevaron a cabo en los Laboratorios de Análisis Físico y Químico de Alimentos de la Universidad Nacional Agraria la Molina. Para lo cual se le entregó 100 g del mucílago extraído en polvo.

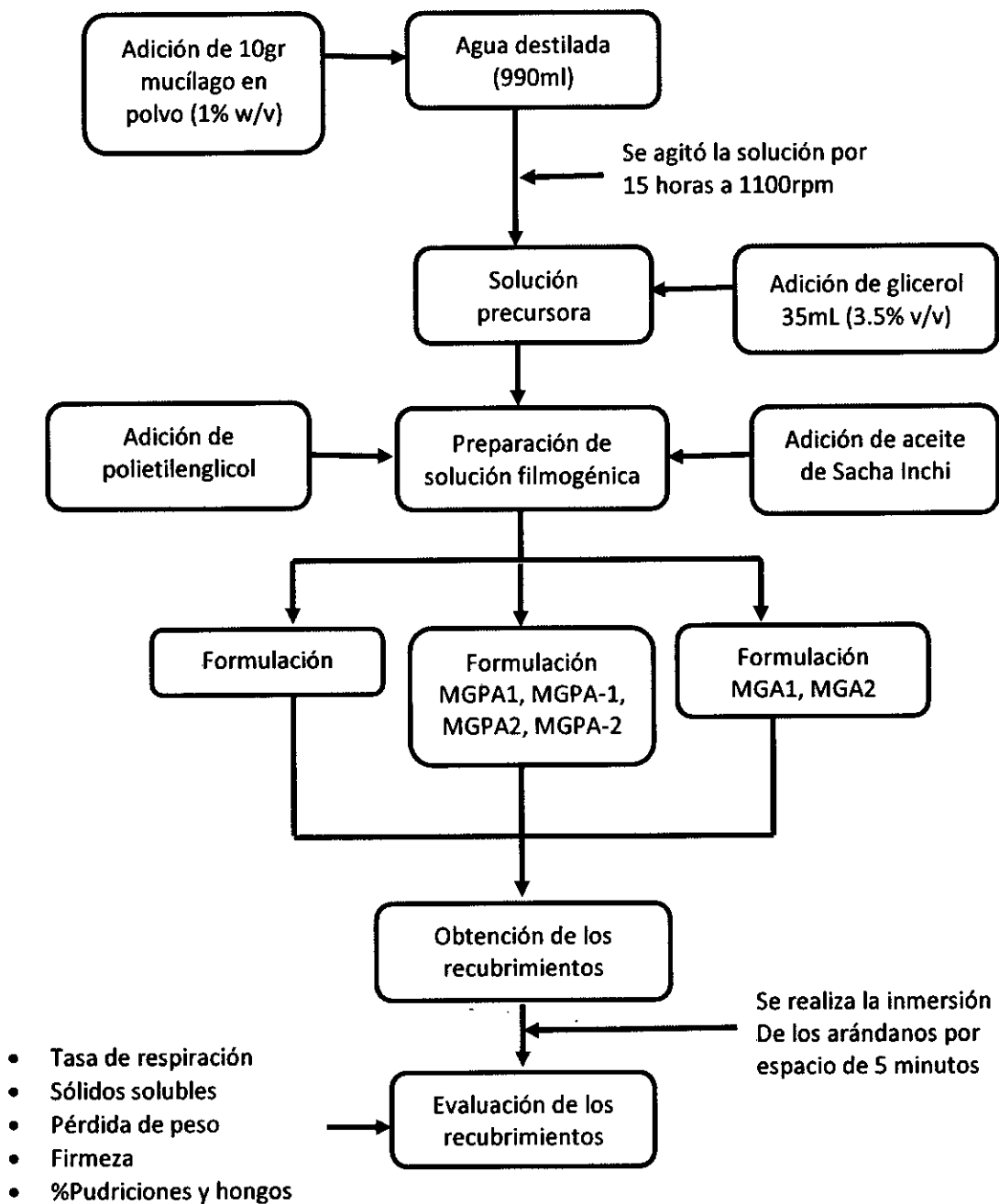
- **Análisis ICP Óptico**

Luego de homogenizar y cuartear se llevó 100 gramos de muestra de mucílago al laboratorio MINLAB para realizar el análisis de ICP-OES, para determinar la cantidad de minerales que contenía el mucílago.

4.5.3 Formulación del recubrimiento comestible preservante del arándano

- Diagrama del proceso

FIGURA 4.17
DIAGRAMA DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DEL
RECUBRIMIENTO

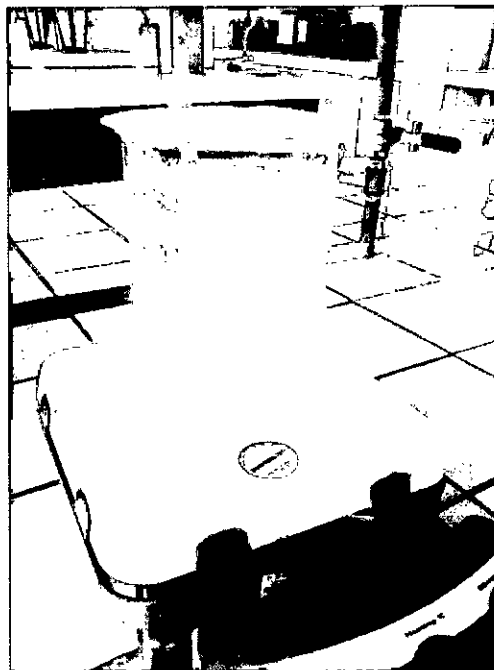


- **Preparación de las soluciones**

- **Solución de mucílago (solución precursora)**

Se preparó una solución de mucílago con agua en proporción de 1% w/v respectivamente, para lo cual se pesó 10 g de mucílago en polvo y se le adicionó a 990 mL de agua destilada y se lleva a agitar por 15 horas a 1100 rpm, esto para preparar 1 L de solución precursora, se procede a separar en volúmenes de 167 mL obteniendo 6 muestras de esta solución.

FIGURA 4.18
PREPARACIÓN DE SOLUCIÓN PRECURSORA



- **Solución de polietilenglicol**

Se preparó la solución de polietilenglicol disolviendo 17 g en 120mL de agua destilada, se tomó 1 y 2mL de la solución

preparada se le adicionó a la solución filmogénica para proceder con la formulación de los recubrimientos.

- **Preparación de recubrimientos**

Se tomaron investigaciones de diversos autores como referencia, para realizar las formulaciones de los recubrimientos detalladas a continuación:

Formulación MGA1

Se elaboró este recubrimiento con 167 mL de solución precursora y se le adicionó 3% v/v de glicerol y 0,5% v/v de aceite de sachá inchi. Se agitó por 5 minutos para integrar bien los componentes de la solución.

Formulación MGA2

Se elaboró este recubrimiento con 167 mL de solución precursora y se le adicionó 3% v/v de glicerol y 1% v/v de aceite de sachá inchi. Se agitó por 5 minutos para integrar bien los componentes de la solución. Se elaboró esta formulación adicional para comparar los resultados de agregar mayor cantidad de aceite de sachá inchi a la formulación.

Formulación MGPA1

Se elaboró este recubrimiento con 167 mL de solución precursora y se le adicionó 3% v/v de glicerol, 0,6% v/v de solución de polietilenglicol y 0,5% v/v de aceite de sachá inchi. Se agitó por 5 minutos para integrar bien los componentes de la solución.

Formulación MGPA-1

Se elaboró este recubrimiento con 167 mL de solución precursora y se le adicionó 3% v/v de glicerol, 1,2% v/v de solución de

polietilenglicol y 0,5% v/v de aceite de sachá inchi. Se agitó por 5 minutos para integrar bien los componentes de la solución.

Formulación MGPA2

Se elaboró este recubrimiento con 167 mL de solución precursora y se le adicionó 3% v/v de glicerol, 0,6% v/v de solución de polietilenglicol y 1% v/v de aceite de sachá inchi. Se agitó por 5 minutos para integrar bien los componentes de la solución.

Formulación MGPA-2

Se elaboró este recubrimiento con 167 mL de solución precursora y se le adicionó 3% v/v de glicerol, 1,2% v/v de solución de polietilenglicol y 1% v/v de aceite de sachá inchi. Se agitó por 5 minutos para integrar bien los componentes de la solución.

Formulación MGP

Se elaboró este recubrimiento con 167 mL de solución precursora y se le adicionó 3% v/v de glicerol y 0,6% v/v de solución de polietilenglicol. Se agitó por 5 minutos para integrar bien los componentes de la solución.

Muestra patrón

Cabe resaltar que se tiene una última muestra que está conformada por arándanos sin recubrimiento la cual será nuestra muestra patrón.

