

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA NUTRICIÓN Y
ALIMENTOS

TESIS PROFESIONAL

DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UN
RECUBRIMIENTO COMESTIBLE
PARA GUAYABAS

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

PRESENTAN
AIREL ARREOLA GONZÁLEZ
ABRIL FUENTES RUIZ

DIRECTOR DE TESIS
MC. MA. EMPERATRIZ DOMÍNGUEZ ESPINOSA

DIRECTOR EXTERNO
DRA. TERESA DE JESÚS JAIME ORNELAS

TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS

OCTUBRE 2019



Agradecimientos

Agradecemos a nuestras asesoras la Mtra. Emperatriz Domínguez Espinosa quien con su conocimiento, dirección, colaboración y enseñanza supo orientarnos en momentos de confusión y a la Dra. Teresa de Jesús Jaime Ornelas por su paciencia, disponibilidad y generosidad para compartir su experiencia y amplio conocimiento en el desarrollo de esta tesis profesional, su valiosa colaboración en la realización de los experimentos, así como también por facilitarnos los equipos e instalaciones de los laboratorios de fisicoquímica de los alimentos y de Inocuidad de Alimentos del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias y el laboratorio de Investigación de Alimentos del Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingeniería, su asesoramiento fue de gran ayuda durante nuestra estancia en la universidad de Guadalajara, lo cual nos permitió el desarrollo y culminación de este trabajo.

Al Dr. Edgar José López Naranjo por su valiosa colaboración en los ensayos de pruebas mecánicas de biopelículas comestibles facilitando las instalaciones del laboratorio de Caracterización de Polímeros y el equipo necesario para la determinación de sus parámetros.

Al Dr. Arkady Uscanga Martínez por facilitarnos las instalaciones y equipos del laboratorio de sanidad y nutrición acuícola de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas sede Tonalá. Así mismo agradezco también al Mtro Mario Alberto Morales Ovando por su apoyo en el desarrollo de diversos experimentos de esta investigación.

Agradecemos de manera especial a la universidad de Ciencias y Artes de Chiapas Por brindarnos la oportunidad de realizar estancias de investigación para el desarrollo y culminación de este proyecto.

Dedicatoria

A mis padres Ariel Arreola Zavala y Celsa González Vázquez por el apoyo incondicional, gracias por ser los principales impulsores que me han permitido cumplir mis sueños, por creer en mí en todo momento, por aconsejarme y sobre todo gracias gracias por su amor.

A mis hermanos por darme por su amor, confianza y apoyo incondicional.

A mis abuelos gracias por las fuerza que me transmitieron en cada visita y por su amor sin fin.

Con amor

Airel Arreola Gonzalez

Dedicatoria

A mi madre Rosa Elena por ser la primera promotora de mis sueños, gracias a ella por cada día confiar y creer en mí y en mis expectativas , por siempre anhelar lo mejor para mi vida, por cada consejo y por cada una de sus palabras que me guiaron durante mi trayectoria estudiantil, quien con su amor, paciencia y esfuerzo me ha guiado siempre por el camino correcto, motivándome a no rendirme a pesar de las circunstancias, a ser perseverante para alcanzar mis metas, sin su apoyo incondicional no habría sido posible la culminación de este proyecto de investigación. A mi padre Uribe y hermanos Tania y Uribe por su paciencia y apoyo brindado a lo largo de esta trayectoria. A mi tía Gloria Cielo por brindarme su confianza , su cariño y su apoyo incondicional pese a todas las circunstancias.

A mi amigo Alfredo de los santos, por su paciencia, su ayuda y por estar para mí cuando más lo necesite. Gracias.

Con mucho amor y cariño

Abril.



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



Autorización de Impresión

Lugar y Fecha: TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS A 18 DE OCTUBRE DEL 2019

C. AIREL ARREOLA GONZÁLEZ

Pasante del Programa Educativo de: LICENCIATURA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:

DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UN RECUBRIMIENTO COMESTIBLE PARA GUAYABAS.

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

Firmas

MTRA. YADIRA DEL ROCÍO SÁNCHEZ OROPEZA

MTRO. ARTURO ALBERTO VELÁZQUEZ LÓPEZ

MTRA. MARÍA EMPERATRIZ DOMÍNGUEZ ESPINOSA

COORD. DE TITULACIÓN



(Handwritten signatures of the three reviewers)



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



Autorización de Impresión

Lugar y Fecha: TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS A 18 DE OCTUBRE DEL 2019

C. ABRIL FUENTES RUÍZ

Pasante del Programa Educativo de: LICENCIATURA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:

DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UN RECUBRIMIENTO COMESTIBLE PARA GUAYABAS.

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

Firmas

MTRA. YADIRA DEL ROCÍO SÁNCHEZ OROPEZA

MTRO. ARTURO ALBERTO VELÁZQUEZ LÓPEZ

MTRA. MARÍA EMPERATRIZ DOMÍNGUEZ ESPINOSA

COORD. DE TITULACIÓN



CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
JUSTIFICACIÓN.....	2
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
OBJETIVOS.....	5
MARCO TEORICO.....	6
Antecedentes de uso de biopelículas	6
Recubrimientos comestibles	7
Composición	8
Hidrocoloides: polisacáridos y proteínas.....	8
Proteínas	8
Lípidos.....	9
Ceras	9
Aceites esenciales.....	10
Multicomponentes.....	10
Otros componentes.....	11
Plastificantes	11
Funciones de los recubrimientos comestibles.....	12
Aplicaciones de recubrimientos en frutas y hortalizas	13
Características físicas de las películas comestibles	13
Espesor.....	13
Propiedades mecánicas	14
Propiedades de barrera	15
Permeabilidad al vapor de agua	15
Métodos de elaboración.....	16

Casting o vaciado en placa	16
Extrusión	17
Almidón	17
Propiedades funcionales del almidón	19
Espesante.....	19
Vehículo	19
Gelificante.....	19
Sustrato de fermentación.....	19
Agente de acabado.....	19
Control de textura.....	20
Agente de moldeo.....	20
Estructura del almidón.....	20
Amilosa	20
Amilopectina	22
Gránulos de almidón.....	22
Retrogradación.....	24
Almidón termoplástico	26
Frutos altamente perecederos	27
Fisiología de frutas en postcosecha.....	28
Respiración	28
Transpiración	29
Producción de etileno	29
Cambios fisicoquímicos.....	30
Color/apariencia	30
Pérdida de peso.....	31
Índice de madurez	31

Tasa respiratoria.....	31
Guayaba	32
Características de las guayabas.....	33
Usos industriales de la guayaba.....	33
Cosecha y poscosecha.....	34
Calidad cosecha.....	35
Calidad poscosecha	35
Maduración.....	35
Producción de etileno en la fruta guayaba	36
HIPOTESIS.....	38
METODOLOGÍA.....	39
Diseño de investigación.....	39
Sitio experimental	39
Material biológico	40
Variables.....	41
Instrumentos de medición	42
Descripción de las técnicas a utilizar	44
Obtención del almidón de plátano macho verde.....	44
Caracterización física y química del almidón de plátano macho	46
<i>(Musa paradisiaca)</i>	46
Análisis químicos proximales.....	46
Determinación de Humedad del almidón de plátano macho verde	46
Determinación de Cenizas del almidón de plátano macho verde	46
Determinación de Extracto etéreo (lípidos) del almidón de plátano macho verde...	46
Determinación de Proteínas. (Método de Kjeldahl) del almidón de plátano macho verde	46

Determinación de la Fibra cruda del almidón del plátano macho verde.....	47
Caracterización física.....	47
Color.....	47
Morfología de los gránulos de almidón.....	47
Caracterización química.....	47
Prueba de Lugol.....	47
Índice de absorción de agua, índice de solubilidad en agua y poder de hinchamiento de almidón de plátano macho verde.	48
Caracterización reológica del almidón de plátano macho verde.....	49
etapa 2. Diseño y caracterización del recubrimiento comestible elaborado con almidón de plátano macho verde y quitosano.....	50
Espesor.....	52
Contenido de humedad	52
Medición de solubilidad.....	52
Color.....	53
Pruebas mecánicas.....	54
Permeabilidad al vapor de agua	54
Etapa 3. Evaluación de la eficiencia del recubrimiento comestible sobre la calidad poscosecha de la guayaba	56
Firmeza.....	56
Medición de pH.....	56
Acidez titulable.....	57
Sólidos totales solubles	57
Pérdida de peso.....	58
Análisis estadístico.....	58
PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	59

Etapa 1: Extracción y caracterización del almidón obtenido del plátano macho (<i>Musa paradisiaca</i>) verde.....	59
Obtención de almidón de plátano macho.....	59
Análisis proximal del almidón de plátano macho	60
Morfológica de almidón de plátano macho	61
Índice de absorción de agua (IAA), Índice de solubilidad en agua (ISA), y poder de hinchamiento (PH) del almidón de plátano macho verde.....	62
Color.....	63
Estudios térmicos y de espectroscopia de transmisión de infrarrojo con transformada de fourier (ftir) de almidón de plátano macho	64
Propiedades térmicas del almidón de plátano macho	65
Prueba de lugol	66
Etapa 2: Diseño y caracterización del recubrimiento comestible elaborado con almidón de plátano macho verde y quitosano	67
Caracterización de películas comestibles.....	69
Espesor.....	69
Solubilidad	70
Humedad	71
Permeabilidad al vapor de agua	76
Etapa 3: Evaluación del efecto del recubrimiento comestible elaborado con almidón de plátano macho verde y quitosano sobre la vida de anaquel de la guayaba.....	78
Determinación de parámetros físicos	78
Pérdida de peso.....	78
Firmeza.....	80
Determinación de parámetros químicos	82
Acidez titulable.....	82
Sólidos totales solubles (°Brix)	83

pH	84
CONCLUSIONES.....	86
PROPUESTAS / RECOMENDACIONES.....	87
REFERENCIAS DOCUMENTALES.....	88
ANEXOS, GRÁFICAS Y APÉNDICES.....	91
Anexo 1 Análisis estadístico etapa 3.....	91
Anexo 2.....	109

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Películas elaboradas por Casting o vaciado en placa (Reyes, 2001).	16
Figura 2 Estructura química de la amilosa (Kader, 2011).	21
Figura 3 Estructura química de amilopectina (Kader, 2011).	22
Figura 4 Gránulos de almidón observados desde el microscopio (Martins et al., 2012).	24
Figura 5 Mecanismo de retrogradación del almidón (Olivas et al., 2012).	25
Figura 6 Esquema del proceso de gelatinización del almidón (Martins et al., 2012).	26
Figura 7 Efecto de la respiración, transpiración y postcosecha (Reyes, 2001).	30
Figura 8 Fruto de la guayaba (<i>Psidium guajava</i> L.) (Coronado, 2014).	33
Figura 9 Cambios asociados al proceso de maduración (Reyes, 2001).	36
Figura 10 Diagrama de flujo del desarrollo para diseñar y evaluar un recubrimiento comestible para guayabas.	43
Figura 11 Diagrama general de proceso de extracción de almidón de plátano macho verde....	45
Figura 12 Diagrama de flujo para la elaboración de los recubrimientos comestibles.	50
Figura 13 Almidón de plátano macho verde.	59
Figura 14 Gránulos de almidón de plátano macho (aumento 4X).	61
Figura 15 Gránulos de almidón de plátano macho (10 X).	61
Figura 16 Comparación Índice de absorción de agua, índice de solubilidad de agua y poder de hinchamiento de almidón de Plátano macho y almidón de Yuca.	63
Figura 17 Estudios de Espectroscopia de Infrarrojo con Transformada de Fourier (FTIR) de almidón de plátano macho verde (estado de madurez 2).	65
Figura 18 Determinación de prueba de lugol para el almidón de plátano macho en estado de madurez 2.	67
Figura 19 Película de almidón de plátano macho.	68
Figura 20 Película de quitosano grado alimenticio.	68
Figura 21 Determinación de propiedades mecánicas de películas comestibles	76
Figura 22 Acondicionamiento de películas comestibles para determinar la permeabilidad al vapor de agua.	77
Figura 23 Pérdida de peso de guayabas recubiertas con un recubrimiento de almidón de plátano macho/quitosano (50:50) durante 10 días de almacenamiento a condiciones ambiente (25°C /50%HR).	79

Figura 24 Comparación entre una Guayaba sin recubrir y una Guayaba recubierta con almidón de plátano macho/ quitosanoa (50:50) durante 10 días de almacenamiento a condiciones ambiente (25°C /50%HR).....	79
Figura 25 Firmeza de guayabas recubiertas con un recubrimiento de almidón de plátano macho/ quitosano (50:50) durante 10 días de almacenamiento a condiciones ambiente (25°C /50%HR)	81
Figura 26 Determinación de Firmeza de frutos.	81
Figura 27 Concentración de ácido cítrico en frutos de guayaba recubiertos con un recubrimiento de almidón de plátano macho/ quitosano (50:50) durante 10 días de almacenamiento a condiciones ambiente (25°C /50%HR)	83
Figura 28 Contenido de Sólidos solubles en frutos de guayaba recubiertos con un recubrimiento de almidón de plátano macho/ quitosano (50:50) durante 10 días de almacenamiento a condiciones ambiente (25°C /50%HR)	84
Figura 29 pH de en frutos de guayaba recubiertos con un recubrimiento de almidón de plátano macho/ quitosano (50:50) durante 10 días de almacenamiento a condiciones ambiente (25°C /50%HR).....	85

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Espesor de diversas películas compuestas de almidón y quitosano en varias concentraciones.....	14
Tabla 2 Características de algunos almidones en la industria alimentaria.....	18
Tabla 3 Intensidad respiratoria y producción de etileno en frutos de guayaba poscosecha de diversas variedades.....	37
Tabla 4 Variables de estudio aplicadas en el desarrollo y evaluación de un recubrimiento comestible sobre la vida de anaquel de la guayaba.....	41
Tabla 5 Prueba preliminar para definir la concentración de componentes del recubrimiento comestible para guayaba.....	51
Tabla 6 Resultados de análisis químico proximal de almidón de plátano macho verde (nivel 2 de madurez).	60
Tabla 7 Atributos de color (espacio CIELAB) del almidón de plátano macho verde.....	64
Tabla 8 Propiedades térmicas del almidón de plátano macho.	66
Tabla 9 Espesor de películas comestibles elaboradas con soluciones formadoras de recubrimiento comestible con diferentes concentraciones de Quitosano y Almidón de plátano macho verde.....	69
Tabla 10 Solubilidad y humedad de diferentes películas comestibles de almidón de plátano macho verde y quitosano grado alimenticio de mediano peso molecular	71

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.....52

Ecuacion 2.....53

Ecuacion 3.....53

Ecuacion 4.....53

Ecuacion 5.....53

Ecuacion 6.....55

Ecuacion 7.....57

Ecuacion 8.....57

Ecuacion 9.....58

INTRODUCCIÓN

Generalmente pocas frutas y verduras frescas permanecen seguras a temperatura ambiente por mucho tiempo, por eso la mayoría deben ser conservadas en el refrigerador para evitar descomposición o crecimiento hongos.

A través de los años la Ciencia y Tecnología de Alimentos ha desarrollado diversos métodos de conservación, la gran mayoría ha sido muy eficientes.

Una estrategia desarrollada en los últimos años para evitar la descomposición de percederos ha sido el uso de recubrimientos comestibles elaborados a base de diversos polisacáridos, los cuales, han extendido su vida de anaquel hasta en un mes.

Los recubrimientos y las películas comestibles se han empleado durante siglos principalmente para prevenir la pérdida de humedad; mantener la calidad y textura de diversos sistemas alimentarios durante el almacenamiento. Los recubrimientos comestibles aplicados sobre frutas y vegetales actúan como barrera semipermeable controlando la transferencia de humedad, de oxígeno; controlando los procesos de oxidación y aumentando la vida útil (Coronado, 2014).

La guayaba (*Psidium guajava* L.) pertenece a la familia de las *Myrtaceae* y tiene elevado contenido de vitaminas. Es un fruto estacional, que se encuentra principalmente en las regiones tropicales y subtropicales del mundo. Aunque varios productos se pueden obtener a partir de este fruto, la guayaba es consumida principalmente en fresco. Exhibe una elevada velocidad de respiración y una rápida maduración, lo cual conlleva a un rápido deterioro durante el almacenamiento. En tal sentido, es de interés evaluar el uso de recubrimientos comestibles para mejorar la calidad de la guayaba durante su almacenamiento. Los recubrimientos comestibles pueden ayudar a reducir daños en los frutos retardando su deterioro, aumentando la calidad y mejorando su inocuidad (González, 2016).

Por lo anterior, el objetivo de este trabajo es Diseñar un recubrimiento comestible y evaluar su efecto sobre la calidad de la guayaba (*Psidium guajava*) bajo almacenamiento a temperatura ambiente.

JUSTIFICACIÓN

La mayoría de los frutos frescos son catalogados como productos perecederos por la tendencia a sufrir deterioro fisiológico, por la presencia de enfermedades e infecciones o por el ataque de plagas; factores que inciden en las pérdidas desde el momento de cosecha, durante su acopio, distribución e incluso luego de ser adquiridas por el consumidor. Los frutos se pierden o desperdician en toda la cadena de suministro, desde la producción inicial hasta el consumo final en los hogares, esto puede deberse a problemas en la recolección, almacenamiento, embalaje, transporte, infraestructura o a los mecanismos de mercado, los precios, así como también a los marcos institucionales y legales. La reducción de las pérdidas y el desperdicio de alimentos atraen un creciente interés. De acuerdo con cifras del Grupo Técnico de Pérdidas y Mermas de Alimentos en México, de la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), en el país se desperdicia cada año el 37.26 por ciento de la producción; entre los alimentos más desperdiciados se encuentran frutos como guayaba con 57.7% de su producción equivalente a 63, 719.37 toneladas; aguacate, plátano verde y nopal representado al grupo de las cactáceas, además leche de vaca, pescados y sardinas (FAO, 2018). Nuevas tecnologías de transformación o de conservación de alimentos buscan disminuir las pérdidas de estos alimentos sobretodo mediante la aplicación de recubrimientos comestibles. Aplicar recubrimientos comestibles en frutas a partir de fuentes renovables, como lípidos, polisacáridos y proteínas , así como las mezclas de estos, tiene la ventaja de disminuir su tasa de respiración, retrasar la pérdida de peso por deshidratación, disminuir la pérdida de firmeza y pigmentación, así como disminuir el daño causado por microorganismos o por características inherentes al producto. Además de lo anterior, se ha comprobado que los recubrimientos comestibles pueden inhibir el pardeamiento enzimático; promueven la conservación de propiedades mecánicas, mantienen las características sensoriales de los frutos debido a un retraso en la maduración y por lo tanto se incrementa la vida útil de la fruta (Vázquez *et al.*, 2013). El uso de polímeros en la elaboración de recubrimientos comestibles ha resultado ser una alternativa, éstos se encuentran presentes en grandes cantidades en la naturaleza, son renovables y además provienen de diversas fuentes. Entre las biomoléculas más utilizadas se encuentra el almidón, debido a su bajo costo, alta tasa de biodegradación y abundancia en la naturaleza. En la actualidad se están buscando fuentes no convencionales para su extracción, tal es el caso del almidón de plátano macho

verde. Algunos estudios demuestran que los frutos de plátano en estado verde o inmaduro, poseen hasta un 70% de almidón en base seca, cantidad que es comparable con la que se presenta en algunos cereales, leguminosas y tubérculos. El uso de materiales naturales, biodegradables, económicos y de fuentes no convencionales ha resultado ser una alternativa para sustituir el uso de los recubrimientos plásticos aplicados en frutos. La presente investigación tiene como propósito evaluar un recubrimiento comestible elaborado a base de almidón de plátano macho, glicerol y quitosano, para estudiar su efecto protector en la conservación post cosecha de guayaba (*Psidium guajava* L.) durante su almacenamiento a temperatura ambiente.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El diseño de películas y recubrimientos comestibles, así como su uso en la industria de alimentos se ha incrementado a través de las décadas; estas son formuladas a partir de proteínas, lípidos, carbohidratos o de sus mezclas obtenidas de fuentes convencionales y no convencionales. La problemática generada por los grandes volúmenes de plásticos desechados al medio ambiente y su persistencia en el mismo, como es el caso del polipropileno, un polímero sintético (la degradación de este material es prácticamente nula) ha estimulado la investigación para el desarrollo de nuevos envases a partir de polímeros biodegradables como el almidón, este es un polisacárido ampliamente usado en la industria como espesante o gelificante, sin embargo, se han considerado nuevas aplicaciones, por lo que se han buscado fuentes alternativas o no convencionales, una de estas es el plátano macho, el cual en estado verde presenta altas concentraciones de almidón. Los recubrimientos comestibles aplicados a frutas y vegetales funcionan como transportadores de aditivos que coadyuvan a la preservación de los productos hortofrutícolas, mejorando sus propiedades sensoriales y nutrimentales; permitiendo de esta manera conservar la calidad de las frutas formando una barrera parcial a gases, y a los compuestos volátiles característicos del aroma, disminuyendo de esta forma la velocidad de respiración y la pérdida de agua y sabor. Diferentes estudios indican que a medida que transcurre el periodo pos cosecha, se presenta cambios físicos, bioquímicos y fisiológicos, los cuales se ven reflejados en el cambio de color de la epidermis; como es el caso de la guayaba, está por ser una fruta altamente perecedera, después de ser cosechada exhibe una elevada velocidad de respiración y una rápida maduración, lo cual conlleva un rápido deterioro durante su almacenamiento ocasionando que su vida de anaquel sea de una semana aproximadamente; las pérdidas pos cosecha de este fruto pueden superar el 50% (Parra, 2014). Esta investigación tiene como objetivo desarrollar un recubrimiento comestible a partir de almidón de quitosano, glicerol y almidón de plátano macho, siendo el principal componente este último, se pretende caracterizar las propiedades de dicho almidón mediante su aplicación en dicho recubrimiento, posteriormente aplicarlo en la guayaba para prolongar su vida útil en condiciones específicas. Resultados positivos de esta investigación podrían permitir disminuir las pérdidas asociadas al cultivo de este producto.

OBJETIVOS

GENERAL

Evaluar el efecto de un recubrimiento comestible a base de almidón de plátano macho sobre la calidad fisicoquímica de la guayaba (*Psidium guajava*) bajo condiciones específicas de almacenamiento.

ESPECIFICOS

Caracterizar física, química y reológicamente el almidón de plátano macho verde.

Diseñar un recubrimiento comestible a base de almidón de plátano macho, quitosano y glicerol.

Caracterizar fisicoquímicamente las biopelículas comestibles elaborados con diferentes concentraciones de almidón, quitosano y glicerol.

Evaluar el efecto del recubrimiento comestible en la acidez titulable, pH, firmeza, °Bx y pérdida de peso de las guayabas tratadas con recubrimientos.

MARCO TEORICO

ANTECEDENTES DE USO DE BIOPELICULAS

El uso de recubrimientos para alimentos es una práctica antigua que se desarrolló para imitar las cubiertas naturales de los productos vegetales comestible, acordando así que la aplicación de películas comestibles para la protección de alimentos con el fin de prolongar su vida de anaquel, no es nada nuevo.

