

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA NUTRICIÓN Y ALIMENTOS

TESIS PROFESIONAL

EVALUACIÓN DE UN RECUBRIMIENTO
COMESTIBLE ELABORADO CON ALMIDÓN DE
PATERNA SOBRE LA CALIDAD POSTCOSECHA DE
MANZANAS (*Golden Delicious*)

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE
ALIMENTOS

PRESENTA

DANIEL DE JESÚS MEJÍA ROBLERO

ASESOR

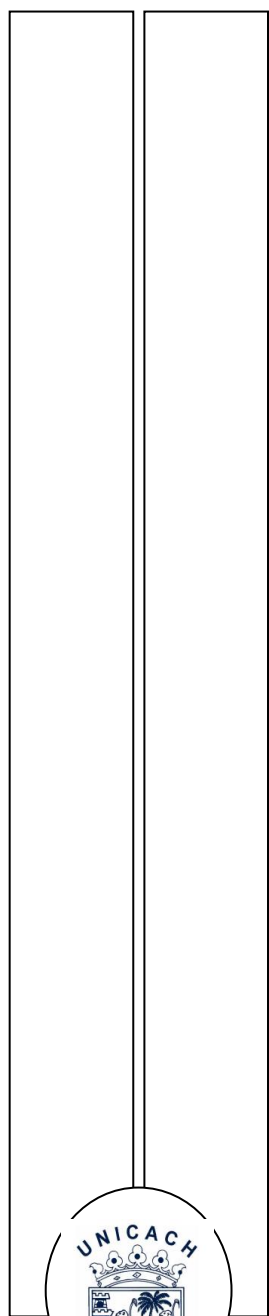
DRA. MARÍA EMPERATRIZ DOMÍNGUEZ ESPINOSA

ASESOR EXTERNO

DR. JESÚS MAURICIO ERNESTO HERNÁNDEZ MÉNDEZ

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

Agosto 2024





UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS
DIRECCION DE SERVICIOS ESCOLARES
DEPARTAMENTO DE CERTIFICACION ESCOLAR



Autorización de Impresión

Lugar y Fecha: Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, 23 de octubre de 2024

C. Daniel de Jesús Mejía Roblero

Pasante del Programa Educativo de: Ciencia y Tecnología de Alimentos

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:
Evaluación de un recubrimiento comestible elaborado con almidón de paterna sobre la
calidad postcosecha manzanas (Golden delicious)

En la modalidad de: Tesis Profesional

Nos permitimos hacer de su conocimiento que esta Comisión Revisora considera que dicho documento reúne los requisitos y méritos necesarios para que proceda a la impresión correspondiente, y de esta manera se encuentre en condiciones de proceder con el trámite que le permita sustentar su Examen Profesional.

ATENTAMENTE

Revisores

Mtro. Mario Alberto Morales Ovando

Dra. Gabriela Nallely Trejo Díaz

Dra. María Emperatriz Domínguez Espinosa



COORDINACIÓN
DE TITULACIÓN

Firmas

(Handwritten signatures in blue ink)

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi asesora la Dra. María Emperatriz Domínguez Espinosa por su apoyo durante el desarrollo de esta tesis profesional, por la paciencia y el tiempo invertido, además por su orientación en cada parte del trabajo, así también quiero agradecer al Mtro. Mario Alberto Morales Ovando por su apoyo durante las prácticas en el laboratorio, por su generosidad para explicar y compartir su conocimiento respecto al tema y por facilitar los equipos usados para el desarrollo de las prácticas.

A mi asesor externo el Dr. Mauricio Ernesto Hernández Méndez y al Dr. abumale por su valiosa colaboración en las revisiones, observaciones y correcciones de esta investigación, ya que sus comentarios han sido cruciales para la consolidación de este trabajo.

También estoy sumamente agradecido con Dios y todas las personas que me apoyaron durante toda esta travesía, ya que sin ellos nada de esto hubiera sido posible, gracias por su apoyo por y creer en mí.

Así mismo quiero agradecer a mi familia ya ellos han sido pilares claves en mi desarrollo profesional, a mis padres y hermanos.

Finalmente agradezco a la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas por abrirme sus puertas y ser parte de tan excelente institución.

A cada uno de ustedes mis más profundos agradecimientos.

DEDICATORIAS

A mis padres Bernardina Roblero González y Virgilio Mejía Gerónimo por estar siempre a mi lado, por su apoyo incondicional, sus consejos para ser de mí una buena persona, gracias por haberme permitido cumplir mis sueños, por creer en mí en cada momento, por ser una motivación en los días difíciles y nunca dejarme solo.

A mis hermanos Wendy, Lesli, David, Santiago gracias por estar siempre conmigo, por apoyarme durante mi trayecto estudiantil y por ser una pieza clave en mi vida.

A mis seres queridos gracias por siempre creer en mí y motivarme a cumplir mis sueños, estoy sumamente agradecido con cada uno de ustedes.

Con mucho amor y cariño

Daniel de Jesús Mejía Roblero

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	11
JUSTIFICACIÓN.....	12
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
OBJETIVOS.....	2
MARCO TEÓRICO	3
MANEJO POSTCOSECHA DE FRUTAS.	3
PATERNA	6
MANZANA	7
MANZANA GOLDEN DELICIOUS	9
RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES	11
CONSERVACIÓN DE FRUTAS Y HORTALIZAS MEDIANTE RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES....	12
VENTAJAS DE LOS RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES.....	12
DESVENTAJAS DE LOS RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES.....	13
COMPOSICIÓN DE LOS RECUBRIMIENTOS COMESTIBLE.....	13
RECUBRIMIENTOS A BASE DE POLISACÁRIDOS.....	13
RECUBRIMIENTOS A BASE DE PROTEÍNAS.....	14
RECUBRIMIENTOS A BASE DE LÍPIDOS	14
ALMIDÓN.....	16
AMILOSA.	17
AMILOPECTINA.	18
ALMIDÓN MODIFICADO	19
ALMIDÓN ACETILADO	19
ALMIDÓN OXIDADO	20
ALMIDÓN NO CONVENCIONAL.	20
GELATINIZACIÓN.....	20
HIPÓTESIS	21
METODOLOGÍA.....	22
TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	22
SITIO EXPERIMENTAL.....	22
DISEÑO EXPERIMENTAL	22
MATERIAL BIOLÓGICO	23
DESCRIPCIÓN DE REACTIVOS Y EQUIPOS.....	23

EQUIPOS	23
MATERIALES.....	23
REACTIVOS	23
DESCRIPCIÓN DE LAS TÉCNICAS A UTILIZAR	24
OBTENCIÓN DEL ALMIDÓN DE LAS SEMILLA DE PATERNA (<i>INGA PATERNO HARMS</i>).....	24
CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA, PROXIMAL Y FUNCIONAL DEL ALMIDÓN EXTRAÍDO DE LAS SEMILLAS DE PATERNA (<i>Inga paterno Harms</i>) ..	25
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO	25
PH.....	26
COLOR	26
VISCOSIDAD CINEMÁTICA (ASTM D445).....	26
LUGOL	26
CUANTIFICACIÓN DE AMILOSA	26
MICROSCOPIA DE BARRIDO ELECTRÓNICO (SEM).....	27
ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL	27
DETERMINACIÓN DE HUMEDAD DEL ALMIDÓN DE LAS SEMILLAS DE PATERNA	28
DETERMINACIÓN DE CENIZAS DEL ALMIDÓN DE LAS SEMILLAS DE PATERNA	28
DETERMINACIÓN DE GRASA CRUDA DEL ALMIDÓN DE LAS SEMILLAS DE PATERNA	28
DETERMINACIÓN DE PROTEÍNAS (MÉTODO DE KJELDAHL) DEL ALMIDÓN DE LAS SEMILLAS DE PATERNA	28
CARACTERIZACIÓN FUNCIONAL.....	28
ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE AGUA, ÍNDICE DE SOLUBILIDAD EN AGUA Y PODER DE HINCHAMIENTO.....	28
ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE LÍPIDOS (LAI).....	29
ESTABILIDAD DE LA EMULSIÓN EN AGUA	29
CLARIDAD DE PASTA	30
VISCOAMILOGRAMA.....	30
ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UN RECUBRIMIENTO COMESTIBLE A BASE DE ALMIDÓN EXTRAÍDO DE SEMILLAS DE PATERNA (<i>Inga paterno Harms</i>)	32
ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS Y FUNCIONALES DE LAS BIOPELÍCULAS.....	34
COLOR	34

ESPESOR.....	34
HUMEDAD	35
SOLUBILIDAD	35
PRUEBAS MECÁNICAS	36
PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA	36
BIODEGRADABILIDAD	37
MÓDULO DE YOUNG.....	37
FUERZA DE TENSIÓN Y PORCENTAJE DE DEFORMACIÓN	37
EVALUACIÓN DEL RECUBRIMIENTO COMESTIBLE ELABORADO A BASE DE ALMIDÓN DE PATERNA (<i>Inga paterno Harms</i>) SOBRE LA CALIDAD POSCOSECHA DE MANZANA (<i>Golden Delicious</i>).....	38
ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL DE LA MANZANA (<i>Golden Delicious</i>)	38
DETERMINACIÓN DE HUMEDAD DE LA MANZANA (<i>Golden Delicious</i>)	38
DETERMINACIÓN DE CENIZAS DE LA MANZANA (<i>Golden Delicious</i>).....	38
DETERMINACIÓN DE GRASA CRUDA DE LA MANZANA (<i>Golden Delicious</i>) ..	38
DETERMINACIÓN DE PROTEÍNAS (MÉTODO DE KJELDAHL) DE LA MANZANA (<i>Golden Delicious</i>).....	38
DETERMINACION DE FIBRA CRUDA DE LA MANZANA (<i>Golden Delicious</i>)..	38
PRUEBAS FISICAS A LAS MANZANAS (<i>Golden Delicious</i>).....	39
PH.....	39
ACIDEZ TITULABLE	39
FUERZA DE PENETRACIÓN	39
SOLIDOS SOLUBLES (°BRIX).....	40
EVALUACIÓN DEL RECUBRIMIENTO COMESTIBLE SOBRE LA VIDA ANAQUEL DE LAS MANZANAS.....	41
PESO.....	41
COLOR	41
EVALUACIÓN SENSORIAL.....	41
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	42
RENDIMIENTO DEL ALMIDÓN DE PATERNA (<i>Inga paterno Harms</i>).....	42
CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DEL ALMIDÓN EXTRAÍDO DE LAS SEMILLAS DE PATERNA (<i>Inga paterno Harms</i>)	43
PH	44
COLOR	44
TAMAÑO DEL GRANULO	45
LUGOL	46

VISCOSIDAD.....	47
CUANTIFICACIÓN DE AMILOSA Y AMILOPECTINA	47
CARACTERIZACIÓN FUNCIONAL.....	48
ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE AGUA, ÍNDICE DE SOLUBILIDAD EN AGUA Y PODER DE HINCHAMIENTO.....	48
ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE LÍPIDOS	48
ESTABILIDAD DE LA EMULSIÓN EN AGUA	49
CLARIDAD DE PASTA	50
VISCOAMILOGRAMA.....	51
ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UN RECUBRIMIENTO COMESTIBLE A BASE DE ALMIDÓN EXTRAÍDO DE SEMILLAS DE PATERNA (<i>Inga paterno Harms</i>)	54
COLOR	56
ESPESOR.....	57
SOLUBILIDAD	58
PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA	58
BIODEGRADABILIDAD	59
EVALUACIÓN DEL RECUBRIMIENTO COMESTIBLE ELABORADO A BASE DE ALMIDÓN DE PATERNA (<i>INGA PATERNO HARMS</i>) SOBRE LA CALIDAD POSTCOSECHA DE MANZANA (<i>GOLDEN DELICIOUS</i>)	60
ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL DE LA MANZANA (<i>Golden delicious</i>).....	60
PÉRDIDA DE PESO.....	61
pH.....	63
ACIDEZ TITULABLE	64
FUERZA DE PENETRACIÓN	65
SOLIDOS SOLUBLES (°BRIX).....	66
COLOR	67
EVALUACIÓN SENSORIAL.....	71
CONCLUSIONES.....	73
REFERENCIAS DOCUMENTALES	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Paterna	6
Figura 2. Manzana Golden Delicious.....	9
Figura 3. Estructura química de la amilosa.....	17
Figura 4. Estructura química de la amilopectina	18
Figura 5. Aislamiento de almidón de acuerdo al método descrito por Vargas y cols., (2016)....	25
Figura 6. Almidón extraído de las semillas de la paterna (Inga paterno Harms)	42
Figura 7. Microfotografías del almidón de paterna	46
Figura 8. Prueba de Lugol.....	46
Figura 9. Estabilidad de la emulsión en agua del almidón de paterna.....	50
Figura 10. Viscoalmilograma de almidón de paterna.....	53
Figura 11. Biopelículas elaboradas con almidón de paterna a) 1%, b) 2%, c) 4%, d) 6%.....	54
Figura 12. Pérdida de peso de las manzanas	61
Figura 13. Comparativo de la apariencia de las manzanas en el 15 día de tratamiento.	62
Figura 14. Comparativo del pH de las manzanas durante el tratamiento.....	63
Figura 15. Comparativo de la acidez titulable de las manzanas durante el tratamiento.....	64
Figura 16. Comparativo de la firmeza de las manzanas durante el tratamiento	65
Figura 17. Comparativo de los sólidos totales de las manzanas durante el tratamiento.....	66
Figura 18. Evaluación sensorial de las manzanas	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación taxonómica de las manzanas.....	8
Tabla 2. Variables dependientes e independientes.....	22
Tabla 3. Formulación de biopelículas.....	33
Tabla 4. Análisis proximal del almidón de paterna.....	43
Tabla 5. pH del almidón de paterna.....	44
Tabla 6. Color del almidón de paterna.....	44
Tabla 7. Amilosa y amilopectina del almidón de paterna.....	47
Tabla 8. Características funcionales del almidón de paterna.....	48
Tabla 9. Estabilidad de la emulsión del agua para almidón de paterna.....	49
Tabla 10. Claridad de pasta.....	51
Tabla 11. Propiedades mecánicas de las biopelículas.....	55
Tabla 12. Mediciones de color para las biopelículas.....	56
Tabla 13. Mediciones de espesor para las biopelículas.....	57
Tabla 14. % de Humedad de las biopelículas.....	57
Tabla 15. Mediciones de solubilidad para las biopelículas.....	58
Tabla 16. Mediciones de solubilidad para las biopelículas.....	58
Tabla 17.- Análisis proximal de las manzanas.....	60
Tabla 18. Análisis de color de las manzanas sin recubrir.....	68
Tabla 19. Análisis de color de las manzanas con recubrimientos.....	70

INTRODUCCIÓN

Los recubrimientos comestibles han sido utilizados desde hace tiempo con la finalidad de mantener la calidad y extender la vida útil de algunas frutas y hortalizas, generalmente a través de un proceso en que son cubiertas al sumergir o asperjar un variado número de materiales comestibles; de esta manera, se forma una membrana semipermeable en la superficie para reducir la respiración, controlar la pérdida de humedad y proporcionar otras funciones. Los recubrimientos comestibles están hechos de una variedad de materiales comestibles, incluyendo lípidos, polisacáridos, y proteínas, solos o en combinación (Ruelas y cols., 2013).

Una gran opción para el diseño de recubrimientos comestibles son los polisacáridos, para ser exactos, el almidón, considerado como la mayor fuente de hidratos de carbono en la dieta del ser humano y el polisacárido de almacenamiento más abundante en las plantas. Se presenta naturalmente en forma de gránulos en los cloroplastos de hojas verdes temporalmente durante su síntesis y en los amiloplastos de semillas, legumbres y tubérculos (Villarreal y cols., 2018).

En la actualidad se han desarrollado métodos para aprovechar al almidón que proviene de fuentes no convencionales, como la paterna (*Inga paterno Harms*). La paterna, guama, macheton o jinicuil es una leguminosa arbórea que crece en varios estados de México y otros países de América Central y América del Sur. La vaina se consume como fruto, debido a la cubierta dulce (arilo) de la semilla, en la actualidad son realmente escasos los estudios acerca de las propiedades nutricionales y funcionales que podría presentar (Sánchez y cols., 2016).

Por otro lado, la manzana (*Malus domestica*) es uno de los frutos más conocidos y consumidos en el mundo debido a sus características nutricionales. En el año 2023, se produjeron más de 83 millones de toneladas de manzana en el mundo, sin embargo, se estima que entre el 20 y 50 % de las pérdidas de manzana se producen durante su almacenamiento. Lo anterior ha obligado a la industria frutícola a producir manzanas con una elevada calidad y así incrementar su vida útil después de la cosecha (Ponce y cols., 2020).

Por lo anterior, el objetivo de esta investigación es evaluar los efectos que tiene un recubrimiento comestible elaborado a base de almidón extraído de las semillas de la paterna sobre la calidad postcosecha de las manzanas (*Golden Delicious*).

JUSTIFICACIÓN

Existe un gran interés por la utilización del almidón para formular recubrimientos comestibles debido a su abundancia, bajos costos de su producción y a su biodegradabilidad. Su composición y sus propiedades varían según la fuente de donde se derive. Los recubrimientos comestibles a base de almidón son insípidos, inodoros y transparentes, por lo tanto, no producen cambios en el sabor, aroma o apariencia de los alimentos. Aunque los recubrimientos a base de almidón presentan propiedades pobres de barrera a la humedad por su carácter hidrofílico y sus propiedades mecánicas pueden presentar limitaciones, debido a su semi cristalinidad y rápida retrogradación, se han desarrollado procesos que permiten la modificación de sus características químicas que mejoran sus propiedades y permite su uso en determinadas aplicaciones, sin aumentar significativamente los costos de su producción.

Los resultados de diversas investigaciones han evidenciado las ventajas de los recubrimientos a base de almidón al ser aplicados en frutas; tales como, retención del color, ácidos, azúcares, sabor y disminución de la pérdida de peso (Ramos y cols., 2018). Así mismo, se busca darle solución a uno de los problemas más importantes que enfrenta la humanidad actualmente: el desabastecimiento de alimentos por la insuficiente producción y distribución, pese a los avances tecnológicos actuales y por el volumen tan grande de sus pérdidas postcosecha.

En 2023, México produjo un total de 814,533 toneladas de manzanas, distribuidas principalmente en los estados de Chihuahua con un total de 694,226 toneladas, Coahuila con 34,912 toneladas y Puebla con 34,582 toneladas, siendo Chihuahua el líder indiscutible en la producción de manzana en México, con más del 85% del total nacional. Debido a que este estado cuenta con condiciones climáticas ideales para el cultivo de manzanas, lo que le permite obtener cosechas de alta calidad año tras año (SADER., 2024).

Los frutos de manzana variedad *Golden Delicious*, son altamente sensibles a pérdidas de agua por transpiración y rápido marchitamiento, así como a diversos desórdenes fisiológicos pre y postcosecha lo que representa una pérdida considerable, por lo que se busca desarrollar nuevos métodos de conservación (Hermosillo y cols., 2015).

Una de las opciones que ha surgido con un importante impacto y buena aceptación, es el uso de recubrimientos comestibles elaborados a partir de almidones de fuentes no convencionales, una de las fuentes alternativas no convencionales para la obtención de almidón es la paterna (*Inga paterno Harm*), perteneciente a la familia de las leguminosas, su cultivo no está ampliamente distribuido ni se realiza de manera comercial; sin embargo, contribuyen al sustento de las comunidades que colectan sus vainas y las comercializan como fruto, consumiéndose principalmente la pulpa algodonosa, también llamada arilo y en menor medida las semillas, pues una vez consumida la pulpa, las semillas son generalmente desechadas (Sánchez y cols., 2016). Es por esta razón, que se busca aprovechar este recurso, extrayendo su almidón y generando un recubrimiento comestible que permita alargar la vida útil de frutos y otros alimentos perecederos.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Una de las problemáticas que atraviesa la humanidad en la actualidad es la escasez de alimentos debido al deterioro de los productos alimenticios. Se estima que las pérdidas postcosecha de los productos hortofrutícolas que se producen en el mundo sobrepasan el 20%, debido al efecto de los microorganismos o a cambios fisiológicos, generados por inadecuados procesos de recolección, malas prácticas, uso de empaques inapropiados e insuficientes vías para la transportación, entre otros, lo que se traduce en cortos períodos de almacenamiento (Fernández y cols., 2015), que conlleva a grandes pérdidas de materias primas que a su vez genera pérdidas económicas a los productores y las personas encargadas de su comercialización.

Las manzanas *Golden Delicious* deben ser manejadas bajo condiciones de refrigeración por diferentes periodos, para ordenar su abastecimiento de acuerdo con la demanda, situación que requiere del constante monitoreo de la calidad de los frutos durante su conservación. Los principales cambios asociados a la maduración incluyen: disminución de la firmeza, cambios en color, hidrólisis de almidón y aumento de azúcares, cuya evolución, junto al efecto de diversos factores de deterioro, definen la vida de almacenamiento (Cepeda y cols., 2014).

Por lo anterior, se buscan métodos de conservación y nuevas tecnologías que ayuden a prolongar la vida útil de los productos, así como mejorar su calidad postcosecha. Los recubrimientos comestibles son una gran alternativa ya que están desarrollados a base de polímeros que forman redes moleculares cohesionadas por una alta interacción entre sus moléculas, estas les confieren buenas propiedades mecánicas y de barrera a gases como el O₂ y el CO₂, por lo que retardan la respiración y envejecimiento de muchas frutas (Fernández y cols., 2015). Entre los polisacáridos más utilizados en la elaboración de recubrimientos comestibles se encuentran el almidón, que presentan una interesante alternativa debido a su fácil procesamiento, bajo costo y abundancia en el medio ambiente. Las fuentes del almidón son diversas, puede ser obtenido de frutas, tubérculos u hojas de origen convencional o no convencional. Dentro de los no convencionales, encontramos a la paterna (*Inga paterno Harms*), fruto del que no se tiene mucha información sobre su aprovechamiento, su uso principal es dar sombra a cultivos de café y naranja (Gerónimo, 2022). Por lo que, la finalidad de esta investigación es aprovechar el almidón presente en sus semillas, para crear recubrimientos comestibles para manzanas (*Golden Delicious*).

OBJETIVOS

GENERAL

Evaluar el efecto de un recubrimiento comestible diseñado a base de almidón de paterna nativo sobre la calidad postcosecha de las manzanas (*Golden Delicious*).

ESPECÍFICOS

Caracterizar físicoquímica, proximal y funcionalmente el almidón obtenido de las semillas de paterna

Desarrollar biopelículas a base de almidón de paterna mediante el diseño experimental factorial simple.

Analizar las características mecánicas y funcionales de las biopelículas generadas a partir de almidón de paterna nativo para la generación de una biopelícula óptima.

Evaluar la calidad postcosecha de las manzanas (*Golden Delicious*) a través de sus propiedades físicoquímicas y organolépticas

MARCO TEÓRICO

MANEJO POSTCOSECHA DE FRUTAS.

Son un conjunto de operaciones y procedimientos tecnológicos que van desde movilizar el producto cosechado del productor hasta el consumidor, así como también proteger su integridad y preservar su calidad de acuerdo con su propio comportamiento y características físicas, químicas y biológicas, durante todo su periodo de posrecolección: cosecha, acopio local o en finca, lavado y limpieza, selección, clasificación, empaque, embarque, transporte, desembarque, almacenamiento. (Mera., 2015).

DEFINICIÓN DE FRUTA

La fruta, en términos gastronómicos, es el producto alimenticio comestible que se obtiene de plantas o árboles y que se caracteriza por ser generalmente de sabor dulce. En botánica, se le denomina fruto, es el órgano procedente de la flor o de parte de ella que contiene las semillas y contribuye a diseminarlas (SAGARPA., 2015).