Se tienen los siguientes componentes conforman la matriz estructural de los recubrimientos formulados:

- Hidrocólide: Mucilago 1%
- Disolvente: Agua destilada 99%
- Plastificantes: Glicerol 3% y polietilenglicol 0.6% y 1.2%
- Lípido: Aceite de Sachá Inchi 0.5% y 1%

TABLA 4.1
COMPOSICIÓN EN VOLUMEN PARA LA ELABORACIÓN DEL
RECUBRIMIENTO COMESTIBLE PRESERVANTE

PELÍCULA	Solución de mucílago (ml)	Glicerol (ml)	Polietilenglicol (ml)	Aceite de Sacha Inchi (ml)
MGA1	167	5	-	0.8
MGA2	167	5	-	1.7
MGPA1	167	5	1	0.8
MGPA-1	167	5	2	0.8
MGPA2	167	5	1	1.7
MGPA-2	167	5	2	1.7
MGP	167	5	1	-
SINRC	-	-	-	-

- **Aplicación del recubrimiento comestible por inmersión**

Se colocan las soluciones de las diferentes formulaciones en vasos de precipitados y a continuación se sumerge los arándanos, pesados, lavados y secos, esto es muy importante ya que si no se encuentran lavados y secos corren el riesgo de contaminarse antes de tiempo y generar pudriciones no deseadas, alterando el desarrollo del experimento, por otro lado si no está seco, el recubrimiento no se adherirá al arándano, luego se dejan los arándanos en bandejas rotuladas para que sequen a temperatura ambiente, el tiempo de secado fue de 24 horas.

FIGURA 4.19
INMERSIÓN DE LOS ARÁNDANOS

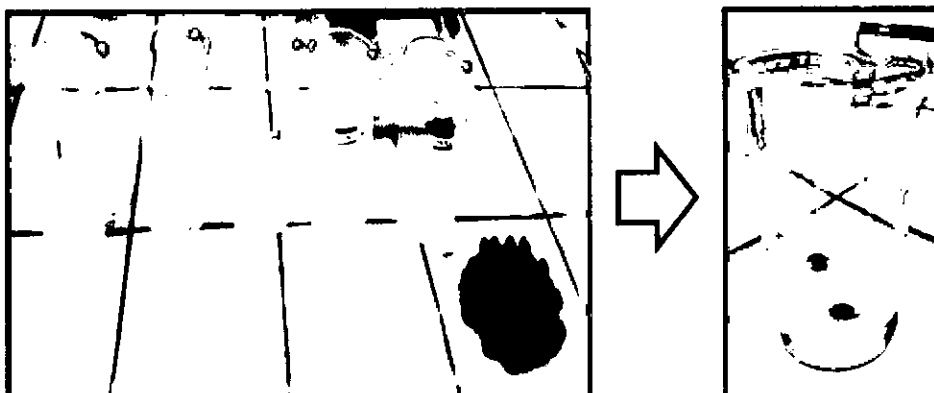
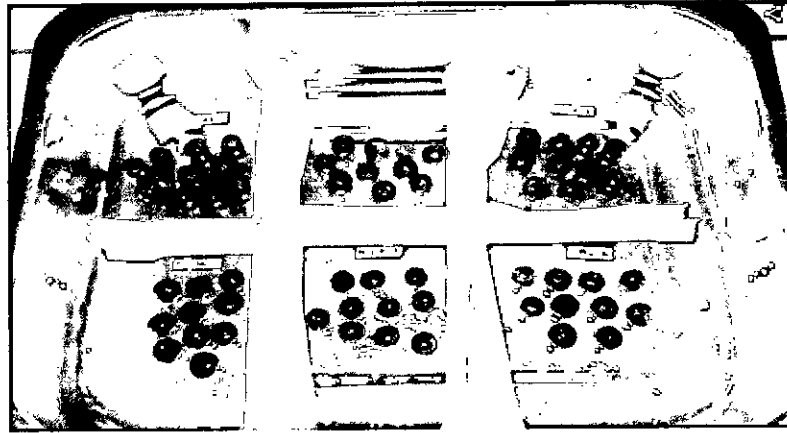


FIGURA 4.20
SECADO DE LOS ARÁNDANOS



- **Evaluación de los arándanos recubiertos con las distintas formulaciones**

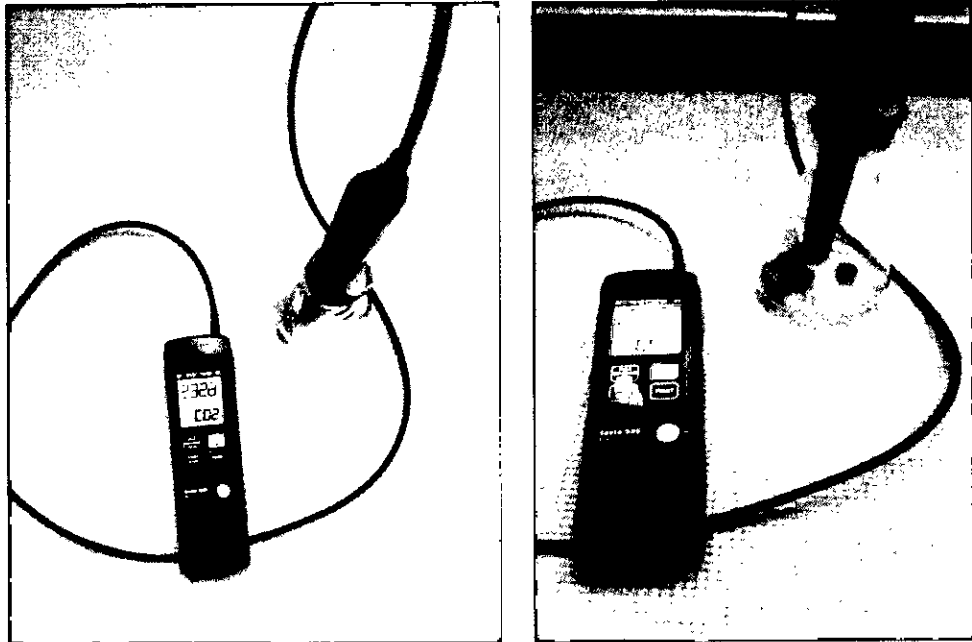
Todas las evaluaciones se llevaron a cabo a condiciones ambientales con una temperatura promedio de 22°C y humedad promedio de 88%. Se trabajó con 7 muestras cada una con una formulación distinta y 1 muestra patrón que contenía arándanos sin recubrimiento (ver tabla 4.1).

a. Análisis fisiológico

Tasa de respiración

Se utilizaron 80 arándanos, los cuales fueron colocados de 10 en 10 en 8 matraces de 250mL, se le colocó un detector de CO₂ y se selló la boquilla del matraz quedando todo completamente hermético, se tomó lecturas cada hora, por espacio de 3 horas por muestra, así continuamos analizando las 8 muestras (cada muestra de 8gr de arándanos) incluido el matraz con los arándanos sin recubrimiento el cuál se tomó como patrón.

FIGURA 4.21
ENSAYO DEL DETECTOR DE CO₂



b. Análisis físicos

Pérdida de peso

Este análisis se evaluó determinando la diferencia de pesos entre el primer día y cada día del muestreo, fue expresado en % en peso. Se evaluó durante 6 días, 8 muestras de 3 g de arándanos cada una.

FIGURA 4.22
SIGNOS DE PÉRDIDA DE PESO



Firmeza

Se llevó a cabo una evaluación de firmeza al tacto por lo que se observó a lo largo de 6 días qué tan blando se encontraba el producto en comparación con los arándanos que no tenían el recubrimiento. Las 8 muestras fueron de 3 gr de arándanos cada una.

FIGURA 4.23
SIGNOS DE ABLANDAMIENTO



Pudriciones y hongos

Para determinar el porcentaje de pudriciones y hongos se llevó a cabo una evaluación visual, se tomaron los datos conforme se observaron la aparición de pudriciones y hongos durante los 6 días de evaluación de las 8 muestras de 3 gr de arándanos cada una.

FIGURA 4.24
PRESENCIA DE PUDRICIONES Y HONGOS



c. Análisis químico

Cantidad de sólidos solubles

Se extrajo el zumo del arándano recubierto de cada una de las 7 formulaciones y el de la muestra patrón, se colocó una gota en el refractómetro con control de temperatura, previamente calibrado con agua destilada, los resultados se expresaron en °Brix presentes en el arándano. Se realizó este análisis durante 6 días.

4.6 Procesamiento estadístico y análisis de datos

4.6.1 Tratamiento estadístico

Para el tratamiento estadístico se utilizó el software Excel para de esta forma obtener el modelo matemático que gobierne el diseño experimental.