Existen reportes de los siglos XII y XIII en los que se menciona que en China se realizaba la inmersión en cera de naranjas y limas para retardar la pérdida de agua. Durante el Siglo XVI en Inglaterra practicaban lo que llamaban el “enmantecado”, esto es, el recubrimiento con grasa de productos alimentarios para prevenir también la pérdida de humedad de los mismos. En el Siglo XIX se emplearon películas a base de gelatina para la preservación de carnes y otros alimentos, alrededor de los años 1930 ya se encontraban comercialmente disponibles ceras parafínicas que se derretían con calor para el recubrimiento de cítricos, y en los comienzos de los años 1950 se desarrollaron emulsiones, aceite-agua con cera de carnauba para el recubrimiento de frutas frescas y hortalizas (Romero, 2016).

A mediados de 1950 y 1980 se realizaron bastantes trabajos orientados al uso de películas y recubrimientos para extender la vida de anaquel y mejorar la calidad de alimentos frescos, congelados y procesados, el cual se ha reportado en literaturas científicas y en patentes.

Los recubrimientos de cera sobre frutas y verduras, recubrimientos de zeína sobre caramelos y de azúcar sobre almendras son los ejemplos comerciales más comunes de recubrimientos. Éteres de celulosa (carboximetil celulosa, hidroxipropil y metilcelulosa) han sido usados como ingredientes en recubrimientos para frutas, verduras, carnes, almendras, productos de confitería, panadería, granos y otro productos agrícolas (Miramont, 2014).

RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES

Un recubrimiento comestible se define como el revestimiento de un producto vegetal con una o varias capas finas de material natural y comestible elaborados con biopolímeros naturales de alto peso molecular; los cuales son aplicados en forma líquida por inmersión o pulverización formándose la película sobre el alimento. 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 agroindustrias (Quintero *et al.*, 2010).

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 (Fernández *et al.*, 2015). Cuando los frutos son cubiertos por recubrimientos comestibles, se crea una atmósfera modificada en el interior del fruto que reduce la velocidad de respiración y por tanto retrasa el proceso de senescencia del producto.

Los aspectos que hay que tener en cuenta en el momento de la aplicación de los recubrimientos son, rápido secado, no producir espuma y ser de fácil remoción: posterior a la aplicación, éste no se debe acidificar, coagular, desarrollar sabores desagradables, agrietarse, decolorarse o caerse durante la manipulación, no debe reaccionar de manera adversa con los alimentos ni poner en riesgo la calidad sensorial del producto, pero debe restringir el paso de gases como oxígeno y dióxido de carbono durante el almacenamiento de los productos. Los recubrimientos comestibles se utilizan para alargar la vida de anaquel de productos frescos y mínimamente procesados además de protegerlos de los efectos dañinos del medio ambiente. Al regular la transferencia de humedad, oxígeno, dióxido de carbono, aroma, y compuestos de sabor en el sistema de un alimento, estos han demostrado la capacidad de mejorar la calidad de los alimentos y prolongar la vida de anaquel. También pueden emplearse para mejorar la integridad de las frutas y vegetales congeladas, y prevenir la absorción de humedad y oxidación de frutas o vegetales liofilizadas. Además, dichos recubrimientos comestibles pueden aceptar y transportar ingredientes funcionales tales como antioxidantes, antimicrobianos, nutrimentos y sabores para resaltar la estabilidad, calidad, funcionalidad y seguridad de los alimentos (Ruelas *et al.*, 2013).

COMPOSICIÓN

La composición de los recubrimientos comestibles es muy variada: pueden estar conformadas por un polisacárido, un compuesto de naturaleza proteica, lipídica o por una mezcla de los mismos, poseen propiedades mecánicas, generan efecto barrera frente al transporte de gases, y pueden adquirir diversas propiedades funcionales dependiendo de las características de las sustancias encapsuladas y formadoras de dichas matrices (Quintero *et al.*, 2010).

Hidrocoloides: polisacáridos y proteínas

Los hidrocoloides son biomoléculas de alto peso molecular que tienen la particularidad de absorber grandes cantidades de agua. Pueden ser polisacáridos o proteínas; ambos forman recubrimientos con buenas propiedades mecánicas y de barrera a los gases O_2 y CO_2 ; pueden adherirse a las superficies de frutas y hortalizas troceadas, pero no impiden suficientemente la transmisión de vapor de agua. Los polisacáridos son los hidrocoloides que más se utilizan como recubrimientos en frutas y hortalizas, forman parte de la mayoría de las formulaciones actualmente aplicadas. (Espinoza, 2015).

Los polisacáridos más utilizados para la formación de recubrimientos en frutas y hortalizas, son a la vez los más abundantes en la naturaleza: celulosa, almidón y quitosano (Ancos *et al.*, 2015).

Proteínas

Las proteínas constituyen el material de base de una gran parte de películas comestibles. Su carácter eminentemente hidrófilo, debido a la presencia de grupos funcionales polares en su composición, las hace apropiadas para su aplicación en una amplia variedad de productos con superficie hidrófilas.

Proporcionan buenas propiedades de barreras frente a gases permeantes como O_2 y CO_2 , pero no frente al vapor de agua. Los recubrimientos proteicos se producen a partir de recursos

renovables, y se pueden degradar más fácilmente que otros tipos de materiales poliméricos(Balwin *et al.*, 2013).

Las principales proteínas de origen vegetal empleadas en la obtención de recubrimientos comestibles son la soya, el gluten de trigo y la zeína de maíz. Las proteínas lácteas, el colágeno y la queratina están entre las proteínas de origen animal más frecuentemente utilizadas.

La utilización de películas comestibles a base de proteínas supone un incremento de valor nutricional del producto. Sin embargo, existen posibles inconvenientes a tener en cuenta como el deterioro de la proteína por parte de enzimas presentes en el alimento o la posibilidad de reacciones alérgicas a determinadas proteínas como el gluten(Oliva *et al.*, 2012).

Lípidos

Los lípidos se utilizan en la formulación de recubrimientos comestibles con el objetivo de mejorar la propiedad de barrera al vapor de agua. Los lípidos son los recubrimientos que mejores resultados han dado en poscosecha. Mediante su utilización se reducen la respiración de los frutos, la deshidratación y además se mejora el brillo. Los recubrimientos formados solo por lípidos son muy frágiles y friables, por lo que se han de aplicar en combinación con una matriz de soporte no lipídica (Espinoza, 2015).

Ceras

Las ceras son compuestos más resistentes a la transferencia de agua que la mayoría de los recubrimientos lipídicos y no lipídicos. Las ceras son consideradas como lipídicos no polares (son hidrocarburos puros), o bien, son demasiado pequeños para poder interactuar con el agua. Las ceras han sido aplicadas desde los años treinta como recubrimientos de frutas y verduras. Desde los años cincuenta, los productores de carnes en estados unidos han utilizado, ceras microcristalinas derivadas del petróleo, con el fin de reducir la pérdida de peso por evaporación de agua durante la maduración. Si estas películas tienen buenas propiedades de barrera de agua, también presentan ciertos problemas de aplicación y organolépticos (sabor de vela, sensación grasa, rancidez).Un ejemplo de ellos son las ceras de parafina, la cera de abeja y ácidos grasos y esterres deglicerol (Belloet *al.*, 2012).

Generalmente las películas y recubrimientos elaborados a partir de ceras han mostrado ser más resistentes al transporte de la humedad que otras películas elaboradas con otros lípidos o resinas. Materiales hidrofóbicos como ceras y ésteres de ácidos grasos han sido aplicados como recubrimientos, observando que presentan excelentes barreras que limitan la transferencia de vapor de agua, no obstante, no poseen la capacidad de formar películas con estabilidad y maleabilidad adecuadas para su manejo, presentan problemas de control de homogeneidad, grosor, superficie grasosa y ruptura.

Aceites esenciales

Son mezclas de varias sustancias químicas biosintetizadas por las plantas que dan el aroma característico a algunas flores, árboles, semillas y a ciertos extractos de origen animal. Son intensamente aromáticos, no grasos, volátiles y livianos. Son insolubles en agua, levemente solubles en vinagre, y solubles en alcohol, grasas, ceras y aceites vegetales. Se oxidan por exposición al aire. Los principales componentes de los aceites esenciales con actividad antimicrobiana son compuestos fenólicos como terpenos, alcoholes alifáticos, aldehídos, cetonas, ácidos e isoflavonas.

Multicomponentes

Formulaciones mixtas de hidrocoloides y lípidos que aprovechan las ventajas de cada grupo y disminuye sus inconvenientes. Estos pueden ser de capas separadas; la efectividad de los recubrimientos multicomponentes de hidrocoloides y lípidos depende, entre otros factores, de la concentración relativa de ambos, del estado físico del lípido, de la longitud, grado de saturación y ramificación de la cadena hidrocarbonada, así como la distribución que alcancen los componentes lipídicos en la estructura final (Espinoza, 2015).

Otros componentes

Plastificantes

Los plastificantes se añaden para incrementar la flexibilidad y resistencia al corte, así como para reducir el carácter quebradizo; actúan disminuyendo las fuerzas intermoleculares en las cadenas del polímero produciendo un descenso en la fuerza de cohesión, en la tensión y en la temperatura de transición vítrea. Los plastificantes comestibles comúnmente usados son glicerol, sorbitol, polietilenglicol, propilenglicol y sacarosa. Los que presentan en general mayor poder plastificante (y en este orden) son el polietilenglicol, glicerol y sorbitol. La adición de estos mejora las propiedades mecánicas de las películas o recubrimientos a base de polisacáridos o proteínas aunque, en función del tipo, cantidad y peso molecular del plastificante adicionado, puede disminuir la efectividad de la película como barrera de agua, gases, aromas o lípidos.

FUNCIONES DE LOS RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES

Algunas de las funciones de los recubrimientos es contener el alimento, y protegerlo de la acción física, mecánica, química y microbiológica; tiene la capacidad de trabajar sinérgicamente con otros materiales de embalaje.

Los recubrimientos deben presentar ciertas exigencias funcionales que permitan controlar o aminorar las causas de alteración de los alimentos a recubrir, algunas de estas ventajas y propiedades son(Fernández *et al.*, 2015).:

- Ser libres de tóxicos y seguros para la salud.
- Deben requerir una tecnología simple para su elaboración.
- Ser protectores de la acción física, química y mecánica.
- Presentan propiedades sensoriales: deben ser transparentes y no ser detectados durante su consumo.
- Mejoran las propiedades mecánicas y preservan la textura.
- Prolongan la vida útil de alimentos a través del control sobre el desarrollo de microorganismos.
- Pueden regular distintas condiciones de interface o superficiales del alimento, a través del agregado de aditivos como antioxidantes, agentes antimicrobianos y nutrientes.
- 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.

APLICACIONES DE RECUBRIMIENTOS EN FRUTAS Y HORTALIZAS

Las propiedades físicas más importantes para los recubrimientos comestibles son: color, opacidad aparente, transparencia, solubilidad, permeabilidad al vapor de agua y a los gases (oxígeno, monóxido de carbono, etileno); así como aquellas relacionadas con la resistencia mecánica.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS PELÍCULAS COMESTIBLES

Las características físicas generalmente se agrupan entorno a propiedades de espesor, propiedades de barrera y propiedades mecánicas. Aunque, en cuanto a su desempeño físico y aplicación tecnológica, las propiedades mecánicas y de barrera sobresalen su importancia. Dentro de los principales factores que afectan las características físicas de las películas se encuentran los que tienen influencia directa con las condiciones de la elaboración de las mismas.

Espesor

El espesor de las películas de biopolímeros puede ser evaluado en función del método de elaboración. Éste se puede determinar mediante un medidor electrónico de espesores o por microscopía electrónica de barrido (SEM), siendo la primera técnica la más rápida y simple. Las propiedades mecánicas y de barrera dependen del espesor de las películas. En la literatura se ha informado valores de espesores para películas de biopolímeros (Tabla 1), en un amplio rango, lo que indica la dependencia de este parámetro con la composición y las condiciones del procesamiento (Bello *et al.*, 2012).

Tabla 1 Espesor de diversas películas compuestas de almidón y quitosano en varias concentraciones

Composición de las películas	Espesor de las películas	
	Medidor digital	SEM
Almidón de maíz (AM)	63.1±1.7	69.2±1.9
AM con glicerol	44.4±0.9	47.3±1.9
AM con quitosano	51.5±7.8	56.1±11.3
AM con glicerol y quitosano	52.2±1.4	57.0±2.1

Fuente: (Reyes, 2001)

Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas permiten predecir la durabilidad de la película comestible y en un momento dado, la integridad del alimento. La interacción entre la proteína y pequeñas moléculas, como agua, plastificantes, lípidos y otros agentes dispersantes, tienen efecto en las propiedades mecánicas de la película comestible.

Las propiedades mecánicas que mayormente se determinan son la fuerza y el porcentaje de elongación al quiebre, el cual representa la habilidad de la película a estirarse. Las propiedades mecánicas de los RC dependen en gran medida de la composición y estructura de los ingredientes. Por lo tanto, la elección de las sustancias a emplear y/o aditivos activos a añadir están totalmente relacionadas con la función para la cual se desea utilizar la cobertura comestible, la naturaleza del alimento y el método de aplicación (Fernández *et al.*, 2015).

Propiedades de barrera

La aplicación de las películas comestibles se deben en gran medida a las propiedades de barrera a gases y/o vapores presentes, ya que estos pueden influir en diferentes procesos que pueden ocurrir en los alimentos como la oxidación, cambios de textura por pérdida o ganancia de humedad, pérdida de aroma, entre otros; y por lo tanto inducir en la calidad final (Oliva *et al.*, 2012).

Permeabilidad al vapor de agua

La permeabilidad al vapor de agua representa la cantidad de vapor que atraviesa la película o revestimiento por unidad de tiempo y grosor de la película. Diferencia de presión de vapor de agua a través de la película, a una temperatura determinada (Baldwin *et al.*, 2013). La transferencia de vapor de agua a través de una película depende de las condiciones ambientales, como temperatura y gradiente de humedad relativa, pudiendo analizarse bajo diferentes condiciones establecidas, aplicables a un producto específico en el que deba ejercer su poder de barrera. La permeabilidad al vapor de agua aumenta con el carácter hidrófilo del material que constituye la película. La determinación de la permeabilidad al vapor de agua en películas comestibles se puede realizar con equipos y técnicas inicialmente aplicadas a películas poliméricas sintéticas con alto poder de barrera. El método más utilizado, basado en determinaciones gravimétricas, consiste en emplazar la película sobre una cápsula que contiene una solución que genera una humedad relativa en el espacio de cabeza en contacto con la película. Ésta cápsula se sitúa en una cámara con otra humedad relativa determinada, asegurando la convección suficiente del gas para mantener constante la humedad relativa en la superficie externa de la película de las diferencias de peso de la cápsula con el tiempo. Una vez alcanzado el estado estacionario, puede estimarse la velocidad de transmisión de vapor de agua (VTVA), dividiendo la pendiente de la curva de variación de peso de la capsula por el área de la película.

MÉTODOS DE ELABORACIÓN

Existen dos tipos de procesamiento para la elaboración de películas: las que se utilizan a nivel de investigación, utilizando la técnica conocida como “casting” o vaciado en placa la cual ayuda a predecir el comportamiento de los materiales que se utilizarían como coberturas, y las que se elaboran a nivel industrial, empleando un extrusor (Brownleader *et al*, 1999).

Casting o vaciado en placa

Es la técnica que se utiliza para formar películas a partir de una solución que contenga el polímero formador. Dicha solución se vierte sobre un soporte o placas y finalmente esta solución se seca a determinadas condiciones de temperatura y humedad relativa para por último, desprender las películas del soporte (Figura 1). El obtener películas que se forman sobre placas sirve para poder evaluar las características del material y con esto predecir su comportamiento cuando sea utilizado como cobertura en productos alimenticios (Orozco *et al*, 2012).



Figura 1 Películas elaboradas por Casting o vaciado en placa (Reyes, 2001).

Extrusión

Es un proceso térmico-mecánico por medio del cual materiales termoplásticos son plastificados y moldeados por acción combinada de presión, calor y esfuerzo cortante, al ser forzados a pasar por una boquilla de salida (Kader, 2011).

ALMIDÓN

El almidón es uno de los materiales crudos comúnmente empleados en la agricultura ya que es económico, fácilmente disponible y relativamente fácil de manipular. La amilosa es el compuesto responsable de la formación de películas en el almidón y su uso para tal fin, se ha extendido en los últimos años. Las películas elaboradas a partir de este carbohidrato son claras, flexibles, transparentes y presentan excelentes barreras de oxígeno.

El almidón es una fracción importante de un gran número de productos agrícolas, como los cereales (maíz, trigo, arroz), cuyo contenido de este carbohidrato es de 30 a 80%. Las leguminosas (frijol, chícharo, haba), con 25 a 50%; los tubérculos (papa, yuca) en los que el almidón representa entre 60 y 90%, y algunas frutas como el plátano y el mango, que en su estado verde o inmaduro alcanzan entre el 70-80% (Flores *et al.*, 2004).

Es el Polisacárido más abundante e importante desde el punto de vista comercial. Se encuentra en los cereales, los tubérculos y en algunas frutas como polisacárido de reserva energética. Su concentración varía según el estado de madurez de la fuente; el caso del plátano es una señal muy clara en este sentido: en estado verde o inmaduro, el almidón constituye la mayor fracción de los hidratos de carbono, ya que los azúcares son muy escasos; a medida que la fruta madura, el polisacárido se hidroliza por la acción de las amilasas, y mediante otros sistemas enzimáticos se sintetizan la sacarosa y la fructosa que se encuentran cuando llega a la plena maduración (Badui, 2006).

Estos polisacáridos se almacenan en tallos, como en la palmera de sagú o en tubérculos como papas y la yuca o mandioca, de la cual se obtiene la tapioca. Las frutas no maduras contienen

cantidades apreciables de almidón que se convierten en glucosa conforme la fruta madura. (Fox *et al.*, 1999).

Es una macromolécula compuesta casi por completo por glucosa unida y una pequeña parte, entre 0.5 y 2% de lípidos, proteínas y sustancias inorgánicas, según el origen botánico. Es un producto de fotosíntesis realizada por las plantas verdes y se presenta en forma de gránulos constituidos por dos componentes: amilosa y amilopectina (López *et al.*, 1988).

El almidón es la sustancia de reserva alimenticia predominante en las plantas, y proporciona el 70-80% de las calorías consumidas por los humanos de todo el mundo. Del mismo modo, la cantidad de almidón utilizado en la preparación de productos alimenticios, sin contar el que se encuentra presente en las harinas usadas para hacer pan y otros productos de panadería; los que se encuentran de forma natural en los granos que se transforman en cereales de desayuno, o los que se consumen en las frutas y hortalizas; exceden con mucho al consumo conjunto de todos los demás hidrocoloides de los alimentos. Los almidones comerciales (Tabla 2) se obtienen de las semillas de cereales, particularmente de maíz, maíz céreo, maíz rico en amilosa, trigo, varios tipos de arroz, y de algunas raíces y tubérculos, particularmente patata, batata y tapioca. (Fennema, 2010).

Tabla 2 Características de algunos almidones en la industria alimentaria

Tipo	Amilopectina (%)	Amilosa (%)	Temperatura de gelatinización (°C)	Tamaño del granulo(mμ)
Maíz	69-74	26-31	62-72	5-25
Maíz rico en amilosa	20-45	58-80	67-80	5-25
Papa	73-77	18-27	58-67	5-100
Arroz	83	17	62-78	2-5
Tapioca	82	18	51-65	5-35
Maíz cefero	99-100	0	63-72	5-25
Sorgo céreo	99-100	0	67-74	5-25
Trigo	76	24	58-64	11-41

Fuente: (Maftoonazad *et.al.*, 2005)

PROPIEDADES FUNCIONALES DEL ALMIDÓN

Las principales propiedades funcionales del almidón son (Hernandez *et.al.*, 2014):

Espesante

Por su capacidad de hinchamiento en solución, el almidón es un espesante de bajo costo utilizado en productos alimenticios, gomas y adhesivos.

Vehículo

Su compatibilidad con ingredientes diversos lo hacen un excelente vehículo o extensor de diversos productos alimenticios, industriales y farmacéuticos.

Gelificante

Las cualidades de retrogradación de los almidones, permiten usarlos como gelificante en diversos productos, principalmente del sector alimenticio.

Sustrato de fermentación

Su alta pureza, permite a los almidones una excelente funcionalidad como fuente de carbohidratos fermentables.

Agente de acabado

La propiedad de formar películas resistentes y lisas, es aprovechada para dar acabado a superficies en diferentes tipos industrias.

Aglutinante

La capacidad de formar pastas viscosas, permite al almidón la posibilidad de uso como ligante o aglutinante de una amplia gama de ingredientes.

Control de textura

Tanto crudo como en dispersión, el almidón funciona como un eficaz medio para el control de la consistencia de diversos productos.

Agente de moldeo

El almidón crudo tiene la capacidad de retener formas estampadas sobre su superficie, cualidad importante en la industria alimentaria principalmente.

ESTRUCTURA DEL ALMIDÓN

Amilosa

La amilosa es la que origina el color azul que se produce cuando el almidón reacciona con el yodo. Se puede separar de la amilopectina mediante la formación de un complejo insoluble con un líquido apropiado como el alcohol butílico. La enzima β -amilasa, que está presente en los cereales, hidroliza casi en su totalidad la amilosa en maltosa (Fox *et al*,1999).

La amilosa es un polímero esencialmente lineal, formado por unidades de D-glucosa unidos por enlaces $\alpha(1-4)$ sin embargo, se ha demostrado la presencia de algunas ramificaciones las cuales están unidas por enlaces $\alpha(1-6)$. Dichas ramificaciones se encuentran de manera

espaciada e infrecuente, lo que permite observar que se comporte como un polímero lineal (Figura 2). Esta molécula está formado por una hélice o tubo con seis moléculas de yodo y esta interacción es responsable de la coloración azul(FAO, 2016).

La mayoría de los almidones contienen alrededor del 25% de amilosa. Los dos almidones de maíz comúnmente conocidos como ricos en amilosa que existen comercialmente poseen contenidos aparentes de masa de alrededor del 52% y del 70-75%. El peso molecular de la amilosa varía de aproximadamente 10,000 a 50,000 g/mol, lo que corresponde a un valor de entre 70 y 350 unidades de glucosa.

La amilosa tiene una masa molar aproximadamente de $1 \times 10^5 - 1 \times 10^6$ da con un promedio de 500 a 6000 unidades de D-glucosa, repartidas en un número de cadena que va de 1 a 20. Cada cadena presenta un grado de polimerización (GP, número de unidades de glucosa que se presentan que se encuentran unidas en una cadena) promedio de 500 (Millán y otros., 2004).

Es producto de la condensación de D-glucopiranosas por medio de enlaces glucosídicos $\alpha(1-4)$, que establece largas cadenas lineales con 200-2 500 unidades y pesos moleculares hasta de un millón; es decir, la amilosa es una α -D-(1-4)-glucana, cuya unidad repetitiva es la α -maltosa. Tiene la facilidad de adquirir una conformación tridimensional helicoidal en la que cada vuelta de la hélice consta de seis moléculas de glucosa (Baduil, 2006).

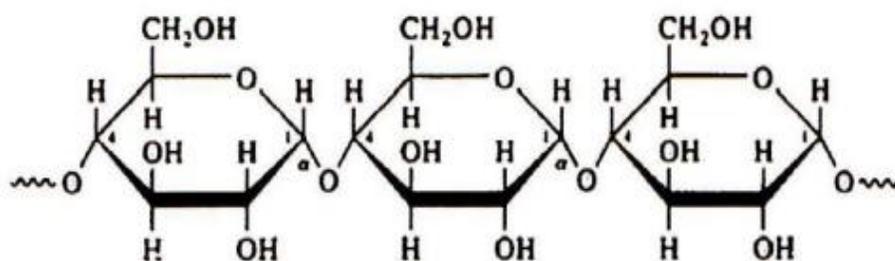


Figura 2 Estructura química de la amilosa (Kader, 2011).