Las frutas son especies vivas que siguen respirando después de la cosecha, es decir absorben oxígeno y expulsan dióxido de carbono. La respiración va acompañada de la transpiración del agua contenida en las células. Es por esta transpiración que las frutas se deterioran. (Mera., 2015).

FISIOLOGÍA DE LA FRUTA

El desarrollo del fruto ocurre en tres etapas: crecimiento, desarrollo y maduración, seguidas por el ablandamiento y la senescencia. El fruto comienza a desarrollarse poco tiempo después de la polinización y la fertilización a través de la división celular, fenómeno que se presenta en las primeras etapas del desarrollo. Después de este periodo, el crecimiento ocurre debido al aumento de tamaño de la célula al aparecer las vacuolas. Esta etapa se caracteriza por el crecimiento y alargamiento del fruto, seguida por una fase de maduración, donde el número de células se mantiene relativamente constante, observándose un aumento en el tamaño de las mismas. Esta expansión aumenta en la maduración, etapa donde el fruto es capaz de madurar aún adherido a la planta. (Martínez y cols., 2017).

MADURACIÓN

La maduración es el conjunto de procesos que acontecen entre las últimas fases del desarrollo y las primeras de la senescencia, en donde se manifiestan cambios en la composición, color, textura u otras características sensoriales y gustativas. La maduración suceda o no en el árbol, implica cambios que transforman a la fruta madura en fruta lista para su consumo. Los cambios asociados con la maduración incluyen la pérdida de color verde y el desarrollo de color amarillo, rojo o cualquier otro que sea característico de la variedad. Conforme madura, la fruta se ablanda, su acidez disminuye y se generan los distintos compuestos volátiles que le dan su aroma característico. Entre los cambios fisiológicos relacionados a la maduración está el aumento de la tasa de respiración y producción de etileno. (Crisosto y cols., 2018).

RESPIRACIÓN

La respiración es un fenómeno bioquímico muy complejo, según el cual los carbohidratos, polisacáridos, ácidos orgánicos y otras fuentes de energía son metabolizados en moléculas más simples con producción de calor, estos cambios generan modificaciones en la calidad del producto. (Najarro y cols., 2016). Las frutas respiran ya que los procesos enzimáticos que ocurren luego de la cosecha, generan dióxido de carbono a partir de la reacción entre compuestos presentes en la fruta y oxígeno. Pero se conoce que altas tasas de respiración reducen su tiempo de vida útil. (De la Vega y cols., 2018).

ETILENO

El etileno es un gas producido por las plantas, responsable de activar y controlar los mecanismos fisiológicos, de desarrollo, regulación del crecimiento, maduración y senescencia de las mismas. Debido a esto, puede inducir cambios indeseables en el color, sabor y textura de las frutas y verduras, además de que incrementa la susceptibilidad al deterioro microbiano. (Rivera, 2020). Por eso mismo se debe tener en cuenta que el exceso de etileno puede provocar una maduración desigual, ablandamiento excesivo y pérdida de calidad. Para mitigar estos efectos, se utilizan técnicas de manejo postcosecha, como el control de la atmósfera y la temperatura, que retrasan la producción de etileno y alargan la vida útil del producto. (Campos y cols., 2024).

FRUTOS CLIMATÉRICOS

Las frutas climatéricas son aquellas en las cuales su proceso de maduración continúa después de su recolección. Por lo tanto, mientras se encuentran almacenadas, estas producen químicamente etileno, el cual es el elemento encargado de regular la maduración de la fruta climatérica. (Jiménez., 2023)

FRUTOS NO CLIMATÉRICOS

Los frutos no climatéricos carecen de la capacidad de continuar con los procesos fisiológicos de madurez una vez cosechados y los cambios que pueda llegar a tener son por degradación o por deshidratación, es decir, deben cosecharse lo más maduro posible. Estos productos después de cosechados reducen su velocidad respiratoria en forma constante hasta el final de su vida, cuando ya han agotado todas sus reservas. (Pinto y Mozo., 2017).

TRANSPIRACIÓN

Es la pérdida de agua que sufre la fruta y se observa en la pérdida de peso y turgencia, que conducen a su deshidratación y generan pérdida de calidad. Esta pérdida de agua de la fruta se da por la diferencia entre el contenido de agua de la fruta y del aire que la rodea: cuando el contenido de humedad de la fruta es mayor al contenido de agua que presenta el aire, el agua fluirá desde la fruta hacia el aire, ocasionando la deshidratación de esta. (García y cols., 2020).

FACTORES DEL AMBIENTE QUE INFLUYEN EN LA PERDIDA DE AGUA

Los factores del ambiente a considerar son: humedad, temperatura y Velocidad del aire. La humedad es importante en referencia al contenido de vapor de agua en el aire con respecto a la pérdida de peso del producto cosechado. Cuanto menor sea este valor, mayor será la pérdida de agua desde el producto de modo de equilibrar el dpv (déficit de presión de vapor) dentro y fuera del producto. La temperatura intensifica la transpiración ya que ante un aumento de la misma la planta responde aumentando la conductividad estomática y permitiendo que la fuga de vapor desde el interior de los tejidos reduzca la temperatura. El efecto de las corrientes de aire en el aire circundante es similar, ya que al reducirse el espesor de la capa límite de aire saturado en torno al producto aumenta la conductividad estomática y la fuga de vapor desde las células. (Gamboa., 2019).

PATERNA

La paterna (*Inga paterno Harms*) es una leguminosa arbórea de tamaño mediano a grande y pueden diferenciarse por el tamaño y forma de la hoja, por la copa y la tolerancia al tipo de suelo. Su presencia en el continente americano esta reportada desde México hasta Argentina. La reproducción es por semillas, las cuales son sensibles al calor y Producen frutos en forma de vainas que se abren longitudinalmente a lo largo de dos suturas La vaina se consume como fruto, debido a la cubierta dulce (Arilo) de la semilla la cual no es comúnmente consumida (Sánchez y cols., 2016). Como representante de la familia Leguminosae, la paterna participa activamente en la captación del nitrógeno atmosférico que posteriormente es incorporado al suelo, ocasionando un enriquecimiento natural del mismo. De igual forma, es una planta que absorbe importantes cantidades de carbono en sus tejidos a partir del dióxido de carbono del aire por lo que puede ser considerada una especie de gran valor ambiental que minimiza los perjudiciales efectos del calentamiento global. Debido a su rapidez de crecimiento, se considera como una planta de gran utilidad para los países en desarrollo de la región tropical ya que el árbol puede proporcionar alimento, forraje y abono verde rico en nitrógeno, madera para carpintería y combustible, a la vez que ayuda a controlar la erosión del suelo (Vargas., 2017). En la región montañosa de Coatepec, Veracruz, México, este árbol y su fruto se conocen comúnmente como "jinicuil". Las semillas son apreciadas por su dulzura carnosas sarcotesta y las vainas se venden como fruta fresca. Jinicuil es también el nombre común utilizado en las llanuras costeras de Veracruz, donde la gente allí come las semillas cocidas y saladas como aperitivo (Pulido y cols., 2016). En el estado de Chiapas a este e fruto se le conoce como paterna y en algunos municipios del estado de manera coloquial lo conocen como machetón.



Figura 1. Paterna

MANZANA

La manzana (*Malus domestica*) es un fruto carnoso; el color, tamaño y sabor varía dependiendo de la variedad. Este cultivo es el cuarto producto hortícola más importante de la nutrición humana en el mundo. Cerca de 716.93 millones de toneladas de manzanas se producen en el mundo, los mayores productores son China (49 %) y Estados Unidos (7 %). México es el decimotercer productor en el mundo. (Corona y cols, 2019).

Botánicamente es una fruta de pepita. Es un árbol caducifolio de un solo tronco, de tamaño pequeño a mediano (2 a 10 m), con cogollos densamente peludos de color marrón violáceo. Las hojas son de color verde oscuro y están dispuestas de forma alterna, y las flores tienen cinco sépalos y cinco pétalos que varían de 3 a 4 cm de diámetro y de color blanco a rosado. (Kumar y cols, 2022)

Entre las variedades de mayor producción mundial de este importante fruto se encuentran las siguientes: Golden Delicious, Red Delicious, Rome Beauty, StarkingyStarkimson. De las cuales la Golden Delicious y Red Delicious se producen en México. (García y cols, 2023).

La mayor producción de manzanas se destina a la transformación industrial en sumo, puré, néctar, sidra, vinagre y productos deshidratados. (Cubas y cols, 2016)

PROPIEDADES NUTRICIONALES

La manzana es bien conocida por su perfil nutricional, es un almacén de muchos compuestos bioactivos que incluyen polisacáridos, polifenoles, ácidos orgánicos, triterpenos pentacíclicos y esteroides (Kumar y cols, 2022). Entre sus propiedades nutricionales, la manzana posee minerales (hierro, calcio, potasio, yodo, zinc, magnesio, sodio y fósforo) y vitaminas (A, B1, B2, B3, B6, C y vitamina E). Además de los compuestos fibra, carbohidratos y proteínas. (Morocho y cols 2021). Las proteínas y los lípidos representan una pequeña contribución de suministro energético de las manzanas, debido a sus concentraciones relativamente pequeñas. Por el contrario, el contenido de fibras, es decir, polisacáridos complejos como pectina, celulosas, hemicelulosas y lignina, es alto en las manzanas en comparación con otras frutas frescas, Desde el punto de vista nutricional, contienen un elevado número de azúcares, equilibrado por la concentración de fibras. (Assunta y cols, 2021). Una de las propiedades de la manzana para la salud, es su actividad antioxidante, la cual se debe a su alto contenido en fenoles y flavonoides. (Vera y cols, 2023).

PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS

Una de las propiedades más conocidas son las sustancias fenólicas, los fenoles son los responsables de la característica más representativa de este fruto, que es el color que se produce en la pulpa cuando la manzana es sometida a algún tipo de daño físico, este cambio recibe el nombre de pardeamiento enzimático. Las propiedades físicas de la manzana son de gran importancia, debido a que la misma es una fruta reconocida dentro del ámbito comercial, estas propiedades van a variar dependiendo de las regiones de cultivo por lo tanto los consumidores toman en cuenta las características físicas de la manzana como su frescura, jugosidad, sabor y aroma, además debe tener un buen color y piel agradable. (Lopez, 2022).

TAXONOMÍA DE LA MANZANA

La clasificación taxonómica de la manzana (*Malus domestica*) es:

Tabla 1. Clasificación taxonómica de las manzanas

REINO	VEGETAL
PHYLUM	FENEROGAMAS
DIVISION	MAGNOLIOPHYTA
CLASE	MAGNOLIOPSIDA
FAMILIA	ROSACEAE
GENERO	<i>Malus</i>
NOMBRE CIENTIFICO	<i>Malus domestica Borkh</i>
NOMBRE COMUN	MANZANA

Fuente: Hidalgo y cols., 2016

CALIDAD DE LAS MANZANAS

La calidad de la fruta de manzana está determinada por muchos rasgos individuales, la mayoría de los cuales son rasgos cuantitativos controlados por poligenes u oligogenes menores. Según el objetivo de la investigación, la calidad de la fruta se puede dividir en cualidades de apariencia, sabor, nutrición, almacenamiento y transporte, resistencia y procesamiento. Los determinantes de los diferentes atributos de calidad incluyen el peso de la fruta, la forma, el color, la textura, el sabor, el aroma y los ingredientes funcionales de la fruta.

MANZANA GOLDEN DELICIOUS

La manzana (*Golden Delicious*) es un fruto con piel amarillenta y con lenticelas aparentes de color pardo, es una fuente discreta de vitamina C, es rica en fibra y dentro de su contenido mineral sobresale el potasio. (Moreno y cols, 2015). Está compuesta por el 85% de agua, tiene una propiedad altamente hidratante, es rica en antioxidantes y fibra, de esta manera facilita la digestión de alimentos. Una manzana (*Golden Delicious*) de 150 gramos, contiene un aporte esencial de 5 gramos de fibra, 16 gramos de azúcar, que está compuesta por fructosa, sacarosa y glucosa, que son los principales en dar la dulzura, siendo una característica de la manzana con un porcentaje del 75% de dulzor, desde el punto de vista energético es considerado uno de las frutas más completas. (Escobar, 2020).



Figura 2. Manzana Golden Delicious

Son originaria de Estados Unidos, además de ser la principal variedad de manzana cultivada a nivel mundial. Se presenta en la mayoría de las huertas ya que tiene gran demanda en el mercado por ser de tamaño grande, de piel fina, lisa y de color amarillo. Se adapta a diferentes tipos de clima y destaca como polinizador de las variedades derivadas de Red Delicious. (Saldívar, 2017). Actualmente las manzanas Golden Delicious representan el 67% de las manzanas consumidas en México, con una producción anual de 47,769 toneladas métricas. El consumo de manzana en México está impulsado por el sector minorista, que representa el 54% del consumo interno. Los consumidores prefieren las manzanas Golden Delicious a otras variedades de manzanas por su dulzura, sabor intenso, ligero crujido, color y firmeza. (Solís y cols, 2021).

Sin embargo, tiene sus desventajas con dificultades de almacenamiento debido a su piel fina y su tendencia a la deshidratación en comparación con otras clases de manzanas. Además, la respiración tiende a provocar un rápido envejecimiento de la fruta y en consecuencia una disminución de la calidad durante el almacenamiento. Todos estos inconvenientes acortan significativamente la vida útil de *Golden Delicious* (Zhang y cols, 2016).

Es probable que se generen ciertas fisiopatías y enfermedades en la manzana. Entre las enfermedades está la podredumbre de almacén causada por el hongo *Penicillium expansum*, cuyas manifestaciones externas típicas son lesiones ligeramente deprimidas cuyo tejido podrido tiene una textura aguanosa y de coloración clara (Moreno y cols., 2015).

RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES

Los recubrimientos comestibles se definen como una delgada capa de material comestible, depositada en un alimento como cubierta para extender su vida útil al reducir procesos metabólicos, facilitar la distribución y la comercialización de los productos alimenticios, retardar el crecimiento microbiano y servir como barrera protectora para reducir respiración, retardando el proceso de senescencia y preservando la calidad, con el objeto de inhibir o reducir la migración de humedad, oxígeno, dióxido de carbono y aromas (Fernández y cols, 2017).

El principal propósito de películas y recubrimientos comestibles es controlar la transferencia de gases (O₂, CO₂ y etileno), aromas y aceites del interior del alimento, evitan la pérdida de firmeza y humedad. Por lo tanto, controlan la maduración y su tasa de respiración, de esta manera preservan su calidad e incrementa su vida de anaquel y seguridad. Adicionalmente, pueden mejorar la apariencia y calidad del producto recubierto haciéndolo más llamativo para el consumidor por su brillo, color o bajo desarrollo de microorganismos sobre la superficie (Mora y cols, 2021).

El uso de recubrimientos comestibles se considera una tecnología respetuosa con el medio ambiente por varios aspectos fundamentales. En primer lugar, reduce la utilización del envasado tradicional con films plásticos. Además, son biopolímeros naturales y biodegradables, es decir, que pueden ser obtenidos a partir de recursos naturales o extraídos a partir de los subproductos de las industrias agroalimentarias (De Ancos y cols, 2015).

Los materiales comestibles se desarrollan a partir de varios tipos de matrices de biopolímeros, como polisacáridos, proteínas, lípidos y materiales compuestos. Los materiales a base de polisacáridos como pululano, quitosano, carragenina, almidón, alginato, celulosa, pectina, goma gellan y goma xantana. Proteínas como gelatina de colágeno, gluten, proteína de frijol mungo, zeína de maíz, proteína de soja y caseína y materiales a base de lípidos como cera de abeja, cera de parafina, cera de carnauba, cera de polietileno, cera de candelilla, cera de salvado de arroz, cera de ouricouri y aceite de jojoba, se utilizan para desarrollar recubrimientos y películas comestibles para mejorar la vida útil, así como la calidad postcosecha de frutas, verduras y otros productos alimenticios (Rajat y cols.,2020).

CONSERVACIÓN DE FRUTAS Y HORTALIZAS MEDIANTE RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES

El mecanismo por el cual los recubrimientos conservan la calidad de frutas y vegetales es debido a que crean una barrera física a los gases, permitiendo modificar la atmósfera interna de la fruta y de esta manera retardar la maduración y senescencia (Fernández y cols, 2015).

La tecnología de recubrimientos comestibles es un método prometedor para conservar la calidad de frutas y vegetales frescos. El uso de recubrimientos comestibles comenzó como una alternativa para alargar y mejorar la vida de anaquel de los alimentos, específicamente actuando en aspectos como la pérdida de agua, proceso respiratorio y de envejecimiento entre otros, hoy en día también se busca que el RC, pueda proteger al alimento de microorganismos como hongos y bacterias. (Villafuerte y cols., 2021)

VENTAJAS DE LOS RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES

Según (Mora y cols., 2021) algunas de las ventajas del uso de los recubrimientos comestibles en frutas y hortalizas mínimamente procesadas son:

- Mejoran la retención del color, ácidos, azúcares y componentes del sabor.
- Reducen la pérdida de agua.
- Mantienen la calidad durante el almacenamiento.
- Disminuyen los desórdenes metabólicos durante el período de conservación.
- Permiten la adición de otros compuestos.
- Reducen el uso de envases sintéticos.
- Son libres de tóxicos y seguros para la salud.
- Requieren una tecnología simple para su elaboración.
- Ser protectores de la acción física, química y mecánica.
- Presentan propiedades de barrera como transferencia de distintas sustancias, adecuada permeabilidad al vapor de agua, solutos y una permeabilidad selectiva a gases y volátiles, desde el alimento hacia el exterior y viceversa.

Dichos recubrimientos al controlar transferencia de humedad, gases, y compuestos volátiles, han demostrado la capacidad de mejorar la integridad y la calidad de los alimentos, además de prolongar su vida de almacenamiento. (Fernández y cols., 2015).

DESVENTAJAS DE LOS RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES

Según (Vázquez y Guerrero., 2013), algunas de las desventajas que se presentan en los recubrimientos comestibles son:

- El espesor, ya que cuando este muy grueso, puede llevar al desarrollo de sabores desagradables
- La modificación de la atmósfera interna del fruto, la cual puede incrementar desórdenes asociados con una alta concentración de CO₂ o una baja de O₂, afectando parámetros sensoriales en la fruta. Además, pueden inducir indirectamente cambios del sabor de la fruta debido al retraso de la maduración

COMPOSICIÓN DE LOS RECUBRIMIENTOS COMESTIBLE

Los recubrimientos comestibles pueden ser elaborados a partir de una gran variedad de polisacáridos, proteínas y lípidos, solos o en combinaciones que logren aprovechar las ventajas de cada grupo, dichas formulaciones pueden incluir, conjuntamente plastificantes y emulsificantes que se utilizan de diversa naturaleza química con la finalidad de ayudar a mejorar las propiedades finales de la película o recubrimiento. Las mismas presentan bondades como comestibilidad, dureza, transparencia, buenas propiedades de barreras contra el oxígeno y vapor de agua. (Fernández y cols., 2015),

RECUBRIMIENTOS A BASE DE POLISACÁRIDOS

Los recubrimientos comestibles formulados a base de polisacáridos se caracterizan por ser libres de aceite e incoloros además de aportar un bajo contenido calórico. Estos recubrimientos pueden ser aplicados para mejorar la vida útil de los alimentos, reduciendo considerablemente los problemas asociados a su deshidratación, rancidez oxidativa y el oscurecimiento superficial. (Islas y cols., 2024).

La mayoría de los polisacáridos utilizados con éxito para formar recubrimientos comestibles en frutas y hortalizas son de origen marino (algas), vegetal y también se utilizan biopolímeros producidos por microorganismos. Los polisacáridos más utilizados y abundantes en la naturaleza para la formación de recubrimientos en frutas y hortalizas son celulosa, almidón y quitosano. (De Ancos y cols., 2015).

RECUBRIMIENTOS A BASE DE PROTEÍNAS

Los recubrimientos comestibles elaborados a base de proteínas presentan mejores propiedades de barrera a los gases, sin embargo, la resistencia que presenta al vapor de agua es menor debido a su naturaleza hidrofílica (García, 2019), que reduce la permeabilidad ante el intercambio gaseoso de oxígeno y dióxido de carbono, sin embargo, crea una barrera deficiente ante la pérdida de humedad. En este grupo se encuentran sustancias como el suero de leche, gluten de trigo, extractos de caseína, proteína de soya, queratina. (Valencia y Torres, 2016).

RECUBRIMIENTOS A BASE DE LÍPIDOS

Los lípidos presentan una alta capacidad de barrera frente a la humedad gracias a sus propiedades hidrofóbicas, sin embargo, contienen una pobre cohesividad e integridad estructural, lo que hace que presenten malas propiedades mecánicas por lo tanto dan como resultado recubrimientos comestibles quebradizos; a pesar de estas desventajas el uso de lípidos para la formación de recubrimientos comestibles ayuda a reducir la transpiración, deshidratación, abrasión en la manipulación posterior y además de eso mejorar el brillo y la apariencia de los alimentos (Villafuerte y cols, 2021). Además de proteger a los alimentos contra la oxidación enzimática y el crecimiento microbiano (Díaz, 2018).

PARÁMETROS DE CALIDAD DE LOS RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES

PERMEABILIDAD A VAPOR DE AGUA

La permeabilidad al vapor de agua (PVA) es uno de los factores más importantes en la caracterización de los recubrimientos comestibles, ya que de esta depende en gran medida conservar las propiedades de los alimentos, entre algunos de los objetivos de los recubrimientos comestibles está evitar o reducir al mínimo la transferencia de humedad entre el alimento y la atmósfera circundante. Por lo tanto, la PVA debe ser tan baja como sea posible con el fin de optimizar el entorno de los alimentos y potencialmente aumentar su vida útil (García y cols., 2018).

La transferencia de agua a través de la película (PVA) se produce en tres etapas: primero, el vapor de agua se condensa y se deposita en el lado de alta concentración de agua de la superficie de la

película; segundo, las moléculas de agua se mueven a través de la película, impulsado por un gradiente de concentración o actividad; y tercero, el agua se evapora desde el otro lado de la película

PROPIEDADES MECÁNICAS

Las propiedades mecánicas usualmente evaluadas para caracterizar las PC son la resistencia a la tensión, que es la fuerza requerida para romper la película por estiramiento; elongación que implica el grado al cual la película puede estirarse antes de romperse; módulo de Young que mide la rigidez y la compresibilidad de un material estructural (García y cols., 2018).

Cuando el RC se aplica en la superficie de las frutas se desarrollan dos fuerzas diferentes; cohesión de las moléculas dentro del recubrimiento y la adhesión entre el recubrimiento y la fruta. El grado de cohesión determina las propiedades mecánicas o de barrera y la adhesión asegura una larga durabilidad del RC en la superficie de la fruta (Ramos y cols., 2018).

PROPIEDADES SUPERFICIALES

Las propiedades superficiales de los recubrimientos comestibles hacen referencia principalmente a la capacidad de cohesión y de adhesión a la superficie de los productos alimentarios. Estas dos propiedades dependen de la capacidad del polímero para formar enlaces intermoleculares numerosos y de gran resistencia, de modo que las cadenas de polímero queden fuertemente unidas. Para la mejora de estas propiedades se emplean plastificantes, que reducen el nivel de cohesión, y surfactantes, que mejoran la capacidad de adhesión a la superficie del alimento (Caiza., 2021).