4.6.2 Análisis estadístico

Se realizó el análisis de los resultados en base al diseño experimental, se realizó el método de regresión lineal para obtener un modelo matemático que permite analizar los resultados de las diferentes experiencias, como el rendimiento de la extracción de mucílago, la tasa respiratoria, la cantidad de sólidos solubles, firmeza al tacto, porcentaje de pérdida de peso, porcentaje de pudriciones y hongos de los arándanos recubiertos con las diferentes formulaciones.

V. RESULTADOS

5.1 Resultados de la extracción

- Rendimiento de la eficiencia

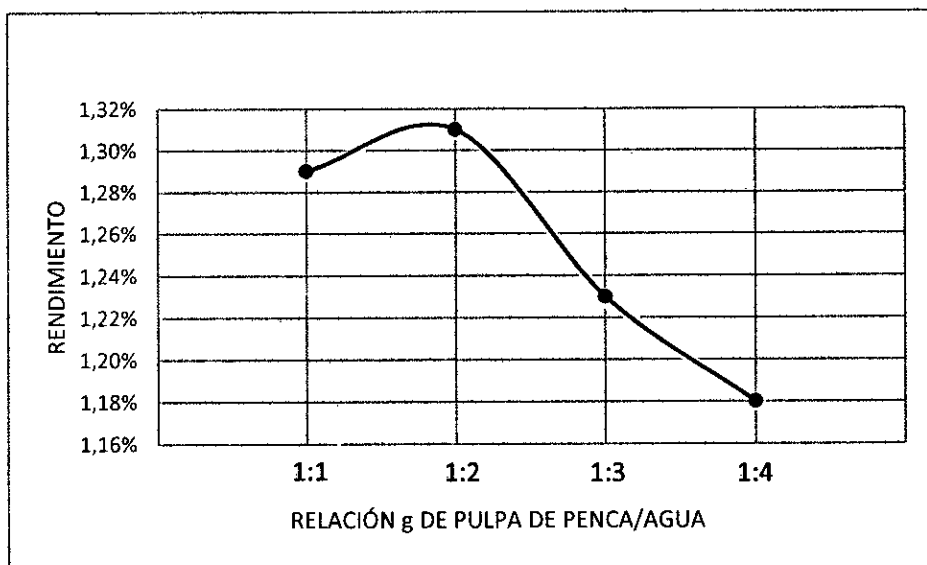
Respecto a la relación de pulpa de penca: agua

A continuación, se muestra el rendimiento del proceso de extracción del mucílago en polvo. Se tomó en cuenta que cada muestra de penca de tuna pesaba 5250 gr, para obtener el rendimiento del proceso.

TABLA 5.1
RELACIÓN PENCA / AGUA - RENDIMIENTO

Relación g de penca: agua	% Rendimiento
1:1	1,29
1:2	1,31
1:3	1,23
1:4	1,18

FIGURA 5.1
RENDIMIENTO RELACIÓN PULPA DE PENCA / AGUA



El rendimiento óptimo fue con la relación 1:2, en esta extracción, se trabajó con la muestra de 5250 gr de penca y se obtuvo 68,6 gr de mucílago en polvo con lo cual observamos un rendimiento de 1,3 gr de mucílago seco / 100gr de penca.

Algunos otros valores encontrados en la bibliografía respecto a rendimientos de extracción del mucílago de nopal son, por ejemplo, el de Cárdenas y col. (1997), que reportan un rendimiento de 0,07 g de mucílago/100 g nopal fresco. Sepúlveda y col. (2007) obtuvieron rendimientos entre 1,3-1,6 g de mucílago /100 g nopal fresco en función del volumen de agua, temperatura y tiempo de extracción. Majdoub y col. (2001) publican un rendimiento de 0,085 g mucílago purificado/100 g de pulpa fresca, donde se eliminaron proteínas y minerales mediante ultrafiltración (Abraján, 2008).

5.2 Resultados de la caracterización

- **Resultados del análisis proximal**

Los resultados del análisis proximal realizados a la muestra de mucílago en polvo que se llevó a cabo en los Laboratorios de Análisis Físico y Químico de Alimentos de la Universidad Nacional Agraria de la Molina fueron los reportados en la tabla N° 5.2.

TABLA 5.2
CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL MUCÍLAGO DE LA PENCA

ENSAYO	RESULTADO
Determinación de humedad	8,29%
Determinación de cenizas	11,46%
Determinación de proteínas	3,18%
Determinación de grasa	0,23%
Determinación de Fibra	7,44%
Carbohidrato	69,40%

Con esto concluimos que el mucilago extraído es una fuente rica de carbohidratos; también está conformado de fibras, proteínas y pectina; contiene grasas, pero en cantidades muy bajas las cuales se consideran despreciables; obteniendo un mucilago apto para la elaboración de un recubrimiento comestible preservante del arándano.

- **Resultados del análisis ICP**

Los resultados del análisis instrumental fueron los siguientes:

TABLA 5.3
RESULTADOS DEL ANÁLISIS ICP ÓPTICO

Al (ppm)	Bi (ppm)	Ca (ppm)	Mn (ppm)
0,01	<5	5,9	12,95
K (ppm)	Mg (ppm)	Na (ppm)	Zn (ppm)
0,19	0,25	0,02	25,35

Con lo cual se comprueba que el mucilago es una fuente rica en minerales, lo cual sería un aporte al recubrimiento elaborado.

5.3 Formulación del recubrimiento comestible preservante del arándano

- La formulación del recubrimiento comestible se realizó empleando los componentes: Mucilago, glicerol y aceite de sachá inchi.
- Se utilizaron los siguientes equipos y materiales: un agitador, vaso de precipitado, bagueta y bandejas.
- Las concentraciones experimentales óptimas fueron las siguientes: Mucilago al 1 %, glicerol 3 % y aceites de sachá inchi al 1 %.

Las condiciones a las cuales fueron evaluados los arándanos:

Temperatura promedio = 21,2°C

Humedad promedio = 88,30%

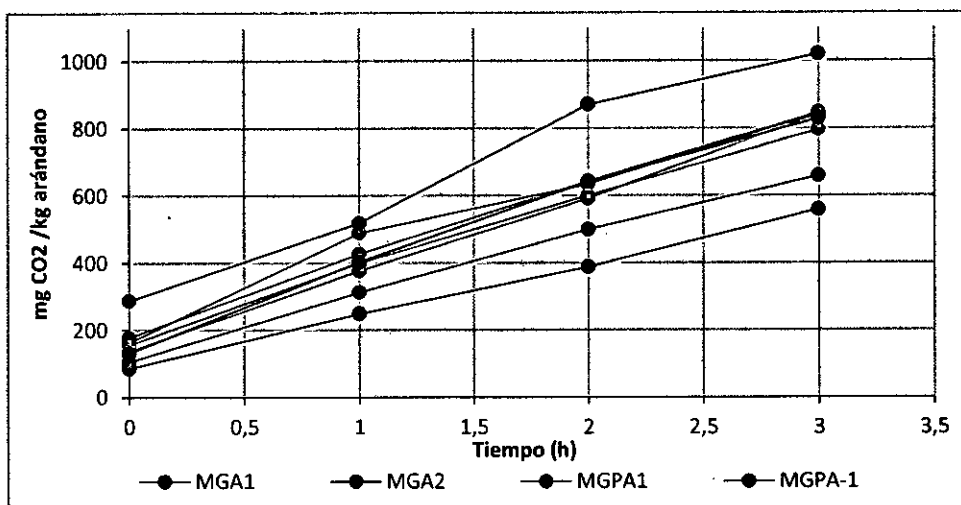
a) Evaluación de la tasa de respiración

Se obtuvieron los mejores valores de la formulación MGA2, registrando una menor tasa de respiración lo cual indica que la transferencia de gases (CO₂) de los arándanos recubiertos con esta formulación es menor con respecto a la de las demás formulaciones, se observó en comparación con la formulación MGA1, que un aumento en el porcentaje de aceite de sacha inchi beneficia las propiedades de barrera, retardando la producción de CO₂, con lo que podemos concluir que se tendrá un aumento en la vida útil del arándano en condiciones ambientales. En la tabla N° 5.4 se observa los valores de CO₂ obtenidos durante 3 horas y en la figura N° 5.2 se observa la comparación entre las diferentes formulaciones estudiadas. Podemos observar que las formulaciones MGPA-1, MGPA1, MGP y MGPA-2 son las que tienen mayores valores de producción de CO₂ registraron, pero presentaron valores inferiores en comparación con el patrón.