Amilopectina

La amilopectina da un color café rojizo con el yodo y solo aproximadamente la mitad de la misma es convertida en maltosa por la β -amilasa. Es un componente ramificado del almidón, está formado por cadenas de residuos α -D-glucopiranosidos (entre 17 y 23 unidades) unidos por enlaces $\alpha(1-4)$, y presenta enlaces $\alpha(1-6)$ en los puntos de ramificación (Figura 3). La amilopectina se diferencia de la amilosa en que contiene ramificaciones que le dan una forma molecular similar a la de un árbol; las ramas están unidas al tronco central (semejante a la amilosa) por enlaces α -D-(1,6), localizadas cada 15-25 unidades lineales de glucosa. Su peso molecular es muy alto, ya que algunas fracciones llegan a alcanzar hasta 200 millones de daltones, aunque se han reportado pesos de entre 300,000 y 500,000 (Badui, 2006).

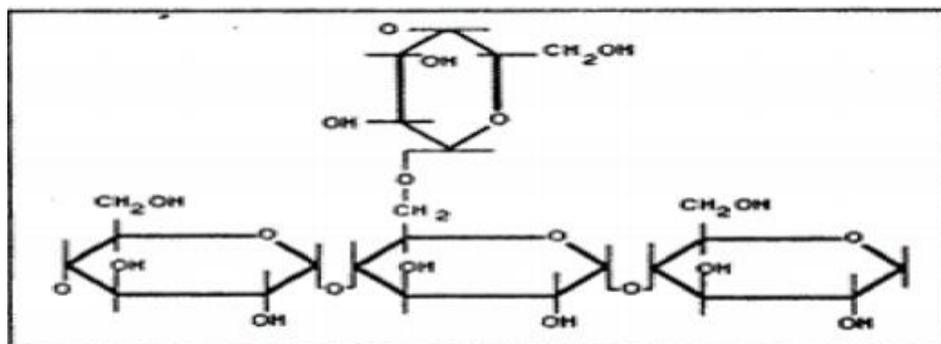


Figura 3 Estructura química de amilopectina (Kader, 2011).

GRÁNULOS DE ALMIDÓN

El almidón está organizado en partículas discretas conocidas como gránulos, cuya morfología, composición química y estructura supramolecular (arreglo relativo de las macromoléculas en estado sólido), son características en cada especie. Los gránulos de almidón pueden reconocerse por su forma, posición del hilo (punto a partir del cual ocurre el crecimiento del granulo) y tamaño, el cual varía en un 0.5 y 100 μ , dependiendo de la fuente botánica. Son muy

pequeños y no se pueden ver a simple vista, pero son claramente visibles con el microscopio (Figura 4). Varían en tamaño y los gránulos de un tipo en particular no necesariamente son de un solo tamaño. Los gránulos de almidón de la papa por ejemplo, varían en tamaño de 0.0015 a 0.01 cm: en otras palabras los gránulos de mayor tamaño son aproximadamente siete veces más grandes que los gránulos de menor tamaño (Fox *et al.*, 1999).

Los gránulos de almidón son relativamente densos e insolubles, y se hidratan muy mal en agua fría. Pueden ser dispersados en agua, dando lugar a la formación de suspensiones de baja viscosidad que pueden ser fácilmente mezcladas y bombeadas, incluso a concentraciones mayores del 35%. La capacidad de formar soluciones viscosas (capacidad espesante) es alcanzada sólo cuando la suspensión de los gránulos es sometida a la acción del calor (Fennema, 2010).

Los gránulos de almidón cuando se extraen y se secan, tienen la apariencia de un polvo blanco y son insolubles en agua fría. En forma general, presentan una composición química con 0.045-0.06% de proteína, 0.05-0.8% de lípidos y 0.07-1.4% de cenizas. Estos constituyentes en muchas ocasiones juegan un papel importante en las propiedades funcionales del almidón (Mendez y otros., 2010). La estructura rígida de los gránulos está integrada por capas concéntricas de amilosa y de amilopectina (distribuidas radialmente) que permanecen inalterables durante la molienda, el procesamiento y la obtención de los almidones comerciales (Badui, 2006).

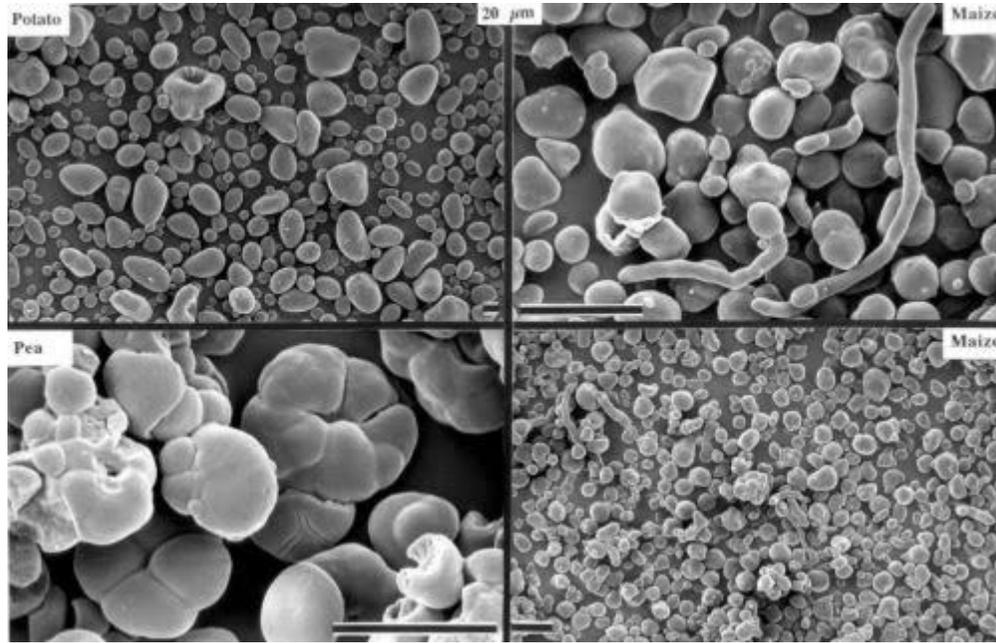


Figura 4 Gránulos de almidón observados desde el microscopio (Martins et al., 2012).

RETROGRADACIÓN

La retrogradación del almidón es un proceso que ocurre cuando las moléculas en los gránulos de almidón gelatinizados comienzan a re asociarse en una estructura ordenada. El comportamiento reológico de las pastas cambia, siendo evidente el incremento en su firmeza y rigidez. La pérdida de la capacidad de retención de agua y la restauración de la cristalinidad también se presentan durante el envejecimiento de los geles de almidón gelatinizados. La cristalización durante el envejecimiento ocurre solo en geles con un contenido de amilopectina entre 10 y 80%. Durante el enfriamiento, el almidón gelatinizado adquiere, dependiendo de la concentración dentro del alimento, una consistencia de pasta suave o gel (Santa, 2016).

Estos geles sufren una transformación de su estructura, tanto la amilosa como la amilopectina se reasocian formando una recristianización durante el almacenamiento. Los cristales empiezan a formarse dando lugar a un aumento gradual de la rigidez del gel y una separación de la fase entre el polímero y solvente conocida como sinéresis. La amilosa generalmente gelifica fuera

del gránulo inmediatamente después de la gelatinización. Mientras que la amilopectina gelifica dentro del gránulo muy lentamente.

Si la solución de almidón es diluida y se enfría lentamente las moléculas de amilosa tienen suficiente tiempo para alinearse de tal forma que varios enlaces de hidrógeno pueden formarse entre cadenas paralelas adyacentes a este fenómeno se le conoce como retrogradación. La retrogradación se manifiesta por la formación de precipitados o geles y afecta la textura, aceptabilidad y digestibilidad de los alimentos que contienen almidón (Figura 5). Cada almidón tiene una diferente tendencia a la retrogradación lo cual está directamente relacionado con su contenido de la fracción de amilosa (Badui, 2006).

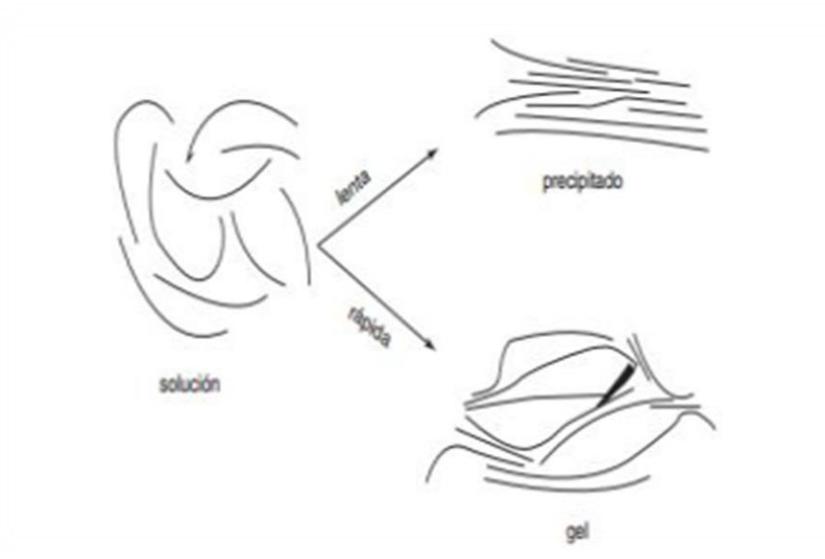


Figura 5 Mecanismo de retrogradación del almidón (Olivas et al., 2012).

ALMIDÓN TERMOPLÁSTICO

El almidón termoplástico se forma por un proceso termomecánico a partir de almidón nativo y ciertos plastificantes como el agua y los polioles; entre estos últimos se encuentran el glicerol, el sorbitol y el propilenglicol. Esto provoca el rompimiento de las interacciones moleculares de los componentes del almidón (amilosa y amilopectina) bajo ciertas condiciones específicas e involucra el proceso conocido como gelatinización (Figura 6). La propiedad que tiene el almidón de formar películas se le atribuye al amilosa, el almidón termoplástico representa una alternativa interesante para emplearse como materia prima en la producción de biopelículas biodegradables (Martins *et al.*, 2012).

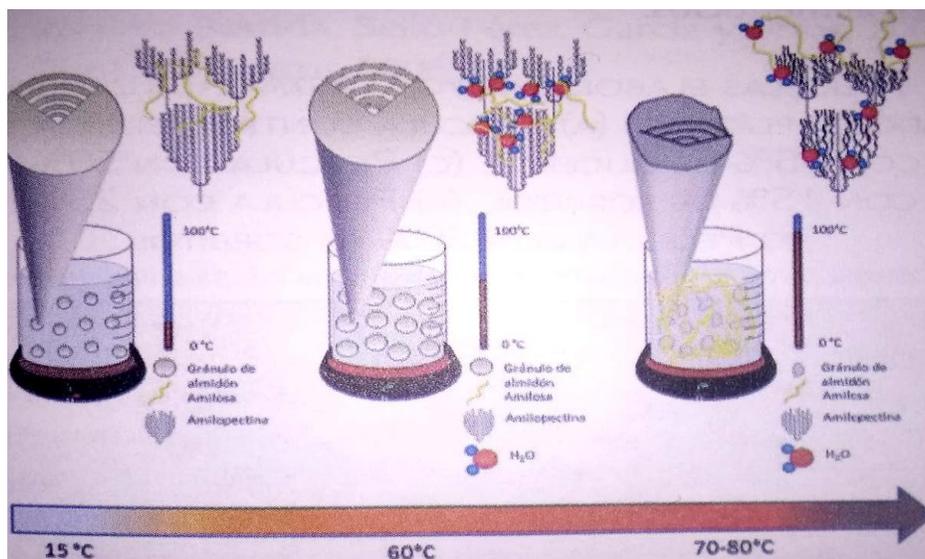


Figura 6 Esquema del proceso de gelatinización del almidón (Martins et al., 2012).

FRUTOS ALTAMENTE PERECEDEROS

Los alimentos perecederos son aquellos que empiezan su descomposición de manera rápida y sencilla. Este deterioro está determinado por factores como la temperatura, la presión o la humedad.

Comúnmente, hasta un 23 % de las frutas y las hortalizas más perecederos se pierden debido a deterioros microbiológicos y fisiológicos; pérdida de agua, daño mecánico durante la cosecha, envasado y transporte, o a las inadecuadas condiciones de traslado (Reyes, 2001).

Los principales factores que contribuyen al deterioro de los productos hortofrutícolas son la respiración, la transpiración y la producción de etileno.

De acuerdo al patrón de respiración y producción de etileno, las frutas se dividen en dos grupos:

Frutas climatéricas: aquellas cuya maduración está asociada a un incremento en la respiración y producción de etileno. En algunos casos, el tratamiento con etileno puede acelerar la maduración.

Frutas no climatéricas: no existe un incremento significativo en la producción de etileno asociado a su maduración. La velocidad de respiración no aumenta después de que estos han alcanzado su máximo crecimiento (Kader, 2011).

Durante la maduración de los frutos, se llevan a cabo una serie de eventos fisiológicos, bioquímicos y moleculares estrechamente relacionados con el etileno, los cuales involucran cambios de composición, color, sabor, aroma y textura. Estos cambios son consecuencia de una actividad metabólica la cual, comprende tanto cambios en la tasa de respiración, incremento en el consumo de azúcares, ácidos orgánicos y ácidos grasos, así como la conversión de almidones a azúcares más simples (Olivaset *al*, 2012).

FISIOLOGÍA DE FRUTAS EN POSTCOSECHA

Los productos hortofrutícolas son tejidos vivos que están sujetos a continuos cambios tras su recolección, desde el punto de vista del consumidor, algunos cambios son deseables, mientras que la mayoría no lo es. Así en una etapa inicial, la maduración, de los productos da lugar al aumento de azúcares, y a una disminución en ácidos que resulta en un aumento en la calidad organoléptica de algunos productos, mientras que al avanzar el almacenamiento se llega a la senescencia de los mismos (Orozco *et al.*, 2012).

Los cambios fisiológicos que se presentan en el proceso de maduración poscosecha de los frutos están influenciados por el estado de madurez en la cosecha y por las condiciones climáticas predominantes en el cultivo y por las condiciones de manejo y almacenamiento poscosecha (Kader, 2011).

Respiración

La respiración es un proceso que implica la degradación oxidativa de los puntos más complejos, presentes en las células como el almidón, los azúcares y los ácidos orgánicos a las moléculas más simples como el dióxido de carbono y el agua con la consiguiente liberación de energía (Orozco *et al.*, 2012).

Durante la respiración, la pérdida de reservas alimenticias almacenadas en el producto significa la aceleración de la senescencia. Dichas reservas proporcionan energía para mantenerla vida del fruto, provocando que se agote el valor alimentario reducido (valor energético) para el consumidor; pérdida de la calidad del sabor, especialmente dulzura; y pérdida de peso seco, que es especialmente importante para los productos destinados para la deshidratación (Kader, 2011).

Transpiración

La transpiración y el consumo de sustratos, son la razón de la pérdida de peso de los frutos durante la maduración en poscosecha (Figura 7). La pérdida de agua libre es una de las principales causas de deterioro, ya que se originan pérdidas cuantitativas directas, así como pérdidas cualitativas relacionadas con el aspecto, pérdida de brillo y de turgencia, cambios en la textura y consistencia de la fruta y en el valor nutricional (Parra Coronado, 2014).

Producción de etileno

El etileno (C_2H_4) es una fitohormona que todas las plantas producen de forma natural y en particular durante la maduración de algunos frutos. Como fitohormona, regula muchos aspectos de crecimiento, desarrollo y senescencia. Además es fisiológicamente activo en cantidades traza (menos de 0.1 ppm)(Kader, 2011). Aunque la exposición de ciertos frutos a una determinada concentración de (C_2H_4) puede ser beneficiosa (desverdización de frutos cítricos para adelantar la recolección) en general, da lugar a una aceleración de la senescencia, reduciendo la vida útil en la mayor parte de los productos; generalmente, la velocidad de producción se incrementa con el estado de madurez en la cosecha con los daños físicos, la incidencia de enfermedades, el incremento de la temperatura y el estrés hídrico (Olivas *et al*, 2012).

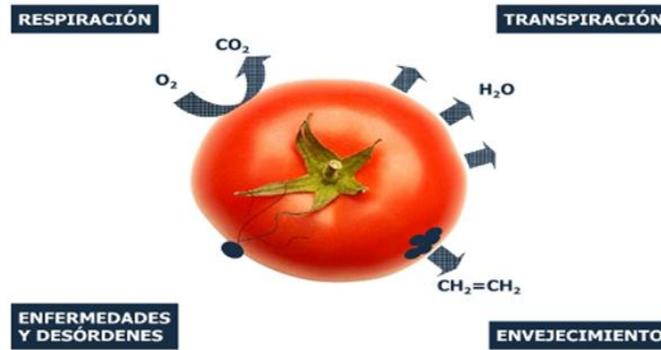


Figura 7 Efecto de la respiración, transpiración y postcosecha (Reyes, 2001).

CAMBIOS FISICOQUÍMICOS

El alto contenido de agua de las frutas, hace que sean muy susceptibles de sufrir pérdidas de agua durante poscosecha que se traduce en pérdida de peso, de textura (ablandamiento, flacidez, falta de rigidez, pérdida de jugosidad) y de apariencia (marchitez y arrugamiento) (Olivas Orozco *et al.*, 2012).

El proceso de maduración conlleva una serie de cambios fisicoquímicos, después de la cosecha, que determinan la calidad del producto adquirido.

Color/apariencia

El color es el cambio más obvio que se presenta en muchos frutos y es a menudo, el principal criterio utilizado por los consumidores para determinar si un fruto está maduro o no (Reyes, 2011). Los cambios de color durante la maduración de la fruta se deben principalmente a la degradación de la clorofila y la síntesis de pigmentos como carotenoides y antocianinas (Brownleader *et al.*, 1999).

Pérdida de peso

El mecanismo principal de pérdida de humedad, en frutas frescas y vegetales, es la difusión del vapor de agua. Lo anterior debido a una gradiente de presión entre el interior y el exterior del fruto. Las películas sobre la superficie de los frutos actúan como barreras a la difusión del vapor de agua, lo que se traduce en menores tasas de pérdida de humedad (Maftoonazad,*et al.*, 2005).

Índice de madurez

Durante el proceso de maduración, en los frutos carnosos se generan cambios en la composición química, color, textura, tasa respiratoria y cambios químicos en los carbohidratos de la pared celular, que al degradarse incrementa el nivel de azúcares que contribuyen a mejorar la palatabilidad del fruto(Kader, 2011).

Tasa respiratoria

Las células vegetales continúan siendo metabólicamente activas después de la cosecha, y siguen obteniendo la energía necesaria del proceso de respiración aeróbica. La tasa de deterioro (perecebilidad) de productos cosechados es proporcional a la tasa respiratoria (Maftoonazad *et al.*, 2005).

GUAYABA

La Guayaba (*Psidium guajava* L.) es un cultivo originario de América y actualmente se encuentra muy difundido en todo el mundo, pertenece a la familia de las *Myrtáceas*. Este género abarca más de cien especies entre las que destaca *P. guajava* por su valor comercial (Infoagro, 2015).

Esta fruta tropical está disponible en el país durante prácticamente todo el año y se caracteriza según la variedad, por su aromática fragancia y agradable sabor (SAGARPA, 2016).

Durante todo el año hay cosecha de guayaba; sin embargo, en los meses de septiembre a diciembre se recolecta poco menos de la mitad. La guayaba se obtiene de un arbusto siempre verde y frondoso, que alcanza de cinco a seis metros de altura. Si se maneja adecuadamente con podas, no sobrepasa los tres metros. Los frutos son redondos, un poco achatados en los polos, de color verde claro. Pesan aproximadamente cien gramos. Presentan un mesocarpio o pulpa gruesa, de aproximadamente dos y medio centímetros, de color crema, sabor dulce y textura crujiente antes de su completa madurez, que es el momento ideal para el corte. La madurez se observa en la cáscara cuando alcanza un color verde amarillento o amarillo rosado (Figura 8). La mayoría de las familias lo consumen en fresco como fruta de mesa o para refrescos caseros. Esto significa que cerca del 87% de la producción nacional se consume directamente en fresco. Dependiendo de la variedad así será su contenido de pulpa ya que existen algunas selecciones que no poseen semilla lo cual reviste gran importancia para la industrialización (Murillo, 2015).



Figura 8 Fruto de la guayaba (*Psidium guajava* L.) (Coronado, 2014).

Características de las guayabas

- De forma redonda
- Un poco achatados en el pedúnculo y en el ápice
- Su piel es lisa y de color verde pálido.
- Presenta una consistencia jugosa y crocante.
- Sabor dulce
- Su peso varía de 453-680 g
- Sus medidas son de 10 x 8 cm

Usos industriales de la guayaba

Se cultiva principalmente para consumo fresco, pero con el desarrollo de la agroindustria se han encontrado muchos productos que se pueden elaborar de este fruto, entre los cuales podemos mencionar: néctares, mermeladas, jaleas, frozen, sorbete, gelatinas, además se obtiene el concentrado que es la base para la industria de la panadería y dulcerías (García, 2010).

Se usa además para hacer aguas frescas, jugos, licuados, atoles, mermeladas y pasteles. Con este fruto se preparan igualmente salsas exóticas y dulces tradicionales mexicanos como rollos y membrillos. También se consume en almíbar. Tienen potencial para la elaboración de pectinas y aceites con sus semillas (Yam *et al.*, 2010).

Los frutos se pueden congelar sin problema alguno y se prestan admirablemente a ser procesados. Indudablemente el mayor valor nutritivo de la guayaba radica en su alto contenido de ácido ascórbico (vitamina C), alrededor de 300 mg/100g de pulpa. Esta situación hace que la fruta de la guayaba se utilice como aditivo para preparar otros jugos y purés a fin de fortificar su contenido de vitamina (Murillo, 2015).

El fruto de guayaba es un fruto climatérico, esto significa que después de su cosecha presenta una serie de cambios físico y químicos en su composición, directamente asociados con las funciones del etileno, que lo llevan a alcanzar su madurez de consumo. Este mismo es fundamentalmente para que el proceso de maduración del fruto de guayaba se lleve a cabo aunque, era poco sensible a las aplicaciones exógenas del mismo o a su remoción del medio ambiente (Córdova, 2015).

COSECHA Y POSCOSECHA

La fruta se debe cortar cuando esta sazónada para que tenga mejor sabor y consistencia, esto se nota cuando cambia el color externo de verde oscuro a verde claro y alcanza unos 10.5 grados Brix. La guayaba es un fruto que rápidamente se madura al dejarlo a temperatura ambiente. Para alargar su vida después de la cosecha se guarda en refrigeración, y si se empaca al vacío se logra conservarla durante más tiempo (Casaca, 2005).

La calidad del fruto está en dependencia de la cosecha, la mayoría de los países productores realiza hoy en día de forma manual la cosecha del producto, cuando se ha realizado de forma mecánica, se ha observado un incremento en los daños mecánicos (Yam *et al.*, 2010).