PROPIEDADES ÓPTICAS

El color y la transparencia de los recubrimientos comestibles es de gran importancia, ya que la decisión de compra de un consumidor se ve afectada fuertemente por la apariencia externa del alimento. Además, el color y aspecto del producto influye directamente en la aceptación o rechazo del mismo a la hora de ingerirlo, e incluso puede afectar a la percepción sensorial del producto. Por lo tanto, es importante la adición de compuestos activos en los recubrimientos para que estos ayuden a que no se vea afectada en gran medida al color y aspecto del fruto (Caiza., 2021).

ALMIDÓN

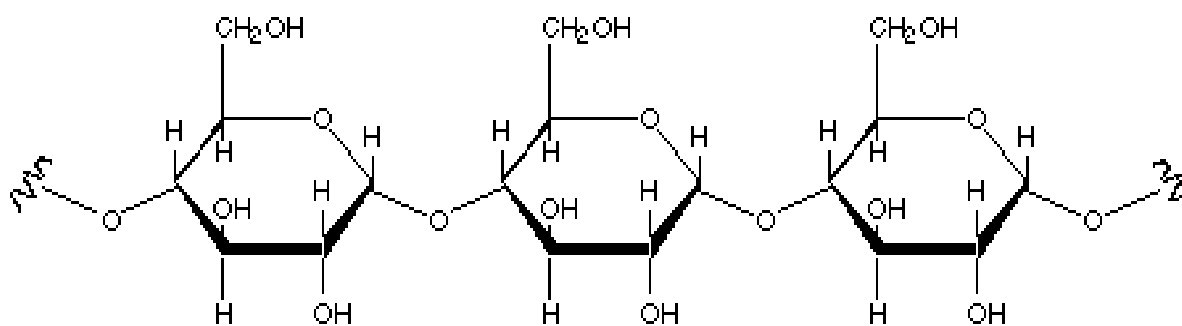
El almidón es uno de los biopolímeros naturales más abundantes de la naturaleza, solo después de la celulosa, ya que se encuentra en gran variedad de tejidos de origen botánico, incluyendo frutos, semillas, hojas y tubérculos. (León y cols, 2020). El almidón es un polisacárido propio de tejidos vegetales que tiene como unidad estructural moléculas de glucosa, las cuales se presenta en forma de gránulos, que normalmente ofrecen una forma redondeada, irregular, con tamaños que oscilan entre 2 y 100 micras, tanto la forma como el tamaño de los gránulos son característicos de la especie vegetal y pueden utilizarse para identificar el origen de un almidón o harina. (Arone, 2019). El almidón representa una fracción importante en un gran número de productos agrícolas como los cereales (maíz, trigo y arroz) cuyo contenido va del 30 al 80%, las leguminosas (frijol, chícharo y haba) con un 25 a 50% y los tubérculos (papa y yuca) con un 60 a 90% de la materia seca. (Chavez, 2015). El almidón es un polímero compuesto principalmente por amilosa y amilopectina, en una relación 18-33% y 72-78%, respectivamente. La amilosa y la amilopectina presentan propiedades específicas que afectan las propiedades del almidón y varían dependiendo su origen. (Bernal y cols, 2017). El origen vegetal de los almidones ejerce una gran influencia en características como la morfología y el tamaño del gránulo, la calidad y la composición del almidón obtenido. A su vez, las diferentes características pueden cambiar dentro de la misma especie vegetal. Según sus funciones biológicas, el almidón a menudo se clasifica en dos tipos: almidón transitorio y almidón de almacenamiento. (Muñoz y cols, 2022). El almidón que se sintetiza en las hojas directamente a partir de fotosíntesis durante el día se define típicamente como almidón transitorio, ya que se degrada en la noche siguiente para sostener el metabolismo, la producción de energía y la biosíntesis en ausencia de fotosíntesis. El almidón de los tejidos no fotosintéticos, como semillas, tallos, raíces o tubérculos, generalmente se almacena durante períodos más largos y se considera almidón de almacenamiento. (Pfister y Zeeman, 2016). Debido a su bajo costo, el almidón es usado en la preparación de alimentos ya que mejoran las características organolépticas y propiedades de textura en muchos alimentos, además de tener aplicaciones industriales como el espesamiento, estabilizante coloidal, agente gelificante, agente de relleno y agente de retención de agua. (Velásquez y Velezmoro, 2018). En países desarrollados el almidón constituye al menos un 35% del aporte calórico diario de una persona, aunque puede ser mucho mayor. (Muñoz y cols, 2022).

Sin embargo, los almidones nativos tienen algunas limitaciones tecnológicas para su empleo por la industria alimentaria, debido a sus pobres propiedades funcionales, tales como la solubilidad,

la absorción de agua y el poder de hinchamiento. Sin embargo, estas se pueden mejorar por medios físicos, químicos o enzimáticos. (Cedeño y cols, 2021).

AMILOSA.

La amilosa es una cadena de polímero lineal, que tiene por dentro cientos de moléculas de glucosa. La amilosa se define como un polímero porque es una molécula muy grande formada por numerosas subunidades de azúcar; llamadas glucosa (Cruz, 2022), de las cuales puede tener hasta 6,000 unidades conectadas entre sí mediante enlaces químicos específicos llamados enlaces α -1,4, (glucosídicos), en donde en ocasiones, puede tener algunas ramificaciones que contienen de 3 a 20 cadenas más cortas de glucosa unidas a ellas. (Fernandez y Gil, 2023). La estructura de la amilosa se puede describir en términos de su tamaño y ramificación. El tamaño de la amilosa difiere según la fuente del almidón, con un grado promedio de polimerización en el rango de aproximadamente 1000 a aproximadamente 5000. (Hanashiro, 2015). En su estructura, la amilosa suele presentarse en una o varias formas diferentes. Puede tener forma amorfa o formas helicoidales distintas. Cuando presenta forma amorfa tiende a parecerse a los fideos cocidos y no tienen una organización, ni orden en la distribución de las subunidades. En las formas helicoidales, todas estas subunidades se entrecruzan. (Cruz, 2022). La amilosa está presente en casi todos los sistemas vegetales como fuente de energía y, por lo tanto, es una de las materias primas más abundantes en el planeta. Además de ser biodegradable, biocompatible y renovable. (Nishimura y Akiyoshi, 2017).



Amilosa
poli (1,4'-O- α -D - glucopiranosido)

Figura 3. Estructura química de la amilosa

AMILOPECTINA.

La amilopectina es el componente mayoritario en los almidones y es un polímero ramificado de unidades de glucosa constituida de 94 a 96% por enlaces α (1-4), y de 4 a 6% por uniones α (1-6). (Yaruro, 2018). Dichas ramificaciones se localizan aproximadamente a cada 15-25 unidades de glucosa. La amilopectina es parcialmente soluble en agua caliente y en presencia de yodo produce un color rojizo violeta. (Rodríguez, 2015). Su composición, estructura y fracción en el gránulo van a contribuir a las propiedades funcionales del almidón, es por eso que es estudiado muy ampliamente con respecto a su ramificación, tamaño molecular y longitud de las cadenas ya sea internas y/o externas. (Chilon y Mamani, 2019). La amilopectina está presente en todos los almidones, constituyendo alrededor del 75% de los almidones más comunes. Algunos almidones están formados exclusivamente por amilopectina, y se les conoce como almidones céreos. (Huamaní, 2018). La amilopectina es responsable de la estructura cristalina que en su conjunto presenta el almidón, debido a que en ella se forman puentes de hidrógeno entre las ramificaciones dando lugar a una estructura muy estable que se puede considerar como cristalina. (Huanca, 2017).

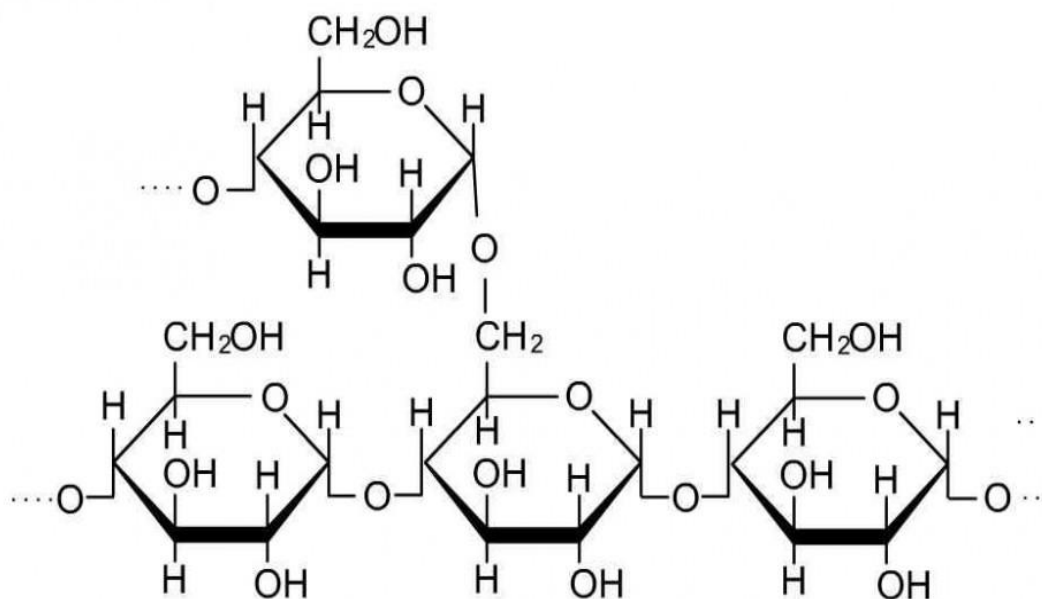


Figura 4. Estructura química de la amilopectina

ALMIDÓN MODIFICADO

La mayoría de almidones nativos no pueden ser utilizados directamente como aditivos en la industria, por ello se realizan algunos tipos de modificación que puedan mejorar las propiedades fisicoquímicas y funcionales de los almidones nativos. (Velásquez, 2019). El almidón modificado es una fuente renovable con capacidad filogénica que satisface aspectos de disponibilidad, biocompatibilidad, comestibilidad y propiedades funcionales, asegurando la calidad de los alimentos perecederos. (Ramos y cols, 2018). La modificación del almidón permite realzar o inhibir propiedades como consistencia, poder aglutinante, estabilidad a cambios en el pH y temperatura y mejorar su gelificación, dispersión o fluidez. Las principales modificaciones son la degradación, la pre gelatinización y la derivatización. (Velásquez, 2019). El almidón modificado es empleado en la elaboración de fideos, alimentos enlatados y congelados, y en la elaboración de natillas (Hernández y Ramos., 2024)

ALMIDÓN ACETILADO

La acetilación es una modificación química de la estructura del almidón que consiste en reemplazar un determinado número de grupos hidroxilos por grupos acetilos empleando anhídrido acético. Este proceso depende de ciertos factores, tales como la fuente de almidón, la concentración del anhídrido acético, el tiempo de reacción y el pH. (Martínez y cols, 2019). Como características estos almidones tienen baja temperatura de gelatinización, así como una baja retrogradación, al igual a tener una baja tendencia a formar geles y una pasta clara. Son usados para la elaboración de alimentos congelados y como estabilizantes de emulsión y para productos de encapsulación (Torres y cols, 2015).

En la industria, este tipo de almidón es útil principalmente en los productos para refrigerar y congelar, ya que la acetilación disminuye la sinéresis, también son usados como espesantes debido a que, al aumentar la viscosidad del almidón, imparten textura, estabilidad y claridad. Es utilizado a su vez en la fabricación de tela y papel; se puede combinar con resinas para dar dureza a los materiales (León., 2018).

ALMIDÓN OXIDADO

La oxidación del almidón es una de las más comunes y consiste en un blanqueamiento de los gránulos de almidón; usualmente se utilizan agentes oxidantes económicos como hipoclorito de sodio (NaClO) y peróxido de hidrogeno (H₂O₂), como también está la oxidación con agentes más agresivos como el permanganato de potasio (KMnO₄), peryodato (IO₄⁻) y ozono (O₃). La oxidación con estos agentes químicos requiere de un cuidadoso control de pH y temperatura. (Hernández y cols, 2017). La oxidación es un método ampliamente estudiado debido a que el almidón obtenido como resultado de este proceso presenta menor viscosidad, mayor estabilidad y solubilidad, así como también un reducido tamaño molecular en comparación con el almidón nativo. (Carhuallay y cols, 2020).

ALMIDÓN NO CONVENCIONAL.

Las fuentes no convencionales de almidón se caracterizan por ser cultivos en los que la extracción de almidón y los usos tecnológicos son atípicos. Las fuentes de almidón no convencionales suelen ser cultivos nativos o verduras que se producen comúnmente para fines distintos del almidón; tienen una producción mundial mucho menor que las fuentes convencionales. El interés tecnológico en las nuevas propiedades del almidón, así como las preocupaciones medioambientales y el avance hacia la diversificación agrícola, han dado lugar a estudios que han caracterizado al almidón de fuentes no convencionales, además del desarrollo de películas biodegradables que se utilizan principalmente para aplicaciones alimentarias. (Henning y cols, 2021)

GELATINIZACIÓN

Durante las operaciones de cocción casera o procesamiento industrial de alimentos, los gránulos de almidón pueden sufrir una transición irreversible cuando se calientan en presencia de agua, conocida como gelatinización. (Xudong y cols, 2024). La gelatinización es un fenómeno importante cuando se trata de las propiedades de cocción, la textura y la palatabilidad de los productos alimenticios a base de almidón. La gelatinización del almidón altera el orden molecular dentro del gránulo y produce hinchazón granular, fusión de cristalitos, pérdida de birrefringencia, aumento de la viscosidad y solubilización. (Chakraborty y cols, 2022). El grado de gelatinización del almidón (GD) influye en la organización estructural y las propiedades del almidón, lo que a su vez altera las propiedades fisicoquímicas, organolépticas y gastrointestinales de los alimentos con almidón. (Xudong y cols, 2024).

HIPÓTESIS

Los recubrimientos comestibles generados a base de almidón de paterna (*Inga paterno Harms*) alargan la vida de anaquel de manzanas (*Golden Delicious*) manteniendo sus características físicas, químicas y organolépticas.

METODOLOGÍA

TIPO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación es experimental cuantitativa de corte longitudinal. Experimental por que se extrajo almidón nativo de las semillas de la paterna, posteriormente se formularon recubrimientos y se evaluaron sobre manzanas, cuantitativo por que se realizaron varios ensayos para determinar sus efectos sobre la vida útil de la manzana Golden Delicious y longitudinal por que se monitorearon los cambios sobre las manzanas en un lapso determinado.

SITIO EXPERIMENTAL

El presente trabajo se llevó a cabo en los laboratorios de análisis de alimentos de la Facultad de Ciencias de la Nutrición y Alimentos, en el laboratorio de Materiales y Procesos Sustentables del Instituto de Investigación e Innovación en Energías Renovables de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas y en la Sección de electrónica de estado sólido del CINVESTAV Zacatenco.

DISEÑO EXPERIMENTAL

Tabla 2. Variables dependientes e independientes

Variables independientes	Variables dependientes
Grado de madurez de la manzana. <ul style="list-style-type: none">• Verde• Madura• Sazón	<ul style="list-style-type: none">• Color• Textura• Sólidos totales• Contenido de almidón en la pulpa.
Tipo de almidón. <ul style="list-style-type: none">• Nativo	Pruebas fisicoquímicas. <ul style="list-style-type: none">• Elasticidad• Acidez• Permeabilidad• PH
Incorporación del recubrimiento comestible. <ul style="list-style-type: none">• Inmersión	Vida de anaquel <ul style="list-style-type: none">• Análisis sensorial Propiedades fisicoquímicas. <ul style="list-style-type: none">• Textura• Color• Sólidos totales

MATERIAL BIOLÓGICO

SEMILLAS DE PATERNA (*Inga paterno Harms*)

Se seleccionaron 15 kg de semillas de paterna provenientes del municipio de Acacoyagua, Chiapas, en el mes de abril de 2024, que fueron almacenadas a temperatura ambiente hasta su utilización.

MANZANAS (*Golden Delicious*)

Las manzanas fueron obtenidas en la central de abastos de la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez en el mes de junio del 2024, originarias del estado de Chihuahua.

DESCRIPCIÓN DE REACTIVOS Y EQUIPOS

EQUIPOS

Balanza analítica (VE-204 VELAB® México), Balanza granataria (Triple Brazo™ Serie 700 OHAUS México), Parrilla de calentamiento (HP-A1915B SYBRON® USA y Thermo Scientific™ CIMAREC USA), Centrífuga (Combo V24 LW Scientific® USA), Horno de secado (TE-ERLAB® México), Potenciómetro (HI 5521 pH edge™ HANNA Colombia) Termómetro (CA25 5QE BRANNA® Inglaterra) Termo balanza (292A Felisa® México) MEB (Hitachi® S-5500) Difractómetro (Rigaku® Ultima IV)

MATERIALES

Vasos de precipitado de 50, 100, 250, 500, 600, 1000 y 2000 mL, Matraces bola con fondo plano y cuello esmerilado de 250 mL, Matraces Kitasato de 250 mL, Matraz aforado de 250 mL, Matraz Micro-Kjeldahl de 30 mL, Cajas Petri, Tubos de centrífuga de 50 mL y 15 mL, Probeta de 100 mL, Pipetas de 5 y 10 mL, Embudo de cristal, Tamizador con malla no. 100 u.s, Espátula chica, Desecadores, Crisoles, Mecheros Bunsen, Tripie, Matraz de destilación, Refrigerante recto, Soporte universal, Vaso de Berzelius, Pinzas para Crisoles de acero inoxidable,

REACTIVOS

Hidróxido de sodio, Anhídrido acético, Hipoclorito de sodio, Ácido sulfúrico, Soluciones para calibración de pH, Glicerina, Hexano, Ácido clorhídrico, Ácido bórico, Sulfato de potasio libre

de nitrógeno, Oxido de mercurio rojo, Tiosulfato de sodio, Acetona, Ácido tricloroacético, Ácido acético, Ácido nítrico.

DESCRIPCIÓN DE LAS TÉCNICAS A UTILIZAR

OBTENCIÓN DEL ALMIDÓN DE LAS SEMILLA DE PATERNA (*INGA PATERNO HARMS*)

El almidón se aisló utilizando el método descrito por Vargas y *cols.*, (2016), con algunas modificaciones. Las vainas de paterna se lavaron y se separaron para obtener las semillas. Posteriormente las semillas se lavaron para eliminar cualquier rastro de pulpa adherida, y se

molieron en una licuadora industrial. La suspensión obtenida se filtró a través de la malla estándar ASTM no. 270 (53 μm). El material drenado se lavó con agua destilada, y la suspensión filtrada se dejó en reposo durante 12 h a 4°C, este proceso se realizó dos veces. El agua se eliminó por decantación y la capa de almidón sedimentada se resuspendió en agua destilada y se centrifugó a 6000 rpm durante 10 minutos. La capa de fibra fue desechada con una espátula y el almidón se resuspendió en agua destilada para ser centrifugado nuevamente, este paso se realizó entre tres y cuatro veces. Finalmente, el almidón fue secado en una estufa a 50°C durante 24 horas

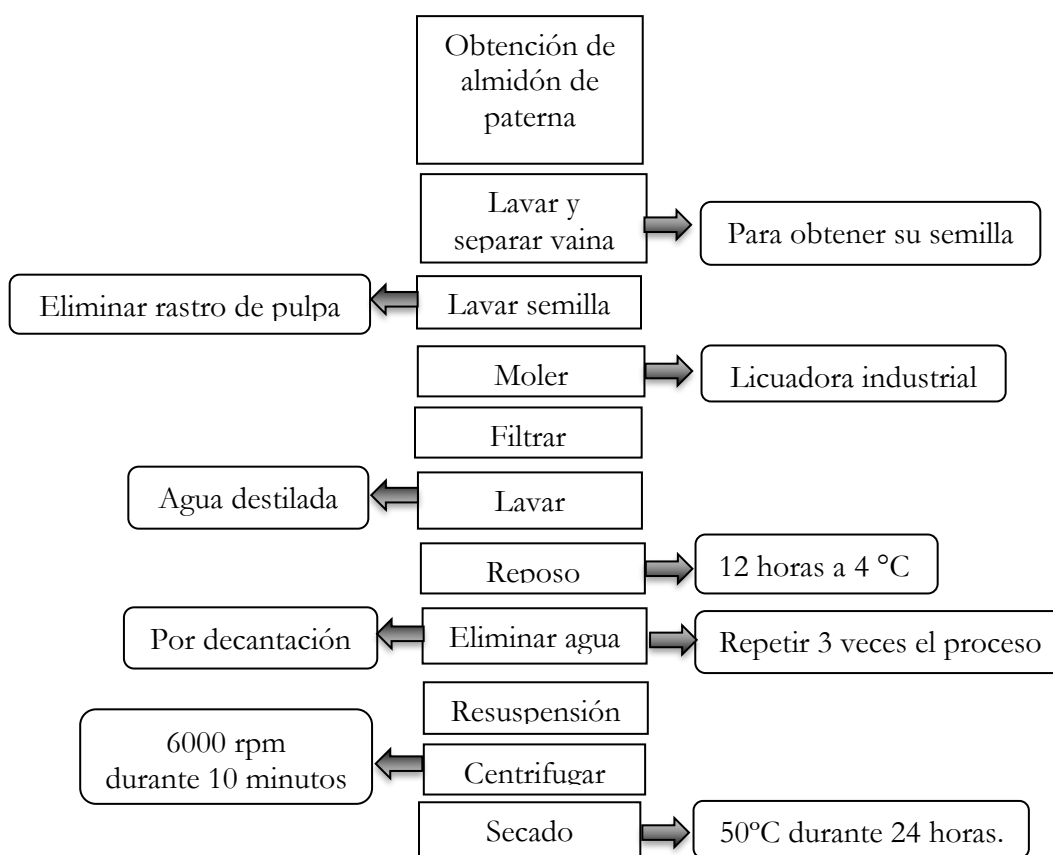


Figura 5. Aislamiento de almidón de acuerdo al método descrito por Vargas y cols., (2016)

DEL ALMIDÓN EXTRAÍDO DE LAS SEMILLAS DE PATERNA (ingrediente paterno Harms)

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO

PH

Se mezclaron 20 g de almidon en base seca con 100 ml de agua destilada, previamente hervida paa eliminar el CO₂, durante 15 minutos.

La mezcla fue filtrada en papel filtro whatman #1 y se midio el pH con un potenciometro marca Science MED con una cifra decimal.

COLOR

El color de la película se determinó con la ayuda de un colorímetro (Precise Color Reader, modelo WR-10QC), midiendo luminosidad, coordenada de color rojo/verde y coordenada de color amarillo/azul. Se registraron las lecturas de acuerdo a la escala CIELAB, obtenido valores L*, a*, b* y el índice de blancura IB. Se calculó con la siguiente ecuación:

$$IB = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}}$$

VISCOSIDAD CINEMÁTICA (ASTM D445)

Para la determinación de la viscosidad cinemática se utilizó un viscosímetro modelo SVM 3000®, marca Anton Para (Graz, Austria) a temperatura ambiente.

LUGOL

Se pesó 1 gramo del almidón extraído de las semillas de paterna, el cual, fue disuelto en 10 mL de agua destilada, posteriormente se tomó una alícuota de 1 ml, la cual fue colocada en tubos de ensayo a los cuales se añadieron 3 gotas de Lugol y si la muestra es positiva se observará la aparición de un azul oscuro.