TABLA 5.4
EVALUACIÓN DE LA TASA DE RESPIRACIÓN (mg CO₂ / Kg arándano x h)

TIEMPO(Horas)	MGA1	MGA2	MGPA1	MGPA-1	MGPA2	MGPA-2	MGP	SIN RC
0	105	86	177	163	137	157	131	287
1	312	249	426	489	376	399	402	518
2	499	388	643	634	591	600	642	870
3	658	558	846	844	842	795	829	1020

FIGURA 5.2
TASA DE RESPIRACIÓN



Análisis estadístico de la mejor formulación MGA2

TABLA 5.5
ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA TASA DE RESPIRACIÓN DE MGA2

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0.999324513
Coeficiente de determinación R ²	0.998649483
R ² ajustado	0.997974225
Error típico	9.04157066
Observaciones	4

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	120901.25	120901.25	1478.914373	0.000675487
Residuos	2	163.5	81.75		
Total	3	121064.75			

	<i>Coeficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	87	7.564720748	11.500755	0.00747577	54.45163362	119.5483664
Variable X 1	155.5	4.043513324	38.45665577	0.000675487	138.1021664	172.8978336

Obtenemos los valores de la tasa respiratoria que son los expresados por las pendientes luego de realizar una regresión lineal (factor de correlación=0,999), tenemos la siguiente tabla:

TABLA 5.6**TASA RESPIRATORIA Y % DISMINUCIÓN DE PRODUCCIÓN DE CO₂**

Formulación	TASA RESPIRATORIA (mg CO ₂ /Kg arándano x h)	%DISMINUCIÓN DE PRODUCCIÓN DE CO ₂
MGA1	184,6	27,63%
MGA2	155,5	39,04%
MGPA1	222,4	12,81%
MGPA-1	218,8	14,22%
MGPA2	233	8,66%
MGPA-2	211,5	17,09%
MGP	233,4	8,50%

De la tabla N° 5.6 evaluamos el porcentaje de disminución de la producción de CO₂, el porcentaje más alto lo presentó la formulación MGA2 con un 39,04%, seguido por la MGA1 con 27,63% mientras la última fue MGP con 8,5%. Las interacciones entre el polisacárido del mucílago, glicerol y aceite de sacha inchi reportaron un mejor resultado que los formulados con polietilenglicol.

b) Evaluación de la cantidad de sólidos solubles (CSS)

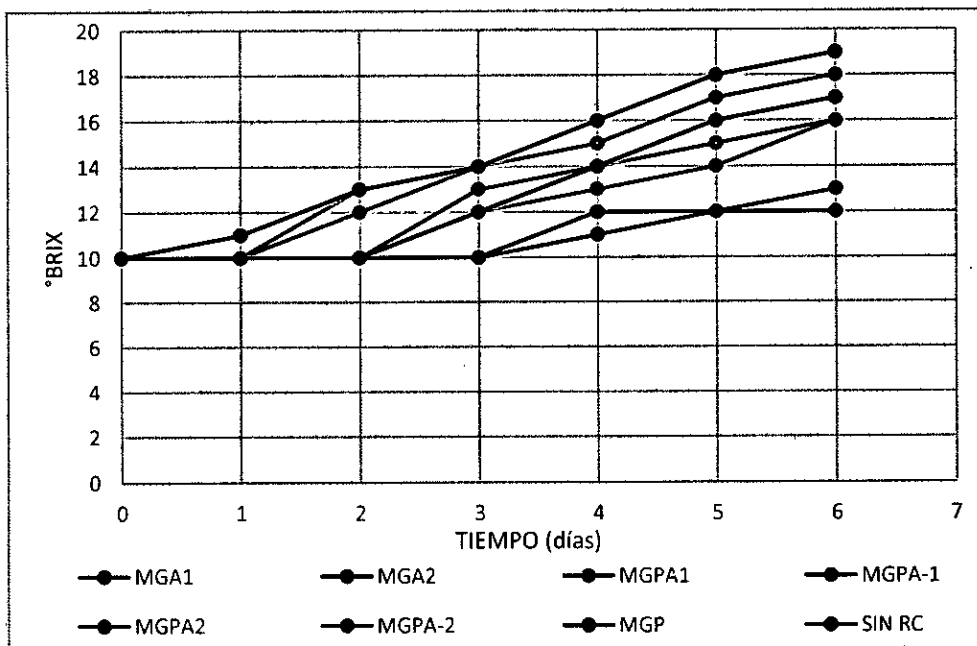
Durante esta experiencia los mejores resultados también lo obtuvieron los arándanos recubiertos con la formulación MGA2 ya que retrasó la madurez del arándano y mantuvo el valor de CSS óptimo del arándano por mayor tiempo, seguido de la formulación MGA1 con lo cual tenemos que las formulaciones donde se empleó polietilenglicol no fueron muy convenientes para retardar la madurez de los arándanos, ya que se observó en las formulaciones MGPA1 y MGPA-2 incrementos de CSS a los 2 días, teniendo en cuenta que la CSS debe ser como mínimo 8°brix para clasificarlo como "bueno" y 10°brix tiene una calificación de "excelente" hasta los 12°brix y llegando a los 14°brix se tiene un fruto sobremaduro lo cual es un problema para la calidad del producto. En comparación con el patrón se mantuvieron

valores menores de CSS excepto en la formulación MGPA-2 que registró la misma cantidad de grados brix al segundo día que la muestra patrón.

TABLA 5.7
EVALUACIÓN DE SÓLIDOS SOLUBLES

TIEMPO(Días)	MGA1	MGA2	MGPA1	MGPA-1	MGPA2	MGPA-2	MGP	SIN RC
0	10	10	10	10	10	10	10	10
1	10	10	10	10	10	10	10	11
2	10	10	10	12	10	13	10	13
3	10	10	12	14	13	14	12	14
4	12	11	13	15	14	15	14	16
5	12	12	14	17	15	17	16	18
6	13	12	16	18	16	18	17	19

FIGURA 5.3
SÓLIDOS SOLUBLES VS TIEMPO



Análisis estadístico de la mejor formulación MGA2

TABLA 5.8
ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA CSS DE MGA2

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0.92422248
Coefficiente de determinación R ²	0.854187192
R ² ajustado	0.81773399
Error típico	0.419750493
Observaciones	6

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	4.128571429	4.128571429	23.4324324	0.008395783
Residuos	4	0.704761905	0.176190476		
Total	5	4.833333333			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	9.133333333	0.390766443	23.37287018	1.98619E-05	8.048391756	10.21827491
Variable X 1	0.485714286	0.10033956	4.840705778	0.008395783	0.207127007	0.764301565

Obtenemos los ° Brix / días de cada formulación, que son los valores expresados por las pendientes luego de realizar una regresión lineal, tenemos la siguiente tabla:

TABLA 5.9
VELOCIDAD DE MADURACIÓN Y % DISMINUCIÓN DE LA VELOCIDAD DE MADURACIÓN

	SÓLIDOS SOLUBLES (° BRIX / día)	% DISMINUCIÓN DEL GRADO DE MADURACIÓN
MGA1	0,6571	59,64%
MGA2	0,4857	70,17%
MGPA1	1,2285	24,56%
MGPA-1	1,5	7,89%
MGPA2	1,3142	19,29%
MGPA-2	1,5142	7,01%
MGP	1,5714	3,50%

De la tabla N° 5.9 evaluamos el porcentaje de disminución del grado de maduración del arándano, el mejor porcentaje lo presentó la formulación MGA2 retrasando la maduración del arándano en un 70,17%, seguido por la MGA1 con 59,64% mientras el valor más bajo lo presentó la formulación MGP con 3,50%

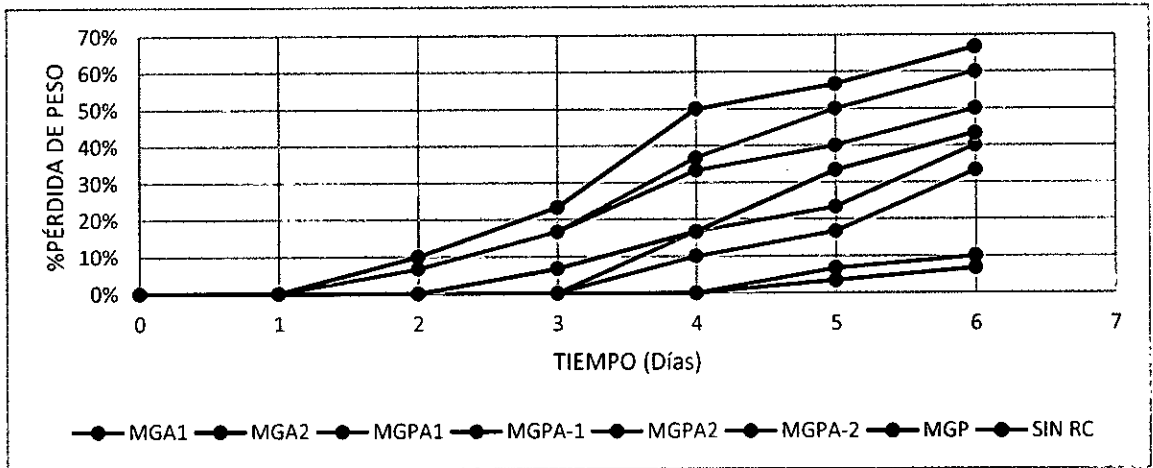
c) Evaluación del % pérdida de peso

Durante la experiencia de pérdida de peso se determinó que la mejor formulación fue nuevamente la MGA2 reportando pérdida de peso recién al quinto día de realizada la experiencia, perdiendo un 3% de su peso inicial, seguido de la formulación MGA1 que perdió el 7% de su peso al quinto día, observándose que formulaciones como la MGPA1 y MGPA-1 reportaron pérdidas de peso de 17% al tercer día de la experiencia. Sin embargo, los valores reportados fueron menores en comparación con la muestra patrón al finalizar la prueba el más alto valor fue el reportado por la formulación MGPA1 de 60%, pero sigue siendo menor en comparación con el patrón que es de un 67%. Esta evaluación es un indicador de la permeabilidad del vapor de agua que tiene el arándano con el recubrimiento elaborado con cada formulación.