Una vez que los frutos se cosechan, existen gran cantidad de factores que interactúan con los frutos, ocasionando manifestaciones en dichos frutos. Una de las vías para mantener las características de calidad de los productos es interviniendo de manera que dichos factores no

provoquen daños en el producto. Estos daños son ocasionados en su mayoría por las operaciones de cosecha, almacenamiento y transporte. El problema más grande radica en detectar los daños, puesto que no son visibles al momento en que ocurren (Lajas, 2012).

Calidad cosecha

Las guayabas se cosechan en madurez fisiológica, en estado verde maduro (color verde oscuro a claro) o en algunos casos la fruta se cosecha en estado firme, es decir entre maduro y madurez media (más blandas), para un transporte de larga distancia; o bien en plena madurez (amarilla y blanda), para mercado local (Calderón *et al.*, 2009).

Calidad poscosecha

Las operaciones poscosecha se relacionan con operaciones que implican impacto circunstancia que ocasiona el magullamiento de la pulpa. El impacto es la causa más importante de daños en frutas. La excesiva compresión de la misma manera. Un daño mecánico es la falla del producto bajo deformación excesiva provocada por la aplicación de una fuerza constante, oscilante o puntual y cuyas variaciones se observan a diferentes intervalos (Torres, 2014).

Maduración

Conjunto de procesos de desarrollo y cambios observados en la fruta se conoce como maduración. Como consecuencia de la maduración la fruta desarrolla una serie de características físico-químicas que permiten definir distintos estados de madurez de la misma. Durante el proceso de maduración, las guayabas presentan cambios profundos en algunas variables como color, firmeza y peso (Figura 9). El ablandamiento de la fruta durante la maduración es atribuida a la degradación enzimática de los componentes de la pared celular. Reportes de literatura indican que las pectinasas, como la pectinmetil esterasa, remueven los grupos metilo del ácido galacturónico, lo que permite que las enzimas poligalacturonasas

despolimericen la cadena del ácido poligalacturónico y reduzcan su peso molecular. Por otra parte, las celulasas cortan enlaces β -1,4 glucosídicos de la celulosa y recientemente se ha encontrado el papel de las pectatoliasas en la de esterificación de las pectinas mediadas por Ca^{++} que es el principal componente de las plantas superiores (Solarte *et al.*, 2015).

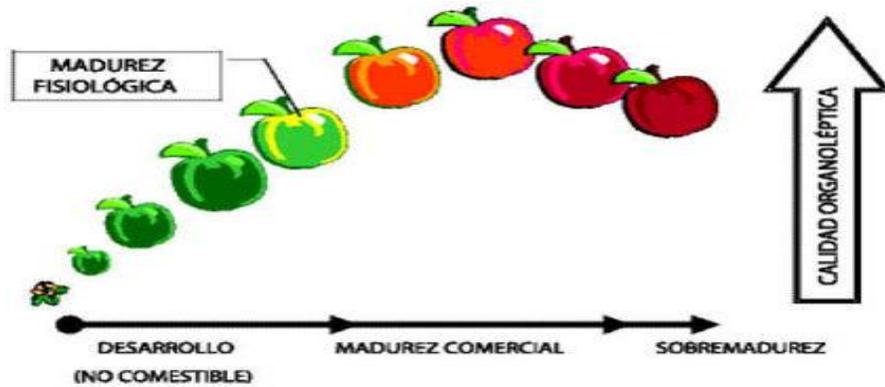


Figura 9 Cambios asociados al proceso de maduración (Reyes, 2001).

Producción de etileno en la fruta guayaba

La clasificación de guayaba como fruta climatérica o no climatérica es contradictoria. Algunos autores consideran que la guayaba es no climatérica en tanto, otros autores consideran que es climatérica y que esa condición puede ser un carácter varietal. El problema puede estar relacionado con el momento del corte. La tasa de producción de etileno de la guayaba es una fruta climatérica y no climatérica. Las tasas de respiración y producción de etileno dependen la variedad y del estado de madurez fisiológica (Tabla 3).

Tabla 3 Intensidad respiratoria y producción de etileno en frutos de guayaba poscosecha de diversas variedades

Variedad	T. almacen (°C)	IR (mg de CO ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹)	C ₂ H ₄ kg ⁻¹ h ⁻¹	Clasificación
Común	25		0,016-0,25	
	20	65 a 92 (día 8)	1,0-10,0	
Ben Dov	20		1,0-20,0	Climatérica
King	20	47 a 58 (día 9)	7,8 (día 7)	Climatérica suprimida
Omri	20	31	≤1,00	No climaterica
Paluma	23	88,2 (en día 6)		Climatérica
	23	138-159 (día 8-12)	3,25-3,70 (día 8-9)	Climatérica
Pedro Sato	22	80 (día 3)	0,06 (día 3)	Climatérica
	8	45 (día 4)	0,11 (día 12)	Climatérica
		148,9		Climatérica
Media China				
Primav-Verano	25	122-175 (día 4)	13,9- 33,9 (día 5)	
Otono- Invierno	25	80-120 (día 8)	11,7- 23,9 (día 9)	Climatérica
Regional Roja, Regional Blanca y Guavata victoria	20	500-1400 (día 2-4)	7,9-94,0 (día 4-8)	Climatérica
Alahabadi Safeda	25	47,6 (en día 9)	21,6 (en día 9)	Climatérica

Fuente: Coronado, 2014.

HIPOTESIS

El recubrimiento comestible elaborado a partir de almidón de plátano macho verde, quitosano y glicerol alarga la vida útil de la guayaba.

METODOLOGÍA

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación es de tipo experimental de laboratorio y de análisis cuantitativo; se le considera una investigación experimental porque se obtuvieron almidones y harina a partir de los residuos poscosecha del plátano macho verde; también se realizó la caracterización del mismo para determinar su calidad; además de que manipularán algunas variables como: concentración del almidón y quitosano de grado alimenticio en la elaboración de un recubrimiento comestible. Y de análisis cuantitativo porque se realizaran diversos ensayos para la determinación evolutiva de: pH, concentración de sólidos solubles (°Brix) así como también la evolución de color (L^* a^* b^*).

SITIO EXPERIMENTAL

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en varias etapas y lugares. La primera etapa de obtención y caracterización del almidón obtenido de los residuos de cosecha del plátano macho verde se desarrolló en los Laboratorios de Análisis de Alimentos I y II de la Facultad de Ciencias de la Nutrición y Alimentos de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. La etapa 2 de desarrollo, caracterización fisicoquímica y mecánica de las películas comestibles elaboradas a partir de almidón de plátano macho verde y quitosano así como la etapa 3 de evaluación del recubrimiento comestible de quitosano y almidón de plátano macho verde sobre la vida de anaquel de la guayaba, se llevaron a cabo en los Laboratorios de Fisicoquímica Alimentaria, Laboratorio de Inocuidad de Alimentos del Centro Universitario de Ciencias Biológicas Agropecuarias y en los laboratorios de Investigación de Alimentos y Caracterización de Polímeros del Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías de la Universidad de Guadalajara ubicados en Zapopan y Guadalajara, Jalisco, respectivamente.

MATERIAL BIOLÓGICO

- Plátano macho (*Musa paradisiaca* L.) en estado de madurez verde proveniente de la zona del Soconusco, Chiapas; fue utilizado para la obtención de almidón y su caracterización.
- Guayaba (*Psidium guajava* L.) en estado de madurez verde, libre de daño físico y de un peso aproximado de 90 g por pieza, se obtuvo de mercados de la Zona Metropolitana de Guadalajara, Jalisco fué utilizada para evaluar el efecto del recubrimiento comestible de almidón de plátano macho y quitosano, sobre su vida de anaquel.

VARIABLES

Debido a que la investigación se llevará a cabo en diversas etapas, las variables de estudio de cada etapa se agruparon tal y como se aprecia en la Tabla 4.

Tabla 4 Variables de estudio aplicadas en el desarrollo y evaluación de un recubrimiento comestible sobre la vida de anaquel de la guayaba.

Etapa	Variables			
	Dependiente	Independiente		
Etapa 1: Extracción y caracterización del almidón obtenido del plátano macho (<i>Musa paradisiaca</i>) verde	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Temperatura ➤ Tiempo de contacto. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Rendimiento ➤ Calidad del almidón ➤ Propiedades reológicas del almidón ➤ Tamaño de partícula de los gránulos de almidón 		
		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Pureza de almidón ➤ Humedad relativa ➤ Temperatura ➤ Tiempo de secado ➤ pH del Solvente ➤ Relación almidón: agua, Quitosano: solvente y quitosano:almidón 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ pH ➤ °Brix ➤ Espesor ➤ Solubilidad ➤ Humedad ➤ Permeabilidad al vapor de agua ➤ Tensión a la fractura ➤ % Elongación ➤ Módulo de Young o de elasticidad 	
			<ul style="list-style-type: none"> ➤ Temperatura ➤ Humedad relativa ➤ Tiempo ➤ Composición del recubrimiento 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ pH ➤ °Brix ➤ Acidez ➤ Pérdida de peso ➤ Color ➤ Firmeza

INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

Equipos

- Balanza analítica (TE601 Sartorius® EUA)
- Parrilla eléctrica (PC351 CORNING® USA)
- Centrífuga (Thermo Scientific Megafune 40R)
- Horno de secado (NOVATECH HS35)
- Parrilla de agitación con calentamiento(Thermo Scientific)
- Horno de secado (Frelab, México)
- Potenciómetro (pH 209,HANNA® instruments, Rumania)
- Colorímetro (CM-700d,KONICA MINOLTA® USA)
- Refractómetro (VBR50, CIVEQ® USA)
- Micrómetro digital (IP65, Mitutoyo, Japon)
- Penetrómetro (FORGE, GAUGE®, USA)
- Máquina de pruebas Universales (UNITED FM10)
- Incubadora (TERLAB)
- Copas de permeabilidad 10 cm²(Elcometer 5100,)

Reactivos

- Glicerol (técnica química ®, México)
- Bisulfito de sodio (LABESSA®, México)
- Ácido acético (LABESSA®, México)
- Quitosano grado alimenticio mediano peso molecular (Fraken Biochem Co. Ltd
Quingdao, China.Lote HL150502X)
- NaBr (Golden Bell, México)
- NaCl (Golden Bell, México)
- KNO₃ (Golden Bell, México)
- NaOH (Hycel, México)
- Fenolftaleína (HYCEL, México)

DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación se desarrolló como se describe en el siguiente diagrama.

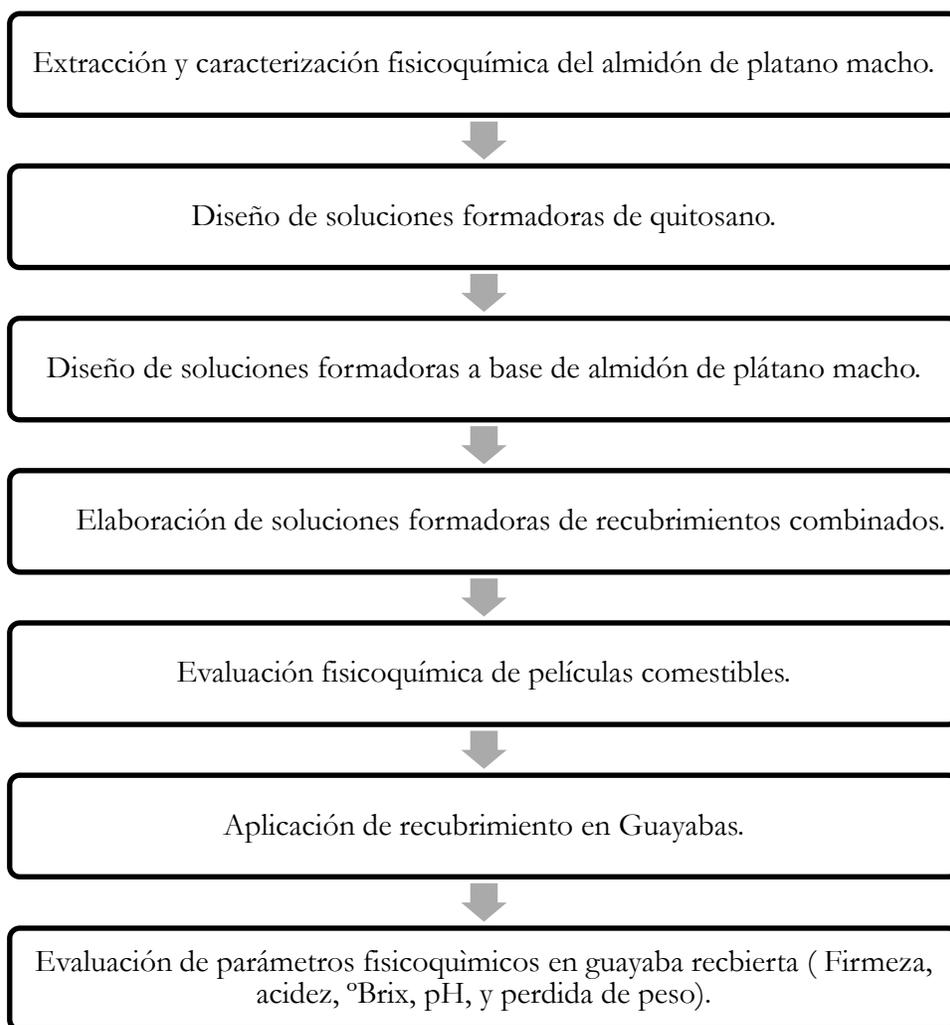


Figura 10 Diagrama de flujo del desarrollo para diseñar y evaluar un recubrimiento comestible para guayabas.

DESCRIPCIÓN DE LAS TÉCNICAS A UTILIZAR

OBTENCIÓN DEL ALMIDÓN DE PLÁTANO MACHO VERDE

Los plátanos machos verdes y sin daños físico aparentes fueron pelados y cortados en rodajas de 0.5 cm de grosor, para secarse a 65°C por 18 horas en un horno de secado convertido (Marca: Felisa mod: FE292AD). Las rodajas secas se molieron en un molino manual de maíz hasta obtener una harina con tamaño de partículas de 0.5 mm. El tamaño de partícula se verificó en un tamiz US(N° 30, 100 Y 140 marca: Mont-Inox, PAIS). Posteriormente se empleó la técnica de extracción de almidón propuesta por Bello perez (1999) en la cual se preparó 150 g de harina con una solución de bisulfito de sodio 0.1 % dejándose hidratando con agitación constante a 400 rpm durante 30, 45 y 60 minutos, según el tratamiento. Pasando este tiempo, la suspensión se filtró en un tamiz N° 80 y 100, para separar el sólido que contenía fibra. La suspensión se dejó reposar hasta la completa sedimentación del almidón, y por sifoneo se separaron los componentes solubilizados en el sobrenadante. El almidón se lavó tres veces con 300 mL de agua destilada y se centrifugó a 2500 rpm durante 10 minutos, para recuperarlo. El almidón se secó a 60°C en una estufa de convección durante 12 horas. Posteriormente se pesó y se tamizó a través de una malla N° 100 hasta el obtener almidón. Los almidones fueron empaquetados en una bolsa de plástico y mantenidos a temperatura ambiente hasta su uso posterior.

En la figura 11 se muestra el diagrama de flujo de la obtención del almidón de plátano macho verde.

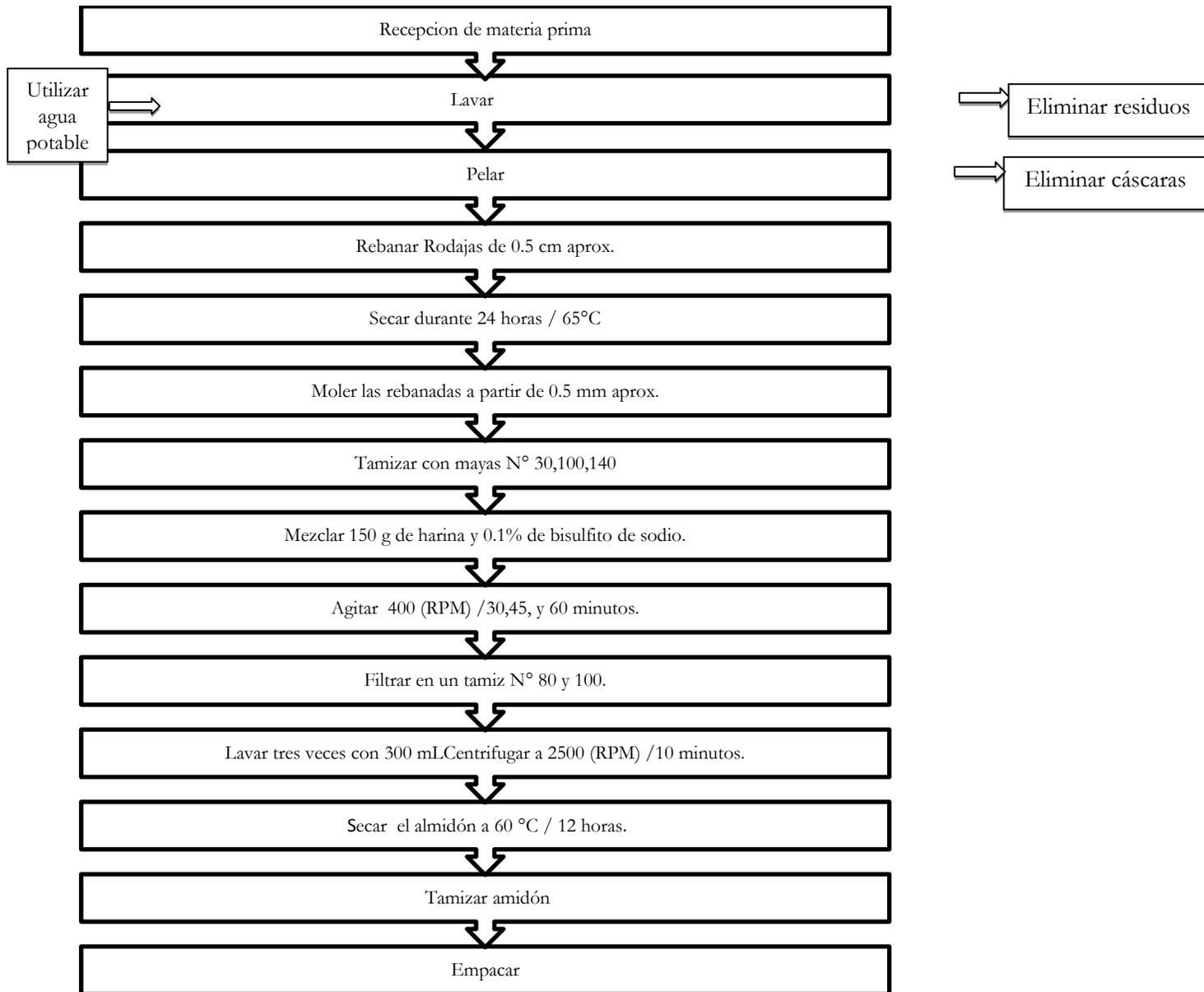


Figura 11 Diagrama general de proceso de extracción de almidón de plátano macho verde.

CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DEL ALMIDÓN DE PLÁTANO MACHO (*Musa paradisiaca*)

ANÁLISIS QUÍMICOS PROXIMALES

Se realizaron las pruebas químicas proximales del almidón de plátano macho (*Musa paradisiaca*) en estado de madurez verde siguiendo las técnicas que a continuación se describen.

Determinación de Humedad del almidón de plátano macho verde

El % de humedad del almidón de plátano macho verde se determinó de acuerdo al método 934.01 de la AOAC. Utilizando un equipo de termo balanza marca: Felisa modelo:292A.

Determinación de Cenizas del almidón de plátano macho verde

Para la determinación de cenizas se utilizó el método 923.03 de la AOAC. Mediante la técnica de secado utilizando una mufla marca: Lindberg.

Determinación de Extracto etéreo (lípidos) del almidón de plátano macho verde

El % de extracto etéreo se determinó de acuerdo al método 985.15 de la AOAC. Utilizando el equipo de extracción con soxhlet, marca lab-line instruments.

Determinación de Proteínas. (Método de Kjeldahl) del almidón de plátano macho verde

El contenido de proteína cruda se determinó con base al método kjeldahl 920.53 de acuerdo a la AOAC utilizando la técnica de titulación.

Determinación de la Fibra cruda del almidón del plátano macho verde

La cuantificación de la fibra cruda se determinó de acuerdo al método 978.10 de la AOAC.

CARACTERIZACIÓN FÍSICA

Color

Los parámetros de color se determinaron con un colorímetro (Konika, Minolta CR-400), midiendo los valores de la CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) L* (luminosidad), a* (coordenada de color rojo/verde) y b* (coordenada de color amarillo/azul).

Morfología de los gránulos de almidón

La morfología de los gránulos de almidón del plátano verde, fueron obtenidas con un microscopio electrónico de barrido con una tensión de aceleración de 15 kV. Las muestras de almidón se suspendieron con etano anhidro para obtener una suspensión al 1% (p/v), una gota de dicha suspensión fue tomada por el portaobjetos de aluminio y adheridas con cinta de grafito doble cara y posteriormente se recubrió con una película delgada oro para hacerlas conductoras al haz de electrones. Se tomaron las mediciones utilizando las barras de escala de imagen SEM.

CARACTERIZACIÓN QUÍMICA

Prueba de Lugol

10 gramos de almidón de plátano macho verde fueron disueltos en 100 mL de agua destilada, se tomó una alícuota de 1 mL, la cual fue colocada en un tubo de ensayo, se añadieron tres gotas de lugol. Se observó la aparición de un azul oscuro.

Índice de absorción de agua, índice de solubilidad en agua y poder de hinchamiento de almidón de plátano macho verde.

Los parámetros de índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad en agua (ISA) y el poder de hinchamiento (PH) se determinó de acuerdo a la técnica de Anderson et al., (1969) modificada. Tubos de 15x150 mm se llevaron a peso constante por 24 horas. Se pesaron 1.25 g de almidón seco, se agregaron 30 ml de agua destilada precalentada a 60 °C y se agitó sin excederse. Posteriormente, se colocó en baño de agua a 60 °C durante 30 min. La suspensión se agitó a los 10 minutos de haberse iniciado el calentamiento. La suspensión se centrifugó a temperatura ambiente a 4, 500 rpm durante 30 minutos. El sobrenadante se decantó inmediatamente después de centrifugar (máximo un minuto después) y se midió el volumen. Se tomó 10 ml del sobrenadante y se colocó en un vaso de precipitado de 50 mL (previamente pesado). El sobrenadante fue secado en un horno durante 12 horas a 70°C. Por último se pesó el tubo de centrifuga con el gel al igual que el vaso de precipitado con los insolubles.

Calorimetría Diferencial de Barrido (dsc)

Para la determinación de las propiedades del almidón se utilizó un calorímetro diferencial de barrido. Se pesaron 2 mg de almidón en una charola de aluminio y se mezclaron con 7 μ L de agua destilada. Las charolas se cerraron herméticamente y se dejaron reposar durante 1 hora a temperatura ambiente para el equilibrio de la humedad. Posteriormente las charolas se calentaron de 25 a 120° C a una velocidad de calentamiento de 5°C/min. Las diferentes temperaturas de transición (temperatura inicial, T_i ; temperatura pico; T_p y temperatura final. T_f) y la entalpia de gelatinización (ΔH) se obtuvieron del termograma resultantes con el software Pyris versión 11.