CUANTIFICACIÓN DE AMILOSA

Se preparó una curva de calibración de 8-80% de amilosa (A0512 de sigma-aldrich), posteriormente se llevó a cabo la determinación del contenido de amilosa de acuerdo con el método reportado por Juliano y cols., (1981) con algunas modificaciones. se pesaron 0.1000 g de muestra en matraz de 100 ml, se agregaron 1ml de etanol y 8 de NaOH 1M, posteriormente se llevó a baño hirviendo 10 min, se aforó a 100 ml, de lo cual se tomó una alícuota de 5 ml que

se transfirieron a otro matraz volumétrico de 100ml se adicionaron 50 ml agua destilada, 1 ml de ácido acético glacial 1N y 2 ml de yodo. una vez mezclado el contenido del matraz se aforó a 100 ml con agua destilada. finalmente se montaron 250 μ l y se leyó la absorbancia a 620 nm con un blanco de agua destilada.

MICROSCOPIA DE BARRIDO ELECTRÓNICO (SEM).

Se realizó un análisis morfológico de SEM del almidón nativo y almidón de papa como control. Se utilizó un microscopio electrónico de barrido marca JEOL (modelo 6010 Plus). Las condiciones de operación fueron 10 kV como voltaje de aceleración, la señal de electrones secundarios fue utilizada para conocer la topografía de la muestra. Las muestras se adhirieron con cinta de grafito de doble cara de forma individual en porta muestras de cobre, se cubrieron con una película delgada de oro para hacerlas conductoras al haz de electrones y finalmente se introdujeron a la cámara del microscopio para su observación.

ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL

Los análisis químico-proximal se realizaron al almidón de paterna (*Inga paterno Harms*) por triplicado, según los métodos recomendados por la Sociedad Oficial de Química Analítica (AOAC).

DETERMINACIÓN DE HUMEDAD DEL ALMIDÓN DE LAS SEMILLAS DE PATERNA

El porcentaje de humedad del almidón extraído de las semillas de paterna se determinó con el método 925.10. A.O.A.C., (2005), el cual consiste en eliminar la humedad de la muestra usando un horno de secado (Terlab TE-H80DM) y balanza analítica (VELAB VE-204).

DETERMINACIÓN DE CENIZAS DEL ALMIDÓN DE LAS SEMILLAS DE PATERNA

El porcentaje de cenizas del almidón extraído de las semillas de paterna se determinó con el método 923.03. A.O.A.C., (2005), en donde la muestra se calcino con ayuda de una mufla (Arsa AR-340) y se comparó el peso inicial y el final con ayuda de una balanza de la marca (VELAB VE-204).

DETERMINACIÓN DE GRASA CRUDA DEL ALMIDÓN DE LAS SEMILLAS DE PATERNA

La determinación de grasa se realizó por el método 985.15. A.O.A.C., (1990), este se basa por la diferencia de pesos entre el matraz con extracto etéreo y el matraz a peso constante.

DETERMINACIÓN DE PROTEÍNAS (MÉTODO DE KJELDAHL) DEL ALMIDÓN DE LAS SEMILLAS DE PATERNA

El contenido de proteína cruda se determinó mediante el método Kjeldahl 920.53. A.O.A.C., (1998). Mediante los procesos de digestión, destilación y titulación.

CARACTERIZACIÓN FUNCIONAL

ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE AGUA, ÍNDICE DE SOLUBILIDAD EN AGUA Y PODER DE HINCHAMIENTO.

Para obtener los parámetros de índice de absorción de agua (IIA), índice de solubilidad en agua (ISA) y poder de hinchamiento (PH), se llevó a cabo la técnica utilizada por (Anderson y cols., 1969), con algunas modificaciones. Pesar tubos de centrifuga secos a 60 °C. Pesar en los tubos

1.25 g de almidón (bs) y agregar exactamente 30 mL de agua destilada precalentada a 60 °C y agitar sin excederse. posteriormente colocar en baño de agua a 60 °C durante 30 minutos y agitar las suspensiones a los 10 minutos de haber iniciado el calentamiento. Una vez pasado los 30 minutos centrifugar a temperatura ambiente a 4900 RPM durante 30 minutos e inmediatamente decantar el sobrenadante después de centrifugar (Máximo un minuto después) y medir volumen. Después se debe de tomar 10 mL del sobrenadante y colocar en un vaso de precipitado de 50 mL (previamente pesado). El sobrenadante deberá ser secado en un horno durante toda la noche a 70 °C. Los tubos de centrifuga deberán ser pesados con el gel y finalmente el vaso de precipitado con los insolubles.

ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE LÍPIDOS (LAI)

El IAF representa la cantidad de lípidos absorbidos por 100 g de muestra. Para evaluar esta propiedad en muestras de almidón se utilizó la metodología reportada (Núñez y cols., 2019). Se añadió aceite vegetal (3 mL) a 0,5 g de almidones modificados, se agitó durante 1 min y se incubó durante 30 min a 24 °C. Después de este tiempo, las muestras se centrifugaron a 1250xg y se midió el exceso de volumen de aceite y se utilizó para determinar el IAF según la siguiente ecuación:

$$LAI (\%) = \frac{\text{Aceite retenido (mL)}}{\text{Muestra (g)}} \times 100$$

ESTABILIDAD DE LA EMULSIÓN EN AGUA

Como describen (Zhang y cols., 2021), primero se preparó una emulsión O/W usando aceite de soya y agua (7:3), luego se agregó almidón al 3% (p/v). La mezcla se homogeneizó usando una licuadora comercial (Oster, Mod. BLSTKAP-RPB-013, México) a máxima velocidad durante 2 min a 25 °C. Una vez homogeneizada, la mezcla se sonicó usando una máquina de ultrasonidos

(Sonic, Mod. VCX 750) equipada con una sonda de 13 mm de diámetro y 115 µm de ancho. Las condiciones de sonicación incluyeron una frecuencia de 20 kHz y una amplitud del 40% durante 7 min a 20 °C. Las muestras sonicadas se transfirieron a tubos de plástico cónicos de 50 mL y se almacenaron durante cinco semanas mientras se realizaban observaciones microscópicas semanales con un microscopio óptico compuesto (Motic, Mod. BA310E) equipado con una cámara (Moticam, Mod. 3.0 MP). Las micrografías con un aumento de 100 × se procesaron utilizando el software Motic Image Plus 3.0, y la estabilidad de la emulsión se evaluó mediante el índice de cremosidad (CI), con base en la ecuación propuesta por (Sriprabhom y cols., 2023):

$$CI (\%) = \frac{\text{Altura de la capa (mm)}}{\text{Altura total de las emulsiones}} \times 100$$

CLARIDAD DE PASTA

La claridad indica el grado de transparencia de las pastas y está directamente relacionada con el estado de dispersión de los solutos y con la tendencia a la retrogradación de los almidones. Para evaluar la claridad de pasta se usó la metodología reportada por (Craig y cols., 1989). Se pesaron 200 mg de almidón (bs) en tubos de centrifuga, después se suspendió el almidón en 20 mL de agua destilada, posteriormente los tubos se colocaron en un baño de agua en ebullición durante 30 min, agitando la suspensión cada 5 min, una vez pasado los 30 min la suspensión fue colocada en cubetas del espectrofotómetro y se dejaron enfriar a temperatura ambiente. Se leyó el porcentaje de transmitancia a una longitud de onda de 650 nm cada 24 horas, utilizando agua destilada como blanco.

Pastas de almidones que tengan valores de transmitancia menores 40 por ciento se consideran como opacas o turbias. Pastas de almidones que tengan valores de transmitancia mayores de 40 por ciento se consideran como claras o transparentes.

VISCOAMILOGRAMA

Se realizó un perfil de viscosidad del almidón de paterna, usando un reómetro Anton Paar modelo MCR 101. Se utilizaron 2.5 g de muestra en 18 ml de agua destilada. Las mediciones se realizaron de acuerdo con el método de (Castro y cols., 2021) con algunas modificaciones. La temperatura inicial (50°C) fue mantenida durante un minuto y posteriormente la temperatura fue

elevada a 92°C a una velocidad de calentamiento de 5.6°C/min. Una vez alcanzada la temperatura indicada, ésta se mantuvo constante durante 5 minutos; el enfriamiento se llevó a cabo a la misma velocidad de calentamiento hasta alcanzar una temperatura final de 50°C donde se mantuvo constante durante dos minutos. El tiempo total de la prueba fue de 23 minutos y se realizaron mediciones por triplicado.

ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UN RECUBRIMIENTO COMESTIBLE A BASE DE ALMIDÓN EXTRAÍDO DE SEMILLAS DE PATERNA (*Inga paterno Harms*)

Las películas se elaboraron utilizando el método de vaciado en placas, siguiendo la metodología propuesta por Mali y cols, (2002), con algunas modificaciones. Se mezcló el almidón extraído de las semillas de paterna con agua destilada hasta conseguir una concentración de 1, 2, 4 y 6 % (p/p, base seca). La solución se calentó a una velocidad promedio de 3°C/min en una placa de calentamiento y se mantuvo en constante agitación (350 rpm) con un agitador vertical, la dispersión se mantuvo a 85-90 °C por 15 min posteriormente se le agregó glicerol (50 g de glicerol/100 g de almidón) y el calentamiento se mantuvo bajo las mismas condiciones de agitación a 70 °C por 15 min. Una vez terminó el proceso la misma solución filmogénica se enfrió hasta 60 °C y se vació inmediatamente en cajas Petri de poliestireno (diámetro de 9 cm) utilizando 24g/caja. Las cajas con las soluciones filmogénicas se dejaron secar bajo condiciones de laboratorio (50% HR y 24 °C) hasta que la película formada se desprendió con facilidad de la placa (= 72 h). posteriormente las películas se dejaron acondicionar 48 hrs dentro de desecadores que contenían una solución salina saturada de NaBr (HR = 55 ± 5 %). Después de acondicionamiento, se procedió a caracterizar las propiedades de la película.

En la tabla 3, se representa las cantidades y porciones de agua destilada, almidón y glicerol usados para la formación de biopelículas en concentraciones del 1, 2, 4 y 6%.

Tabla 3. Formulación de biopelículas

Porcentaje	1%	2%	4%	6%
Agua (mL)	100	100	100	100
Almidón bs. (g)	1	2	4	6
Almidón bh. (g)	1.06	2.13	4.26	6.40
Glicerol (g)	0.5	1	2	3

ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS Y FUNCIONALES DE LAS BIOPELÍCULAS.

COLOR

El color de la película se determinó con la ayuda de un colorímetro (Precise Color Reader, modelo WR-10QC), midiendo luminosidad, coordenada de color rojo/verde y coordenada de color amarillo/azul. Se registraron las lecturas de acuerdo a la escala CIELAB, obteniendo valores L^* , a^* , b^* y el índice de blancura IB. Se calculó con la siguiente ecuación:

$$IB = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}}$$

Donde:

W: Peso inicial del recubrimiento comestible

WF: Peso final del recubrimiento comestible

VARIACIÓN DEL COLOR (ΔE) EN LAS BIOPELÍCULAS

El ΔE se determinó con un colorímetro SPECTROPHOTOMETER (CM-6000) mediante el sistema CIEL a^*b^* ; la medición se realizó en tres puntos diferentes de la muestra y el valor se calculó según la siguiente ecuación

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 + (\Delta L^*)^2}$$

Donde $\Delta a^* = (a^* - a_0^*)$, $\Delta b^* = (b^* - b_0^*)$, $\Delta L^* = (L^* - L_0^*)$; siendo L^* , a^* y b^* los valores de color de las películas y; L_0^* , a_0^* y b_0^* los valores de color del control.

ESPESOR

El grosor de las películas se midió con la ayuda de un vernier digital en 5 puntos distintos asignados de manera al azar

HUMEDAD

El contenido de humedad se determinó por diferencia de peso, utilizando 5 g de muestra y se secaron en el horno a 105 °C hasta peso constante con una variación de 0.0001 g. el procedimiento se realizó por triplicado.

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{(\text{Peso seco inicial} - \text{Peso seco final})}{(\text{Peso seco inicial})} \times 100(1)$$

Donde:

Peso inicial: Peso del recubrimiento antes de la deshidratación

Peso final: Peso del recubrimiento después de la deshidratación

SOLUBILIDAD

Se cortaron piezas de películas con tamaños de 2 x 3 cm, las cuales se secaron a peso constante en una estufa a 102 °C. Cada muestra se colocó en vasos de precipitado con 80 ml de agua destilada y se mantuvieron constantemente en agitación suave a 60 rpm en una placa Corning por 24 horas.

$$\text{Solubilidad (\%)} = \frac{(W - WF)}{(W)} \times 100$$

Donde:

W: Peso inicial del recubrimiento comestible

WF: Peso final del recubrimiento comestible

PRUEBAS MECÁNICAS

PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA

Para la prueba de permeabilidad al vapor de agua utilizó la metodología de Martín (2021) con ligeras modificaciones. Las muestras se acondicionaron a una humedad relativa (HR) del 50%. Posteriormente se cortaron a un diámetro de 2.3 cm y se colocaron en Criotubos de 5 mL (1.5 cm de diámetro y una altura de 5.7 cm) que contenían 5 mL de agua destilada. Los bordes de las biopelículas fueron sellados con cinta masking para evitar la pérdida del agua, los contenedores se colocaron en un desecador con gel de sílice previamente seco. El peso de los Criotubos se determinó cada 24 horas durante diez días a través de una balanza analítica. El valor de la permeabilidad al vapor de agua se calculó de acuerdo con la fórmula:

$$Fva = \frac{g}{tA}$$

Donde:

g: Pérdida de peso

t: El tiempo total en horas

A: Área de permeabilidad

La permeabilidad al vapor de agua (Pva) se calculó a partir de la ecuación:

$$Pva = (Fva) * \frac{X}{\Delta P}$$

Donde:

X: Medida del espesor del bioplástico

ΔP : La diferencia de presión de vapor del medioambiente que contiene el desecador (0 kPa, 25 °C) y el agua pura (3167 kPa 25 °C).

BIODEGRADABILIDAD

El estudio de la biodegradabilidad se evaluó la pérdida por la pérdida de masa de las biopelículas. Para ello se cortaron las láminas en tiras de 1 cm x 2 cm. Posteriormente se prepararon frascos de plástico que contenían composta. Los frascos se taparon con papel aluminio y se mantuvieron dentro del laboratorio. Se midió 2 veces por semana la temperatura de la composta. Transcurridas las cuatro semanas se extrajeron las muestras y pesaron para evaluar la pérdida de masa y comparar con el valor de masa antes enterrar las biopelículas. Realizando los estudios por triplicado, descrita por (charro., 2015) con adaptación propia.

MÓDULO DE YOUNG

El módulo de Young se determina en la región elástica del material (donde la relación entre la tensión y la deformación es lineal). En esta región, el módulo de Young es la pendiente de la curva tensión-deformación.

$$E = \sigma / \epsilon$$

Donde:

E: Es el módulo de Young.

σ : Es la tensión.

ϵ Es la deformación unitaria

FUERZA DE TENSIÓN Y PORCENTAJE DE DEFORMACIÓN

Las propiedades mecánicas de las películas fueron medidas de acuerdo al método estándar D882-12 de la ASTM. La fuerza de tensión y el porcentaje de deformación fueron evaluados con un texturómetro (EZ-Test, Shimadzu) usando una prueba de tensión acoplada a un par de mordazas. Las películas fueron cortadas en rectángulos de 10 mm de ancho por 80 mm de largo y acondicionadas a 50% de humedad relativa durante 72 horas. La separación inicial entre las mordazas fue de 50 mm y la velocidad de ensayo fue de 40 mm min⁻¹.

EVALUACIÓN DEL RECUBRIMIENTO COMESTIBLE ELABORADO A BASE DE ALMIDÓN DE PATERNA (*Inga paterno Harms*) SOBRE LA CALIDAD POSCOSECHA DE MANZANA (*Golden Delicious*)

ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL DE LA MANZANA (*Golden Delicious*)

Los análisis químico-proximales se realizaron a la manzana *Golden Delicious* por triplicado, según los métodos recomendados por la Sociedad Oficial de Química Analítica (AOAC).

DETERMINACIÓN DE HUMEDAD DE LA MANZANA (*Golden Delicious*)

El porcentaje de humedad del almidón extraído de las semillas de paterna se determinó con el método 925.10. A.O.A.C., (2005), el cual consiste en eliminar la humedad de la muestra usando un horno de secado (Terlab TE-H80DM) y una balanza analítica (VELAB VE-204).

DETERMINACIÓN DE CENIZAS DE LA MANZANA (*Golden Delicious*)

El porcentaje de cenizas del almidón extraído de las semillas de paterna se determinó con el método 923.03. A.O.A.C., (2005), en donde la muestra se calcino con ayuda de una mufla (Arsa AR-340) y se comparó el peso inicial y el final con ayuda de una analítica (VELAB VE-204).

DETERMINACIÓN DE GRASA CRUDA DE LA MANZANA (*Golden Delicious*)

La determinación de grasa se realizó por el método 985.15. A.O.A.C., (1990), este se basa por la diferencia de pesos entre el matraz con extracto etéreo y el matraz a peso constante.

DETERMINACIÓN DE PROTEÍNAS (MÉTODO DE KJELDAHL) DE LA MANZANA (*Golden Delicious*)

El contenido de proteína cruda se determinó mediante el método Kjeldahl 920.53. A.O.A.C., (1998). Mediante los procesos de digestión, destilación y titulación.

DETERMINACION DE FIBRA CRUDA DE LA MANZANA (*Golden Delicious*)

La cuantificación de la fibra cruda se determinó de acuerdo al método 978.10 de la A.O.A.C

PRUEBAS FISICAS A LAS MANZANAS (*Golden Delicious*)

PH

El pH de las manzanas con y sin recubrimientos se determinó la NMX-F-317-NORMEX-2013 empleando un potenciómetro (Hanna HI2210 pH Meter) previamente calibrado a pH 4,0.

ACIDEZ TITULABLE

La acidez titulable se evaluó acorde a la Norma Mexicana NMXFF-011-1982, en donde para realizar la titulación se usó NaOH 0.1 N y fenolftaleína como indicador. Este proceso se realizó por triplicado, tanto para las manzanas recubiertas como a las que no estaban recubiertas durante 15 días seguidos. Para la determinación de ácido cítrico se utilizó la siguiente ecuación de acuerdo a la norma.

$$\text{Acido citrico (\%)} = \frac{V \times N \times \text{Meq}}{\text{Alicuota valorada}} \times 100$$

Donde:

V: Volumen de NaOH gastados en mL

N: Normalidad del NaOH

Meq: Miliequivalentes del ácido que se encuentra en mayor proporción de la muestra (0,064 para ácido cítrico)

Alicuota valorada: Peso en g o volumen de la muestra en ml

FUERZA DE PENETRACIÓN

La fuerza de penetración se realizó de acuerdo a la metodología propuesta por (Hong y cols., 2012) empleando un penetrómetro digital (FR-5120, Capacidad 20.00 Kg, Lutron LT-FR5120). Y la puntilla de 8 mm de ancho, se tomaron tres lecturas de la zona ecuatorial de la manzana reportando como resultado el promedio de las tres lecturas expresados en kilogramos.

SOLIDOS SOLUBLES (°BRIX)

Los sólidos solubles, se analizaron por el método refractométrico A.O.A.C 932.12., (1990), usando un refractómetro digital (ATAGO™ 3830). Las manzanas se molieron con ayuda de un mortero de porcelana, hasta obtener el jugo del fruto. Los resultados se reportaron como °Brix.

EVALUACIÓN DEL RECUBRIMIENTO COMESTIBLE SOBRE LA VIDA ANAQUEL DE LAS MANZANAS

Se seleccionaron manzanas en un estado medio de maduración, evitando tomar manzanas con algún tipo de daño físico aparente, posteriormente fueron lavadas y secadas para después ser separadas en dos grupos (MR: Manzana recubierta, MSR: Manzana sin recubrimiento). Las manzanas recubiertas se mantuvieron a temperatura ambiente hasta conseguir que la solución formadora se secase en la superficie de la manzana. Para después evaluar durante 15 días consecutivos el color, la pérdida de peso del fruto, la fuerza de penetración, sólidos solubles, Acidez titulable y pH. Para poder evaluar esos parámetros los frutos se seleccionaron de manera al azar, para después, ser usados en las pruebas.

PESO

Para la determinación de la pérdida de peso, se pesaron las manzanas con ayuda de una balanza analítica (Velab VE-204), durante 15 días ininterrumpidos, las pruebas se realizaron por triplicado. Los resultados fueron expresados como porcentaje de peso perdido, respecto al peso inicial del fruto fresco al día 0.

$$(\%) \text{Pérdida de peso} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100$$

COLOR

El color de la película se determinó con la ayuda de un colorímetro (Precise Color Reader, modelo WR-10QC), midiendo luminosidad, coordenada de color rojo/verde y coordenada de color amarillo/azul. Se registraron las lecturas de acuerdo a la escala CIELAB, obteniendo valores L^* , a^* , b^* y el índice de blancura IB. Se calculó con la siguiente ecuación:

$$IB = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}}$$

EVALUACIÓN SENSORIAL

Se realizó a través de una escala hedónica con 5 puntos (me gusta mucho, me gusta, ni me gusta ni me disgusta, me disgusta y me disgusta mucho), en donde participaron jueces no entrenados, fueron evaluados: el color, la apariencia, el sabor, el aroma y textura de las manzanas recubiertas y sin recubrir. La evaluación se realizó el día 15 de la evaluación.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos durante la realización de esta investigación:

RENDIMIENTO DEL ALMIDÓN DE PATERNA (*Inga paterno Harms*)

El almidón fue extraído con base en la metodología descrita por Vargas y cols., (2016). Se obtuvieron 132.51g de almidón a partir de 1.914 kg de semilla de paterna. El rendimiento que presento el almidón extraído de las semillas de paterna fue de 6.92%, similar al 7.44% del almidón aislado del ñame congo, reportado por (Meaño y cols., 2014).

El rendimiento del almidón puede variar de acuerdo a la metodología usada para su aislamiento, además estas variaciones también están relacionadas con la fuente de donde se obtenga el almidón



Figura 6. Almidón extraído de las semillas de la paterna (Inga paterno Harms)

CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DEL ALMIDÓN EXTRAÍDO DE LAS SEMILLAS DE PATERNA (*Inga paterno Harms*)

En la tabla 3. Se presentan los resultados obtenidos del análisis proximal realizado al almidón extraído de las semillas de la paterna (*Inga paterno Harms*):

Tabla 4. Análisis proximal del almidón de paterna

Parámetro	Resultado (g/100g)
Humedad	6.33±0.04
Cenizas	0.75±0.05
Proteína cruda	0.13±0.23
Lípidos totales	0.059±0.0

En los datos mostrados en la tabla anterior, se observa que el porcentaje de humedad fue del 6.33%, Alvis y cols., (2008) reportaron el contenido de humedad en almidones de ñame entre el 8.66 a 10.22%, yuca entre 7.80 a 8.47% y papa 8.50%.

El contenido de cenizas en el almidón de las semillas de paterna fue de 0.75%, similar al 0.84 % reportado por (Valerio., 2014), en el almidón de plátano bellaco.

En cuanto al contenido de proteínas crudas se obtuvo un valor de 0.13%, similar al 0.15% reportado por (Martínez y cols., 2017) con almidón de arroz.

Los lípidos totales presentes en el almidón de paterna fueron de 0.05% muy por debajo del almidón de papa de la variedad Pastusa y variedad Sabanera reportado por (Vargas y Medina., 2019), que fue de 0.10%.

pH

Los resultados obtenidos del pH en el almidón de semillas de paterna se pueden observar en la tabla 5.

Tabla 5. pH del almidón de paterna

Parámetro	resultados
pH	6.47±0.1

Como puede observarse el pH del almidón de las semillas de paterna es de 6.47 similar a los obtenidos en investigaciones realizadas por (Oliva y cols., 2018), quienes obtuvieron resultados de 8.4 en el almidón de quinua.

COLOR

El color juega un papel muy importante como indicador de la calidad y pureza de los almidones, para muchas aplicaciones en alimentos. En la tabla 6, se muestran los resultados obtenidos en la determinación de color del almidón de paterno nativo.