**TABLA 5.10
EVALUACIÓN DEL % PÉRDIDA DE PESO**

TIEMPO(Días)	MGA1	MGA2	MGPA1	MGPA-1	MGPA2	MGPA-2	MGP	SIN RC
0	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
1	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2	0%	0%	7%	7%	0%	0%	0%	10%
3	0%	0%	17%	17%	0%	0%	7%	23%
4	0%	0%	37%	33%	10%	17%	17%	50%
5	7%	3%	50%	40%	17%	23%	33%	57%
6	10%	7%	60%	50%	33%	40%	43%	67%

FIGURA 5.4
%PÉRDIDA DE PESO VS TIEMPO



Análisis estadístico de la mejor formulación MGA2

TABLA 5.11
ANÁLISIS ESTADÍSTICO % PÉRDIDA DE PESO DE MGA2

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0.94387981
Coefficiente de determinación R ²	0.89090909
R ² ajustado	0.83636364
Error típico	0.01290994
Observaciones	4

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0.002722222	0.002722222	16.3333333	0.056120193
Residuos	2	0.000333333	0.000166667		
Total	3	0.003055556			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	-0.08	0.026770631	-2.988349471	0.096107707	-0.195184727	0.035184727
Variable X 1	0.023333333	0.005773503	4.041451884	0.056120193	-0.001508044	0.04817471

Obtenemos la tasa de pérdida de peso de cada formulación, que son los expresados por las pendientes luego de realizar una regresión lineal, tenemos la siguiente tabla:

TABLA 5.12
% PÉRDIDA DE PESO

	PÉRDIDA DE PESO / DÍA (gr arándanos inicial/gr arándanos final x día)	% PÉRDIDA DE PESO
MGA1	0,0155	25,63%
MGA2	0,0095	16,31%
MGPA1	0,1107	77,52%
MGPA-1	0,0917	73,31%
MGPA2	0,0512	74,64%
MGPA-2	0,0655	88,65%
MGP	0,0762	79,34%

De la tabla N° 5.12 evaluamos el % pérdida de peso, la formulación MGA2 obtuvo un 16,31% lo cual nos indica que se conservó un 83,68% del peso inicial, seguido por la MGA1 con 25,63% mientras la última la presentó MGPA-2 con 88,65% de pérdida de peso al cabo de 6 días.

d) Evaluación de firmeza al tacto

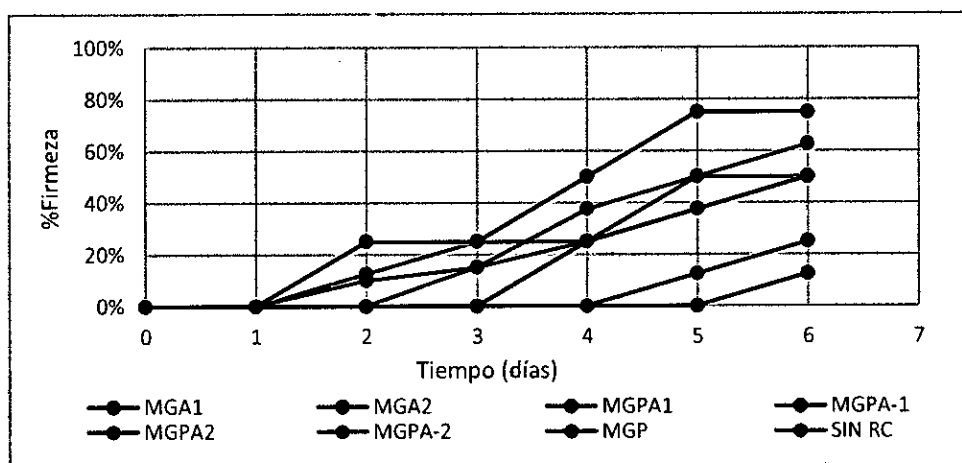
Durante esta experiencia se tomaron valores de acuerdo a la evaluación visual que se llevó a cabo catalogando a los arándanos con un valor que definiera el estado de firmeza inicial y que iba variando según las pruebas al tacto que se realizaban al cabo de cierto tiempo, de la mano con la pérdida de peso debido al marchitamiento o pérdida de humedad, se verificaba la firmeza del arándano, observando que los arándanos recubiertos con las formulaciones MGA1 y MGA2 tuvieron mejor firmeza al tacto, reportando un 25% y 13% respectivamente hasta el sexto días que duró la prueba, teniendo un color y sabor óptimo con su característica crujiente y sabor agrio-dulce propio del fruto. Mientras que las formulaciones MGPA1 y MGPA-1 empezaron a perder firmeza al segundo día, reportando un 63% y 50% respectivamente al sexto día de la experiencia, en comparación con la

muestra patrón que reportó un 75% se mantenían por debajo del patrón pese a no presentar valores óptimos.

TABLA 5.13
EVALUACIÓN DEL % FIRMEZA AL TACTO

TIEMPO(Días)	MGA1	MGA2	MGPA1	MGPA-1	MGPA2	MGPA-2	MGP	SIN RC
0	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
1	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2	0%	0%	13%	10%	0%	0%	0%	25%
3	0%	0%	25%	15%	0%	15%	0%	25%
4	0%	0%	25%	25%	25%	38%	25%	50%
5	13%	0%	50%	50%	50%	50%	38%	75%
6	25%	13%	63%	50%	50%	50%	50%	75%

FIGURA 5.5
% FIRMEZA AL TACTO VS TIEMPO



e) Evaluación de % pudriciones y hongos

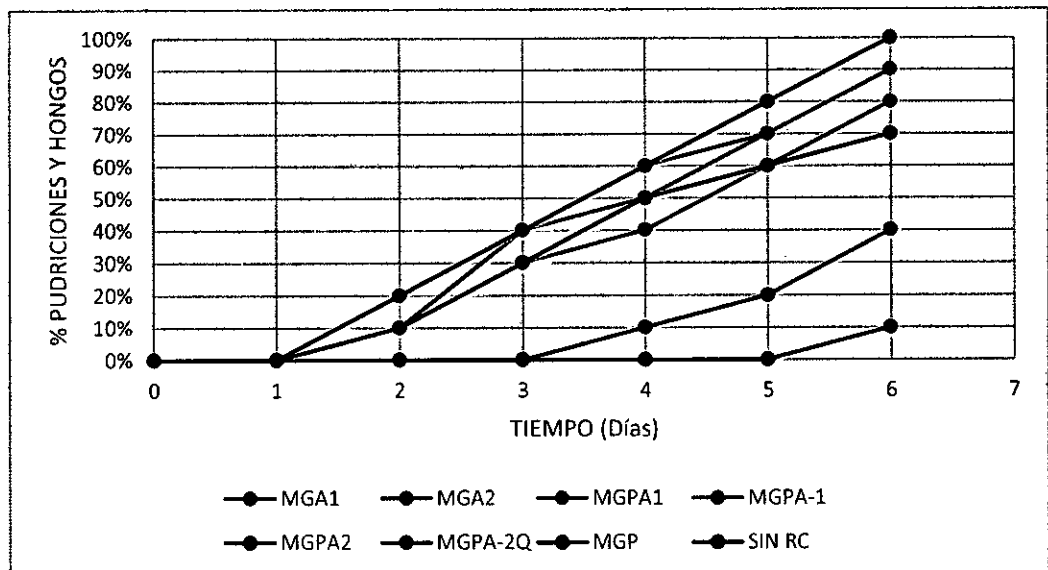
Durante esta experiencia se tomaron valores de acuerdo a la evaluación visual que se llevó a cabo, los resultados obtenidos se aprecian en la tabla N° 5.14, se observa que para las formulaciones MGA1 y MGA2 no se reportaron pudriciones hasta el cuarto y sexto día respectivamente, al sexto día el 40% del total de los arándanos con formulación MGA1 analizados presentaban signos de pudrición frente a un 10 % reportado por los de formulación MGA2 observándose la gran diferencia, mientras que las formulaciones

MGPA1, MGPA-1, MGPA2, MGPA-2 y MGP empezaron a reportar pudriciones a partir del segundo día observándose un 10% en todas las formulaciones excepto en la MGPA-2 que reportó un 20% de pudriciones y hongos al igual que la muestra patrón, por lo que se concluye que fue el que peor resultado dio frente a la acción de los daños causados por microorganismos.