CARACTERIZACIÓN REOLÓGICA DEL ALMIDÓN DE PLÁTANO MACHO VERDE

La caracterización reológica del almidón de plátano verde se realizó de acuerdo a la metodología reportada por Tirado-Gallegos y col (2016). Se prepararon dispersiones de almidón (5% p/p) en agua destilada bajo agitación constante durante 15 min. Posteriormente, la muestra se colocó sobre la placa Peltier de calentamiento de un reómetro AR 1500ex (TA Instruments, Delaware, EUA) con una geometría en placas paralelas (acero inoxidable, y aceite mineral para prevenir la pérdida de humedad). El reómetro se programó para calentar y enfriar la muestra a una velocidad de corte y calentamiento constante de 50 s^{-1} y $2.5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$, durante 10 min, después de este tiempo la muestra se enfrió a 60°C , cuando la muestra alcanzó la temperatura final del enfriamiento ($60\text{ }^{\circ}\text{C}$), se realizaron tres barridos rotacionales para evaluar las propiedades de flujo. Se aplicaron dos barridos consecutivos, uno ascendente y otro descendente a una velocidad de corte de 0.06 a 300 s^{-1} , el tercer barrido fue ascendente de 1 a 300 s^{-1} , los datos se ajustaron al modelo de Oswal-De waele (Ley de potencia).

ETAPA 2. DISEÑO Y CARACTERIZACIÓN DEL RECUBRIMIENTO COMESTIBLE ELABORADO CON ALMIDÓN DE PLÁTANO MACHO VERDE Y QUITOSANO

Este recubrimiento fue elaborado utilizando como base un humectante y un espesante, en este caso, se utilizó el almidón de plátano macho termoplástico, el quitosano de grado alimenticio y el glicerol. En la figura 12 se muestra el diagrama de flujo para la elaboración de recubrimientos comestibles.

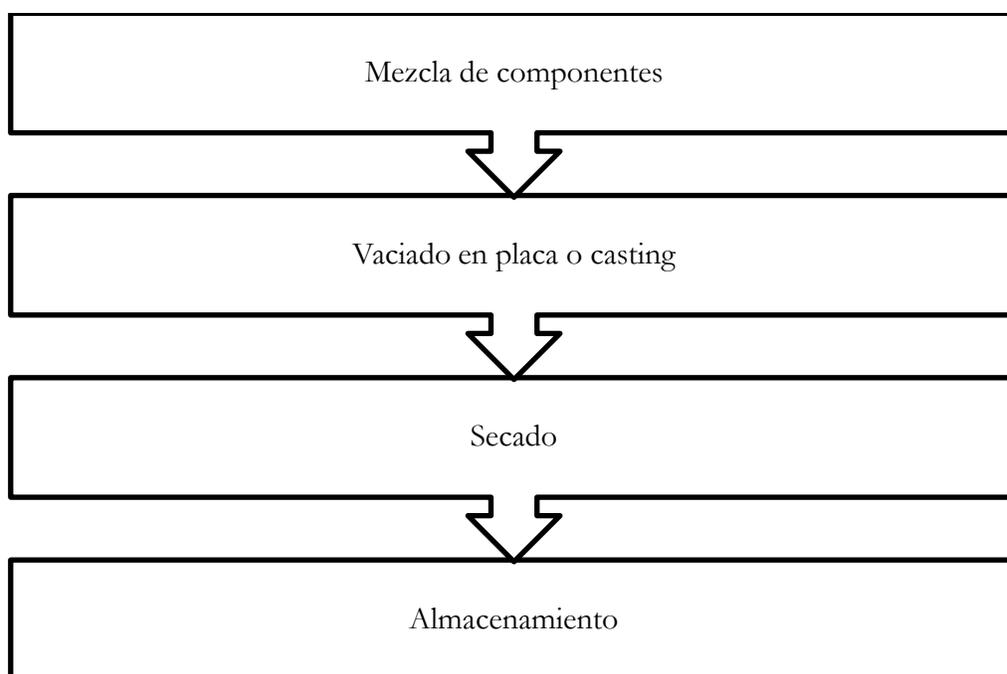


Figura 12 Diagrama de flujo para la elaboración de los recubrimientos comestibles.

Para diseñar el recubrimiento comestible, primero se determinó la concentración de quitosano y almidón que permitieran la formación de películas comestibles. Por separado, se realizaron soluciones formadoras de recubrimientos de quitosano y de almidón a diversas concentraciones (Tabla 5). Para el recubrimiento de quitosano se emplearon las concentraciones de 1.0, 1.5 y 2.0%*m*; disuelto en soluciones de ácido acético al 1, 0.8 y 0.5%*m*y glicerol al 0, 0.12 y 0.25%*m* como plastificante. Para el recubrimiento de almidón de plátano macho, se probaron las concentraciones de 2, 4 y 6%*m* así como glicerol al 2%*m* disueltos en agua. Estos componentes se mezclaron y calentaron a 90°C durante 10 min. Para elaborar las películas a partir de estas formulaciones, 10 ml de cada solución fueron colocados en cajas de Petri de vidrio recubiertas con teflón y secadas a una temperatura de 39 ±2°C durante 24h.

Tabla 5 Prueba preliminar para definir la concentración de componentes del recubrimiento comestible para guayaba.

Tratamiento	Componentes	
	Polisacárido	Glicerol
A	1.0%	0
B	1.5 %	0.12%
C	2%	0.25%
D	2%	
E	4%	2%
F	6%	
Control		

Nota: Las formulaciones de quitosano fueron elaboradas disolviendo el quitosano con con a. acético al 0.8%

Con las formulaciones propuestas en la tabla 5, se recubrieron guayabas para definir si se formaba el recubrimiento sobre su superficie. A las películas obtenidas con las formulaciones de la Tabla 5, se les evaluó espesor, humedad, solubilidad y color.

Espesor

El espesor de los recubrimientos se midió mediante un micrómetro digital (IP65. Mitutoyo, Japón). Las lecturas se realizaron en 5 diferentes puntos del recubrimiento y se consideró el valor promedio.

Contenido de humedad

El contenido de humedad (CH) de cada muestra se determinó de acuerdo al método reportado por Mei y Shao (2003). Los recubrimientos fueron cortados en cuadros de 2 cm por 2 cm, y colocados en recipientes previamente pesados a peso constante. Los recipientes de aluminio junto con los cortes se pesaron y se deshidrataon en un horno a 100°C durante 24 horas. Transcurrido ese tiempo las muestras fueron colocadas en un desecador que consecutivamente se pesó en una balanza analítica. El contenido de humedad se determinó empleando la siguiente ecuación considerando el peso inicial del recubrimiento de la película antes de la deshidratación y el peso después de la deshidratación.

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

Dónde

Peso inicial: Peso de la película comestible antes de la deshidratación.

Peso final: Peso de la película comestible después de la deshidratación.

Medición de solubilidad

Las películas fueron cortadas en trozos de 3 x 3 cm, posteriormente las muestras se pesaron y se colocaron en vasos de prueba con 50 ml de agua destilada, durante 24 horas. Pasadas las 24 horas de inmersión, los trozos de las películas se secaron hasta peso constante en un horno a 105° C. Para determinar el peso de materia seca no soluble se determinó el porcentaje de solubilidad en base a la siguiente ecuación. Cada muestra se realizó por triplicado.

$$\text{Solubilidad (\%)} = \frac{(W-W_f)}{(W)} \times 100 \quad (2)$$

Dónde:

W: peso inicial de la película comestible.

Wf: peso final de la película comestible.

Color

El color de las películas se determinó con el colorímetro (Konica Minolta CR-400), midiendo los valores de la CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) L* (luminosidad), a* (coordenada de color rojo/verde) y b* (coordenada de color amarillo/azul). La diferencia de color (ΔE) de las películas respecto al control, se calculó con la ecuación y a partir de estos parámetros, se estimaron saturación de color (C*) y tono de color ($^{\circ}h$) mediante las ecuaciones:

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad (3)$$

$$C^* = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (4)$$

$$^{\circ}h = \arctan\left(\frac{b}{a}\right) \quad (5)$$

Se realizaron combinaciones de cada una de las concentraciones de soluciones formadoras de recubrimientos comestibles, una vez elaboradas las soluciones se procedió a realizar una prueba preliminar con el fin de determinar el efecto que tenían los recubrimientos propuestos (Tabla 5) sobre la maduración de guayaba en estado de madurez verde. Guayabas sin daño físico aparente fueron lavadas y secadas con ventilación para ser caracterizadas en cuanto a los

parámetros de dimensiones, peso y color , para finalmente ser recubiertas, secadas y almacenadas a condiciones ambiente. Estos tratamientos se aplicaron por triplicado midiendo durante los días 0, 1, 3, 5, 7, y 10 se analizaron %PP, pH por el método potenciométrico (NMX-F-317-NORMEX-2013; potenciómetro pH 209, HANNA instruments, Rumania), °Brix (AOAC 1984, refractómetro digital), acidez titulable (NMX-FF-011-1982). Los frutos evaluados fueron seleccionados al azar para su posterior destrucción.

Los recubrimientos de quitosano y almidón que arrojaron la menor pérdida de peso de la guayaba, fueron seleccionados para probarse en conjunto. Con los datos obtenidos se definieron las concentraciones de quitosano, glicerol y almidón a emplear para elaborar soluciones formadoras de recubrimientos y de esta manera desarrollar una formulación que contenga estos ingredientes combinados. Una vez definida la composición de la película combinada, se realizaron los siguientes análisis para caracterizarla.

Pruebas mecánicas

Las pruebas mecánicas fueron evaluadas con base a los parámetros de esfuerzo máximo (TS), porcentaje de elongación a la ruptura (%E) y módulo de Young (E) de acuerdo a la norma ASTM D882 “Ensayos a tensión para películas plásticas” en un equipo de pruebas universales (INSTRON®, Guangdong, Chinaserie 3340) con una carga de 1 kN a una distancia de 55 mm y una velocidad de 7 mm/s. Rectángulos de películas de 15 cm de largo con un ancho de 2.5 cm fueron acondicionadas a 24° C a una humedad relativa de 52±5%. Se midieron cinco muestras para cada condición experimental y se tomaron los valores promedio. Los espesores de las películas fueron medidos en seis puntos diferentes a lo largo de cada una de estas con ayuda de un micrómetro manual (IP65. Mitutoyo, Japon).

Permeabilidad al vapor de agua

Para la determinación de la velocidad de transmisión de vapor de agua de las películas comestibles combinadas se utilizó el método de desecante según la ASTM E96. Cinco películas fueron cortadas en círculos con diámetros de 6 cm y acondicionadas en un desecador

a una humedad relativa (HR) de 73% con una solución saturada de NaBr durante 24h. Las películas acondicionadas fueron colocadas en copas de permeabilidad, mismas que se llenaron con 7mL de una solución sobresaturada de KNO_3 . Las copas de permeabilidad con películas se mantuvieron a una HR de 50 ± 5 % en un desecador. Se registraron los pesos en una balanza analítica cada hora durante 8h.

$$WVP = (WVTR \times L) / AP \quad (6)$$

Donde

WVP= es la permeabilidad al vapor de agua (g / msPa),

L= es el espesor medio de la película

AP= es la diferencia de presión de vapor de agua parcial entre los dos lados de la película.

$$\text{Permeanza} = \frac{VIVA}{(P_2 - P_1)} \quad (7)$$

ETAPA 3. EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL RECUBRIMIENTO COMESTIBLE SOBRE LA CALIDAD POSCOSECHA DE LA GUAYABA

Las guayabas en estado de madurez verde y sin daño físico aparente (cortes, picaduras, magulladuras), ni plagas específicas para los frutos; fueron lavadas y secadas para caracterizar el fruto de acuerdo con sus dimensiones, peso y color. Las guayabas seleccionadas fueron separadas en dos grupos (A y B); las guayabas que se iban a recubrir con la solución formadora del recubrimiento comestible seleccionado y las del tratamiento control sin recubrir. Las guayabas recubiertas se mantuvieron a temperatura ambiente hasta que el recubrimiento se secó. A los días 0, 1, 3, 5, 7, 10 y 14 se analizaron %PP, pH, °Brix, acidez titulable y firmeza del fruto. Los frutos evaluados fueron seleccionados al azar para su posterior destrucción.

Los análisis efectuados se realizaron acorde al orden siguiente.

Firmeza

La determinación de la firmeza se realizó de acuerdo con la metodología propuesta por Hong *et al.*, (2012) empleando un penetrometro digital (FORGE GAUGE®, USA) y la puntilla de 10 mm de ancho. De cada muestra se tomaron tres lecturas de la zona ecuatorial reportando como resultado el promedio de las 3 lecturas expresado en Newton.

Medición de pH

El pH de los frutos recubiertos se determinó mediante la NMX-F-317-NORMEX-2013 empleando un potenciómetro (pH 209, HANNA instruments, Rumania) previamente calibrado a pH 4,0.

Acidez titulable

La acidez titulable se determinó mediante titulación con NaOH 0.1 N, a pH de 4,0 utilizando fenolftaleína como indicador, de acuerdo con lo establecido en la NMX-FF-011-1982. Este procedimiento se realizó por triplicado para cada grupo (con recubrimiento y control) por día de muestreo. Para la determinación del ácido cítrico se utilizó la siguiente ecuación de acuerdo a la norma.

$$\text{Acido cítrico (\%)} = \frac{V \times N \times \text{Meq}}{\text{alícuota valorada}} \times 100 \quad (8)$$

Donde

V= Volumen de NaOH gastados en mL

N= Normalidad del NaOH

Meq= Miliequivalente 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

Sólidos totales solubles

Para la determinación de sólidos totales solubles se aplicó el método de la AOAC (1984) mediante la técnica de refractometría empleando un refractómetro digital (VBR50, CIVEQ® USA), las guayabas se machacaron en el mortero hasta la obtención de una pasta homogénea y los datos se reportaron como °Brix.

Pérdida de peso

Para la determinación de la pérdida de peso se efectuó un seguimiento de la pérdida del peso del fruto con y sin recubrimientos durante su almacenamiento en los días 0, 1, 3, 5, 7, 10 con una balanza digital. La prueba se hizo por triplicado. Los resultados fueron expresados como porcentaje de peso perdido (ecuación 9) respecto al peso inicial del fruto fresco al día 0.

$$\% \text{ Pérdida de peso} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100(9)$$

Dónde

Peso inicial: Peso inicial de la guayaba.

Peso final: Peso final de la guayaba.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos obtenidos fueron analizados mediante un análisis de varianza (ANOVA) empleando un factor de confiabilidad del 95% ($p > 0,05$) Todos los análisis se realizaron por triplicado o quintuplicado reportando los resultados como promedios y con su respectiva desviación estándar utilizando el software infostat.

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Etapa 1: Extracción y caracterización del almidón obtenido del plátano macho (*Musa paradisiaca*) verde

Obtención de almidón de plátano macho

Con el método aplicado para obtener almidón de plátano macho en estado de madurez grado 2 verde claro, de acuerdo a la escala de Von Loesecke, se obtuvieron 445g de almidón a partir de 1.200 kg de harina y 13kg de plátano macho en estado de madurez verde (Figura 13). Obteniendo el porcentaje de 37.08% con respecto a la harina de plátano, el cual resulta similar a los obtenidos en investigaciones realizadas por Montoya *et al.*, (2014) quienes obtuvieron un 30,7% de rendimiento de extracción de almidón de plátano harton. Las variaciones de rendimiento se le podrían atribuir a la optimización del método de extracción. Por lo tanto, el contenido de almidón presente en la pulpa de plátano macho verde obtenido de los residuos postcosecha se considera alto y puede ser aprovechado si se aplica el método propuesto por Fernández *et al.*, (1999).



Figura 13 Almidón de plátano macho verde.

Análisis proximal del almidón de plátano macho

En la tabla 6, se muestran los resultados obtenidos del análisis químico proximal del almidón de plátano macho verde en base seca. El contenido de humedad fue del 11,74%, contenido similar al 10,22% del almidón de ñaño reportado por Alvis *et. al.*, (2008) y el 9,26% del almidón de plátano harton reportado por Olayide *et al.*, (2008).

El contenido de cenizas en el almidón de plátano macho verde fue de 0,10% siendo este mayor a los resultados encontrados en almidones de otras fuentes como papa (0,05%) y yuca que varía entre 0,04 y 0,05% (FAO, 2016)

En cuanto al contenido de extracto etéreo se obtuvo un valor de 0,36%, valor dentro del rango reportado para almidón de plátano harton con 0.35% y del almidón de yuca con 0.31% (García *et al.*,(2011).

Respecto al contenido de proteína, el almidón de plátano macho presentó el 5.45%, contenido mayor al 2,03% del almidón de plátano variedad harton publicado por Bello *et al.*, (1998).

Tabla 6 Resultados de análisis químico proximal de almidón de plátano macho verde (nivel 2 de madurez).

Componente	Contenido (%)
Humedad	11,74± 2,7
Cenizas	0,10 ±0,0
Grasa	0,36±0,2
Proteína	5.4± 0,3

Morfológica de almidón de plátano macho

En el análisis morfológico de los gránulos de almidón de plátano macho nativo sin gelatinizar, (Figuras 14 y 15) se pueden apreciar gránulos de diferentes tamaños, con formas irregulares, en algunos casos esféricos y en otros ovales. Los gránulos observados se ubicaron dentro del rango reportado por Lucas *et al.*, (2013) quienes reportaron la morfología de gránulos de almidón de plátano harton.

Los tamaños de gránulos influyen en algunas características fisicoquímicas, funcionales y nutricionales, los más grandes desarrollan una alta viscosidad en pasta y los pequeños son más digeribles (Espinoza *et al.*, 2009).

La morfología de los gránulos de almidón puede ser atribuida al origen botánico, a la bioquímica de los amiloplastos, el grado de maduración del fruto y la fisiología de la planta. El tamaño de los gránulos de almidón influye sobre sus propiedades funcionales, así, cuanto más pequeños sean, mayor será su digestibilidad; además son resistentes a procesos con altas temperaturas como la esterilización. En algunos almidones el tamaño de sus gránulos muestra relación con la proporción amilosa/amilopectina (Delpuech *et al.*, 1980).

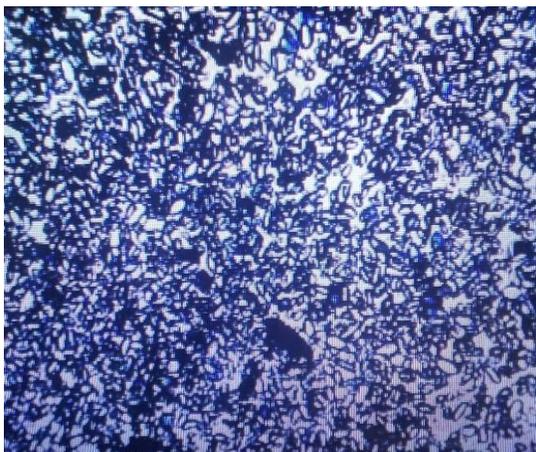


Figura 14 Gránulos de almidón de plátano macho (aumento 4X).

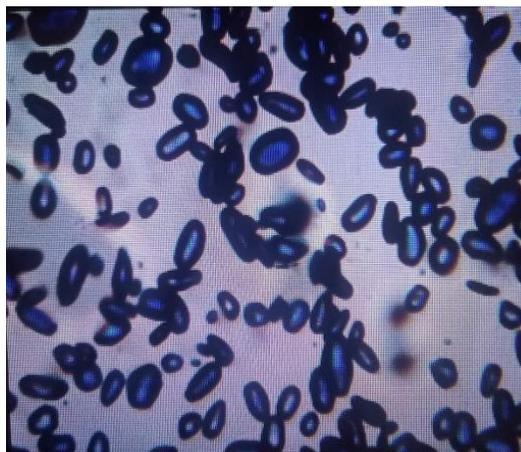


Figura 15 Gránulos de almidón de plátano macho (10 X).

Índice de absorción de agua (IAA), Índice de solubilidad en agua (ISA), y poder de hinchamiento (PH) del almidón de plátano macho verde.

La absorción y la solubilidad de agua así como el incremento del poder de hinchamiento, son parámetros originados por la gelatinización. Éstos nos indican la magnitud de la interacción entre las cadenas de almidón dentro de 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).

Los resultados obtenidos de IAA, ISA y PH para el almidón de plátano macho en un estado de madurez grado 2 fueron 15,53; 4,96 y 15,27 respectivamente. Éstos valores son similares a los reportados por Contreras *et al.*, (2013) en almidón de yuca quienes obtuvieron resultados en IAA de 15,52; pH de 15,45, e ISA de 12,32. El mayor poder de hinchamiento, de solubilidad y de absorción de agua del almidón de plátano macho verde (Figura 16), se atribuye probablemente, al alto contenido de grupos fosfato en la amilopectina; estos generan una repulsión en las cadenas adyacentes, incrementando la hidratación por el debilitamiento de los enlaces dentro de la parte cristalina del granulo. La diferencia de los resultados obtenidos en índice de solubilidad en agua respecto a la obtenida en la presente investigación, puede atribuirse a que estos almidones contienen diferentes cantidades de amilosa. Debido a lo anterior, se puede concluir que las propiedades funcionales del almidón de plátano macho presentan características similares a los almidones de buena calidad pues, estos tienen una baja solubilidad, alta absorción de agua y un alto poder de hinchamiento (Rios, 2013).

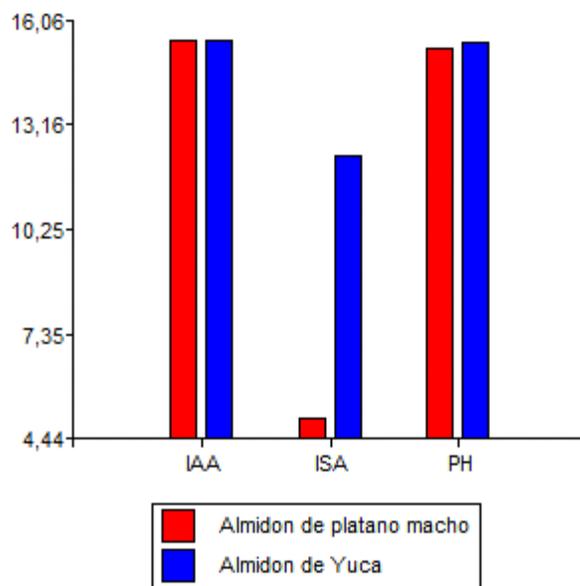


Figura 16 Comparación Índice de absorción de agua, índice de solubilidad de agua y poder de hinchamiento de almidón de Plátano macho y almidón de Yuca.

Color

En la tabla 7, se muestran los resultados obtenidos de la determinación de color del almidón de plátano macho en base seca. De acuerdo con los resultados, el almidón de plátano macho verde presenta valores de L^* (luminosidad) de 90,75, la cual, se considera elevada. La luminosidad representa la claridad de los almidones, la cual se extiende en un eje vertical que va desde cero el cual corresponde al color negro hasta cien el cual corresponde al color blanco, es decir, indica que tan oscuro o claro está el material. Cabe mencionar que el valor de la luminosidad (L^*) es un punto clave para determinar la blancura de almidones. De acuerdo con investigaciones realizadas por Palomino *et al.*, (2010) el almidón de ocumo chino y ocumo criollo reportó valores de L de 93,27, similares a los encontrados en este estudio.