Tabla 6. Color del almidón de paterna

L	96.44± 0.37
a*	-0.15±0.02
b*	1.43±0.06
°H	96.45± 0.38
Croma	1.51±0.11
IB	98.26±0.16

Como se puede observar, de acuerdo a los resultados, el almidón de paterno nativo presenta valores de *L (luminosidad) de 99.34, la cual, está muy por encima del valor reportado por (Barraza y cols., 2020), que fue de 92.11 a 94.98 en almidones de papa nativa.

El parámetro a* indica coordenadas rojo/verde si el parámetro *a es positivo indica una tonalidad roja, pero si el parámetro es negativo indica una tonalidad verde. Por otro lado, el parámetro b* indica coordenadas amarillo/azul, si el parámetro b* es positivo indica una

tonalidad amarilla y si el parámetro es negativo indica una tonalidad azul. Los parámetros a^* y b^* tuvieron resultados del -0.15 y 1.43.

Eso nos da a entender, que el almidón de paterno nativo tiende ligeramente al color verde y al amarillo. Este presenta gran pureza y un color cercano al blanco, lo que indica que este almidón podría ser utilizado por otras industrias además de la alimentaria.

TAMAÑO DEL GRANULO

Las micrografías electrónicas de barrido de gránulos del almidón de paterna se muestran en la figura 7. Se puede observar la morfología de los gránulos, en las cuales predomina la forma de esférica y ovalada con una superficie lisa. También se puede notar la presencia de gránulos con forma más circulares pequeñas. La superficie lisa indica que, durante el proceso de extracción del almidón, no sufrió daños. Se han reportado observaciones similares para almidón nativo de *Canna edulis* de Vietnam (Puncha-arnon *et al.*, 2007; Watcharatewinkul *et al.*, 2009b, Yaruro, 2018). Respecto al tamaño de los gránulos, se muestra la distribución de frecuencias de tamaños para los almidones de 13.89 μm .

Freitas y Tavares, (2005) menciona que, en cuanto a los gránulos, se ha reportado que los de forma esférica presentan mayor resistencia a la digestión que los de forma poliédrica; se encontró que los gránulos de almidones de paterna presentan una forma oval-esférica, similares a los presentados con los almidones de makal y frijol, sin embargo estos últimos presentan tamaños de 12-45 y 8-20 μm esto es referencia a la fuente botánica

Las diferencias o variaciones en tamaño y forma de los gránulos de almidón pueden ser atribuibles a la fuente botánica, a las prácticas de cultivo y a la fisiología de la planta. La distribución del tamaño de partícula de los almidones es una característica de calidad y las diferencias tienen notable efecto en sus propiedades fisicoquímicas (Leonel, 2007). Este parámetro es importante para determinar la idoneidad del almidón para ciertas aplicaciones alimentarias; por ejemplo, los almidones que tienen tamaño de partículas pequeñas, podrían ser usados para varios productos alimenticios, especialmente aquellos que requieren una textura suave (Aprianita *et al.*, 2014). Y almidones con gránulos grandes pueden generar alta viscosidad, por lo cual podrían ser usados en la elaboración de salsas, sopas, postres, productos a base de cremas, mermeladas, entre otros.

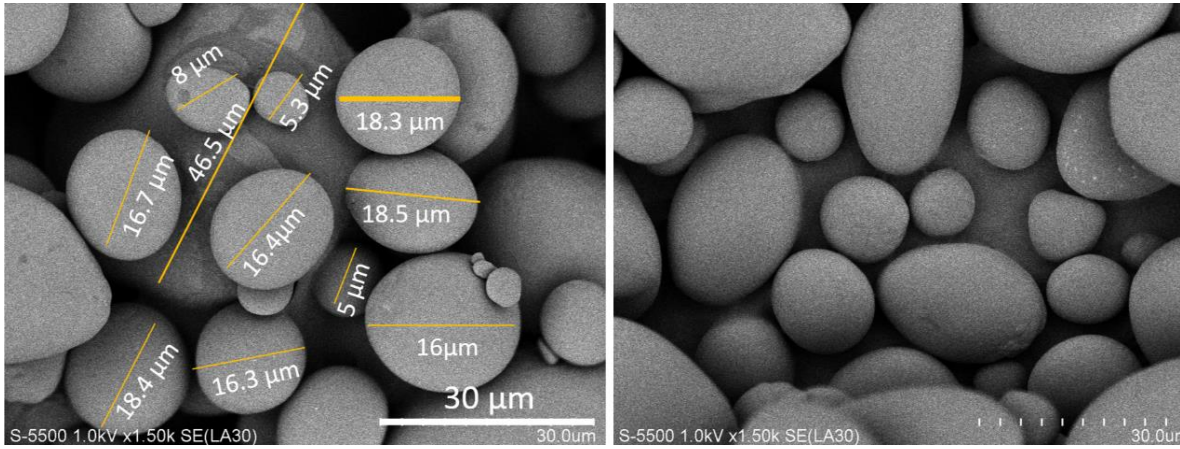


Figura 7. Microfotografías del almidón de paterna

LUGOL

Esta es una prueba que se utiliza para la identificación de polisacáridos. El almidón en contacto con unas gotas de Lugol (Disolución de yodo y yoduro de potasio) toma un color azul-violeta esto indica una reacción positiva a la prueba. La coloración producida por el Lugol se debe a que el yodo se introduce entre las espiras de cada molécula de almidón, no es por tanto una reacción química si no que se forma un compuesto de inclusión que modifica las propiedades físicas de esta molécula, apareciendo el color azul característico (Cabrera y Ramírez., 2014). En la figura 8, se observa el resultado positivo ante esta prueba de Lugol en el almidón extraído de las semillas de la paterna.

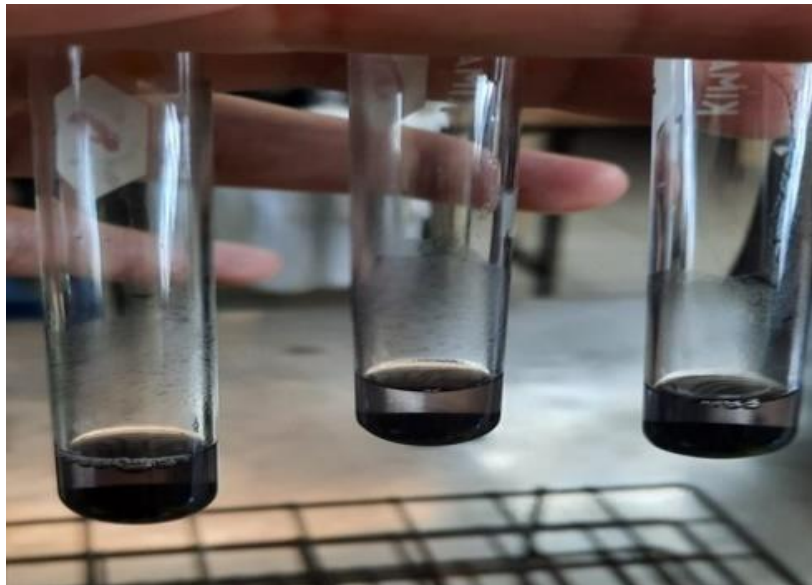


Figura 8. Prueba de Lugol

VISCOSIDAD

La viscosidad cinemática obtenida para el almidón de paterna fue de 3487 ± 11 cP. En el caso de los almidones de papa criolla, latina, colombiana y jardinera, reportados por (Solarte y cols., 2019), el almidón de la variedad latina obtuvo la viscosidad máxima más alta con un valor promedio de 7202 mPa·s, y las variedades Colombia y Jardinera con valores promedio de 5102 mPa·s y 3725.5 mPa·s respectivamente. Martínez y cols (2015), reportaron valores de viscosidad de 5268 mPa·s y 9107 mPa·s para suspensiones de almidón de distintas variedades de papa nativa.

La viscosidad de los almidones, es un parámetro importante que se considera durante el procesamiento, por todos los cambios que sufren a los que son sometidos los almidones. El almidón de paterna, posee una temperatura de gelatinización que varía entre los 70-75°C, lo que lo hace capaz de formar películas flexibles, con gran fuerza de adhesión, es capaz de formar pastas fuertes y de acuerdo a lo reportado por Aristizábal y Sánchez (2017), estos almidones son capaces de dispersar ingredientes en mezclas e impartir textura y consistencia a muchos productos.

CUANTIFICACIÓN DE AMILOSA Y AMILOPECTINA

En la tabla 7, se puede observar los resultados obtenidos en la determinación de amilosa y amilopectina.

Tabla 7. Amilosa y amilopectina del almidón de paterna

Parámetro	Porcentaje
Amilosa	21.85%
Amilopectina	78.15%

De acuerdo con Bordas (2022), los almidones que tienen un alto contenido de amilosa (25-30%) forman redes tridimensionales capaces de absorber agua y gelificar, mientras que los almidones con bajo contenido (15-20 %) tienen propiedades espesantes, pero no alcanzan a formar geles, porque las moléculas de amilopectina no pueden formar enlaces entre ellas. Con base en lo observado al analizar la composición del almidón de paterna, se observó la capacidad de atrapar agua y formar geles fuertes.

CARACTERIZACIÓN FUNCIONAL

ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE AGUA, ÍNDICE DE SOLUBILIDAD EN AGUA Y PODER DE HINCHAMIENTO.

Los resultados de las pruebas funcionales se presentan a continuación:

Tabla 8. Características funcionales del almidón de paterna

Parámetro	Resultado
Índice de solubilidad en agua (%)	0.17±0.08
Poder de hinchamiento (g agua/g almidón)	1.91±0.02
Índice de absorción de agua (g/g)	1.97±0.02

La absorción y la solubilidad de agua, así como el poder de hinchamiento, son parámetros originados por la capacidad de atrapar agua del almidón y de formar geles relacionados directamente con la proporción de amilopectina, a mayor porcentaje de amilopectina mayor capacidad de absorber agua y a mayor contenido de amilosa menor capacidad de absorber agua. Estos resultados son similares a los reportados por (Torres, 2013), para el almidón de malanga blanco y morado, tomando valores de 1.79 y 1.88 para el Índice de Absorción de Agua. El Índice de solubilidad en agua, obtenido para el almidón de semilla de paterna es bajo, en comparación con otros autores, que reportan valores de entre 0.27 y 12.32.

Estas propiedades se asocian al grado de interacción entre las cadenas de almidón en las secciones amorfas y cristalinas; dicha interacción se ve afectada por la relación amilosa/amilopectina y por las características de las mismas en términos del peso/distribución, grado y longitud de ramificación además de la conformación (Sandoval. *et al.*, 2012).

ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE LÍPIDOS

Granados et al., (2014) reporta valores del 51% de IAL para almidón de sagú valores menores a lo reportado para almidón de yuca (82.25%) y menor que el del almidón de maíz, que tiene un valor de 228%. Sin embargo, Perea-Flores et al., (2021) reportan valores del 159.61% para almidones nativos de *Oxalis tuberosa*; lo cual es una característica deseable para su uso como ingrediente en productos que requieren una alta retención de agua y grasa.

Cuanto más cristalino sea un almidón, más lentamente será digerido por las enzimas digestivas, lo que significa que es menos probable que el almidón se absorba en los intestinos; por lo tanto, dichos almidones pueden funcionar como transportadores de sustancias lipídicas y glucémicas (Han et al., 2006).

ESTABILIDAD DE LA EMULSIÓN EN AGUA

La estabilidad en agua de los almidones es un aspecto fundamental ya que determina la funcionalidad y aplicación de los almidones en una amplia gama de productos alimenticios. Esta estabilidad se refiere a la capacidad del almidón para resistir la degradación o cambios en su estructura cuando se encuentra en ambientes con alta humedad o en soluciones acuosas.

Los resultados para de la estabilidad de la emulsión en agua para el almidon de las semillas de paterna se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 9. Estabilidad de la emulsión del agua para almidón de paterna

% fase aceitosa	% fase acuosa	% almidón
63.97 ± 0.76	22.04 ±0.76	2.51±0

A continuación, se describen las fases obtenidas, después de la prueba:

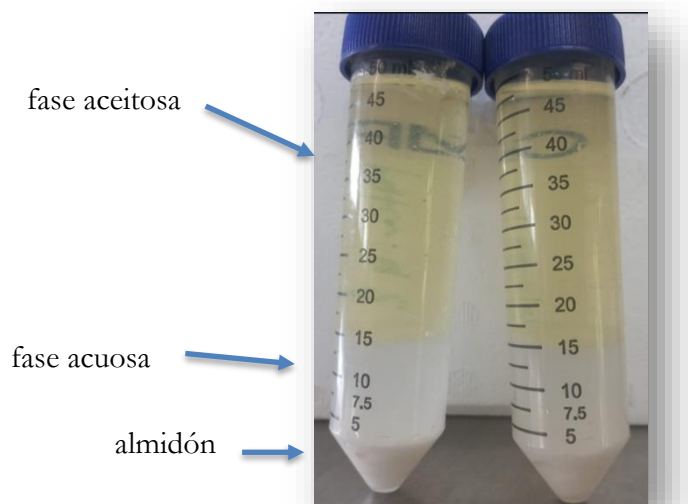


Figura 9. Estabilidad de la emulsión en agua del almidón de paterna

La estabilidad de la emulsión en agua, puede ser atribuida a la relación amilosa/amilopectina, así como también a la diferencia en la distribución en la longitud de la cadena como ha sido reportado en otros almidones (Bello Pérez et al., 1998).

La estabilidad en agua es crucial para mantener la viscosidad y textura deseada en productos como salsas, sopas, postres y productos de panadería. Los almidones que no tienen estabilidad suficiente pueden romperse o disgregarse, afectando la consistencia y aceptabilidad del producto final. Almidones estables en agua tienden a reducir la retrogradación, un proceso en el que las moléculas de amilosa y amilopectina se reorganizan y expulsan agua, provocando cambios indeseados como la formación de geles duros o la sinéresis.

CLARIDAD DE PASTA

En la tabla 10, se muestran los valores del análisis de claridad de pasta del almidón de paterna, medidos como porcentaje de transmitancia (%T). Al evaluar este parámetro a la hora cero los valores oscilaron en 0.22%; sin embargo, al determinarse a las 144 hrs los valores se mantuvieron con un aumento mínimo, en 0.23%. Bustillos-Rodríguez et al. (2019), mencionan que, en la mayoría de los almidones, hay un aumento en la transmitancia de la luz y se atribuye al hinchamiento de los gránulos, los restos de gránulos y la longitud de la cadena de amilosa y amilopectina, por lo que esto podría ser indicativo de la cristalización de amilosa.

La claridad indica el grado de transparencia de las pastas y está directamente relacionada con el estado de dispersión de los solutos y con la tendencia a la retrogradación de los almidones. La capacidad de estas pastas para transmitir la luz cuando son sometidos al paso de un haz radiante medie su claridad (Aristizábal y Sánchez, 2007). En el caso del almidón de paterna, este valor permanece prácticamente constante, lo que nos indica que hay cambios mínimos en la estructura del almidón.

Tabla 10. Claridad de pasta

Tiempo(h)	0	24	48	72	96	120	144
%T	0.22±0	0.24±0.005	0.23±0.005	0.23±0	0.21±0	0.25±0.01	0.23±0.005

VISCOAMILOGRAMA

En la figura 11, se muestra el viscoamilograma de almidón de paterna en comparación con el almidón de papa (control sigma), se observan diferencias significativas en el comportamiento de la viscosidad y la respuesta térmica de ambos almidones. La curva de viscosidad del almidón de papa muestra un aumento pronunciado en su viscosidad, alcanzando un valor máximo cercano a los 12,000 cP. Este comportamiento es característico del almidón de papa, que presenta una alta capacidad de hinchamiento y gelatinización debido a su estructura molecular y su composición, la cual es rica en amilopectina. Este aumento rápido y elevado de viscosidad indica una gelatinización intensa en el almidón de papa, donde los gránulos absorben agua y se hinchan, incrementando notablemente la viscosidad del sistema. Sin embargo, una vez alcanzado el pico máximo, la viscosidad del almidón de papa comienza a disminuir, lo que sugiere una posible ruptura de gránulos bajo condiciones de alta temperatura o cizallamiento. Este fenómeno es común en almidones con una alta capacidad de hinchamiento, donde los gránulos no pueden mantener su estructura bajo condiciones extremas. Posteriormente, durante la fase de enfriamiento, el almidón de papa muestra un ligero aumento en la viscosidad, fenómeno conocido como retroceso o sinéresis, el cual se asocia con la tendencia del almidón a reestructurarse en una matriz semi-cristalina tras la gelatinización inicial.

Por otro lado, el almidón de paterna exhibe un comportamiento completamente distinto. La curva de viscosidad de paterna presenta un incremento mucho más gradual y moderado,

alcanzando valores de viscosidad considerablemente inferiores a los del almidón de papa. Este comportamiento sugiere una menor capacidad de hinchamiento y gelatinización, posiblemente debido a una estructura granular distinta o a una menor proporción de amilopectina. La gelatinización en el almidón de paterna no es tan intensa, lo que podría deberse a una mayor proporción de amilosa o a una estructura de gránulos más resistente al calor y a la absorción de agua. Durante la fase de enfriamiento, el almidón de paterna mantiene una viscosidad baja y estable, sin mostrar un retroceso significativo, lo cual sugiere una menor tendencia a la formación de estructuras reordenadas. Esto puede ser beneficioso en aplicaciones donde se requiere una viscosidad constante y estabilidad estructural bajo diferentes condiciones de temperatura.

En conjunto, estos resultados indican que el almidón de paterna y el almidón de papa presentan propiedades reológicas y térmicas que podrían adecuarse a diferentes aplicaciones industriales. Mientras que el almidón de papa podría ser más adecuado para productos que requieren una alta viscosidad y capacidad de retroceso, como salsas y productos con textura gruesa, el almidón de paterna podría ser preferible en aplicaciones que demandan una viscosidad más baja y una estabilidad estructural sin retroceso, como en formulaciones de alimentos donde se necesita una consistencia suave y estable.

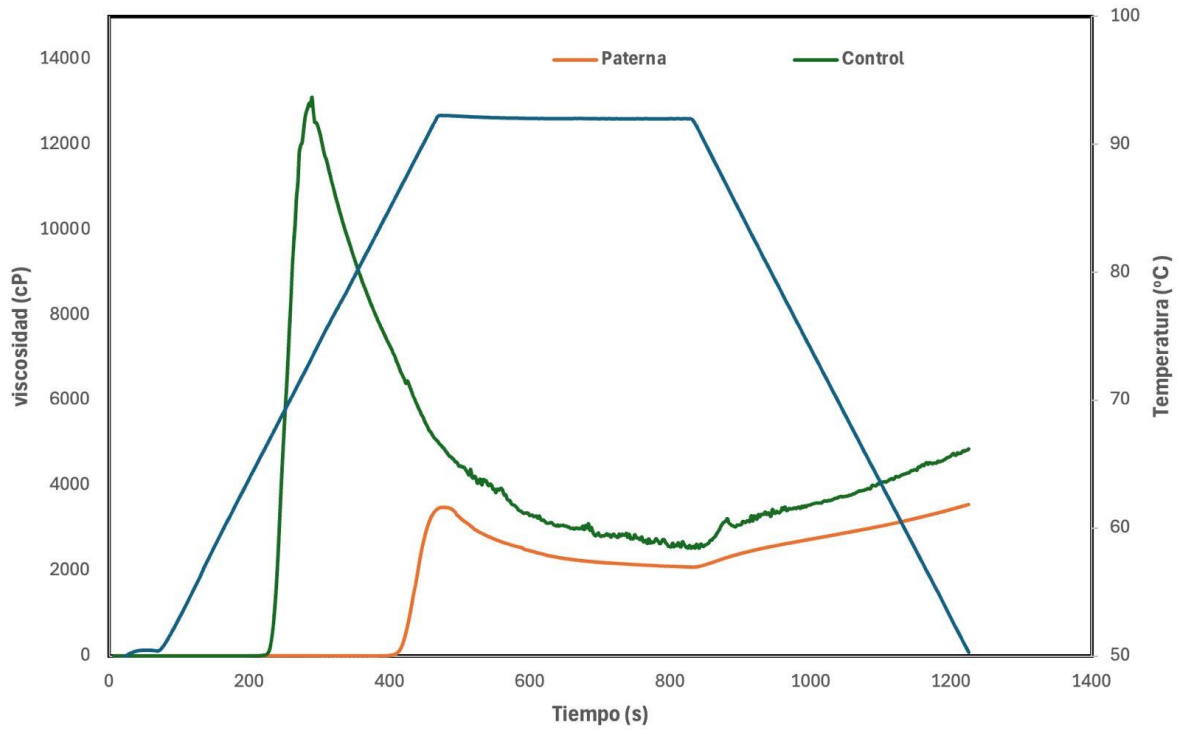


Figura 10. Viscoalmilograma de almidón de paterna

ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UN RECUBRIMIENTO COMESTIBLE A BASE DE ALMIDÓN EXTRAÍDO DE SEMILLAS DE PATERNA (*Inga paterno Harms*)

Siguiendo la metodología propuesta por Mali y cols, (2002), se realizaron biopelículas con concentraciones del 1, 2, 4 y 6%, esto con el objetivo de ver cuál de estas tenía mejores propiedades mecánicas para ser usada como un recubrimiento para las manzanas (*Golden delicious*). Se obtuvieron películas aparentemente resistentes, opacas y con una elasticidad moderada con base a las concentraciones utilizadas para las soluciones formadoras de biopelículas. Estas cualidades podemos observarlas en la tabla 11, donde se presentan los resultados obtenidos del módulo de Young. Además, también en la figura 12, podemos observar las películas con almidón de paterna en estado nativo, en las distintas concentraciones usadas.

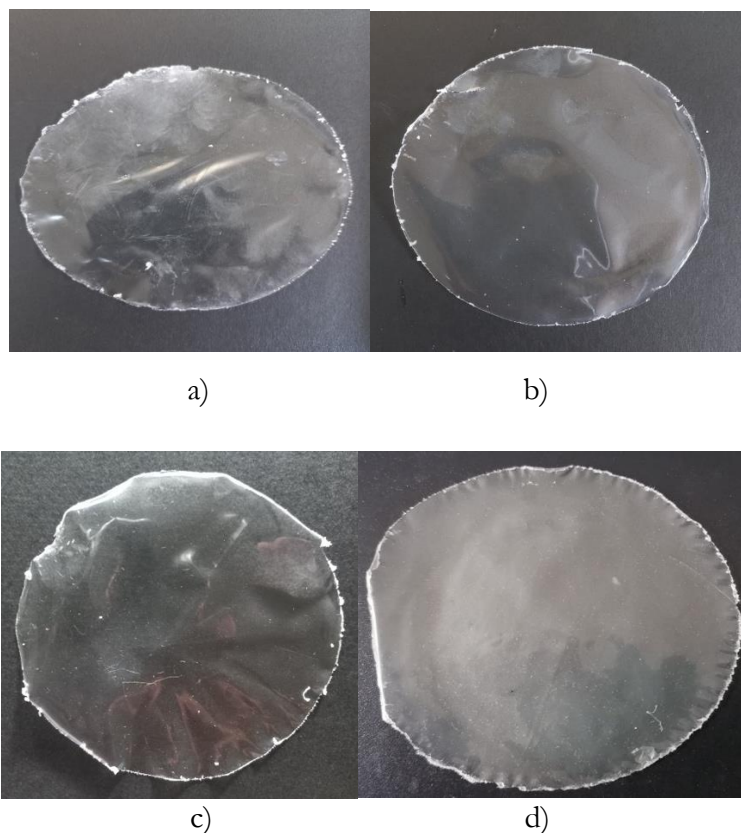


Figura 11. Biopelículas elaboradas con almidón de paterna a) 1%, b) 2%, c) 4%, d) 6%

Tabla 11. Propiedades mecánicas de las biopelículas

% almidón	Fuerza de tensión (MPa)	% de deformación	Módulo de Young (MPa)
1	3.81±0.32	20.54±1.85	10.26±0.97
2	5.92±0.29	10.2 ±0.9	58.17 ±2.29
4	5.84±0.32	21.6±0.99	27-02 ±
6	6.57 ±0.32	29.3±2.7	22.48±0.98

Se observa a partir de los resultados que mientras más porcentaje de almidón tiene la película, sus propiedades mecánicas disminuyen, lo que significa que el almidón de paterno nativo no forma matrices adecuadas para la formación de películas elásticas.