TABLA 5.14
EVALUACIÓN DEL % PUDRICIONES Y HONGOS

TIEMPO(Días)	MGA1	MGA2	MGPA1	MGPA-1	MGPA2	MGPA-2	MGP	SIN RC
0	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
1	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2	0%	0%	10%	10%	10%	20%	10%	20%
3	0%	0%	30%	30%	40%	40%	30%	40%
4	10%	0%	40%	50%	60%	50%	50%	60%
5	20%	0%	60%	60%	70%	70%	60%	80%
6	40%	10%	70%	80%	90%	90%	70%	100%

FIGURA 5.6
% PUDRICIONES Y HONGOS VS TIEMPO



VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Contratación de hipótesis con los resultados

- **Contratación de resultados con la Hipótesis General**

La hipótesis general nos indica que determinamos la formulación adecuada del recubrimiento comestible a partir del mucilago, es por ello que se determinó en las tablas 5.6, 5.9, 5.12, 5.13 y 5.14 se comparó las formulaciones elaboradas (ver tabla 4.1), evaluándolas con diversos análisis especificados en el capítulo IV, sub capítulo 4.5.3, con lo cual se logró determinar la mejor formulación que fue la compuesta por solución de mucilago (1%), glicerol (3%) y aceite de sachá inchi (1%), con esto podemos confirmar nuestra hipótesis general de que el mucilago extraído de la penca de tuna es adecuado para formular un recubrimiento comestible preservante del arándano.

- **Contratación de resultados con la Hipótesis Especifica**

- a) La hipótesis específica nos indica que determinemos el método experimental adecuado para la extracción del mucilago de la penca de tuna, por ello se determinó que con el método del escaldado se obtuvo un rendimiento de extracción de 1,31 gr de mucilago seco / 100gr de penca utilizada, con la proporción de 1:2, como se muestra en la tabla 5.1, con lo cual comprobamos que este método es adecuado para la extracción del mucilago de la penca de tuna por presentar un buen rendimiento en la proporción adecuada.
- b) La hipótesis específica nos indica que determinemos las características químicas del mucilago de la penca de la tuna, por ello se determinó en las tablas 5.2 y 5.3 las características químicas del mucilago extraído de la penca de tuna, los valores reportados concordaban con los valores estudiados por otros

investigadores, véase tablas 2.4, 2.5 y 2.6, lo cual hace apto al mucilago extraído para la formulación de un recubrimiento comestible preservante,

6.2 Contrastación de resultados con investigaciones similares

- De acuerdo con la investigación realizada por Rodríguez G. et al. en cuanto a la extracción óptima del mucilago de la penca de tuna se obtuvo mejores rendimientos cuando se trabajó bajo las siguientes condiciones: con una relación de 1:2 relación nopal/agua, pH de 4,45 y 1 hora de calentamiento del extracto de penca, esto sirvió de base para la extracción que se realizó, se mantuvo la relación 1:2 (Tabla 5.1), pues al experimentar con otras proporciones se obtuvieron menores rendimientos por lo que se optó por trabajar con esta relación, en cuanto al pH no hubo necesidad de alterarlo ya que el extracto se encontraba con un pH de 4,5 lo cual se estuvo verificando conforme se trabajaba con el extracto. Además se trabajó con las proporciones de etanol:extracto de 1:4 lo cual también nos dio una mayor cantidad de mucilago extraído que con otras proporciones en concordancia con las investigaciones evaluadas por Rodríguez.
- Cabe mencionar que el rendimiento 1,3 gr de mucilago /100 gr de penca encontrado fue superior a los reportados por Cárdenas y col. (1997), que reportan un rendimiento de 0,07 g de mucilago/100 g nopal fresco y de Abraján (2008) que obtuvo un rendimiento de 0,66 gr de mucilago / 100 gr de nopal. Mientras obtuvimos rendimientos similares a los reportados por Sepúlveda y col. (2007) de 1,3-1,6 g de mucilago /100 g nopal fresco.
- Se optó trabajar con el método del escaldado ya que en un primer momento se empleó el método de cocción, pero el mucilago obtenido al final presentaba un color no característico mientras que

el obtenido por el método de escaldado presentaba un color blanco lo cual no generó ninguna alteración en el color del recubrimiento final por lo que no se vio afectado el color de los arándanos, esto concuerda con la experiencia de Abraján V. en cuanto a la elección del método de extracción del mucilago.

- De las tablas de caracterización que se tuvieron como referencia figuran los datos de: Sepúlveda (Tabla 2.4), Rodríguez G. (Tabla 2.5) y Abraján V. (Tabla 2.6) con lo cual observamos que obtuvimos un valor de 8,29% de humedad (Tabla 5.2) , mientras que Sepúlveda obtuvo un 4,9% y Rodríguez un 5,39% valores bajos en comparación con el obtenido, con respecto a las cenizas se obtuvo 11,46% un valor por debajo que los presentados por los tres investigadores mencionados, paralelamente al análisis enviado a la UNALM, se determinó la humedad experimentalmente del mucilago en polvo recién secado (ver anexo tabla 1) obteniendo un 2,25% un valor aún más bajo en contraste con los resultados anteriores. Los porcentajes de ceniza que se obtuvieron (Tabla 5.2) fueron bajos comparados con los tres investigadores mencionados, con relación al porcentaje de proteína se obtuvo 3,18% un valor más bajo que los encontrados por los tres investigadores, siendo el mayor valor encontrado 5,24% (Tabla N° 2.5), para la grasa los valores reportados por Rodríguez y Abraján 0,09% (Tabla 2.5) y 0,06% (Tabla 2.6) respectivamente fueron similares a los hallados en esta investigación 0,23% (Tabla 5.2), las cantidades de fibra observadas Rodríguez 5,43% (Tabla 2.5) fueron similares a las observadas en esta investigación 7,44% (Tabla 5.2), mientras que los carbohidratos analizados se tuvo valores bajos reportados por Rodríguez 16,92% (Tabla N° 2.5) frente a los reportados por Abraján 72,9% (Tabla 2.6) este último resultado estaba más cerca a los hallados en esta investigación 69,40% (Tabla 5.2)

- Con relación al análisis ICP se encontró menores cantidades de calcio 5,9ppm (Tabla 5.2) mientras que Sepúlveda observó valores de 100,9 ppm (Tabla 2.4), en cuanto al potasio presente se tuvo 0,19ppm (Tabla 5.2) mientras Sepúlveda observó 10.6ppm (Tabla 2.4). Teniendo en cuenta la conversión de g/100g equivale a 10ppm. En contraste con los resultados obtenidos por Sepúlveda, Rodríguez y Abraján donde no hallaron presencia significativa de Zn y Mn, se observó la presencia de estos en el mucílago analizado 25,35 y 12,96 ppm respectivamente (Tabla 5.2).
- De acuerdo a la investigación elaborada por González G. las películas hechas con solución de mucílago (1%), glicerol (5%), polietilenglicol (5%) y ácido oleico (0,3%) fue la que le reportó una disminución superior en la tasa de respiración del nopal, por el contrario en la presente investigación los valores reportados de tasa de respiración de los recubrimientos que en su elaboración contenían polietilenglicol fueron los que no dieron un buen resultado en lo que respecta a preservar la vida útil del arándano.

VII. CONCLUSIONES

- A. Se determinó que la formulación del recubrimiento comestible MGA2 compuesta por una solución al 1% de mucilago, 3% de glicerol y 1% de aceite de sacha inchi es la óptima ya que disminuyó la tasa de producción de CO₂ en un 39,04% y retrasó la velocidad de maduración en 70,17%, esto permitió conservar y extender la vida útil del arándano.
- B. Se determinó que el rendimiento óptimo fue de 1.31 gramos de mucilago en polvo por 100 gramos de penca de tuna, utilizando el método de escaldado a $82 \pm 2^{\circ}\text{C}$ por 7 min, una relación de pulpa de penca: agua destilada de 1:2, un tratamiento térmico a $83^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ durante una hora, macerando en 24 horas y una relación de 1:4, extracto de penca: etanol 96° para la precipitación y extracción del mucilago de la penca de tuna.
- C. La caracterización del mucilago en polvo arrojó porcentajes adecuados de carbohidratos 69,40%, proteínas 3,18 %, fibra 7,44 %, grasa 0,23 % y minerales que nos permite concluir que se obtuvo un mucilago apto para la formulación de un recubrimiento comestible.