Por su parte, los parámetros a^* y b^* exhibieron valores de 0,68 y 4,57 respectivamente. El parámetro a^* indica las coordenadas de verde (-a) y rojos (+a) de una muestra; mientras que el parámetro b^* indica las coordenadas de azul (-b) y amarillo (+b) de una muestra. Esto indica

que el almidón de plátano macho tiende ligeramente al color verde y al amarillo, relacionándose con la blancura del almidón obtenido.

Tabla 7 Atributos de color (espacio CIELAB) del almidón de plátano macho verde.

Muestra	L*	a*	b*	Croma	$^{\circ}hue$
Almidón de plátano macho verde	90,75 ± 0,59	0,68 ± 0,01	9,96 ± 0,03	86,15 ± 0,4	99,93 ± 0,3

ESTUDIOS TÉRMICOS Y DE ESPECTROSCOPIA DE TRANSMISIÓN DE INFRARROJO CON TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR) DE ALMIDÓN DE PLÁTANO MACHO

La espectroscopia de absorción infrarroja (IR) es el método utilizado para determinar las estructuras de moléculas con características de absorción de la radiación infrarroja según su vibración molecular. El espectro vibracional de una molécula se considera una propiedad física única y por tanto característica de ésta molécula. Así, entre otras aplicaciones, el espectro IR se puede usar como “huella dactilar” en la identificación de muestras desconocidas mediante la comparación con espectros de referencia (Mondragon et al., 2017). En la figura 17 se presentan los resultados obtenidos del espectrograma del almidón de plátano macho verde el cual, presentó un intervalo de absorción entre 600 y 3600 cm^{-1} . En el espectro se observa un estiramiento en la región 3200- 2800 cm^{-1} , esta región es característica del enlace O-H y representan tendencias hidrofílicas dl almidón. La banda de 2800 cm^{-1} es atribuida a las vibraciones de los enlaces C-H ; las bandas ubicadas de 1256- 1400 cm^{-1} reflejan la presencia baja del grupo C=O, mientras que la banda 1200 cm^{-1} presenta una intensidad muy débil relacionado al grupo C=N, esto se debió a los polisacáridos de dialdehido capaces de entrecruzarse con grupos amino de proteína. En la banda de 1600 cm^{-1} se aprecia la flexión de enlaces de agua mientras que en las bandas 1025 cm^{-1} se encuentran implicadas las vibraciones de los enlaces glucosídicos como piranosa C-O-C por la ruptura de la glucosa al momento de la degradación. Éstas bandas se encuentran relacionadas con las vibraciones de la región

amorfa (Shrestha et al., 2010) y cristalina (Van Soest et al., 1995) del almidón, respectivamente. Finalmente, el primer pico visible situado en 500 cm^{-1} se atribuye a una extensión de enlace C-O.

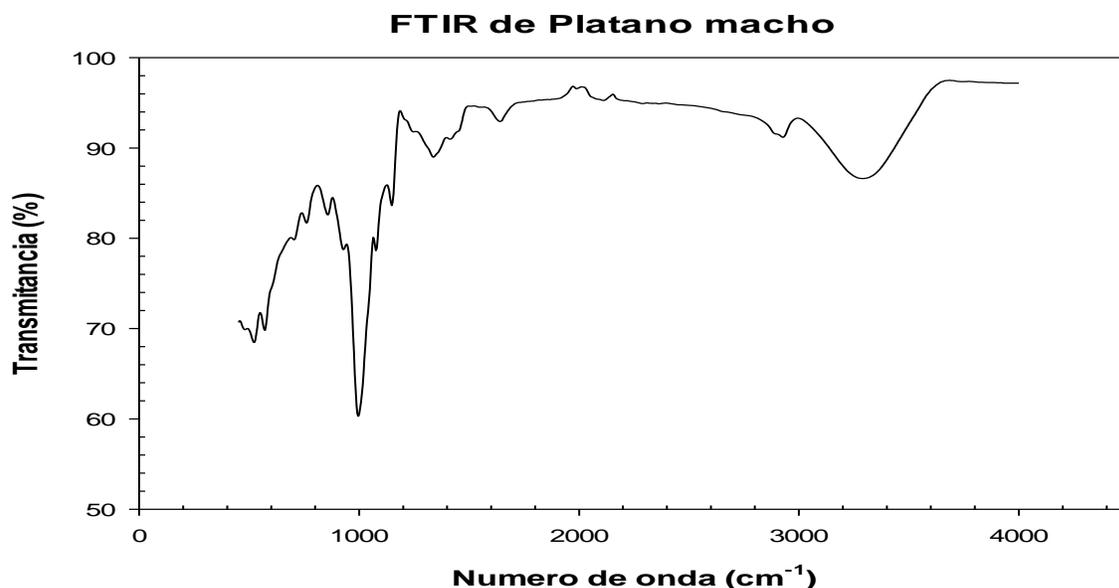


Figura 17 Estudios de Espectroscopia de Infrarrojo con Transformada de Fourier (FTIR) de almidón de plátano macho verde (estado de madurez 2).

Propiedades térmicas del almidón de plátano macho

En la tabla 8 se muestran los resultados obtenidos del análisis de calorimetría diferencial de barrido (DSC) en el almidón de plátano macho verde. Se aprecia que la temperatura inicial de la gelatinización del almidón de plátano macho verde es a $75,27^{\circ}\text{C}$ (T_i), una temperatura pico (T_p) a $79,33^{\circ}\text{C}$ y la temperatura de finalización de la gelatinización (T_f) a los $87,13^{\circ}\text{C}$. Para este proceso, la energía absorbancia fue de $16,24\text{ (J/g)}$. Estos resultados son similares a los valores de T_i reportado para el almidón de guineo (Lucas *et al.*, 2013) cuya valor fué de $75,4^{\circ}\text{C}$. Así como también presentan cierta similitud en los resultados obtenidos por Williams *et al.*, (2014) quienes obtuvieron los valores de $T_p = 71.88^{\circ}\text{C}$ y $T_f = 77.15^{\circ}\text{C}$ mismos que se encuentra dentro del rango de los valores obtenidos en esta investigación. T_i , T_p y T_f indican las temperaturas de transición de las fases de la harina y del almidón al inicio de la gelatinización, cuando las muestras son sometidas a temperaturas de cocción, lo que facilita el conocimiento de los cambios que pueden sufrir las durante los diferentes procesos a los que

ambos productos son sometidos en las industrias alimenticias y no alimenticias (Dufour *et al.*, 2009).

El agua actúa como un plastificante y los polímeros con bajo peso molecular, particularmente las moléculas de amilosa, empiezan a separarse del gránulo del almidón. A medida que la temperatura aumenta, los gránulos comienzan a colapsar hasta que finalmente la parte amorfa (amilosa) queda totalmente solubilizada, mientras que la parte cristalina se mantiene en la solución acuosa. El almidón presenta una temperatura inicial más baja que la harina, lo que se debe a la presencia en esta última de diferentes componentes. Con la temperatura final ocurre lo contrario, siendo mayor para el almidón debido a la gomosidad de la muestra después de la absorción de calor.

Tabla 8 Propiedades térmicas del almidón de plátano macho.

Muestra	$T_i (^{\circ}C)$	$T_p (^{\circ}C)$	$T_f (^{\circ}C)$	$\Delta H (J/g)$
Almidón de plátano macho	$75,27 \pm 0,06$	$79,33 \pm 0,28$	$87,13 \pm 0,81$	$16,24 \pm 0,65$

PRUEBA DE LUGOL

La prueba de yodo es una reacción química usada para determinar la presencia o alteración de almidón u otros polisacáridos. Una solución de yodo- diyodo disuelto en una solución acuosa de yoduro de potasio que reacciona con almidón produciendo un color púrpura; este tipo de prueba puede realizarse con cualquier producto que contenga almidón como por ejemplo las papas, el pan o ciertos frutos (Aguilar *et al.*, 2014). En la figura 18 se muestra el resultado de la prueba positiva de lugol en almidón de plátano macho en estado de madurez 2.



Figura 18 Determinación de prueba de lugol para el almidón de plátano macho en estado de madurez 2.

ETAPA 2: DISEÑO Y CARACTERIZACIÓN DEL RECUBRIMIENTO COMESTIBLE ELABORADO CON ALMIDÓN DE PLÁTANO MACHO VERDE Y QUITOSANO

Prueba para la selección del recubrimiento óptimo

Las películas fueron elaboradas por el método de casting o vaciado en placa el cual, consistió en colocar 10, 15, 20 y 25 mL de solución formadora de recubrimientos comestibles en cajas Petri y posteriormente secarlas durante 24 horas a 37°C. Esto con el fin de determinar la cantidad en mL de la solución, requerida para la obtención de una película continua, firme, de fácil desprendimiento y con un espesor mínimo, tal que no afectara la superficie de la guayaba. Así como para poder estandarizar el tiempo y la temperatura de secado para cada uno de los componentes utilizados.

De los volúmenes probados, las películas obtenidas con 10 mL de solución formadora de recubrimiento comestible. Las películas de almidón de plátano macho elaboradas con la concentración de 4% fueron resistentes, firmes y con un espesor similar al recubrimiento formado sobre la superficie de la guayaba (Figura 19). Es necesario disponer de una concentración adecuada de almidón para elaborar las películas ya que, si la concentración

de almidón es baja (<3%) la solución difícilmente gelifica, ocasionando problemas en la formación de una película continua. Cuando la concentración de almidón es alta (>30%); la solución es muy viscosa y por lo tanto es muy difícil de vaciar a la caja petri, tarda demasiado tiempo en secarse, la superficie de la película no es uniforme ni lisa y el espesor final de la película es muy grueso lo cual, afecta las propiedades sensoriales de la guayaba recubierta con esta solución.

Las películas de quitosano elaboradas con ácido acético al 0.8% presentaron una mejor apariencia en comparación con aquellas que fueron elaboradas con ácido acético al 0.5%. La solubilidad del quitosano se encuentra relacionada con la cantidad de grupos amino protonados de la cadena polimérica; en cuanto mayor sea la cantidad de estos grupos, será mayor la solubilidad del polímero, aspecto que se encuentra relacionado al grado de desacetilación del quitosano, lo que evidencia el aumento en la solubilidad (Sánchez *et al.*, 2007). Además la solubilidad del quitosano se ve afectada por el tipo y concentración del ácido orgánico empleado para disolverse siendo las concentraciones menores al 2% o menores, las que solubilizan mejor al quitosano.



Figura 19 Película de almidón de plátano macho.



Figura 20 Película de quitosano grado alimenticio.

CARACTERIZACIÓN DE PELÍCULAS COMESTIBLES

Espesor

Las propiedades mecánicas y de barrera dependen del espesor de las películas comestibles. En la literatura se han informado valores de espesor para películas de biopolímeros en un amplio rango, lo que indica la dependencia de este parámetro con la composición y las condiciones del procesamiento (López *et al.*, 2012).

En la tabla 9 se pueden apreciar los espesores obtenidos en cada uno de los tratamientos probados en esta investigación, cabe mencionar que la variación de los espesores obtenidos es atribuida a la adición de glicerol como plastificante ya que, este en cantidades mayores, permite que exista una interacción homogénea entre los componentes de la matriz polimérica de las películas elaboradas, es por ello que mientras más cantidad de glicerol contengan estas, aportara mayor grosor a las películas obtenidas.

Tabla 9 Espesor de películas comestibles elaboradas con soluciones formadoras de recubrimiento comestible con diferentes concentraciones de Quitosano y Almidón de plátano macho verde.

Concentración de almidón de plátano macho verde/ glicerol 2%	Espesor (mm)	Concentración de quitosano/ glicerol 0,12 y .25%	Espesor (mm)
2,0%	0,11 ± 0,012	1,0%	0,043 ± 0,003
4,0%	0,08 ± 0,014	1,5%	0,098 ± 0,0148
6,0%	0,104 ± 0,015	2,0%	0,058 ± 0,0052

García *et al.*, (2005) evaluaron películas de almidón de plátano Okenia (*Okenia hypogaea*) y mango por el método de gelatinización térmica y en frío. Ellos encontraron que mediante este último el espesor era menor, además de que la fuente de almidón juega un papel muy importante en el espesor de las películas cuando se utiliza la gelatinización en frío.

Solubilidad

La solubilidad de las películas de almidón de plátano macho verde se ubicó dentro del rango de 35.7 – 58.18% mientras que las películas de quitosano se ubicaron dentro del rango de 22.07 -59.42% (Tabla 10). En ambos casos, la mayor la solubilidad de las películas se presentó en las películas con menor contenido de polisacárido ya que la matriz polimérica era menos rígida. Las películas de quitosano se desintegraron a las 24 horas; este comportamiento se debe a la naturaleza del quitosano, su alta hidrofiliadad que en conjunto con el glicerol le brindaron a su estructura la facilidad de incrementar el espacio entre cadena- cadena de matriz polimérica aumentando así la movilidad entre las mismas y por lo tanto el volumen libre. Esto facilitó la absorción de agua. Por otro lado, las películas de almidón se mantuvieron integras a las 24 horas, esto se debió a las características de dicho componente, ya que al combinarlo con el glicerol se modificó su estructura molecular permitiéndole establecer nuevas interacciones moleculares entre este y las cadenas poliméricas, generando así mayor movilidad y facilidad de vibración de los grupos hidroxilos (Oropeza *et al.*, 2016). En películas compuestas almidón- quitosano, ajustando la concentración de quitosano en la formulación se puede modificar la solubilidad en agua para adecuarla a una necesidad específica (Silvas, 2017).

Tabla 10 Solubilidad y humedad de diferentes películas comestibles de almidón de plátano macho verde y quitosano grado alimenticio de mediano peso molecular

Tratamiento	Solubilidad (%)	Humedad (%)
Almidón 2,0%	58,18 ± 0,01	12.54 ± 0.04
Almidón 4,0%	44,22 ± 0,02	14.36 ± 0.01
Almidón 6,0%	35,71 ± 0,03	11.84 ± 0.00
Quitosano 1,0%	51,74 ± 0,01	10.24 ± 0.01
Quitosano 1,5%	59,42 ± 0,01	18.93 ± 0.02
Quitosano 2,0%	22,07 ± 0,01	22.80 ± 0.00

Humedad

La tabla 10 muestra los resultados obtenidos en la determinación de humedad contenida en las películas de quitosano y de almidón de plátano macho. Como se puede observar en ambos tratamientos existen diferencias significativas en cuanto a su contenido de humedad en porcentaje, en esta investigación se obtuvieron resultados para las películas elaboradas a base de almidón de plátano macho verde, de 11.34 a 14.36 % respectivamente y para el caso de las películas elaboradas a base de quitosano se obtuvieron contenidos de 10.24 a 22.80%.

El contenido de humedad de las películas comestibles juegan un papel muy importante, ya que esto nos va a permitir predecir el comportamiento de los componentes al momento de aplicarlo sobre el fruto a evaluar, así como también nos permitirá pronosticar su capacidad de barrera a ciertos gases, las propiedades mecánicas y la solubilidad de las mismas. Los resultados obtenidos en la humedad contenida en cada una de las películas se le pueden atribuir a la diferente composición de las películas, particularmente el contenido de glicerol ya que al tener tres grupos OH en su estructura es muy hidófilo y atrae una gran cantidad de moléculas de agua. Un mayor contenido de glicerol separa la estructura polimérica permitiendo que los enlaces sean más accesibles a las moléculas de agua.

DETERMINACIÓN DE COLOR DE PELÍCULAS COMESTIBLES

Las propiedades visuales de las películas comestibles determinan la aceptabilidad de los consumidores debido a esto es necesario realizar su caracterización mediante la medida de color de su superficie con un colorímetro. En esta investigación se evaluaron los parámetros de $^{\circ}hue$, Croma y ΔE , con el fin de determinar el comportamiento de los componentes a diferentes concentraciones, así como también determinar la interacción entre el plastificante y los componentes.

El $^{\circ}hue$ se conoce como matiz e indica la diferencia de un color a otro (rojo- amarillo o verde-amarillo) los resultados obtenidos en esta investigación arrojaron valores de 80,08- 87,21 para películas de quitosano y valores de 54,30- 65,00 para películas de almidón de plátano macho (Tabla 11). Estos resultados son similares a los obtenidos en investigaciones realizadas por Zhang et al (2006) quienes obtuvieron resultados de 80,49 – 82,57 y de 65, 47 en películas elaboradas a base de almidón de papa y glicerol a concentraciones de 0 y 5% lo cual indica que las películas tienden a un color amarillo tenue. En base a estudios realizados por Miramont (2012) se logró concluir que la apariencia de las películas comestibles depende del hidrocoloide utilizado y de los aditivos añadidos. Entonces, el color de las películas evaluadas en esta investigación dependerá del almidón de plátano macho verde y del quitosano, ya que el almidón de plátano macho verde se conforma por unidades largas de glucosa; las películas que contienen monosacáridos como fructosa, manosa y glucosa, son de color amarillo, esto justificaría que el color de las películas evaluadas tienda a amarillo tenue.

El croma se conoce como saturación y describe lo llamativo o lo apagado de un color; en otras palabras, indica que tan cerca está el color ya sea al gris o al matiz puro y abarca de 0 a 100% (Xrite, 2002). Los resultados arrojados en esta investigación se encuentran en el rango de 1,01 - 1,19% para las películas de almidón de plátano macho verde y en el rango de 1,90- 4,04% para las películas de quitosano (Tabla 11). Estos resultados son similares a los obtenidos en investigaciones realizadas por Caldas et al., (2018) quienes obtuvieron valores de 1,04 en películas con gel de aloe vera a una concentración del 5%. Películas que dejan pasar la luz casi en su totalidad tienden a un color amarillo tenue con un grado de saturación muy bajo y con una alta transparencia.

La ΔE indica el grado de distribución del plastificante y el biopolímero dentro de la estructura de la película comestible y depende en gran medida de la afinidad de estos componentes, así como su grado de interacción. Los resultados obtenidos en esta investigación se encuentran en el rango de 15,47 -16,82 para películas de almidón de plátano macho, y en el rango de 15,22 – 16, 95 para películas de quitosano tales como se muestran en la tabla 11. Los resultados obtenidos en esta investigación fueron similares a los reportados por Caamal et al., (2011) quienes reportaron valores de 15,64 y 16,66 en películas elaboradas a base de almidón de yuca y de ib (*Phaseolus lunatus L.*) con 8% de plastificante a una concentración de 75:25 y 25:75. El plastificante (glicerol) a esas concentraciones logró una distribución homogénea entre los componentes viéndose reflejado en la disminución del valor de ΔE .

Tabla 11 Parámetros de color de películas comestibles de Almidón de plátano macho y de quitosano grado alimenticio de mediano peso molecular.

Composición de película	Contenido de glicerol (%)	Parámetros de color		
		$^{\circ}hue$	Croma	ΔE
Quitosano 1,0	0%	87,21	4,04	16,95
Quitosano 1,5	.12%	75,03	1,29	15,70
Quitosano 2,0	.25%	80,08	1,90	15,22
Almidón 2,0	2%	65,00	1,19	16,82
Almidón 4,0	2%	54,30	1,01	16,06
Almidón 6	2%	58,43	1,10	15,47

Con base en los resultados obtenidos de las pruebas de espesor, humedad y solubilidad, y a las consultas bibliográficas, se determinaron las concentraciones adecuadas para la elaboración de una solución formadora de recubrimientos comestibles con ambos componentes: almidón de plátano macho y quitosano; para evaluar su efecto en el fruto de la guayaba. Dicha solución formadora de recubrimiento comestible estuvo formada por quitosano al 1,5% y almidón de plátano macho al 4% a una relación 50:50.

Propiedades mecánicas

Una película biodegradable debe poseer cierta resistencia mecánica y extensibilidad para mantener su integridad y capacidad de barrera ; en esta investigación se evaluaron las propiedades mecánicas de películas de quitosano, almidón y películas combinadas de quitosano y almidón (50:50), las propiedades mecánicas porcentaje de elongación a la ruptura, el esfuerzo máximo de tracción y el módulo de Young de estas se muestran en la tabla 12 (Figura 21).

La resistencia de tracción es el esfuerzo de tracción sostenido por la muestra durante la prueba de tensión; si el esfuerzo de tracción máximo ocurre ya sea en el punto de ruptura, se designa la resistencia a la tracción en el rendimiento o en la ruptura, respectivamente. La resistencia de tracción de las películas de quitosano mostraron un patrón mecánico típico de materiales quebradizos (40,40 MPa) los resultados fueron similares obtenidos por Shellhammer (1997) quien obtuvo un valor de esfuerzo tensil para películas de almidón de maíz de 47,4 MPa; Mali et al., (2005) estudiaron las curvas de esfuerzo de deformación de las películas de quitosano y almidón sin plastificante, presentándose características más evidentes en películas de quitosano. Las películas de almidón/quitosano y de almidón, presentaron características típicas de materiales dúctiles; siendo estas las más flexibles en comparación con las películas de quitosano. Resultados similares se obtuvieron en investigaciones realizadas por Laohakujint (2004) en almidón de mandioca con agregado de glicerol o sorbitol.

El módulo de Young indica la rigidez de la película; un módulo de Young más pequeño indica que un material es flexible. En el caso de las películas de quitosano se obtuvieron valores altos(1808). Las interacciones entre la matriz y el plastificante mostraron una tendencia similar para las películas de almidón (12,63) y las películas combinadas (almidón / quitosano)(6,71) siendo estas últimas las más flexibles. Los plastificantes interfieren en la asociación de las cadenas poliméricas, facilitando su deslizamiento, disminuyendo así la rigidez de la red produciendo películas de estructuras menos ordenadas.

El alargamiento a la rotura indica la flexibilidad y la capacidad de elongación de las películas, que se determina en el momento en que la película se rompe durante las pruebas de tracción y se expresa como el porcentaje (Mali *et al.*,2004). Las películas de quitosano, almidón y de

ambos componentes (almidón/ quitosano) presentaron diferentes comportamientos. Las películas de quitosano tuvieron una menor resistencia a la ruptura(18,59 %); mientras que Caner et al., (1998) encontraron que los valores de elongación de las películas de quitosano fue de 14-70%. Además mencionan que el porcentaje de elongación dependerá del tipo de ácido utilizado para solubilizar el quitosano y del tiempo del almacenamiento. Por otro lado, las películas de almidón obtuvieron un porcentaje de elongación de 42,18 % mientras que las combinadas 97,00%; reflejándose en estas últimas una mayor flexibilidad. Los resultados de % de elongación de las películas elaboradas a base de almidón son superiores a los obtenidos en investigaciones realizadas por Fama et al. (2003) quienes reportaron para películas de almidón de yuca (5% p/v) y glicerol (2,5% p/v) un porcentaje de elongación de 30% menor a los valores obtenidos en esta investigación. Películas compuestas de almidón de maíz- quitosano plastificadas con glicerina, muestran que la mezcla de estos dos hidrocoloides mejora sus propiedades mecánicas como la elongación a la rotura y la permeabilidad al vapor de agua, en contraste con membranas desarrolladas con uno solo de los componentes estructurales(Olivia et al., 2012).

Tabla 12 Comparación de propiedades mecánicas de películas comestibles biodegradables.