La fuerza de tensión, que mide la resistencia de la biopelícula antes de romperse, aumenta con el incremento de la concentración de almidón. Esto indica que, en general, las biopelículas con una mayor cantidad de almidón tienen una estructura más resistente y pueden soportar más carga antes de fallar. El aumento es significativo entre el 1% y el 2%, y continúa creciendo de manera moderada hasta el 6%.

El porcentaje de deformación, que indica la capacidad de estirarse antes de romperse, muestra variaciones. La biopelícula con 2% de almidón tiene la menor capacidad de deformación, lo que sugiere una mayor rigidez en comparación con las demás. Sin embargo, la deformación aumenta notablemente en la biopelícula al 6%, lo que indica que, aunque es más resistente, también es más flexible.

El Módulo de Young, que mide la rigidez de la biopelícula, es más alto en la biopelícula al 2% de almidón, indicando que es la más rígida de todas las muestras. Sin embargo, la rigidez disminuye en las biopelículas al 4% y al 6%, sugiriendo que, a concentraciones más altas, la estructura de la biopelícula se vuelve más flexible y menos rígida.

COLOR

En la tabla 12, podemos observar los resultados del color obtenido para las biopelículas. La luminosidad (L^*) disminuye a medida que aumenta la concentración de almidón. Esto sugiere que las biopelículas con mayor concentración son más oscuras. El valor negativo de a^* indica una tendencia hacia tonos verdosos. La variación es mínima, pero se observa que la tendencia hacia el verde disminuye a medida que aumenta la concentración de almidón. El valor negativo de b^* indica una tendencia hacia tonos azulados. Los cambios son sutiles, pero el b^* aumenta ligeramente en la biopelícula al 2% y 4% antes de disminuir levemente en la concentración al 6%. El croma indica la intensidad del color. A medida que la concentración aumenta de 1% a 4%, el croma disminuye, sugiriendo una menor intensidad de color en las biopelículas con mayor concentración de almidón, sin embargo, se observa un ligero incremento en la biopelícula al 6%. Los valores de $^{\circ}H$, se mantienen estables y elevados, indicando un tono cercano al amarillo-verdoso. Las variaciones son mínimas, pero hay un aumento en el tono en la biopelícula al 6%. El valor ΔE representa la diferencia de color perceptible. A medida que la concentración aumenta, ΔE también incrementa, lo que indica un cambio notable en el color con el aumento de almidón.

Tabla 12. Mediciones de color para las biopelículas

Parámetros de color	1%	2%	4%	6%
L^*	53.19 ± 1.00^a	51.02 ± 0.58^b	48.52 ± 0.38^c	47.53 ± 0.40^c
a^*	-0.22 ± 0.03^b	-0.18 ± 0.01^{ab}	-0.18 ± 0.03^{ab}	-0.16 ± 0.01^a
b^*	-0.65 ± 0.08^b	-0.55 ± 0.03^{ab}	-0.54 ± 0.03^a	-0.57 ± 0.02^{ab}
Croma	0.69 ± 0.07^a	0.60 ± 0.03^b	0.57 ± 0.03^b	0.59 ± 0.02^{ab}
$^{\circ}H$	70.73 ± 3.63^a	71.84 ± 1.65^a	71.50 ± 2.12^a	74.33 ± 0.41^a
ΔE	45.29 ± 1.00^c	47.46 ± 0.58^b	49.96 ± 0.38^a	50.94 ± 0.40^a

Las biopelículas muestran una disminución en la luminosidad y en la intensidad de color (croma) con el aumento de la concentración, volviéndose más oscuras y menos vibrantes. Sin embargo, hay un aumento en el valor de ΔE , indicando un cambio perceptible en el color a mayores

concentraciones. La tendencia hacia tonos verdosos (valores negativos de a^*) se mantiene, aunque disminuye ligeramente.

ESPESOR

El espesor de las biopelículas vario de acuerdo a la concentración de almidón nativo con la cual se realizaron cada una de estas. A mayor concentración de almidón el grosor de las biopelículas aumentaba y la diferencia era notoria a simple vista. En la tabla 13, se puede observar las mediciones realizadas a las biopelículas en sus distintas concentraciones.

Tabla 13. Mediciones de espesor para las biopelículas

Concentración de almidón de paterna	Espesor (mm)
1%	0.03 ± 0.0057
2%	0.10 ± 0.0057
4%	0.25 ± 0.0057
6%	0.40 ± 0.0057

HUMEDAD

En la tabla 14, se representas los resultados obtenidos de la determinación de humedad presente en las biopelículas a base de almidón de paterna, como se puede observar, a mayor concentración de almidón nativo en las películas, el % de humedad presente en estas también aumenta. }

Tabla 14. % de Humedad de las biopelículas

Porcentaje de humedad	Resultado (g/100g)
1%	1.0312 ± 0.0069
2%	1.0294 ± 0.0001
4%	0.9018 ± 0.0137
6%	0.8409 ± 0.0132

SOLUBILIDAD

La solubilidad es una propiedad importante que se relaciona con el uso que podrá tener la película comestible; por ejemplo, si se desea que proporcione resistencia a la humedad e integridad al alimento se preferirá que la película comestible sea insoluble, mientras que una película soluble se requiere sobre todo si contiene algún ingrediente específico (Montalvo y cols., 2012).

Tabla 15. Mediciones de solubilidad para las biopelículas

Concentración de los recubrimientos	% de solubilidad
1%	-57.8164±0.4550
2%	-75.5490±0.7494
4%	-61.919±0.4787
6%	-51.9784±0.7048

Los resultados obtenidos de las películas de almidón de paterna, nos indican que estas son insolubles, de tal manera que probablemente se deba a que este almidón, forma una estructura densa y entrecruzada.

Las biopelículas de almidón son insolubles en agua debido a la formación de una estructura densa y entrecruzada, la presencia de componentes hidrofóbicos, modificaciones químicas y un procesamiento adecuado. Estos factores ayudan a que las moléculas de agua no puedan romper la red polimérica, haciendo que la biopelícula sea resistente a la disolución.

PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA

La permeabilidad al vapor de agua de las biopelículas de paterna se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 16. Mediciones de solubilidad para las biopelículas

% almidon	PVA
1	0.00376
2	0.00377
4	0.00251
6	0.00230

El valor de la PVA es bajo, lo que indica que las biopelículas de almidón de paterna, ayudan a prevenir migración de agua, es decir, a que no haya ganancia ni pérdida.

La PVA es una medida de qué tan efectiva es una biopelícula para actuar como barrera al vapor de agua. Una baja PVA indica que la película es una buena barrera, limitando el paso de vapor de agua y ayudando a prevenir la pérdida o ganancia de humedad del producto que protege. Por el contrario, una alta PVA implica que la película permite un mayor paso de vapor de agua, lo cual puede ser beneficioso en ciertos contextos donde se desea que los productos respiren.

La permeabilidad al vapor de agua está vinculada con la estructura y la composición de la biopelícula. Biopelículas que tienen una estructura más densa y homogénea suelen tener menor PVA, mientras que aquellas con una estructura más porosa permiten un mayor paso de vapor de agua. Factores como la adición de plastificantes, la proporción de amilosa a amilopectina y la incorporación de otros polímeros o aditivos pueden alterar la PVA de la biopelícula.

La PVA de una biopelícula es un indicador crucial para determinar su aplicación potencial en la industria alimentaria y en otros sectores. Las biopelículas con propiedades de baja permeabilidad al vapor de agua son ideales para empaque de alimentos que necesitan protección contra la humedad, mientras que las que tienen una permeabilidad más alta pueden ser útiles para aplicaciones que requieren cierta transpirabilidad. La selección adecuada del tipo de biopelícula y su PVA puede contribuir a mejorar la vida útil y la calidad de los productos que protege.

BIODEGRADABILIDAD

La biodegradabilidad se define como la capacidad de un material de descomponerse en dióxido de carbono, metano, agua y componentes orgánicos o biomasa, cuyo mecanismo predominante es la acción enzimática de microorganismos que se miden por ensayos estandarizados, probados en períodos y condiciones de almacenamiento específicos (Solano y cols., 2020).

En el caso de las biopelículas de almidón de paterna, todas presentaron una buena biodegradabilidad, siendo esta total a los 30 días.

EVALUACIÓN DEL RECUBRIMIENTO COMESTIBLE ELABORADO A BASE DE ALMIDÓN DE PATERNA (*INGA PATERNO HARMS*) SOBRE LA CALIDAD POSTCOSECHA DE MANZANA (*GOLDEN DELICIOUS*)

ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL DE LA MANZANA (*Golden delicious*)

En la tabla 17, se presentan los resultados obtenidos de los análisis químicos proximales realizados a la manzana (*Golden Delicious*).

Tabla 17.- Análisis proximal de las manzanas

Parámetro	Resultado (g/100g)
Humedad	82.68±0.2545
Cenizas	2.33±0.3102
Proteína cruda	4.371±0.0593
Lípidos totales	0.38±0.0702
Fibra	12.68±0.0952

De acuerdo a los datos anteriores podemos observar que la manzana mostro un porcentaje de humedad del 82.68% similar al 85.22% reportado por (Tirado y cols., 2016) en manzanas (*Golden Delicious Smoothee*).

El contenido de cenizas presente en la manzana (*Golden Delicious*) fue de 2.33% contenido mayor al 0.35% reportado por (cubas y cols., 2016).

En el caso de la proteína, el contenido fue de 4.73%, debajo del 5.18% reportado por (Ibarra y cols., 2022) en el bagazo de manzana.

Por otro lado, el contenido de lípidos totales presentes en la manzana (*Golden Delicious*) fue de 0.3824%, por encima del 0.078% publicado por (Cortez., 2018).

En el contenido de fibra de la manzana (*Golden Delicious*) se obtuvo 12.68%, muy por encima del 0.4% reportado (Quiñones., 2019).

PÉRDIDA DE PESO

La cantidad de agua durante el almacenamiento afecta fundamentalmente la firmeza de los tejidos vegetales, por lo que la pérdida de agua va a afectar a diversas funciones metabólicas, pero sobre todo a cambios en la textura lo que conlleva a una pérdida del "estado fresco" del producto vegetal y por consiguiente pérdida de peso, por lo que el mantenimiento de la proporción de agua en los productos vegetales es esencial para mantener la calidad (Martínez y cols., 2007). El principal propósito de películas y recubrimientos comestibles es controlar la transferencia de gases (O_2 , CO_2 y etileno), aromas y aceites del interior del alimento, evitan la pérdida de firmeza y humedad (Mora y cols., 2021).

En la figura 13, puede observarse la pérdida de peso de las manzanas (*Golden Delicious*), expresadas en porcentaje y en función de tiempo de almacenamiento (Días). De acuerdo a los resultados obtenidos en función a los pesos registrados, se puede notar una diferencia notoria en cuanto al porcentaje de pérdida de peso de las manzanas recubiertas y las manzanas sin recubrir. Esto nos confirma que el recubrimiento comestible disminuye la pérdida de humedad en las manzanas recubiertas durante el periodo de almacenamiento, a diferencia de las manzanas sin tratamiento.

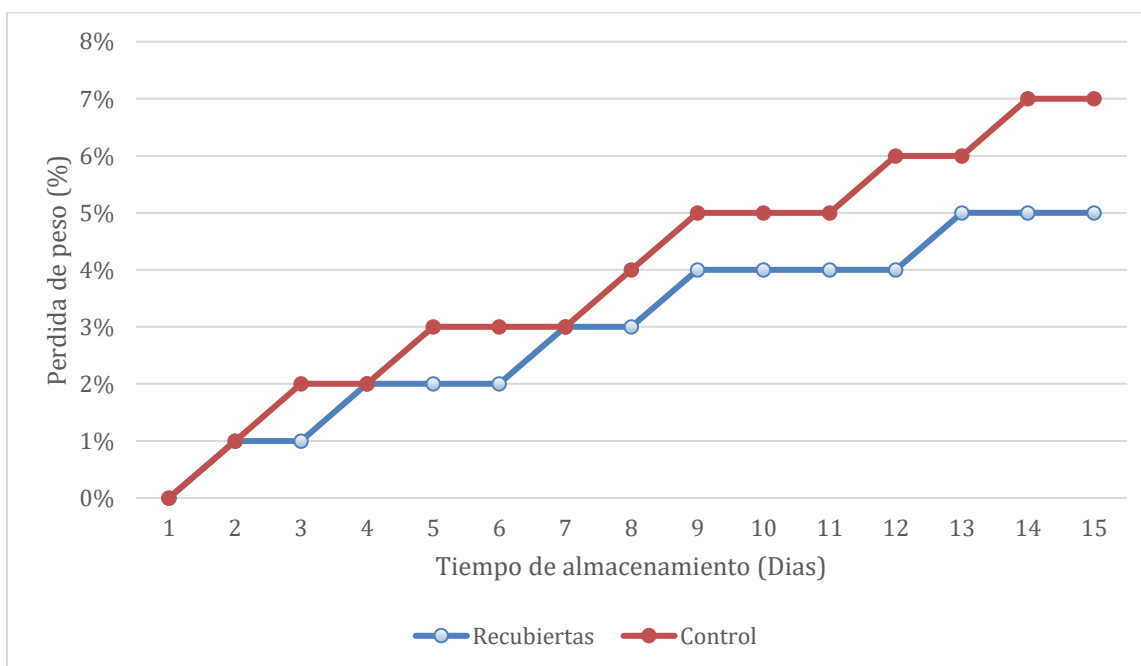


Figura 12. Pérdida de peso de las manzanas

En la figura siguiente, se muestra un comparativo de las manzanas, después de 15 días de tratamiento.



Figura 13. Comparativo de la apariencia de las manzanas en el 15 día de tratamiento.

- a) Manzana sin recubrir b) manzana recubierta

pH

El pH es el índice logarítmico que mide la concentración de iones de hidrógeno presentes en una solución y se calcula mediante el uso de un potenciómetro o también llamado pHmetro, el cual mediante una escala numérica que va del 1 al 14 determina si la solución evaluada presenta un pH neutro (7), ácido (1-6) o alcalino (8-14) (Tovar., 2018). Los datos obtenidos en la investigación muestran que no hubo una diferencia significativa en cuanto a los niveles de pH en las manzanas durante los días de almacenamiento, el pH de las manzanas recubiertas estuvo por debajo de las manzanas sin recubrir manteniéndose en un parámetro de 4.2 a 4 aproximadamente, el contenido de pH es similar al reportado por (Pérez y cols., 2024), que fue de 3.78 sobre manzanas (*Golden Delicious*) recubiertas con quitosana.

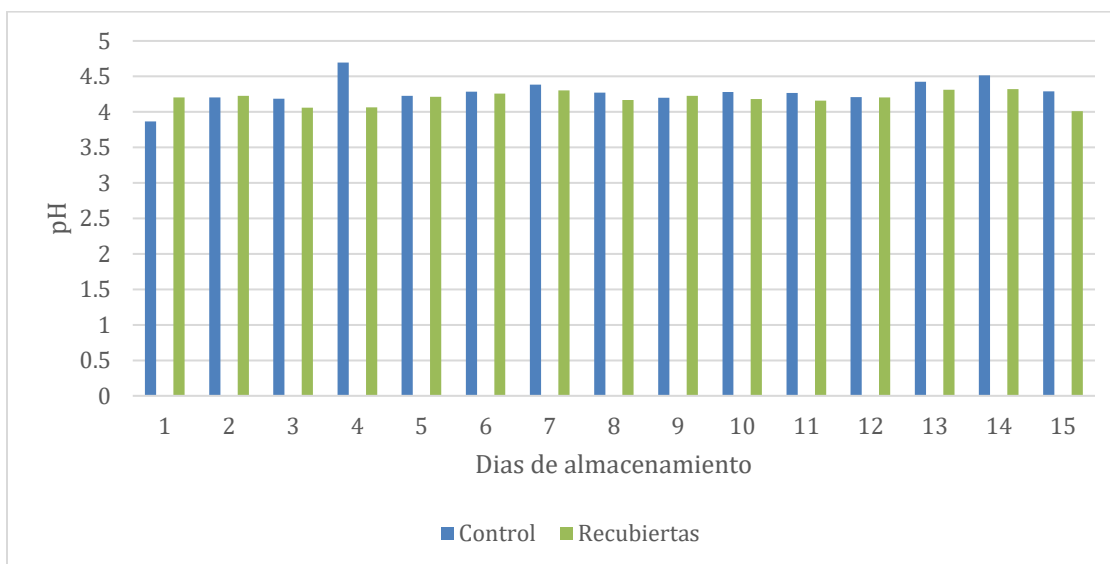


Figura 14. Comparativo del pH de las manzanas durante el tratamiento

ACIDEZ TITULABLE

La acidez titulable exhibe la concentración total de ácidos contenidos en el fruto (cítrico, málico, láctico, succínico, glicérico, fosfórico, clorhídrico, fumárico, tartárico, etc). Se utiliza volumetría, es decir se mide volúmenes mediante una titulación ácido-base que implica: titulante, titulado y el indicador (Cazar., 2016). Estos disminuyen significativamente a medida que avanza el estado de maduración de la fruta, como consecuencia de la hidrólisis y degradación de los carbohidratos poliméricos (sustancias pépticas y hemicelulosa), aumentando así los azúcares en solución (Carryedo et al., 2013).

En la figura 16, se puede observar el contenido de ácido cítrico de las manzanas recubiertas con el almidón de semillas de paterna y las manzanas sin recubrir durante los 15 días de almacenamiento. De acuerdo a los resultados que se pueden observar, a partir del día 13 las manzanas recubiertas presentaron una diferencia significativa a las manzanas sin recubrir en cuanto a los niveles de acidez.

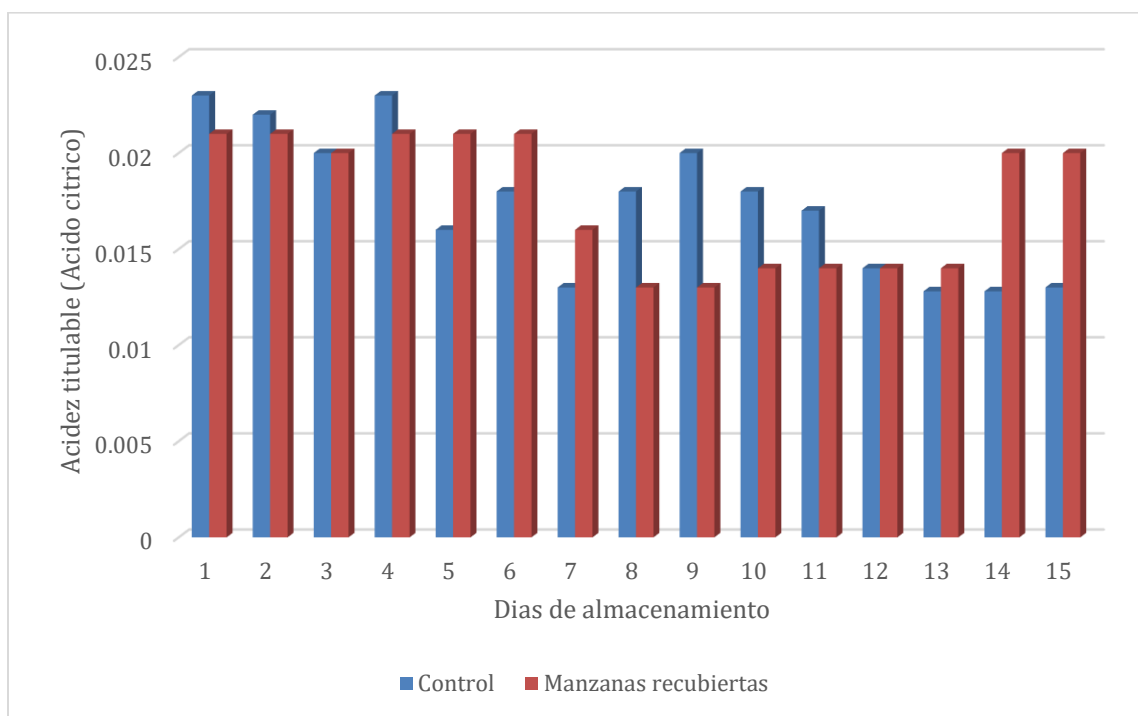


Figura 15. Comparativo de la acidez titulable de las manzanas durante el tratamiento

FUERZA DE PENETRACIÓN

La firmeza en frutas es un parámetro muy importante porque, además de ser un indicador de la textura, también define, en gran parte, el potencial de postcosecha en especies frutales (Seminario., 2022). En la figura 17, puede observarse la firmeza de las manzanas recubiertas y las manzanas sin recubrir. Con base a los datos obtenidos durante los días de almacenamiento, se puede distinguir una diferencia notoria sobre las manzanas recubiertas y las manzanas sin recubrir. Esto se debe en gran medida a que durante los días de almacenamiento las manzanas perdieron humedad y con ello disminuyeron su firmeza es así que la fuerza que se necesitaba para penetrar a las manzanas era cada vez menor. Las manzanas recubiertas tuvieron una menor pérdida de peso lo que significa que tuvieron una menor deshidratación que las manzanas sin recubrir. Por lo tanto, los recubrimientos comestibles desarrollados con almidón de las semillas de paterna favorecieron la firmeza de las manzanas recubiertas.

La firmeza disminuye durante la expansión o crecimiento de la fruta, la cual coincide con la reducción de la densidad de las células, el incremento del volumen celular y los espacios de aire. En consecuencia, la pared celular no solo mantiene íntegra la estructura durante el crecimiento sino también permite la expansión del tamaño de célula y el espacio de aire extracelular. La firmeza específica de las manzanas está relacionada con otras características de calidad (rigidez, porcentaje de jugo, contenido de sólidos solubles, parámetros de color) estas características al ser controladas dan como resultado una mayor firmeza y aumento de jugo (Rojas., 2017).