VIII. RECOMENDACIONES

- A. Para la formulación de recubrimientos es importante añadir los sólidos en pocas cantidades al agua ya que así evitaremos recubrimientos con grumos, de esta manera será más sencilla su aplicación sobre el fruto.
- B. Es necesario definir un recipiente apto para colocar el mucílago extraído a secar, por ejemplo, si se coloca en papel aluminio este se romperá o de lo contrario al secar se quedará adherido y habrá pérdidas significativas, alterando los resultados. Se recomienda usar bandejas de aluminio ya que no se adhiere y se recupera todo el mucílago seco.
- C. Para la aplicación de los recubrimientos es indispensable que los arándanos estén secos ya que esto facilitará la adherencia del recubrimiento.

IX. REFERENCIALES BIBLIOGRÁFICAS

1. ABRAJÁN VILLASEÑOR. **Efecto del método de extracción en las características químicas y físicas del mucílago del nopal y estudio de su aplicación como recubrimiento comestible.** Tesis doctoral. Valencia. Universidad Politécnica de Valencia. 2008
2. AGUILAR M. **Propiedades físicas y mecánicas de películas biodegradables y su empleo en el recubrimiento de frutos de aguacate.** Tesis de Maestría. México. Instituto Politécnico Nacional. 2005.
3. AQUINO V, et al. **Inhibición del oscurecimiento con mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*) en el secado de plátano Roatán.** Información Tecnológica Vol. 20 (4): 15-20. 2009
4. ARTÉS, F. **Conservación de los productos vegetales en atmósferas modificadas.** Editorial Mundi Prensa. Primera edición. España. 2000
5. BARREDA MOLINA. **Elaboración y evaluación de películas comestibles a base de almidón de maíz (*Zea mays. L*) añadiendo goma de tara y xantan.** Tesis para optar por el título profesional de Ingeniero Químico. Perú. Universidad Nacional de San Agustín. 2016.
6. BONILLA LAGOS. **Efecto de la adición de aceites esenciales en las propiedades mecánicas, permeabilidad al vapor de agua y microestructura de films comestibles de caseinato sódico.** Tesis para optar el grado de Magister. España. Universidad Politécnica de Valencia. 2007.
7. CÁCERES I et al. **Influencia del encerado y tratamiento térmico en la calidad post-cosecha del mango.** Revista Simiente. Vol. 73 (1-2): 25 -29. Julio 2003.

8. DE ANCOS BEGOÑA, et al. **Uso de películas/recubrimientos comestibles en los productos de IV y V gama.** Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha. Vol. 16 (1): 8-17. 2015
9. DEFILIPPI et al. **Manejo de cosecha de cosecha y postcosecha de arándano.** Revista de Investigación Agropecuaria 2013
10. ESPINOSA SÚAREZ. **Estudios de algunas características físicas de hidrocoloides provenientes de semilla de algarrobo (*Prosopis chilensis* Stuntz) y de cladodios de nopal (*Opuntia Picus-indica* (L.) Mill).** Tesis para optar al grado de Magister. España. Universidad de Madrid. 2002.
11. FAMÁ L, et al. **Comportamiento mecánico dinámico de películas comestibles a bajas temperaturas: influencia del contenido de sorbato y grado de acidez.** Revista SAM. Vol. 1 (1):157-162. Setiembre 2004.
12. FIGUEROA JORGE. **Recubrimientos comestibles en la conservación del mango y aguacate, y perspectiva, al uso del propóleo en su formulación.** Revista colombiana de ciencias. Vol. 3 (2): 386 a 395. Noviembre 2011
13. GONZÁLEZ GONZÁLEZ. **Desarrollo y evaluación de una película comestible obtenida del mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*) utilizada para reducir la tasa de respiración de nopal verdura.** Revista de Investigación Universitaria Multidisciplinaria de la Universidad Simón Bolívar. N° 10: 131-137. Diciembre 2011.
14. KADER A. et al. **Postharvest Technology of Horticultural Crops.** Editorial de la Universidad de California. Tercera edición. EE.UU. 2011.
15. LOZADA CARBAJAL. **Extracción y caracterización reológica de polisacáridos tipo pectina de la cáscara de tuna (*Opuntia* spp.).** Tesis para obtener el título de Ingeniero Agroindustrial. México. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. 2007

16. OROZCO SILVAS. **Elaboración y caracterización de películas de mucílago de nopal-pectina: Efecto de la concentración del mucílago de nopal en las propiedades fisicoquímicas y mecánicas.** Tesis para optar por el título de Químico en Alimentos. México. Universidad Autónoma del estado de México. 2017
17. PÉREZ-GAGO, et al. **Recubrimientos comestibles en frutas y hortalizas.** Centro de Post-cosecha del Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA). Revista Horticultura (207): 54-57. Enero 2008.
18. RODRÍGUEZ GONZÁLEZ, et al. **Extraction and characterization of mucilage wild species of *Opuntia*.** Revista Journal of Food Process Engineering. (37): 285-292. Febrero 2014
19. ROJAS GRAU. **Recubrimientos comestibles y sustancias de origen natural en manzana fresca cortada: Una nueva estrategia de conservación.** Tesis doctoral. España. Universidad de Lleida. 2006.
20. RUBIO ANAYA, et al. **Polímeros utilizados para la elaboración de películas biodegradables.** Temas Selectos de Ingeniería de alimentos (6): 173-181. 2012.

X. ANEXOS

10.1 ANÁLISIS DE CARACTERIZACIÓN REALIZADOS

✓ Contenido de humedad

Esta prueba se realizó paralelamente con el análisis que enviamos al laboratorio, ya que esto nos permitiría comparar valores en adición a eso contábamos con el equipo requerido para llevarlo a cabo.

Procedimiento

Se realizó una homogenización de la muestra de mucilago.

Luego se pesó por duplicado dos frascos de plástico y se anotó el peso.

A continuación, se pesó una cantidad aproximada de 1 gramo de muestra de mucilago en cada frasco y se ingresó en el horno a una temperatura de 60 °C hasta que el peso sea constante.

Los resultados se muestran a continuación para el contenido de húmeda de la muestra de mucilago.

TABLA 10.1
PORCENTAJE DE HUMEDAD

Número	W frasco	W muestra inicial	W total final	W muestra seca	% Humedad
1	5,1638	0,9503	6,047	0,8832	2,0909
2	4,9213	0,9529	5,8078	0,8865	2,2582
3	4,9912	-	4,9912	-	Blanco

Donde:

$$\%H = \frac{mh(g) - ms(g)}{mh(g)} \times 100$$

Mh = Masa húmeda

Ms = Masa seca

✓ **Identificación del contenido de materia orgánica y cenizas**

Esta prueba se realizó paralelamente con el análisis que enviamos al laboratorio, ya que esto nos permitiría comparar valores en adición a eso contábamos con el equipo requerido para llevarlo a cabo.

Procedimiento

Se pesa el crisol de porcelana en vacío.

A continuación, se pesó una cantidad aproximada de 1 gramo de mucílago.

Después se somete por 30 minutos a T= 100°C en la mufla.

Luego se eleva la T= 200°C por un tiempo de 30 minutos.

A continuación, se eleva a T= 400°C por t=30 minutos.

Finalmente se eleva la T= 550 °C por un tiempo de 2.5 horas.

Después se retiran los crisoles de la mufla y se lleva al frasco desecador para que enfrien y no se hidraten con la humedad del medio ambiente, para luego llevar a la balanza cada crisol y determinar el contenido de cenizas por pesado directo.