Película	Propiedades mecánicas		
	Módulo de Young	Esfuerzo máximo (TS)	Porcentaje de elongación a la ruptura (%E)
Almidón (4%)	12,63 ± 0,89	2,45 ± 0,38	42,18 ± 10,56
Quitosano (1.5%)	1808,76 ± 497,12	40,40 ± 14,63	18,59 ± 17,95
Almidón (4%)/ Quitosano (1.5%)	6,71 ± 0,42	4,88 ± 0,89	97,00 ± 8,94

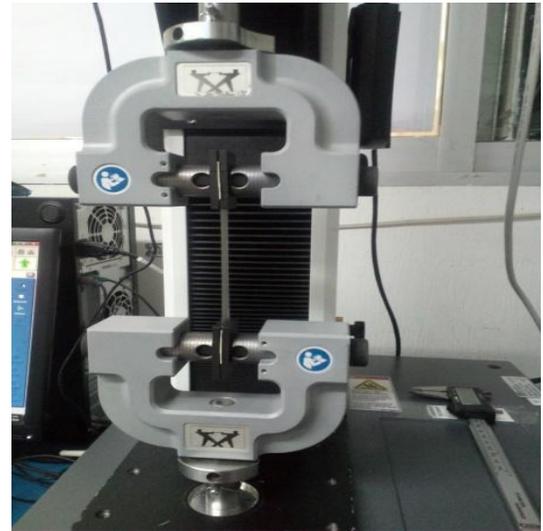


Figura 21 Determinación de propiedades mecánicas de películas comestibles

Los resultados obtenidos de las películas combinadas de almidón de plátano macho y quitosano (50:50) se compararon con películas sintéticas, ya que no se presentó similitud entre los resultados pero lo obtenido se aproximó a los reportados por Olivia et al (2012) quienes reportaron los valores de 131,5 en películas de HDPE (polietileno de alta densidad), el comportamiento de la película biodegradable fue similar al de una película sintética.

Permeabilidad al vapor de agua

La permeabilidad al vapor de agua (Figura 22) representa la cantidad de vapor que atraviesa la película o revestimiento por unidad de tiempo y grosor de la película y diferencia de presión de vapor de agua a través de una película a una temperatura determinada (Balwdwin et al., 1995). La permeabilidad al vapor de agua de las películas de quitosano y almidón así como la mezcla de ambos se presentan en tabla 13. Los valores de permeabilidad reportados son cercanos a los citados por Viera et al (2016) ($2,088 \times 10$). La permeabilidad al vapor de agua aumenta a medida que aumenta el contenido del plastificante, ya que este modifica la

organización molecular haciendo la estructura menos densa y por ende más permeable, el incremento de la permeabilidad con el contenido del plastificante puede estar relacionado a la hidrofiliicidad de la molécula de plastificante. Además cabe mencionar que la permeabilidad de las películas combinadas se debió también a la naturaleza de sus componentes (almidón de plátano macho y quitosano) ya que las interacciones tipo enlaces de hidrogeno del almidon- quitosano disminuyen las disponibilidad de grupos hidrofílicos, reduciendo las interacciones entre las moléculas de agua y por lo consiguiente la permeabilidad al vapor de agua (Kader 2010). En la tabla 13 se presenta la comparación de los resultados de permeabilidad al vapor de agua de diferentes componentes, obtenidos en otras investigaciones y los obtenidos en esta investigación.

Tabla 13 Permeabilidad al vapor de agua de películas de quitosano y almidón.

Película	Permeabilidad al vapor de agua (g/ms Pa)
Almidón de plátano macho verde/ quitosano (50:50)	$2,029 \times 10^{-10} \pm 1,171$
Almidón de plátano	$1,320 \times 10^{-10} \pm 0,442$
Quitosano	$3,66 \times 10^{-11}$



Figura 22 Acondicionamiento de películas comestibles para determinar la permeabilidad al vapor de agua.

ETAPA 3: EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL RECUBRIMIENTO COMESTIBLE ELABORADO CON ALMIDÓN DE PLÁTANO MACHO VERDE Y QUITOSANO SOBRE LA VIDA DE ANAQUEL DE LA GUAYABA

Determinación de parámetros físicos

Pérdida de peso

La pérdida de peso en los frutos se deben principalmente a la pérdida de agua causada por los procesos de respiración y transpiración (Yan Fan *et al.*, 2009). El principal objetivo de los recubrimientos comestibles es retardar la migración de humedad y la pérdida de compuestos volátiles (Aguilar *et al.*, 2012)

La figura 23 muestra la pérdida de peso de los frutos de guayaba expresada en porcentaje, en función al tiempo de almacenamiento (días). Con base en los resultados obtenidos por el ANOVA ($p > 0,05$) se evidencia las diferencias significativas que se presentaron en cuanto al porcentaje de pérdida de peso de las guayabas recubiertas y las guayabas controles. Al concluir el experimento, los frutos recubiertos con soluciones de quitosano/ almidón (50:50), fueron los que presentaron menores pérdidas de peso en comparación con los del tratamiento control que no fueron recubiertos. Las figuras 23 y 24 confirman que el recubrimiento comestible limitó la pérdida de humedad de las guayabas recubiertas durante el periodo de almacenamiento. Asimismo, los frutos recubiertos con soluciones de quitosano/ almidón presentaron mejor apariencia en comparación con las guayabas del tratamiento control. Esto se le atribuye a la menor pérdida de agua en forma de vapor a través de aperturas microscópicas en la epidermis de la guayaba; ocasionando que retenga más agua y se mantengan en un estado similar al fresco durante más tiempo.

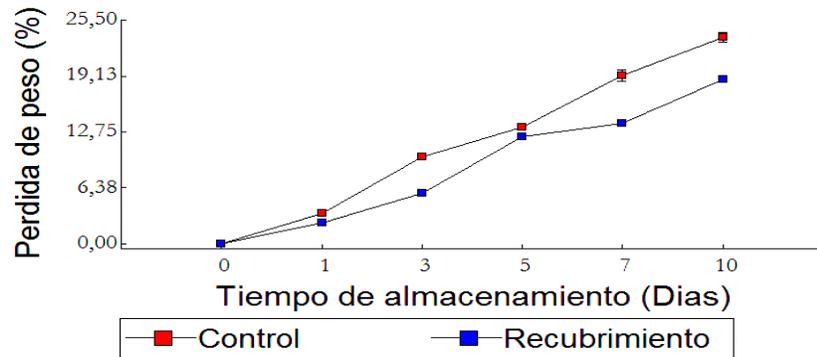


Figura 23 Pérdida de peso de guayabas recubiertas con un recubrimiento de almidón de plátano macho/ quitosano (50:50) durante 10 días de almacenamiento a condiciones ambiente (25^aC /50%HR)



Figura 24 Comparación entre una Guayaba sin recubrir y una Guayaba recubierta con almidón de plátano macho/ quitosano (50:50) durante 10 días de almacenamiento a condiciones ambiente (25^aC /50%HR).

Firmeza

A medida que avanza el estado de maduración del fruto, hay cambios en la estructura y en la composición de la pared celular de la célula vegetal por la degradación o hidrólisis enzimática de las sustancias celulósicas, pépticas y ácidos poligalacturónicos. La pérdida de textura es el cambio más notable que ocurre en frutas y vegetales durante su almacenamiento, y está relacionado con los cambios metabólicos y con la pérdida de humedad (Aguilar *et al.*, 2012).

En la figura 25 se muestra la firmeza de los frutos de guayaba recubiertos con la solución quitosano/ almidón (50:50) y los frutos del tratamiento control. Con base en los resultados obtenidos en el ANOVA ($p > 0,05$), existe una diferencia estadísticamente significativa entre la firmeza de los frutos recubiertos y los frutos del tratamiento control. Los frutos recubiertos reportaron mayor firmeza que los frutos sin recubrir. Esto se debió a que las guayabas con el transcurso del tiempo de almacenamiento, perdieron humedad, provocando así la disminución de la firmeza y por ende, de la fuerza necesaria para deformar la epidermis del fruto. Las guayabas recubiertas reportaron una menor pérdida de peso, lo que se traduce en una menor deshidratación que las guayabas sin recubrir. Por lo tanto, el recubrimiento de almidón de plátano macho/ quitosano (50:50) favorece la firmeza de las guayabas recubiertas.

Duan *et al.*, (2008) mencionan que en guayabas, la disminución de la firmeza es más rápida afectando la integridad de la pared celular, calidad sensorial y económica de los frutos. De acuerdo con los resultados obtenidos (Figura 26), se podría establecer que el tiempo aproximado que tardan los frutos de la guayaba con recubrimiento comestible en perder la textura es de 10 días a 25°C y 50% de HR. Yaman y Bayoindirli (2002), mencionan que ambientes con atmósfera modificada, reducen la actividad enzimática causante de la degradación de las paredes celulares, permitiendo así la retención de la firmeza de frutas y vegetales.

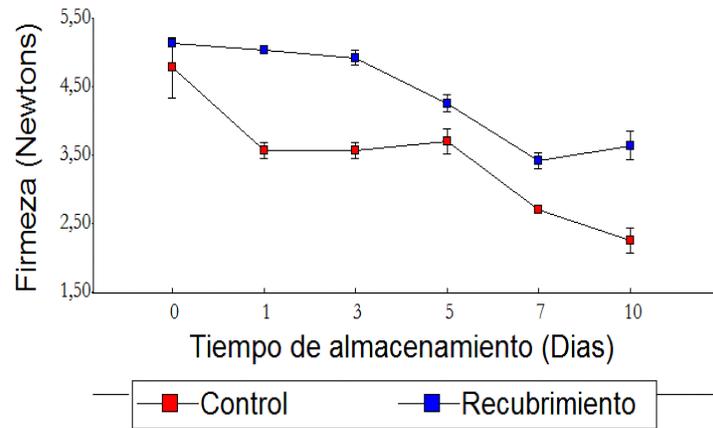


Figura 25 Firmeza de guayabas recubiertas con un recubrimiento de almidón de plátano macho/quitosano (50:50) durante 10 días de almacenamiento a condiciones ambiente (25°C /50%HR)



Figura 26 Determinación de Firmeza de frutos.

DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS QUÍMICOS

Acidez titulable

La acidez titulable (expresada en contenido de ácido cítrico) representa a los ácidos orgánicos que se encuentran libres en un alimento (Kader, 2011). 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 pécticas y hemicelulosa), aumentando así los azúcares en solución (Carryedo *et al.*, 2013).

En la figura 27 se muestran el contenido de ácido cítrico de frutos de guayaba recubiertos con almidón de plátano macho/quitosano (50:50) y guayabas sin recubrir durante un periodo de 10 días. El análisis estadístico de los resultados indica que el día de almacenamiento influye en el contenido de ácido cítrico de las guayabas, sobretodo a partir del día 7 en que la diferencia entre la acidez de las guayabas recubiertas es estadísticamente mayor que la acidez de las guayabas del tratamiento control. Los frutos recubiertos presentaron una mayor presencia de ácido cítrico en un rango de 0,34 – 0,27 %, similares a los reportados por Garcia *et al* (2010) quienes evaluaron el comportamiento poscosecha de la guayaba roja recubierta con dos capas de solución formadora de quitosano durante 15 días a una temperatura de almacenamiento de 37° C obteniendo un contenido de ácido cítrico de un rango de 0,32-0,27 %. El mayor contenido de ácido cítrico en las guayabas recubiertas se debió a que el recubrimiento formado en los frutos de la guayabas modificó la atmósfera interna de la fruta, retardando así la maduración. Si el recubrimiento hace que disminuya la velocidad de respiración de la guayaba, se retardarían las reacciones enzimáticas que ocurren en la respiración y por lo tanto, la retrasarían el uso de los ácidos orgánicos (Espinoza, 2015). Tal como lo demostraron Yaman y Bayoindirli (2001) y Garcia *et al.* (1998).

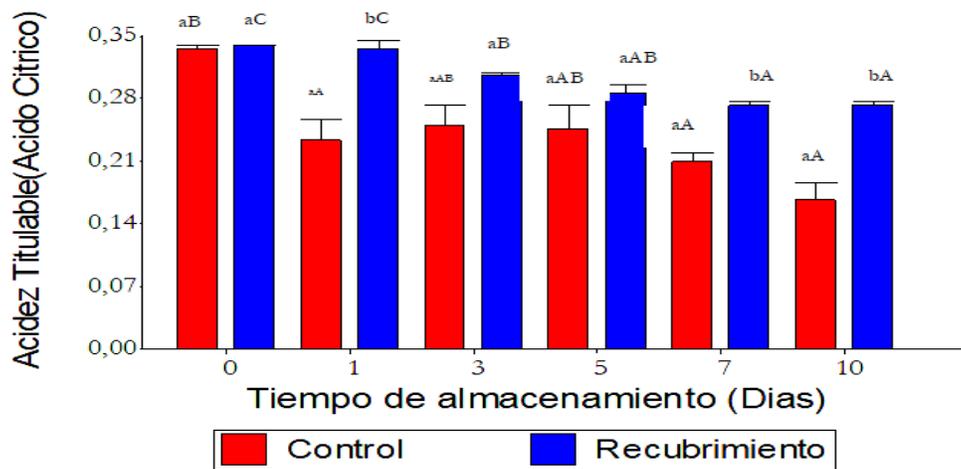


Figura 27 Concentración de ácido cítrico en frutos de guayaba recubiertos con un recubrimiento de almidón de plátano macho/quitosano (50:50) durante 10 días de almacenamiento a condiciones ambiente (25°C /50%HR)

*Letras en minúscula diferentes en el mismo día, indican diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$) ANOVA.

*Letras mayúsculas diferentes entre días indican diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$) ANOVA.

Sólidos totales solubles (°Brix)

Los °Brix representan el % de sacarosa que hay en el jugo del fruto y es un parámetro indicativo de la madurez de los frutos, pues estos valores usualmente se incrementan en el periodo de maduración.

En la figura 28 se aprecian los valores de °Brix de guayabas recubiertas y sin recubrir con el almidón de plátano macho verde/quitosano (50:50). De acuerdo con la figura, los °Brix aumentan con el periodo de almacenamiento. Asimismo, las guayabas recubiertas con soluciones de almidón/ quitosano presentaron un menor incremento de ° Brix en comparación de las guayabas que no fueron recubiertas. El análisis estadístico de los datos indica que existe diferencia estadísticamente significativa ($p > 0,05$) entre el contenido de °Brix de las guayabas recubiertas y el tratamiento control. En dicha figura, se demuestra que los frutos recubiertos presentaron diferencias significativas a partir del día 1 al día 10 los valores obtenidos oscilan entre 9,93-11,83% Brix este comportamiento se atribuye a que se presentó interacción, es

decir, la aplicación de recubrimiento tuvo mejor desempeño respecto al tiempo. De acuerdo con Fan (1992) puede ocurrir un descenso en los sólidos solubles durante el almacenamiento, que se justifica por el consumo de sustratos en el metabolismo respiratorio de la fruta. 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. En el presente estudio, las muestras se almacenaron durante 10 días a condiciones ambiente (25°C y 50%HR), presentando una incremento de °Brix conforme avanzó el periodo de almacenamiento.

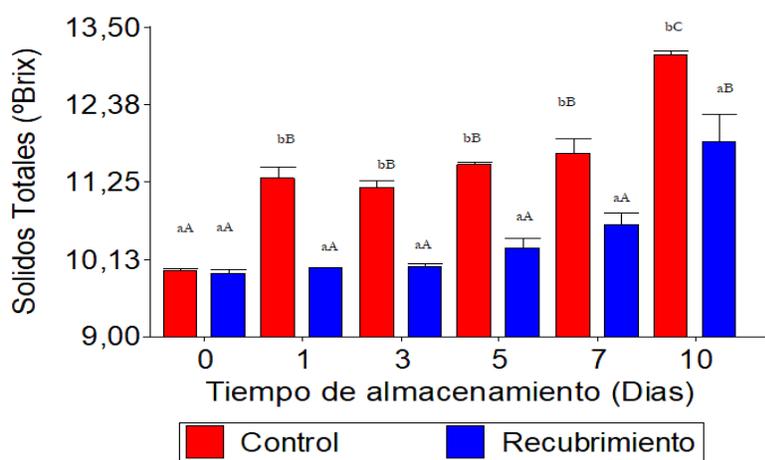


Figura 28 Contenido de Sólidos solubles en frutos de guayaba recubiertos con un recubrimiento de almidón de plátano macho/quitosano (50:50) durante 10 días de almacenamiento a condiciones ambiente (25°C /50%HR)

*Letras en minúscula diferentes en el mismo día indican diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$) ANOVA).

*Letras mayúsculas diferentes entre días indican diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$) ANOVA).

pH

El aumento en el pH durante el almacenamiento demuestra la senescencia del producto. Los valores obtenidos en esta investigación demuestran que no existió diferencia estadísticamente significativa ($p > 0,05$) en el pH, durante los primeros días del monitoreo sino hasta el día 5

(Figura 29). Los resultados obtenidos oscilaron dentro del rango 3,9 y 4,1 aproximadamente, para frutos que fueron recubiertos logrando así alargar la vida útil del fruto. Investigaciones realizadas por García (1991) sobre formulaciones de quitosano, menciona que se emplearon una o dos capas de la solución, mostrando aumentos menores en el pH respecto a las frutas controles, lo cual quiere decir que estos recubrimientos disminuyeron los cambios en pH prolongando de esta manera la senescencia del fruto.

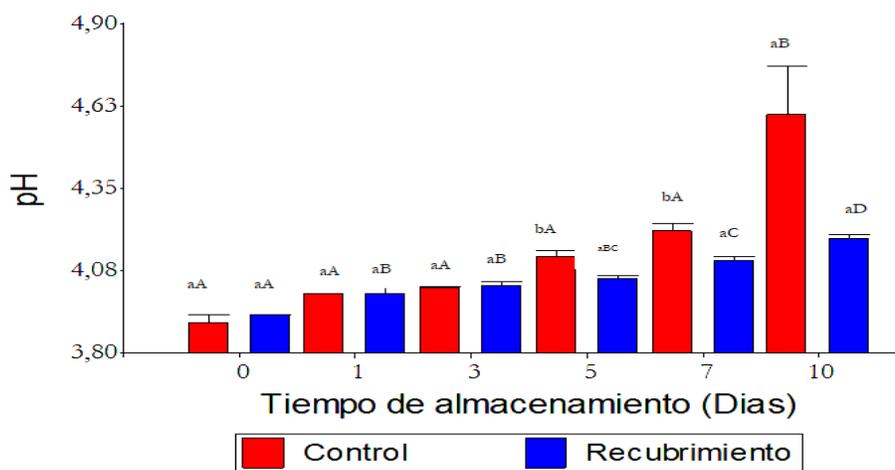


Figura 29 pH de en frutos de guayaba recubiertos con un recubrimiento de almidón de plátano macho/quitosano (50:50) durante 10 días de almacenamiento a condiciones ambiente (25°C /50%HR)

*Letras en minúscula diferentes en el mismo día indican diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$) ANOVA).

*Letras mayúsculas diferentes entre días indican diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$) ANOVA).

CONCLUSIONES

El almidón aislado de fuentes no convencionales, como es el caso del almidón de plátano macho, puede ser una alternativa para elaborar películas biodegradables, que presenten propiedades mecánicas y de barreras específicas, para su posible aplicación en frutos con alto índice de respiración, como es el caso de la guayaba.

El recubrimiento comestible diseñado a partir de quitosano grado alimenticio y almidón de plátano macho verde, permitió extender la vida de anaquel de las guayabas a 10 días en condiciones ambientales no controladas, manteniendo sus características sensoriales agradables al consumidor.

El recubrimiento comestible de almidón de plátano macho verde y quitosano (50:50) es una alternativa de conservación postcosecha para el fruto de guayaba (*Psidium guajava* L.) debido a sus propiedades de barrera, ya que logró reducir la pérdida de peso, deshidratación, la pérdida de firmeza y velocidad de maduración de frutos recubiertos los cuales, mejoraron su apariencia y extendieron su vida de anaquel a 10 días al término de los cuales, mantenían sus propiedades sensoriales muy similares al estado fresco.

Durante el periodo de estudio de 10 días, las guayabas controles mostraron deterioro fisiológico gradual, en contraste, las guayabas recubiertas mantuvieron buena apariencia física y no se presentó anaerobiosis, lo que denota un eficiente efecto de conservación fisiológico en el fruto recubierto. De acuerdo a lo anterior, el almidón de plátano macho verde tiene potencial para ser utilizado en la elaboración de recubrimientos comestibles demostrando su eficiencia en prevenir el deterioro del fruto.

El recubrimiento formado presentó solubilidad, elasticidad, permeabilidad al vapor de agua y módulo de Young dentro del rango de valores reportados para recubrimientos de almidón de diferentes orígenes y quitosano.

Los recubrimientos comestibles elaborados, demostraron la capacidad de mejorar la calidad sensorial, nutricional y prolongar su vida útil de los alimentos. El uso de recubrimientos comestibles sigue siendo una opción potencialmente prometedora para mejorar la calidad en la industria alimentaria y reducir el empleo de plásticos.

PROPUESTAS / RECOMENDACIONES

En base a los resultados y las conclusiones obtenidas en el presente estudio, se sugiere lo siguiente

- Desarrollar soluciones formadoras de recubrimientos comestibles elaboradas a base de almidón de plátano macho verde, combinándolos con otros polisacáridos o ceras de su interés con el fin de determinar el comportamiento del mismo en una matriz de naturaleza diferente.
- Comparar el método de gelatinización del almidón (método frío /método térmico) con el fin de evaluar su capacidad de formación del gel y posteriormente evaluar su porcentaje de solubilidad en agua y su porcentaje de humedad.
- Evaluar el comportamiento del almidón en frutos climatéricos con una alta capacidad respiratoria así como también evaluar frutos recubiertos en condiciones específicas (temperatura de almacenamiento y humedad relativa específicos).
- Utilizar una relación mayor que la utilizada en esta investigación así como también utilizar un plastificante diferente como es el caso del sorbitol.
- Aplicar el método de extracción de almidón utilizado en esta investigación en otros frutos o tubérculos con el propósito de evaluar el rendimiento del aislamiento.
- Evaluar su permeabilidad a otros gases como por ejemplo al oxígeno.
- Modificar el almidón de plátano macho para hacer una estructura más resistente, y de esta manera poder conferirle propiedades específicas al recubrimiento a elaborar.

REFERENCIAS DOCUMENTALES

1. Astilleros Rosas, n. (2017). "Evaluación de la biodegradación en el suelo de películas elaboradas con mezcla de almidón de mezcla de almidón de sorgo". Morelos.
2. Badui Dergal, s. (2012). Química de los alimentos. Quinta edición edo. de México : Pearson.
3. Balwin, Elizabeth y Nisperos-Carriedo, Myrna. 2013 "Use of edible coatings to preserve quality of lightly (and slightly) processed products" Australia : pp 25
4. Brownleader , M., y otros. 1999. Molecular Aspects of Cell Wall Modifications during Fruit Ripening. London : s.n., 1999.
5. Bello Perez, Luis Arturo y Romero Bastida Claudia Andrea, Edith Agama Acevedo y Paul Baruk Zamudio Flores. 2012. "Películas elaboradas con almidones de fuentes no convencionales". Hermosillo, Sonora : Clave editorial, 2012.
6. Brownleader , M., y otros. 1999. "Molecular Aspects of Cell Wall Modifications during Fruit Ripening". London : s.n., 1999.
7. Calderón Ramos., Alma Deysi y Moreno Lazo, Eder Job. 2009. "Producción de frutos de guayaba (psidium guajava l.) Variedad Taiwán 1, utilizando diferentes programas de fertilización de n-p-k" san salvador: s.n., 2009.
8. Casaca, Angel Daniel. 2005. "El Cultivo de guayaba". [En línea] Abril de 2005. [Citado el: 13 de Sep. de 2017.] <http://www.dicta.hn/files/Guayaba,-2005.pdf>.
9. FAO. 2016. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la agricultura. [En línea] 02 de Octubre de 2016. [Citado el: 01 de Abril de 2018.] <http://www.fao.org/fishery/affris/perfiles-de-las-especies/nile-tilapia/metodos-de-%20suministro-de-alimentos/es/>.
10. Fernández Valdés, Daybelis, Bautista Baños, Silvia y Fernández Valdés, Dayvis. 2015. "Películas y recubrimientos comestibles: una alternativa favorable en la conservación poscosecha de frutas y hortalizas". Cuba. 2015, Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, No. 3, Vol. 24. ISSN -1010- 2760
11. García, Mario Alfonso. 2010. "Guía técnica del cultivo". Centro nacional de tecnología agropecuaria, El Salvador 2010.