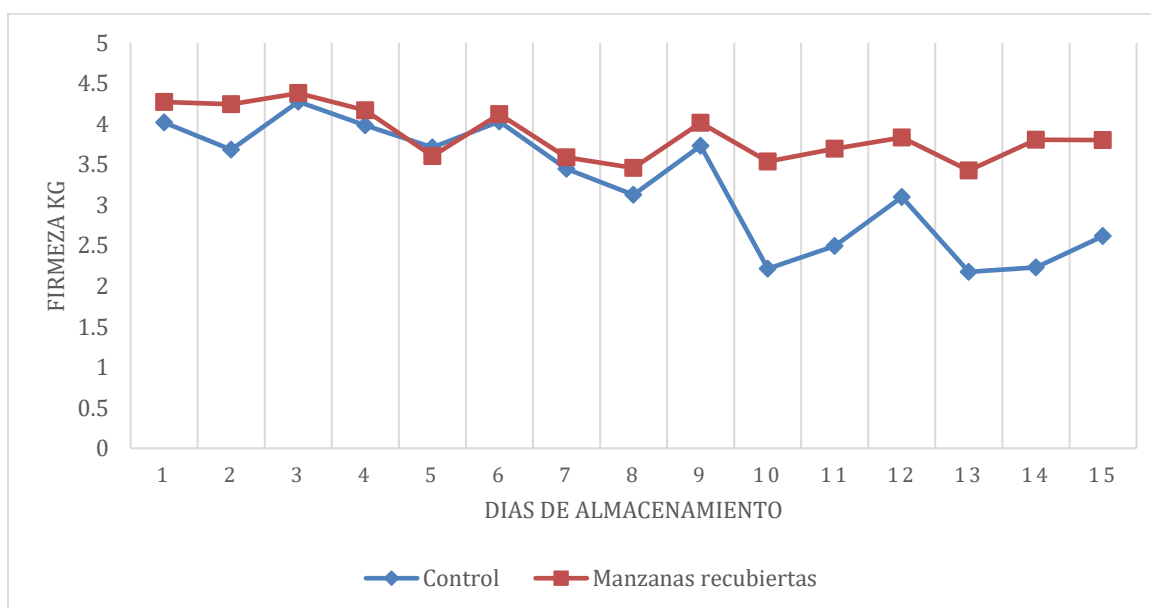


Figura 16. Comparativo de la firmeza de las manzanas durante el tratamiento

SOLIDOS SOLUBLES (°BRIX)

Los grados Brix (símbolo °Bx) miden el contenido total de sacarosa disuelta en un líquido. Medir la cantidad de azúcar en la fruta fresca es esencial para conocer su estado de madurez y el momento óptimo de su cosecha, según el tipo de producto y su variedad concreta.

Los valores de °Brix de las manzanas recubiertas y sin recubrir con almidón de paterna nativo se pueden observar en la figura #. De acuerdo con los resultados presentados, se puede observar que durante el periodo de almacenamiento las manzanas recubiertas y las manzanas sin recubrir no presentaron una diferencia muy notoria en cuanto al contenido de sólidos solubles. Sin embargo, las manzanas recubiertas presentaron un contenido mas bajo durante el periodo de este periodo. En estudios realizados por Vargas *et al.*, (2006) en fresas recubiertas con películas elaboradas a base de quitosano y ácido oleico (1:1) reportaron que no se presentó un cambio significativo en su contenido de sólidos solubles durante su almacenamiento por 10 días.

Figuroa et al. (2011), afirman que la disminución de los sólidos solubles en los frutos recubiertos puede estar relacionado con la menor tasa de respiración exhibida, que afectan la síntesis y degradación de compuestos de reserva en el ciclo de Krebs, que en el caso de los frutos son los azúcares y los ácidos orgánicos.

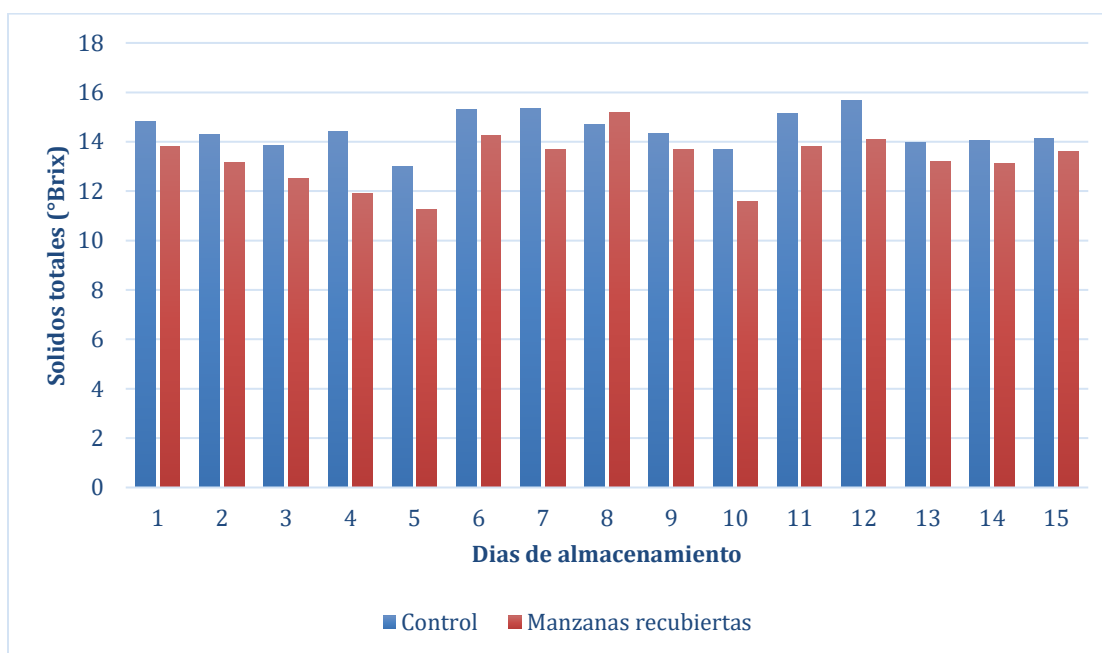


Figura 17. Comparativo de los sólidos totales de las manzanas durante el tratamiento

COLOR

El valor L^* , que indica la claridad u oscuridad de la muestra (siendo 100 completamente blanco y 0 completamente negro), disminuye a lo largo del almacenamiento. Inicialmente, las manzanas tienen un valor de L^* de 78.59, indicando un color relativamente claro. A los 15 días, el valor L^* baja a 62.0, lo que significa un oscurecimiento general, se presenta una disminución constante, especialmente notoria a partir del día 11, lo cual puede asociarse con la oxidación o deshidratación de la superficie de las manzanas.

El valor de a^* aumenta de 2.00 en el día 0 a un máximo de 8.04 en el día 8, lo que indica una tendencia hacia un color más rojo a medida que avanzan los días. Después, los valores de a^* fluctúan, pero permanecen más altos que el valor inicial. Esto sugiere que las manzanas tienden a volverse más rojizas durante el almacenamiento, lo cual puede deberse a procesos de maduración o cambios químicos en la piel.

Los valores de b^* muestran un incremento desde 36.62 en el día 0 hasta un máximo de 51.93 en el día 6. Posteriormente, los valores descienden, alcanzando 30.64 al día 15. El componente amarillo es más pronunciado en los primeros 10 días, lo que podría indicar un proceso de maduración, mientras que la reducción hacia el final del período sugiere cambios que pueden estar relacionados con el deterioro o envejecimiento de la fruta.

El croma, que mide la saturación o pureza del color, aumenta desde 36.68 en el día 0 a un pico de 52.50 en el día 8. A partir de ese punto, se observa una disminución hasta 30.89 en el día 15. La intensidad del color de las manzanas aumenta inicialmente, alcanzando su punto máximo entre los días 6 y 8, para luego reducirse. Esto podría correlacionarse con el aumento de la madurez seguido por el inicio de la descomposición.

Hue, que describe el tono del color, comienza en 86.86° y muestra variaciones menores a lo largo del almacenamiento, terminando en 82.64° al día 15. Aunque hay fluctuaciones, el tono se mantiene en un rango que sugiere un color amarillento a lo largo del periodo de almacenamiento. Sin embargo, los cambios leves pueden indicar un cambio en la tonalidad a medida que la manzana envejece y se oxida.

Tabla 18. Análisis de color de las manzanas sin recubrir

Tiempo (días)	a*	b*	L*	Croma	°H
0	2.00±0.10 ^g	36.62±1.60 ^{bc}	78.59±0.42 ^a	36.68±1.60 ^{bc}	86.86±0.05 ^{ab}
1	2.48±0.55 ^{fg}	51.05±0.75 ^a	73.87±0.17 ^{bc}	51.11±0.75 ^a	87.22±0.62 ^a
2	4.25±0.14 ^{cdefg}	42.17±12.37 ^{ab}	76.78±3.78 ^{ab}	42.40±12.3 ^{ab}	83.86±1.9 ^{abc}
3	5.09±1.61 ^{bcdef}	51.223±0.18 ^a	73.99±1.54 ^{abc}	51.49±0.16 ^a	84.33±1.79 ^{abc}
4	3.69±0.22 ^{efg}	45.88±1.75 ^{ab}	76.01±1.39 ^{ab}	46.03±1.76 ^{ab}	85.41±0.15 ^{abc}
5	4.23±0.21 ^{cdefg}	48.23±1.07 ^a	75.27±1.32 ^{abc}	48.41±1.07 ^a	84.99±0.23 ^{abc}
6	6.48±0.91 ^{abcd}	51.93±1.24 ^a	74.01±1.73 ^{abc}	52.33±1.34 ^a	82.90±0.81 ^{abc}
7	7.04±0.40 ^{ab}	51.17±1.22 ^a	75.26±0.78 ^{abc}	51.65±1.25 ^a	82.17±0.29 ^c
8	8.04±1.77 ^a	51.87±2.50 ^a	71.28±1.85 ^c	52.50±2.64 ^a	81.22±1.72 ^c
9	6.71±0.21 ^{abc}	46.04±3.73 ^{ab}	75.85±1.24 ^{abc}	46.53±3.68 ^{ab}	81.66±0.83 ^c
10	6.29±0.48 ^{abcde}	49.13±1.26 ^a	74.06±0.56 ^{abc}	49.54±1.21 ^a	82.70±0.68 ^{bc}
11	3.58±0.66 ^{efg}	29.23±0.40 ^c	65.81±0.78 ^d	29.45±0.47 ^c	83.02±1.19 ^{abc}
12	4.06±0.91 ^{cdefg}	30.87±1.02 ^c	65.72±0.62 ^d	31.15±1.12 ^c	82.54±1.44 ^{bc}
13	3.91±1.60 ^{defg}	28.94±0.76 ^c	65.17±1.58 ^d	29.23±0.98 ^c	82.36±2.88 ^c
14	3.65±1.38 ^{efg}	28.64±1.06 ^c	64.69±0.94 ^d	28.90±0.92 ^c	82.68±2.91 ^{bc}
15	3.93±0.53 ^{defg}	30.64±1.66 ^c	62.09±1.95 ^d	30.89±1.59 ^c	82.64±1.31 ^{bc}

Media aritmética ± error estándar. Los valores con la mismo literal entre columnas son estadísticamente iguales según la prueba de Tukey ($p = 0.05$).

En el caso de las manzanas recubiertas, el valor L^* comienza en 78.59, lo que indica un color claro, y muestra una disminución hacia el día 15, con un valor final de 65.09. Esto representa un oscurecimiento gradual de las manzanas a lo largo del tiempo. Esta disminución en la luminosidad sugiere una pérdida de frescura y un oscurecimiento debido a procesos de oxidación y degradación de los tejidos durante el almacenamiento.

El parámetro a^* varía significativamente, comenzando en 2.01 y alcanzando un máximo de 7.33 en el día 7, lo que indica un aumento en el componente rojo. Sin embargo, el valor mínimo es de -1.33 en el día 1, lo que implica un posible cambio temporal hacia un tono más verde. Las manzanas tienden a volverse más rojizas con el tiempo, pero la variabilidad observada puede reflejar fluctuaciones en la maduración o condiciones externas de almacenamiento.

El valor b^* muestra un aumento hasta un máximo de 54.41 en el día 9 y luego desciende a 28.60 en el día 15. Esto indica un tono amarillo más pronunciado durante la primera mitad del almacenamiento. El descenso en los valores de b^* hacia el final del periodo sugiere una pérdida de intensidad amarilla, posiblemente por envejecimiento y degradación de la cáscara.

El croma sigue una tendencia ascendente hasta el día 9, con un valor máximo de 54.87, y luego disminuye a 28.80 en el día 15. Un croma más alto implica un color más saturado y vibrante, mientras que la disminución refleja un color más apagado.

La intensidad del color se incrementa en los primeros días, sugiriendo maduración, y disminuye en los últimos días, reflejando deterioro.

Hue comienza en 86.86° (un tono amarillo) y muestra variaciones menores a lo largo del tiempo, pero con un descenso notorio a 79.21° en el día 14. Esto sugiere un desplazamiento hacia un tono menos amarillo y más hacia el rojo.

Los valores más bajos al final del periodo de almacenamiento indican que el color de las manzanas cambia hacia tonos más rojizos o marrones, posiblemente relacionados con el inicio del deterioro.

Tabla 19. Análisis de color de las manzanas con recubrimientos

Tiempo (días)	a*	b*	L*	Croma	°H
0	2.01±0.10 ^f	36.62±1.60 ^c	78.59±0.42 ^a	36.68±1.60 ^c	86.86±0.05 ^a
1	-1.33±0.46 ^g	48.89±1.11 ^{ab}	73.52±0.72 ^{abc}	48.91±1.12 ^{ab}	-88.45±0.51 ^c
2	2.64±0.67 ^{ef}	50.27±1.15 ^{ab}	74.05±0.12 ^{abc}	50.34±1.18 ^{ab}	87.00±0.70 ^a
3	3.86±1.87 ^{cdef}	50.56±2.84 ^{ab}	74.17±1.85 ^{abc}	50.72±2.97 ^{ab}	85.70±1.86 ^a
4	3.99±1.00 ^{cdef}	47.90±1.60 ^{ab}	69.10±8.64 ^{bcd}	48.07±1.47 ^b	85.21±1.32 ^a
5	4.69±0.40 ^{bcde}	48.87±0.53 ^{ab}	76.39±1.23 ^{ab}	49.10±0.55 ^{ab}	84.53±0.43 ^{ab}
6	6.21±0.43 ^{abc}	47.57±4.92 ^{ab}	76.83±1.78 ^{ab}	47.98±4.92 ^b	82.54±0.50 ^{ab}
7	7.33±0.81 ^a	53.63±1.14 ^{ab}	73.79±1.00 ^{abc}	54.13±1.20 ^{ab}	82.22±0.76 ^{ab}
8	6.37±0.57 ^{abc}	51.24±0.27 ^{ab}	72.71±0.55 ^{abc}	51.63±0.33 ^{ab}	82.92±0.59 ^{ab}
9	7.09±0.62 ^{ab}	54.41±2.70 ^a	73.43±0.28 ^{abc}	54.87±2.74 ^a	82.58±0.39 ^{ab}
10	6.94±0.23 ^{ab}	47.29±1.95 ^b	73.80±0.37 ^{abc}	47.80±1.91 ^b	81.64±0.56 ^{ab}
11	3.30±0.48 ^{def}	29.37±1.20 ^d	65.12±0.46 ^{cd}	29.55±1.21 ^d	83.59±0.87 ^{ab}
12	2.55±0.28 ^{ef}	30.83±0.53 ^{cd}	65.64±0.22 ^{cd}	30.94±0.54 ^{cd}	85.28±0.49 ^a
13	4.87±2.17 ^{abcde}	27.87±5.44 ^d	61.00±7.25 ^d	28.42±4.86 ^d	79.29±7.02 ^b
14	5.52±0.39 ^{abcd}	28.98±0.64 ^d	60.21±2.70 ^d	29.51±0.61 ^d	79.21±0.84 ^b
15	3.42±0.20 ^{def}	28.60±1.12 ^d	65.09±0.84 ^{cd}	28.80±1.11 ^d	83.17±0.50 ^{ab}

Media aritmética ± error estándar. Los valores con la mismo literal entre columnas son estadísticamente iguales según la prueba de Tukey ($p = 0.05$).

Los resultados indican que, aunque el recubrimiento de almidón de paterna ayuda a reducir el cambio de color, no es completamente efectivo en preservar la apariencia de las manzanas a largo plazo. Se observan cambios significativos en el color y la luminosidad, lo que sugiere que las condiciones de almacenamiento y el tiempo son factores críticos en la calidad del color de las manzanas recubiertas.

EVALUACIÓN SENSORIAL

En el caso de la evaluación sensorial, las manzanas recubiertas y sin recubrir fueron evaluadas por un panel de jueces no entrenados, en los parámetros siguientes: color, apariencia, sabor, olor y textura, en el día 15.

A continuación, se presentan los resultados:

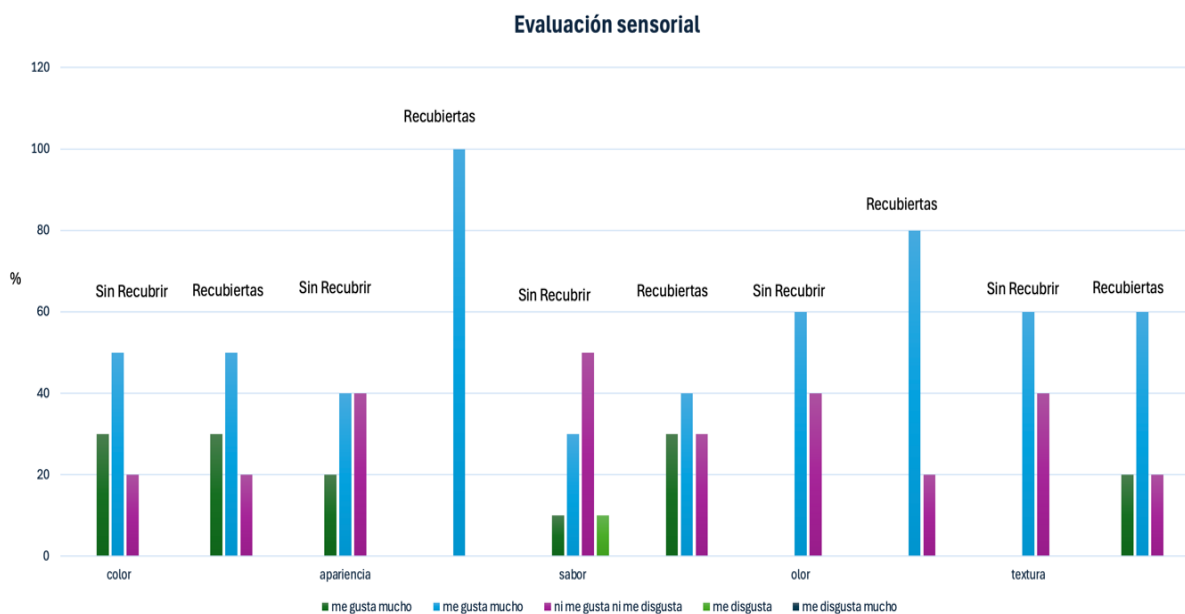


Figura 18. Evaluación sensorial de las manzanas

En el caso del color no existen diferencias entre la percepción de los jueces, sin embargo, en la apariencia general, las manzanas recubiertas presentan la mayor preferencia, en el caso del sabor, se evidencia mucha similitud entre ambas manzanas, sin embargo, de manera general, en la evaluación de los 5 atributos, las manzanas recubiertas presentan una tendencia a la preferencia.

Las características organolépticas de las manzanas son el resultado de una compleja interacción entre su composición química, su estructura física y su entorno de crecimiento. Las manzanas *Golden Delicious* son una variedad muy apreciada por sus características sensoriales distintivas.

El color de las manzanas Golden Delicious es principalmente amarillo verdoso, y esto se debe a varios factores: en las Golden Delicious, la concentración de carotenoides, como la luteína, es alta, lo que les da su característico color dorado. El aroma de las manzanas Golden Delicious es dulce y fresco, debido a la presencia de varios compuestos volátiles, entre estos el acetato de etilo y el acetato de hexilo, aportando notas frutales y florales.

Estas manzanas son generalmente de forma redonda o ligeramente cónica y tienen un tamaño medio. Su forma uniforme y su color amarillo brillante son visualmente atractivos. La piel de las Golden Delicious es suave y puede tener una ligera cera natural que les da un brillo atractivo.

La textura de las manzanas Golden Delicious es crujiente y jugosa, lo que las hace muy agradables al comer. La cantidad y calidad de la pectina en la pared celular contribuyen a la firmeza y la textura crujiente. Estas manzanas tienen un alto contenido de agua, lo que contribuye a su jugosidad. La textura se mantiene firme y crujiente cuando están frescas, pero puede volverse más blanda con el almacenamiento prolongado. Estas manzanas son conocidas por su dulzura, debido a la alta concentración de azúcares como la fructosa y la glucosa. Aunque son más dulces que ácidas, todavía contienen ácido málico, que contribuye a un balance agradable entre dulzura y acidez.

CONCLUSIONES

Los recubrimientos comestibles ofrecen una nueva alternativa para la conservación de frutas y hortalizas, alargando su vida útil. El almidón es un polímero que se utiliza comúnmente para realizar recubrimientos y películas, debido a sus múltiples propiedades.

En esta investigación, se obtuvo almidón de la paterna, fruta endémica del sur de México, sobre la que no hay muchas investigaciones. El almidón de esta fruta tiene capacidad para formar películas, aparentemente se observan flexibles y transparentes; sin embargo, al analizar sus propiedades mecánicas se observa que, a mayor contenido de almidón, estas disminuyen.

Durante el periodo de evaluación de la vida de anaquel de 15 días, las manzanas del grupo control mostraron deterioro fisiológico gradual, comparadas con las manzanas recubiertas, estas presentaron una mejor apariencia y cualidades organolépticas, demostrando que los recubrimientos elaborados con almidón de paterna pueden constituir una alternativa eficiente para la conservación fisiológica de las manzanas al prevenir el deterioro del fruto.

REFERENCIAS DOCUMENTALES

- VILLARROEL, Pía, et al. Almidón resistente: Características tecnológicas e intereses fisiológicos. *Revista chilena de nutrición*, 2018, vol. 45, no 3, p. 271-278.
- RUELAS-CHACÓN, Xochitl, et al. Conservación de frutas y hortalizas frescas y mínimamente procesadas con recubrimientos comestibles. *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila*, 2013, vol. 5, no 9, p. 31-37.
- SÁNCHEZ MENDOZA, Noemi A., et al. Caracterización física, nutricional y no nutricional de las semillas de Inga paterno. *Revista chilena de nutrición*, 2016, vol. 43, no 4, p. 400-407.
- GARCÍA, Omar Cástor Ponce, et al. PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE MANZANA GOLDEN DELICIOUS POR EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN CON MACRONUTRIENTES.
- DE LORENA RAMOS-GARCÍA, Margarita; ROMERO-BASTIDA, Claudia; BAUTISTA-BAÑOS, Silvia. Almidón modificado: Propiedades y usos como recubrimientos comestibles para la conservación de frutas y hortalizas frescas. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 2018, vol. 19, no 1.
- SADER. 2024. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [En línea] 24 de septiembre de 2024 [Citado el: 24 de Septiembre del 2024.] <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/la-manzana-un-fruto-versatil-y-saludable-que-conquista-los-campos-mexicanos?idiom=es>
- MORENO, Gabriela Hermosillo, et al. Detección de patulina en manzana “Golden Delicious” y en productos derivados elaborados industrial y artesanalmente comercializados en México. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 2015, vol. 16, no 2, p. 281-286.
- FERNÁNDEZ VALDÉS, Daybelis, et al. Películas y recubrimientos comestibles: una alternativa favorable en la conservación poscosecha de frutas y hortalizas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 2015, vol. 24, no 3, p. 52-57.
- CASTAÑEDA, Ignacio Cepeda, et al. Evaluación de tratamientos pre y poscosecha con CaCl₂ en la frigoconservación y calidad de manzana cv. Golden delicious. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 2014, vol. 15, no 1, p. 54-60.
- GERONIMO BETANZOS, Karen Itzel. Caracterización estructural y morfológica del almidón de paterna para evaluar su potencial alimenticio. 2022.
- PAREDES, Mera; STALLIN, José. Manejo poscosecha de frutas y hortalizas. 2015.

MARTÍNEZ-GONZÁLEZ, Mónica Elizabeth, et al. Poscosecha de frutos: maduración y cambios bioquímicos. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 2017, vol. 8, no SPE19, p. 4075-4087.