Luego se pesa el crisol y se determina el contenido por diferencia de pesos.

$$\% \text{ceniza (MI)} = \frac{\text{masa inicial}}{\text{masa final}} \times 100$$

TABLA 10.2
PORCENTAJE DE CENIZA

Número	W _{crisol}	W _{muestra inicial}	W _{total final}	W _{cenizas}	% Materia Orgánica Total	% Ceniza
1	20.5529	1.0016	20.6443	0.0914	90.87460064	9.1253
2	19.8994	1.0061	19.9911	0.0917	90.88559785	9.1144
3	20.7201	-	20.7201	-	-	Blanco

10.2 RESULTADOS DE ANÁLISIS DE CARACTERIZACIÓN REALIZADOS EN LABORATORIOS EXTERNOS



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Laboratorio de Análisis de Físico Químico de Alimentos
INFORME DE ENSAYOS N° 33 LAFQA-90-29-12-2017)

Producto : Muclago de Penca
Marca : s/m
Identificación de muestra : s/i
Número de muestras : 01
Cantidad recibida : 100g aprox.
Forma de presentación : 01 bolsa
Fecha de recepción : 15/12/2017
Ensayo solicitado : Determinación de Análisis Químico Proximal

Resultados:

Muestra	Ensayos	Resultados en BH
Muclago de Penca	Determinación de Humedad	8.29 %
	Determinación de ceniza	11.46 %
	Determinación de proteína	3.18 %
	Determinación de Grasa	0.23 %
	Determinación de Fibra	7.44 %
	Carbohidratos	69.40 %

Métodos utilizados en el laboratorio:

- Determinación de Humedad según el método AOAC 950.46
- Determinación de ceniza según el método AOAC 938.08
- Determinación de proteína según el método AOAC 940.25
- Determinación de Grasa según el método AOAC 948.16
- Determinación de fibra según el método AOAC 920.98

Observaciones:

- El muestreo, las condiciones de muestreo hasta su ingreso a los Laboratorios de Análisis Físico-Químico de Alimentos -FIAL-UNALM son de responsabilidad del solicitante
- Los resultados son válidos sólo para la cantidad recibida

La Molina, 29 de Diciembre del 2017

Dr. Patricia Glorio Pauet
 Jefe del Laboratorio de Análisis Físico-Químico de Alimentos FIAL-UNALM



INFORME DE ENSAYO N° GQ17101

CLIENTE: Nro de Orden: Almacén: Referencia: Fecha de Recopilar: Fecha de Reporte de Resultados: N° de Muestras Recibidas: Tipo de Muestra: Características y Condiciones:	UNAC GQ17101 Srta. Gloriz Poma Patricia Carta con fecha 21 de noviembre del 2017 23 de noviembre del 2017 02 de diciembre del 2017 1 Muestras preparadas Muestras codificadas por el cliente
--	---

ITEM	Código MINLAB	Código del Cliente	Elemento Unidad	Ag ppm	Al ppm	As ppm	Ba ppm	Be ppm	Bi ppm	Ca ppm	Cd ppm
1	GQ17101/001	M-01		0.18	0.01	0.36	1.66	<0.5	<5	5.90	<1

ELEMENTO	METODO
30	ICP Digestión Rapida (ICP_REG)



Ing. Marth Ríos de Armas

Jefe de Laboratorio MINLAB

Los ensayos se han realizado en los laboratorios de MINLAB S.R.L. S.A. en el J. Capcha 17201 - La Poma - Callao. Los resultados de los ensayos pertenecen sólo a los residuos analizados y no deben ser utilizados como un certificado de conformidad con normas del producto o como evidencia del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los contaminantes de agua también: tiempo de procesamiento de hasta 3 meses desde su recepción, además que de las muestras gruesas será de 1 mm. Preservar a dicho lugar de tiempo, según descripción.

Este Informe de Ensayo no podrá ser reproducido, excepto en su totalidad, sin la autorización escrita de MINLAB S.R.L.

INFORME DE ENSAYO Nº GQ17101

CLIENTE:	UNAC
Nro de Orden:	GQ17101
Atención:	Sra. Ginez Pavez Patricia
Referencia:	Carta con fecha 21 de noviembre del 2017
Fecha de Recepción:	23 de noviembre del 2017
Fecha de Reporte de Resultados:	02 de diciembre del 2017
Nº de Muestras Recibidas:	1
Tipo de Muestra:	Muestras preparadas
Características y Condiciones:	Muestras codificadas por el cliente

ITEM	Código MINLAB	Código del Cliente	Elemento Unidad	Mo ppm	Me ppm	Na ppm	Ni ppm	Pb ppm	Sb ppm	Zn ppm
1	GQ17101/001	M-01		12.66	<1	0.02	2.01	2.14	<5	<1

ELEMENTO	METODO
20	ICP Digestión Purga (ICP_REG)



Ing. Martín Rivadeneira Acevedo

Jefe de Laboratorio MINLAB

Los ensayos se han realizado en los laboratorios de MINLAB S.R.L. Situ en el 3º España Nº651 - La Puente-Callao. Los resultados de los ensayos pertenecen sólo a las muestras enviadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Las contramuestras de palpe tendrán un tiempo de permanencia de hasta 2 meses desde su recepción, máximo que de los resultados. Este Informe de Ensayo no podrá ser reproducido, excepto en su totalidad, sin la autorización escrita de MINLAB S.R.L.

INFORME DE ENSAYO N° GQ17101

CLIENTE:	UNAC
Nro de Orden:	GQ17101
Atención:	Sra. Ginez Povos Patrieta
Referencia:	Carta con fecha 21 de noviembre del 2017
Fecha de Recepción:	23 de noviembre del 2017
Fecha de Reporte de Resultados:	02 de diciembre del 2017
N° de Muestras Recibidas:	1
Tipo de Muestra:	Muestras preparadas
Características y Condiciones:	Muestras codificadas por el cliente

ITEM	Código MNLAB	Código del Cliente	Método Elemento Unidad	Ba ppm	Zn ppm	Sr ppm	Ti ppm	Ti ppm	V ppm	Zn ppm
1	GQ17101/001	M-01		<10	<10	20.88	<0.01	<2	<2	25.95

ELEMENTO	METODO
30	ICP Digestión Regia (ICP_REG)



Ing. Mario Roldán Asanza

Jefe de Laboratorio MNLAB

Los ensayos se han realizado en los laboratorios de MNLAB S.R.L. S/A en el Jr España N°331 - La Paria - Callao. Los resultados de los ensayos pertenecen sólo a las muestras enviadas y no deben ser utilizadas como una certificación de conformidad con normas del producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que le produce. Los contaminantes de plomo tendrán un tiempo de permanencia de hasta 3 meses desde su recepción, mientras que de los rebaseos. Este Informe de Ensayo no podrá ser reproducido, excepto en su totalidad, sin la autorización escrita de MNLAB S.R.L.

TÍTULO: "FORMULACIÓN DE UN RECUBRIMIENTO COMESTIBLE PRESERVANTE DEL ARÁNDANO EMPLEANDO EL MUCÍLAGO DE LA PENCA DE LA TUNA (*Opuntia ficus-indica*)."

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE DEP.	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
¿Cómo debe ser la formulación de un recubrimiento comestible preservante del arándano empleando mucilago extraído de la penca de tuna?	Determinar la formulación de un recubrimiento comestible preservante del arándano empleando el mucilago de la penca de la tuna.	"Si determinamos la formulación adecuada a partir del mucilago, entonces se logrará obtener el recubrimiento comestible preservante del arándano".	Y= Formulación de un recubrimiento comestible preservante del arándano.	<ul style="list-style-type: none"> • Concentración • Tasa de respiración • Sólidos solubles • Pérdida de peso • Firmeza al tacto • Evaluación de hongos y pudriciones 	<ul style="list-style-type: none"> • % • mgCO₂/g arándano x h • °Brix • gr • % • % 	<ul style="list-style-type: none"> • Experimental • Observacional • Comparativo
PROB. ESPECÍFICOS	OBJ. ESPECÍFICOS	HIP. ESPECÍFICAS	VARIABLES IND.	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
a) ¿Qué método experimental será el adecuado para la extracción del mucilago de la penca de tuna?	a) Identificar el método experimental adecuado para la extracción del mucilago de la penca de tuna	a) "Si identificamos el método experimental adecuado para la extracción del mucilago de la penca de tuna, entonces se logrará obtener el recubrimiento comestible preservante del arándano".	X ₁ = Método de extracción del mucilago de la penca de tuna.	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura • Concentración • Tiempo de secado • Rendimiento 	<ul style="list-style-type: none"> • °C • % • Horas • % 	<ul style="list-style-type: none"> • Experimental • Observacional • Comparativo
b) ¿Cómo se va a determinar las características químicas de la penca de tuna?	b) Determinar las características químicas del mucilago de la penca de la tuna.	b) "Si determinamos las características químicas del mucilago de la penca de la tuna, entonces se logrará obtener el recubrimiento comestible preservante del arándano".	X ₂ = Características químicas del mucilago de la penca tuna.	<ul style="list-style-type: none"> • Minerales (Ca, K, Zn) • Humedad • Grasas • Proteína • Ceniza • Fibra cruda 	<ul style="list-style-type: none"> • ppm • % • % • % • % • % 	<ul style="list-style-type: none"> • Experimental • Observacional • Comparativo

RELACIÓN DE VARIABLES: $Y = f(X_1, X_2)$

Y = Formulación de un recubrimiento comestible preservante del arándano.

X₁ = Método de extracción del mucilago de la penca de tuna.

X₂ = Características químicas del mucilago de la penca tuna