12. INIFAP. 2016. "Nuevas variedades de Guayaba (*Psidium guajava* L.)". México: s.n., 2016. ISBN 978- 607-37-0634-6.
13. Infoagro. 2015."El cultivo de la Guayaba". Ecuador: s.n., 2015.
14. Knee, m. (2008). Textura de la fruta, metabolismo de la pared celular y percepciones del consumidor.
15. Knee,m. (2011) bases biológicas de la calidad de la fruta (pág. 298). Zaragoza, España: Acribia,s.a.
16. Kader, Adel A. 2011."Postharvest Biology and Technology: An Overview", Postharvest Technology of Horticultural Crops, Oakland, CA, University of California Publication Service, pp 39- 46 ISBN- 13: 978-60107-743-1.
17. Kader, Adel A. 2011. "Postharvest Tecnología de Horticultural Crops". Oaklan : s.n., 2011. ISBN- 13: 978-60107-743-1.
18. López, o., Pinotti, a., Martino, m., García, m., & Zaritzky, n. (2012). "Desarrollo, caracterización y aplicación de películas y recubrimientos comestibles a partir de almidón y otros carbohidratos. en g. I".
19. Luis Arturo Bello Perez, Claudia Andrea Romero Bastida, Edith Agama Acevedo y Paul Baruk Zamudio Flores. 2012.Películas elbarodadas con almdones de fuentes no convencionales. Hermosillo, Sonora : Clave editorial, 2012.
20. Maftoonazad, N. y Ramaswamy, H. S. 2005."Postharvest shelf-life extension of avocados using methyl cellulose-basedcoating".2005.
21. Morales Reyes, Miguel Angel. 2001."Generalidades y aplicación de películas y recubrimientos comestibles en la cadena hortofrutícola".Saltillo, Coahuila : s.n., 2001.
22. Murillo G., Olga Marta. 2015. "Ficha técnica industrialización de la guayaba (*Psidium guajava* L.)". 2015.
23. NMX-FF-040-SCFI-2002. 2002. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano - fruta fresca - guayaba (*Psidium-guajava* l.) – especificaciones (cancela a la nmx-ff-040-1993-scfi) . 2002.

24. Olivas Orozco, Guadalupe Isela y Perez Gago, Maria Bernadita. 2012.“Películas y Recubrimientos Comestibles: Propiedades y aplicaciones en alimentos”, Películas y Recubrimientos Comestibles para Frutas y Vegetales. Hermosillo, Sonora : Clave, pp 386. ISBN 978-607-437-192-5.
25. Orozco Silvas, e. (2017). “Elaboración y caracterización de películas de mucilago de nopal-pectina:efecto de la concentración de mucílago de nopal en las propiedades fisicoquímicas y mecánicas”.
26. Olivas Orozco, Guadalupe Isela y Perez Gago, Maria Bernadita. 2012.*Películas y Recubrimientos Comestibles para Frutas y Vegetales*.Hermosillo : Clave, 2012. ISBN 978-607-437-192-5.
27. Parra Coronado, Alfonso. 2014. “Maduración y comportamiento poscosecha de la guayaba (*Psidium guajava* L.) Una revisión”. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas Julio de 2014, Vol. 8, 2.
28. Pereda, Mariana, y otros. 2014. "Bio-películas para el envasado de alimentos :proteínas y carbohidratos". 02, ARGENTINA; 2014, Vol. 06.
29. Perez, Jose Toledo y Iglesias, Jose Llanes. 2016. Revista Electronica de Veterinaria . [En línea] 23 de Julio de 2016. [Citado el: 05 de Marzo de 2017.] <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n090907/090727.pdf>.
30. Quintero C. , Juan I., Muñoz, h. y Falguera , Víctor. 2010. "Películas y recubrimientos comestibles: importancia". Colombia: s.n., 2010, Revista Tumbaga.
31. SAGARPA. 2017. “Desarrollo de la acuicultura”.Ciudad de Mexico : s.n., 2017. ISBN/ISSN.
32. Postharvest Biology and Technology. Yan , Fan, y otros. 2009. 53, China : s.n., 2009.

ANEXOS, GRÁFICAS Y APÉNDICES

Anexo 1 Análisis estadístico etapa 3

Análisis de la varianza

DIA	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
0	Firmeza	6	0,14	0,00	11,00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,20	1	0,20	0,67	0,4605
GUAYABA	0,20	1	0,20	0,67	0,4605
Error	1,19	4	0,30		
Total	1,39	5			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1,23673

Error: 0,2976 gl: 4

GUAYABA	Medias	n	E.E.
C	4,78	3	0,31
R	5,14	3	0,31

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

DIA	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
1	Firmeza	6	0,97	0,96	3,69

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3,23	1	3,23	127,96	0,0003
GUAYABA	3,23	1	3,23	127,96	0,0003
Error	0,10	4	0,03		
Total	3,33	5			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,35999

Error: 0,0252 gl: 4

GUAYABA	Medias	n	E.E.	
C	3,57	3	0,09	A
R	5,04	3	0,09	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

DIA	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
3	Firmeza	6	0,95	0,93	4,60

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2,73	1	2,73	71,85	0,0011
GUAYABA	2,73	1	2,73	71,85	0,0011
Error	0,15	4	0,04		
Total	2,89	5			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,44220

Error: 0,0381 gl: 4

GUAYABA	Medias	n	E.E.	
C	3,57	3	0,11	A
R	4,92	3	0,11	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

DIA	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
5	Firmeza	6	0,60	0,50	6,94

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,46	1	0,46	6,09	0,0691
GUAYABA	0,46	1	0,46	6,09	0,0691
Error	0,31	4	0,08		
Total	0,77	5			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,62626

Error: 0,0763 gl: 4

GUAYABA	Medias	n	E.E.	
C	3,70	3	0,16	A
R	4,26	3	0,16	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

DIA	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
7	Firmeza	6	0,90	0,88	4,85

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,79	1	0,79	36,06	0,0039
GUAYABA	0,79	1	0,79	36,06	0,0039
Error	0,09	4	0,02		
Total	0,88	5			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,33599

Error: 0,0220 gl: 4

GUAYABA	Medias n	E.E.
C	2,69 3	0,09 A
R	3,42 3	0,09 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

DIA	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
10	Firmeza	6	0,86	0,83	11,46

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2,88	1	2,88	25,29	0,0073
GUAYABA	2,88	1	2,88	25,29	0,0073
Error	0,46	4	0,11		
Total	3,34	5			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,76564

Error: 0,1141 gl: 4

GUAYABA	Medias n	E.E.
C	2,25 3	0,19 A
R	3,64 3	0,19 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Análisis de la varianza

DIA	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
0	Perdida de peso (%)	6	sd	sd	sd

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo		0,00	1	0,00	sd	sd
GUAYABA		0,00	1	0,00	sd	sd
Error	0,00	4	0,00			
Total	0,00	5				

DIA	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
1	Perdida de peso (%)	6	0,84	0,80	9,88

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo		1,78	1	1,78	21,51	0,0097
GUAYABA		1,78	1	1,78	21,51	0,0097
Error	0,33	4	0,08			
Total	2,11	5				

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,65245

Error: 0,0828 gl: 4

GUAYABA	Medias n	E.E.	
R	2,37	3	0,17 A
C	3,46	3	0,17 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

DIA	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
3	Perdida de peso (%)	6	0,96	0,95	6,75

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo		26,46	1	26,46	94,29	0,0006
GUAYABA		26,46	1	26,46	94,29	0,0006
Error	1,12	4	0,28			
Total	27,58	5				

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=1,20092

Error: 0,2806 gl: 4

GUAYABA	Medias	n	E.E.
R	5,75	3	0,31
C	9,95	3	0,31

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

DIA	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
5	Perdida de peso (%)	6	0,88	0,86	1,85

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,73	1	1,73	30,68	0,0052
GUAYABA	1,73	1	1,73	30,68	0,0052
Error	0,23	4	0,06		
Total	1,95	5			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,53798

Error: 0,0563 gl: 4

GUAYABA	Medias	n	E.E.
R	12,26	3	0,14
C	13,33	3	0,14

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

DIA	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
7	Perdida de peso (%)	6	0,94	0,93	5,15

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	45,05	1	45,05	62,86	0,0014
GUAYABA	45,05	1	45,05	62,86	0,0014
Error	2,87	4	0,72		
Total	47,91	5			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=1,91908

Error: 0,7166 gl: 4

GUAYABA	Medias	n	E.E.
R	13,69	3	0,49
C	19,17	3	0,49

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

DIA	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
10	Perdida de peso (%)	6	0,94	0,93	3,43

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	34,75	1	34,75	66,06	0,0012
GUAYABA	34,75	1	34,75	66,06	0,0012
Error	2,10	4	0,53		

Total 36,86 5

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=1,64419

Error: 0,5260 gl: 4

GUAYABA	Medias	n	E.E.	
R	18,74	3	0,42	A
C	23,56	3	0,42	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Análisis de la varianza

DIA	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
0	°Brix	6	0,12	0,00	0,56

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor		
Modelo		1,7E-03		1	1,7E-03	0,54	0,5019
GUAYABA		1,7E-03		1	1,7E-03	0,54	0,5019
Error	0,01	4	3,1E-03				
Total	0,01	5					

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,12554

Error: 0,0031 gl: 4

GUAYABA	Medias	n	E.E.	
R	9,93	3	0,03	A
C	9,96	3	0,03	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

DIA	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
1	°Brix	6	0,93	0,92	1,99

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor		
Modelo		2,54		1	2,54	56,33	0,0017
GUAYABA		2,54		1	2,54	56,33	0,0017
Error	0,18	4	0,05				
Total	2,72	5					

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,48090

Error: 0,0450 gl: 4

GUAYABA	Medias	n	E.E.	
R	10,00	3	0,12	A
C	11,30	3	0,12	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

DIA	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
3	°Brix	6	0,97	0,96	1,13

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo		1,97	1	1,97	138,24 0,0003
GUAYABA		1,97	1	1,97	138,24 0,0003
Error	0,06	4	0,01		
Total	2,03	5			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,27077

Error: 0,0143 gl: 4

GUAYABA	Medias	n	E.E.
R	10,03	3	0,07 A
C	11,18	3	0,07 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

DIA	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
5	°Brix	6	0,94	0,93	1,72

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo		2,23	1	2,23	63,79 0,0013
GUAYABA		2,23	1	2,23	63,79 0,0013
Error	0,14	4	0,03		
Total	2,37	5			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,42411

Error: 0,0350 gl: 4

GUAYABA	Medias	n	E.E.
R	10,28	3	0,11 A
C	11,50	3	0,11 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

DIA	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
7	°Brix	6	0,77	0,72	3,10

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo		1,62	1	1,62	13,59	0,0211
GUAYABA		1,62	1	1,62	13,59	0,0211
Error		0,48	4	0,12		
Total		2,10	5			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,78333

Error: 0,1194 gl: 4

GUAYABA	Medias	n	E.E.	
R	10,63	3	0,20	A
C	11,67	3	0,20	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

DIA	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
10	°Brix	6	0,71	0,63	4,01

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo		2,42	1	2,42	9,66	0,0359
GUAYABA		2,42	1	2,42	9,66	0,0359
Error		1,00	4	0,25		
Total		3,42	5			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1,13450

Error: 0,2504 gl: 4

GUAYABA	Medias	n	E.E.	
R	11,83	3	0,29	A
C	13,10	3	0,29	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Análisis de la varianza

DIA	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
0	Acidez Titulable(Acido Cit..	6	0,20	0,00	1,21

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo		1,7E-05	1	1,7E-05	1,00	0,3739
GUAYABA		1,7E-05	1	1,7E-05	1,00	0,3739
Error		6,7E-05	4	1,7E-05		
Total		8,3E-05	5			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,00925

Error: 0,0000 gl: 4

GUAYABA	Medias	n	E.E.	
C	0,34	3	2,4E-03	A
R	0,34	3	2,4E-03	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

DIA	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
1	Acidez Titulable(Acido Cit..	6	0,81	0,76	10,72

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,02	1	0,02	17,16	0,0143
GUAYABA	0,02	1	0,02	17,16	0,0143
Error	3,7E-03	4	9,3E-04		
Total	0,02	5			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,06926

Error: 0,0009 gl: 4

GUAYABA	Medias	n	E.E.	
C	0,23	3	0,02	A
R	0,34	3	0,02	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

DIA	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
3	Acidez Titulable(Acido Cit..	6	0,60	0,49	10,27

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4,8E-03	1	4,8E-03	5,90	0,0721
GUAYABA	4,8E-03	1	4,8E-03	5,90	0,0721
Error	3,3E-03	4	8,2E-04		
Total	0,01	5			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,06478

Error: 0,0008 gl: 4

GUAYABA	Medias	n	E.E.	
C	0,25	3	0,02	A
R	0,31	3	0,02	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

DIA	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
5	Acidez Titulable(Acido Cit..	6	0,35	0,18	12,62

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2,4E-03	1	2,4E-03	2,12	0,2193
GUAYABA	2,4E-03	1	2,4E-03	2,12	0,2193
Error	4,5E-03	4	1,1E-03		
Total	0,01	5			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,07632

Error: 0,0011 gl: 4

GUAYABA	Medias	n	E.E.
C	0,25	3	0,02 A
R	0,29	3	0,02 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

DIA	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
7	Acidez Titulable(Acido Cit..	6	0,90	0,88	5,34

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,01	1	0,01	36,10	0,0039
GUAYABA	0,01	1	0,01	36,10	0,0039
Error	6,7E-04	4	1,7E-04		
Total	0,01	5			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,02927

Error: 0,0002 gl: 4

GUAYABA	Medias	n	E.E.
C	0,21	3	0,01 A
R	0,27	3	0,01 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

DIA	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
10	Acidez Titulable(Acido Cit..	6	0,89	0,86	10,50

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,02	1	0,02	32,00	0,0048
GUAYABA	0,02	1	0,02	32,00	0,0048
Error	2,1E-03	4	5,3E-04		
Total	0,02	5			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,05235

Error: 0,0005 gl: 4

GUAYABA	Medias	n	E.E.	
C	0,17	3	0,01	A
R	0,27	3	0,01	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Análisis de la varianza

DIA	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
0	pH	6	0,20	0,00	0,83

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor		
Modelo		1,1E-03		1	1,1E-03	1,00	0,3739
GUAYABA		1,1E-03		1	1,1E-03	1,00	0,3739
Error	4,3E-03		4	1,1E-03			
Total	0,01	5					

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,07404

Error: 0,0011 gl: 4

GUAYABA	Medias	n	E.E.	
C	3,90	3	0,02	A
R	3,93	3	0,02	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

DIA	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
1	pH	6	0,00	0,00	0,53

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor		
Modelo		0,00	1	0,00	0,00	>0,9999	
GUAYABA		0,00	1	0,00	0,00	>0,9999	
Error	1,8E-03		4	4,5E-04			
Total	1,8E-03	5					

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,04809

Error: 0,0005 gl: 4

GUAYABA	Medias	n	E.E.	
C	4,00	3	0,01	A
R	4,00	3	0,01	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

DIA	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
3	pH	6	0,17	0,00	0,34

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor		
Modelo		1,5E-04		1	1,5E-04	0,82	0,4169
GUAYABA		1,5E-04		1	1,5E-04	0,82	0,4169
Error	7,3E-04		4	1,8E-04			
Total	8,8E-04		5				

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,03069

Error: 0,0002 gl: 4

GUAYABA	Medias	n	E.E.
C	4,02	3	0,01
R	4,03	3	0,01

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

DIA	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
5	pH	6	0,75	0,69	0,63

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor		
Modelo		0,01	1	0,01	12,10	0,0254	
GUAYABA		0,01	1	0,01	12,10	0,0254	
Error	2,7E-03		4	6,7E-04			
Total	0,01		5				

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,05853

Error: 0,0007 gl: 4

GUAYABA	Medias	n	E.E.
R	4,05	3	0,01
C	4,12	3	0,01

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

DIA	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
7	pH	6	0,76	0,70	0,86

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor		
Modelo		0,02	1	0,02	12,64	0,0237	
GUAYABA		0,02	1	0,02	12,64	0,0237	
Error	0,01		4	1,3E-03			
Total	0,02		5				

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,08068

Error: 0,0013 gl: 4

GUAYABA	Medias	n	E.E.	
R	4,11	3	0,02	A
C	4,21	3	0,02	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

DIA	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
10	pH	6	0,62	0,53	4,55

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,26	1	0,26	6,54	0,0628
GUAYABA	0,26	1	0,26	6,54	0,0628
Error	0,16	4	0,04		
Total	0,42	5			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,45235

Error: 0,0398 gl: 4

GUAYABA	Medias	n	E.E.	
R	4,18	3	0,12	A
C	4,60	3	0,12	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Análisis de Varianza por días

Análisis de la varianza

GUAYABA	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
C	°Brix	18	0,96	0,95	1,89

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	15,24	5	3,05	64,75	<0,0001
DIA	15,24	5	3,05	64,75	<0,0001
Error	0,56	12	0,05		
Total	15,81	17			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,59506

Error: 0,0471 gl: 12

DIA	Medias	n	E.E.	
0	9,96	3	0,13	A
3	11,18	3	0,13	B
1	11,30	3	0,13	B
5	11,50	3	0,13	B
7	11,67	3	0,13	B
10	13,10	3	0,13	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

GUAYABA	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
R	°Brix	18	0,86	0,80	3,15

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo		7,85	5	1,57	14,44	0,0001
DIA	7,85	5	1,57	14,44	0,0001	
Error	1,30	12	0,11			
Total	9,15	17				

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,90400

Error: 0,1086 gl: 12

DIA	Medias	n	E.E.	
0	9,93	3	0,19	A
1	10,00	3	0,19	A
3	10,03	3	0,19	A
5	10,28	3	0,19	A
7	10,63	3	0,19	A
10	11,83	3	0,19	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Análisis de la varianza

GUAYABA	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
C	pH	18	0,85	0,78	2,86

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo		0,92	5	0,18	13,12	0,0002
DIA	0,92	5	0,18	13,12	0,0002	
Error	0,17	12	0,01			
Total	1,09	17				

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,32450

Error: 0,0140 gl: 12

DIA	Medias	n	E.E.	
0	3,90	3	0,07	A
1	4,00	3	0,07	A
3	4,02	3	0,07	A
5	4,12	3	0,07	A
7	4,21	3	0,07	A
10	4,60	3	0,07	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

GUAYABA	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
R	pH	18	0,95	0,93	0,54

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo		0,12	5	0,02	47,61 <0,0001
DIA		0,12	5	0,02	47,61 <0,0001
Error		0,01	12	4,8E-04	
Total		0,12	17		

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,06029

Error: 0,0005 gl: 12

DIA	Medias	n	E.E.	
0	3,93	3	0,01	A
1	4,00	3	0,01	B
3	4,03	3	0,01	B
5	4,05	3	0,01	B C
7	4,11	3	0,01	C
10	4,18	3	0,01	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Análisis de la varianza

GUAYABA	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
C	Firmeza	18	0,87	0,81	11,15

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo		11,56	5	2,31	15,84 0,0001
DIA		11,56	5	2,31	15,84 0,0001
Error		1,75	12	0,15	
Total		13,31	17		

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=1,04775

Error: 0,1460 gl: 12

DIA	Medias	n	E.E.		
10	2,25	3	0,22	A	
7	2,69	3	0,22	A	B
3	3,57	3	0,22		B
1	3,57	3	0,22		B
5	3,70	3	0,22		B
0	4,78	3	0,22		C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

GUAYABA	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
R	Firmeza	18	0,94	0,91	4,83

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo		8,35	5	1,67	36,99 <0,0001
DIA		8,35	5	1,67	36,99 <0,0001
Error		0,54	12	0,05	
Total		8,89	17		

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,58261

Error: 0,0451 gl: 12

DIA	Medias	n	E.E.		
7	3,42	3	0,12	A	
10	3,64	3	0,12	A	
5	4,26	3	0,12		B
3	4,92	3	0,12		C
1	5,04	3	0,12		C
0	5,14	3	0,12		C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Análisis de la varianza

GUAYABA	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
C	Acidez Titulable(Acido Cit..	18	0,78	0,69	13,82

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo		0,05	5	0,01	8,58 0,0012
DIA		0,05	5	0,01	8,58 0,0012
Error		0,01	12	1,1E-03	
Total		0,06	17		

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,09119

Error: 0,0011 gl: 12

DIA	Medias	n	E.E.		
10	0,17	3	0,02	A	
7	0,21	3	0,02	A	
1	0,23	3	0,02	A	
5	0,25	3	0,02	A	B
3	0,25	3	0,02	A	B
0	0,34	3	0,02		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

GUAYABA	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
R	Acidez Titulable(Acido Cit..	18	0,92	0,89	3,21

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo		0,01	5	2,7E-03	28,86 <0,0001
DIA	0,01	5	2,7E-03	28,86	<0,0001
Error	1,1E-03	12	9,4E-05		
Total	0,01	17			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,02665

Error: 0,0001 gl: 12

DIA	Medias	n	E.E.		
7	0,27	3	0,01	A	
10	0,27	3	0,01	A	
5	0,29	3	0,01	A	B
3	0,31	3	0,01		B
1	0,34	3	0,01		C
0	0,34	3	0,01		C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,059$)

Análisis de la varianza

GUAYABA	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
C	Perdida de peso (%)	18	1,00	0,99	5,94

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1220,37	5	244,07	516,03	<0,0001
DIA	1220,37	5	244,07	516,03	<0,0001
Error	5,68	12	0,47		
Total	1226,05	17			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=1,88616

Error: 0,4730 gl: 12

DIA	Medias	n	E.E.					
0	0,00	3	0,40	A				
1	3,46	3	0,40		B			
3	9,95	3	0,40			C		
5	13,33	3	0,40				D	
7	19,17	3	0,40					E
10	23,56	3	0,40					F

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

GUAYABA	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
R	Perdida de peso (%)	18	1,00	1,00	3,24

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	788,42	5	157,68	1942,86	<0,0001
DIA	788,42	5	157,68	1942,86	<0,0001
Error	0,97	12	0,08		
Total	789,40	17			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,78132

Error: 0,0812 gl: 12

DIA	Medias	n	E.E.					
0	0,00	3	0,16	A				
1	2,37	3	0,16		B			
3	5,75	3	0,16			C		
5	12,26	3	0,16				D	
7	13,69	3	0,16					E
10	18,74	3	0,16					F

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 2

Figuras de la forma en que se recubrieron las guayabas para posteriormente evaluar los cambios en la maduración de guayaba recubierta con almidón de plátano macho verde/quitosano (50:50).