CRISOSTO, C. H.; CRISOSTO, G. M.; BERMEJO, J. R. Aplicación de sensores no destructivos para mejorar la satisfacción de los consumidores de frutas frescas y el aumento de su consumo. *Department of Plant Sciences, University of California, Davis, USA*, 2018.

BARRIENTOS, Juan Najarro; GÓMEZ, Oscar Tinoco; EVANGELISTA, Félix Huari. Simulación de la actividad respiratoria en pos-cosecha de plátano (*Musa cavendishii*) bajo atmósfera modificada para mejora del tiempo de almacenamiento. *Industrial data*, 2016, vol. 19, no 2, p. 96-103.

DE LA VEGA QUINTERO, Juan Carlos, et al. Diseño estadístico para evaluar el efecto inhibidor del CO₂ sobre la tasa de respiración de frutas y hortalizas. En *Congreso de Ciencia y Tecnología ESPE*. 2018.

RIVERA RUÍZ, Andrés. *Aplicación de absorbentes de etileno a escala doméstica: Estudio de la vida útil y calidad de frutas y verduras frescas*. 2020. Tesis de Licenciatura. Universitat Politècnica de Catalunya.

MERA, Gabriela Campos, et al. FACTORES DETERMINANTES EN EL PROCESO DE MADURACIÓN Y SU RELACIÓN CON LOS DIFERENTES CAMBIOS EN FRUTAS Y HORTALIZAS. *RECIENA*, 2024, vol. 4, no 1, p. 79-86.

MEJÍA, Yeison Stiven Jiménez. *Clasificación automática de estados de madurez de frutas utilizando imágenes hiperespectrales y redes neuronales convolucionales profundas*. 2023. Tesis Doctoral. Universidad Tecnológica de Pereira.

ZAPATA, MANUEL PINTO; RICO, ALVARO MOZO. MODULO MANEJO DE COSECHA Y POSCOSECHA DE LAS FRUTAS. *Colombia: Corpoica*, 2017.

GARCÍA MUÑOZ, María Cristina, et al. Identificación de las causas de deterioro de la calidad de la mora y propuestas para su reducción. 2020.

CORONA LEO, Lizbeth Sandra; HERNÁNDEZ-MARTÍNEZ, Diana Maylet; MEZAMÁRQUEZ, Ofelia Gabriela. Análisis de parámetros fisicoquímicos, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante en piel, pulpa y fruto entero de cinco cultivares de manzana (*Malus domestica*) cosechadas en México. *Biotechnia*, 2020, vol. 22, no 1, p. 166-174.

KUMAR, Anshul, et al. Información completa sobre las mutaciones deportivas de los brotes de Apple (*Malus × domestica* Borkh.) y las regulaciones epigenéticas. *Scientia Horticulturae*, 2022, vol. 297, pág. 110979.

GARCÍA-ESPITIA, S. G., et al. Variación de parámetros fisicoquímicos del jugo de manzana en una vida de anaquel de tres meses. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 2023, vol. 8, no 1, p. 230-237.

KUMAR, Manoj, et al. Semilla de manzana (*Malus domestica* Borkh.): Una revisión sobre las bioactividades que promueven la salud y su aplicación como ingrediente alimentario funcional. *Biociencia de los alimentos*, 2022, vol. 50, pág. 102155.

JUÁREZ, Lissett M. Cubas; LEONARDO, Oscar P. Seclén; ROQUE, Noemí León. Influencia del porcentaje de adición de quinua (*Chenopodium quinoa*), piña (*Ananas comosus* L. Merr) y nivel de dilución en la fortificación del néctar de manzana (*Malus domestica*) sobre la calidad del producto. *Agroindustrial science*, 2016, vol. 6, no 1, p. 97-105

MOROCHO, Geovanny, et al. Aprovechamiento de los residuos agrícolas del epicarpio de la manzana (*Pyrus malus linnaeus*) para la obtención de harina. *FACSALUD-UNEMI*, 2021, vol. 5, no 9, p. 48-56..

ACQUAVIA, Maria Assunta, et al. Analytical methods for extraction and identification of primary and secondary metabolites of apple (*Malus domestica*) fruits: A review. *Separations*, 2021, vol. 8, no 7, p. 91.

CHANG, Jaime Vera, et al. Mucílago de cacao (ccn-51) en la elaboración de almíbar de manzana con propiedades antioxidantes. *REVISTA MULTIDISCIPLINARIA DE DESARROLLO AGROPECUARIO, TECNOLÓGICO, EMPRESARIAL Y HUMANISTA.*, 2023, vol. 5, no 1, p. 10-10.

STEFFANIA, LOPEZ VALENZUELA KAREN. *INFLUENCIA DEL KIWI (Actinidia deliciosa) Y SÁBILA (Aloe vera) EN LAS PROPIEDADES FUNCIONALES DE UNA BEBIDA DE MANZANA (Pyrus malus)*. 2022. Tesis Doctoral. UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR.

FILIPOVICH, Rosario Hidalgo, et al. Beneficios de la manzana (*Malus domestica*) en la salud. *Revista de Investigación e Información en Salud*, 2016, vol. 11, no 28, p. 58-64.

VÁZQUEZ-CHÁVEZ, L.; ZARAZÚA-SÁNCHEZ, Z. Extracción de pectina a partir de bagazo de manzana y su análisis. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 2023, vol. 8, no 1, p. 680-685.

HERMOSILLO MORENO, Gabriela; TREJO MÁRQUEZ, María Andrea Asesor. DETECCIÓN DE PATULINA EN MANZANA ‘GOLDEN DELICIOUS’ Y EN PRODUCTOS DERIVADOS ELABORADOS INDUSTRIAL Y ARTESANALMENTE COMERCIALIZADOS EN MÉXICO.

ESCOBAR VEGA, Bryan David. *Análisis de las técnicas de deshidratación para manzana (Golden delicious) y mora (Rubus glaucus) producidas en el Cantón Cevallos*. 2020. Tesis de Licenciatura. Riobamba, Universidad Nacional de Chimborazo.

SALDÍVAR IGLESIAS, Pedro. Cultivo del Manzano (*Malus domestica*). 2017.

SOLÍS-CONTRERAS, Gisselle Anahí, et al. Ampliación de la vida útil y la calidad de las deliciosas manzanas doradas mínimamente procesadas con tres recubrimientos bioactivos combinados con aceite esencial de canela. *Alimentos*, 2021, vol. 10, núm. 3, pág. 597.

ZHANG, Tingjing y col. Detección de actividades antioxidantes y antibacterianas de los fenólicos del orujo de manzana Golden Delicious. *Revista Central de Química*, 2016, vol. 10, pág. 1-9.

FERNÁNDEZ, NATALIA, et al. Estado actual del uso de recubrimientos comestibles en frutas y hortalizas. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 2017, vol. 15, no 2, p. 134-141.

PALMA, Roberta Magnolia Mora; PÉREZ, Ana Angélica Feregrino; PADILLA, Margarita Contreras. Recubrimientos comestibles para extender la vida de anaquel de productos hortofrutícolas. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 2021, vol. 5, no 4, p. 4605-4625.

VÁZQUEZ-BRIONES, M. C.; GUERRERO-BELTRÁN, J. A. Recubrimientos de frutas con biopelículas. *Temas selectos de Ingeniería de Alimentos*, 2013, vol. 7, no 2, p. 5-14.

DE ANCOS, Begoña, et al. Uso de películas/recubrimientos comestibles en los productos de iv yv gama. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 2015, vol. 16, no 1, p. 8-17.

SUHAG, Rajat, et al. Film formation and deposition methods of edible coating on food products: A review. *Food Research International*, 2020, vol. 136, p. 109582.

VALENCIA-CHAMORRO, Silvia; TORRES-MORALES, Jenny. Recubrimientos comestibles aplicados en productos de iv yv Gamma. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 2016, vol. 17, no 2, p. 162-174.

VILLAFUERTE-CARRILLO, Franklin, et al. INFLUENCIA DEL USO DE RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES EN LA CONSERVACIÓN POSCOSECHA DE PRODUCTOS HORTOFRUTÍCOLAS. *Revista Científica Agropecuaria*, 2021, vol. 1, p. 43-50.

ENRÍQUEZ, Rosalba Paola Islas, et al. Avances recientes en el desarrollo de recubrimientos comestibles aplicados en productos cárnicos. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 2024, vol. 9, no 1, p. 32-42.

GARCÍA CHALÁN, Rosa Mardelid. Efecto de recubrimientos comestibles a base de proteína de soya y almidón de yuca en la conservación de saúco (*Sambucus peruviana* HBK). 2019.

DÍAZ SANTOYO, Betsabe. Efecto de la concentración de cera de candelilla y plastificante sobre las propiedades ópticas y de barrera de una película funcional a base de carragenina, candelilla y aceite de tomillo. 2018.

GARCÍA, Mónica, et al. Métodos modernos para la caracterización de películas y recubrimientos comestibles. *BioTecnología*, 2018, vol. 22, no 1, p. 37-54.

CAIZA CUZCO, Jhoanna Isabel. El almidón, su uso y efecto como recubrimiento comestible en la conservación de frutas. 2021.

SOLANO-DOBLADO, Luz Georgina; ALAMILLA-BELTRÁN, Liliana; JIMÉNEZ-MARTÍNEZ, Cristian. Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados. *TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 2018, vol. 21.

LEÓN-MÉNDEZ, Glicerio, et al. Modificación química de almidones mediante reacciones de esterificación y su potencial uso en la industria cosmética. *Archivos Venezolanos de farmacología y Terapéutica*, 2020, vol. 39, no 5, p. 620-629.

ARONE PALOMINO, Dannya. Determinación de las propiedades fisicoquímicas, tecnofuncionales y microbiológicas del almidón de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) de las variedades blanca, amarilla y morada. 2019.

SALAZAR, ANDRÉS CHÁVEZ. *Obtención de almidón modificado a partir de tres cultivares de musáceas*. 2015. Tesis Doctoral. UNIVERSIDAD DE CALDAS.

BUSTOS, Claudio Raúl Bernal, et al. Propiedades, modificaciones y usos de los almidones, con miras a la obtención de películas biodegradables. Artículo de revisión. *Revista de Investigación*, 2017, vol. 10, no 2, p. 135-152.

MUÑOZ-GIMENA, Pedro Francisco, et al. El almidón: un polímero hacia la economía sostenible. 2022.

PFISTER, Bárbara; ZEEMAN, Samuel C. Formación de almidón en células vegetales. *Ciencias de la vida celulares y moleculares* , 2016, vol. 73, pág. 2781-2807.

VELÁSQUEZ-BARRETO, Frank F.; VELEZMORO, Carmen. Propiedades reológicas y viscoelásticas de almidones de tubérculos andinos. *Scientia Agropecuaria*, 2018, vol. 9, no 2, p. 189-197.

HERNÁNDEZ-ÁNGEL, María Guadalupe; JOAQUÍN-RAMOS, Ahuitzolt. TÉCNICAS DE FORMACIÓN DE ALMIDÓN RESISTENTE PARA LA INDUSTRIA ALIMENTARIA: UNA REVISIÓN. *Revista de*, 2024, vol. 1, p. 35-43.

SARES, Luis A. Cedeño, et al. El Efecto de la acetilación sobre propiedades físicas del almidón de Banano (*M. Sapientum L.*) variedad Cavendish. *Cumbres*, 2021, vol. 7, no 1, p. 9-20.

CRUZ SANTANA, Moisés Fernando. *Comparación del contenido de amilosa y proteínas en arroz (Oryza sativa L.) y líneas avanzadas de arroz F8*. 2022. Tesis de Licenciatura. BABAHOYO: UTB, 2021.

BENAVIDES, VICTOR FERNANDO FERNANDEZ; CASTILLO, KAROL ANDREA GIL. ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD DE UNA BIOPELÍCULA FABRICADA A PARTIR DEL ALMIDÓN DE LA SEMILLA DEL MANGO TOMMY PARA USO EN INGENIERÍA DE TEJIDOS.

HANASHIRO, Isao. Estructura fina de la amilosa. *Almidón: metabolismo y estructura* , 2015, p. 41-60.

NISHIMURA, Tomoki; AKIYOSHI, Kazunari. Ingeniería de amilosa: polimerización catalizada por fosforilasa de cebadores de sacáridos funcionales para glicobiomateriales. *Reseñas interdisciplinarias de Wiley: nanomedicina y nanobiotecnología* , 2017, vol. 9, núm. 2, pág. e1423.

YARURO CÁCERES, Nelly Camila. *Evaluación de las propiedades fisicoquímicas, térmicas y microestructurales del almidón de achira (Canna edulis)*. 2018. Tesis Doctoral.

RODRÍGUEZ TORRES, Diego. *Potencial agroalimentario del almidón de arroz de tres variedades cultivadas en el departamento del Tolima*. 2015.

CHILON HUAMAN, Fanny Jhoanna; MAMANI RODRIGUEZ, Rosmery. *Caracterización de las propiedades tecnofuncionales del almidón total y cuantificación del almidón resistente de tunta y chuño*. 2019.

HUAMANÍ ROCA, Elsa. *Extracción y caracterización del almidón de dos variedades de pituca (Colocasia esculenta) de la región de Ayacucho*. 2018.

HUANCA LÓPEZ, Susana; MOLLINADO PORTUGAL, Patricia A.; PEÑARRIETA, Mauricio. *Determinación de la relación entre estructura y rendimiento de jarabe de glucosa a partir de almidón extraído de diferentes tubérculos del departamento de La Paz*. 2017. Tesis Doctoral.

DE LORENA RAMOS-GARCÍA, Margarita; ROMERO-BASTIDA, Claudia; BAUTISTA-BAÑOS, Silvia. *Almidón modificado: Propiedades y usos como recubrimientos comestibles para la conservación de frutas y hortalizas frescas*. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 2018, vol. 19, no 1.c

MARTÍNEZ, Patricia, et al. *Propiedades físicoquímicas, funcionales y estructurales de almidones nativos y acetilados obtenidos a partir de la papa (Solanum tuberosum) var. 'única'*. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 2019, vol. 85, no 3, p. 338-351.

TORRES BECERRIL, Mario; CARMONA GARCÍA, Roselis; AGUIRRE CRUZ, Andrés. *Obtención y caracterización estructural y funcional de almidón acetilado de malanga (Colocasia esculenta Schott)*. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 2015, vol. 6, no 4, p. 905-912.

HERNÁNDEZ, Jhon E., et al. *Oxidación y caracterización fisicoquímica de almidón de sagú "Marantha Arundinacea" para la elaboración de bioplástico*. 2017.

CARHUALLAY, Oscar, et al. Efecto de la concentración de hipoclorito de sodio y tiempo de oxidación sobre el grado de sustitución de grupos carboxilo, índice de absorción de agua y temperatura de gelatinización de almidón de Achira (*Canna edulis* Ker). *Agroindustrial Science*, 2020, vol. 10, no 2, p. 165-173.

HENNING, Fernanda Gabriela, et al. Non-conventional starches for biodegradable films: A review focussing on characterisation and recent applications in food packaging. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 2022, vol. 4, p. 100157.

YAN, Xudong, et al. Avances recientes en el impacto del grado de gelatinización del almidón: estructura, propiedades y aplicaciones. *Polímeros de carbohidratos* , 2024, p. 122273.

CHAKRABORTY, Ishita, et al. Una visión de las propiedades de gelatinización que influyen en los almidones modificados utilizados en la industria alimentaria: una revisión. *Tecnología de alimentos y bioprocesos* , 2022, vol. 15, núm. 6, pág. 1195-1223.

YAN, Xudong, et al. Avances recientes en el impacto del grado de gelatinización del almidón: estructura, propiedades y aplicaciones. *Polímeros de carbohidratos* , 2024, p. 122273.

Juliano, B. O., Perez, C. M., Blakeney, A. B., Castillo, T., Kongseree, N., Laignelet, B., ... & Webb, B. D. (1981). International cooperative testing on the amylose content of milled rice. *Starch? St rke*, 33(5), 157-162.

DÁVILA, Frecia Valerio. Determinación de los parámetros para la extracción de almidón del plátano bellaco (*Musa paradisiaca*). *Revista de investigación Universitaria*, 2014, vol. 3, no 2.

MARTÍNEZ, Jader; HERNÁNDEZ, Jennifer; ARIAS, Anlly. Propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón de arroz (*Oryza sativa* L) blanco e integral Physicochemical and functional properties of white and brown rice (*Oryza sativa* L) starch. *Alimentos Hoy*, 2017, vol. 25, no 41, p. 15-30.

MORENO, Paola Andrea Vargas; VARGAS, Oscar Julio Medina. Influencia del tipo de plastificante en la elaboración de bioplásticos, a partir de almidón de papa (*Solanum tuberosum*). *BISTUA Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 2019, vol. 17, no 2, p. 239-249.

TIRADO-GALLEGOS, J. M., et al. Efecto del método de aislamiento y el estado de madurez en las propiedades fisicoquímicas, estructurales y reológicas de almidón de manzana. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 2016, vol. 15, no 2, p. 391-408.

JUÁREZ, Lissett M. Cubas; LEONARDO, Oscar P. Seclén; ROQUE, Noemí León. Influencia del porcentaje de adición de quinua (*Chenopodium quinoa*), piña (*Ananas comosus* L. Merr) y nivel de dilución en la fortificación del néctar de manzana (*Malus domestica*) sobre la calidad del producto. *Agroindustrial science*, 2016, vol. 6, no 1, p. 97-105.

CORTEZ QUINTANA, Ricardo Elvis. Polifenoles totales, vitamina C y actividad antioxidante de láminas deshidratadas de pulpa de Arándano (*Vaccinium corymbosum* E.) y Manzana (*Malus domestica*), utilizando goma xantana. 2018.

IBARRA-CANTÚN, Diego, et al. Compuestos fenólicos totales y actividad antioxidante de la fermentación en estado sólido de bagazo de manzana (*Malus domestica* Borkh., var. panochera). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 2022, vol. 23, no 2.

BARRAZA JÁUREGUI, Gabriela, et al. Propiedades fisicoquímicas, funcionales y estructurales de almidones obtenidos de cinco variedades de papas nativas (*Solanum tuberosum* L.). 2020.

Granados, C., ACEVEDO, D., & HERRERA, A. (2014). Propiedades funcionales del almidón de sagu (*Maranta arundinacea*). *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 12(2), 90-96.

Perea-Flores, M. D. J., Martínez-Luna, K. L., Núñez-Bretón, L. C., Sarria-Guzmán, Y., Jiménez-Guzmán, J., Alamilla-Beltrán, L., ... & González-Jiménez, F. E. (2022). Modification by lipophilic substitution of Mexican *Oxalis tuberosa* starch and its effect on functional and microstructural properties. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 1-11.

Han, J. H., Seo, G. H., Park, I. M., Kim, G. N., & Lee, D. S. (2006). Physical and mechanical properties of pea starch edible films containing beeswax emulsions. *Journal of Food Science*, 71(6), E290-E296.

Aristizábal, J. & Sánchez, T. 2007. Guía Técnica para la Producción y Análisis de Almidón de Yuca. Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO 163. ALIMENTACIÓN - [En línea] [Citado el: 01/10/2024] Disponible en: www.fao.org

Bustillos-Rodríguez, J. C., Tirado-Gallegos, J. M., Ordóñez-Garcías, M., Zamudio-Flores, P. B., Ornelas-Paz, J., Acosta-Muñiz, C. H., Río-Velasco, C. (2019). Propiedades fisicoquímicas, térmicas y reológicas de tres almidones nativos de maíz. *Ciencia y Tecnología de los Alimentos*, 39(1), 149-157.

Puncha-arnon, S., Puttanlek, C., Rungsardthong, V., Pathipanawat, W., Uttapap, D., (2007). Changes in physicochemical properties and morphology of canna starches during rhizomal development. doi:10.1016/j.carbpol.2007.03.020

Watcharatewinkul, Y., Puttanlek, C., Rungsardthong, V., Uttapap, D., (2009b). Pasting properties of a heat-moisture treated canna starch in relation to its structural characteristics. *Carbohydr. Polym.* 75, 505–511. doi:10.1016/j.carbpol.2008.08.018

Freitas, M. and Tavares D. (2005). Caracterização do grânulo de amido de bananas (Musa AAA-Nanicão e Musa AAB-Terra). *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas. 25(2): 217-222.

Leonel, M., (2007). Análise da forma e tamanho de grânulos de amidos de diferentes fontes botânicas. *Cienc. e Tecnol. Aliment.* 27, 579–588. doi:10.1590/S0101-20612007000300024

Aprianita, A., Vasiljevic, T., Bannikova, A., Kasapis, S., (2014). Physicochemical properties of flours and starches derived from traditional Indonesian tubers and roots. *J. Food Sci. Technol.* 51, 3669–3679. doi:10.1007/s13197-012-0915-5

Yaruro Cáceres, N. C. (2018). Evaluación de las propiedades fisicoquímicas, térmicas y microestructurales del almidón de achira (*Canna edulis*) (Doctoral dissertation). <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/69533/1143232250.2019.pdf?sequence=1> [Última revisión 01 de noviembre 2024]

MEAÑO CORREA, Ninoska; CIARFELLA PÉREZ, Ana Teresa; DORTA VILLEGAS, Ana Marina. Evaluación de las propiedades químicas y funcionales del almidón nativo de ñame congo (*Dioscorea bulbifera* L.) para predecir sus posibles usos tecnológicos. *Saber*, 2014, vol. 26, no 2, p. 182-188.

OLIVA-ARTEGA, María del Mar; DUQUE-CIFUENTES, Alba Lucia; GARCÍA-ALZATE, Luz Stella. Caracterización fisicoquímica del cereal y almidón de Quinoa *Chenopodium quinoa*. *Revista Ion*, 2018, vol. 31, no 1, p. 25-29.

MONTALVO, C.; LÓPEZ-MALO, A.; PALOU, E. Películas comestibles de proteína: características, propiedades y aplicaciones. *Temas Sel. Ing. Aliment*, 2012, vol. 6, p. 32-46.

MARTÍNEZ-ROMERO, Domingo, et al. Aloe vera gel como recubrimiento comestible en frutas y hortalizas. *Universidad Miguel Hernández-España*, 2007.

SOLANO-DOBLADO, Luz Georgina; ALAMILLA-BELTRÁN, Liliana; JIMÉNEZ-MARTÍNEZ, Cristian. Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados. *TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 2018, vol. 21.

SEMINARIO LUJÁN, Lourdes Cecilia. Efecto del tiempo de almacenamiento con anhídrido sulfuroso sobre la firmeza, crecimiento de mohos y levaduras y aceptabilidad general de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) variedad Ventura. 2022.

ROJAS CANDELAS, Liliana Edith. Estudio microestructural y fisicoquímico con análisis de imágenes y multivariado en diferentes variedades de manzana como herramienta matemática de control de calidad. 2017.

CAZAR VILLACÍS, Irina Minoshka. Análisis físico-químico para la determinación de la calidad de las frutas. 2016.

TOVAR ZEVALLOS, Olenka Ximena. Comparación in vitro del pH, contenido de azúcar y acidez titulable (ácido cítrico) de bebidas endulzadas consumidas por niños en etapa escolar. 2018.

PÉREZ-PORTILLO, Edgar. Recubrimientos de manzanas amarillas (*Malus domestica*) de la variedad Golden Delicious: Cera de carnauba y cera de candelilla versus biopolímeros de quitina-quitosana. *Ambiens Techné et Scientia México*, 2024, vol. 12, no 2, p. 179-209.

Figueroa, J., Salcedo, J. y otros tres autores, Recubrimientos comestibles en la conservación del mango y aguacate, y perspectiva, al uso del propóleo en su formulacion, *Rev. Colombiana Cienc. Anim. - Recia*, 386-400 (2011)