



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA

**Desarrollo de películas de almidón oxidado de cáscaras de plátano verde y
aceite esencial de cáscaras de naranja**

**TOAPANTA ROMAN STEEVEN FERNANDO
INGENIERO QUIMICO**

**MACHALA
2024**



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA

Desarrollo de películas de almidón oxidado de cáscaras de plátano verde y aceite esencial de cáscaras de naranja

**TOAPANTA ROMAN STEEVEN FERNANDO
INGENIERO QUIMICO**

**MACHALA
2024**



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA

TRABAJOS EXPERIMENTALES

Desarrollo de películas de almidón oxidado de cáscaras de plátano verde y aceite esencial de cáscaras de naranja

**TOAPANTA ROMAN STEEVEN FERNANDO
INGENIERO QUIMICO**

ARMIJOS CABRERA GABRIELA VIVIANA

**MACHALA
2024**

Desarrollo de películas de almidón oxidado de cáscaras de plátano verde y aceite esencial de cáscaras de naranja

por Steeven Fernando Toapanta Roman

Fecha de entrega: 13-ago-2024 05:06p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2431685675

Nombre del archivo: Desarrollo_de_películas_de_almidon_oxidado.pdf (1.77M)

Total de palabras: 13777

Total de caracteres: 71416

Desarrollo de películas de almidón oxidado de cáscaras de plátano verde y aceite esencial de cáscaras de naranja

INFORME DE ORIGINALIDAD

9%

INDICE DE SIMILITUD

8%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Pontificia Universidad Católica del Ecuador - PUCE Trabajo del estudiante	1%
2	repositorio.utmachala.edu.ec Fuente de Internet	1%
3	revistas.itm.edu.co Fuente de Internet	1%
4	www.scielo.cl Fuente de Internet	1%
5	repositorio.unprg.edu.pe Fuente de Internet	<1%
6	Submitted to Universidad Nacional de Educación Trabajo del estudiante	<1%
7	bibliotecadigital.udea.edu.co Fuente de Internet	<1%
8	ri-ng.uaq.mx Fuente de Internet	<1%

9	Submitted to Universidad Privada Antenor Orrego Trabajo del estudiante	<1 %
10	repositorio.uteq.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
11	revistas.udca.edu.co Fuente de Internet	<1 %
12	Janaina Sánchez García. "Desarrollo y caracterización de nuevas harinas de lenteja y quinoa fermentadas con Pleurotus ostreatus", Universitat Politecnica de Valencia, 2023 Publicación	<1 %
13	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %
14	Submitted to Universidad Pedagogica y Tecnologica de Colombia Trabajo del estudiante	<1 %
15	repositorio.unal.edu.co Fuente de Internet	<1 %
16	www.revistafronterabioteecnologica.cibatlaxcala.ipn.mx Fuente de Internet	<1 %
17	www.colpos.mx Fuente de Internet	<1 %
18	Submitted to Fundación Universitaria del Area Andina Trabajo del estudiante	<1 %

19

annymojica.blogspot.com

Fuente de Internet

<1 %

20

horizon.documentation.ird.fr

Fuente de Internet

<1 %

21

Carolina Alicia Paz Yépez. "INFLUENCIA DE FACTORES INHERENTES AL ALIMENTO Y AL INDIVIDUO SOBRE LA DIGESTIBILIDAD DE LÍPIDOS DE ORIGEN VEGETAL", Universitat Politecnica de Valencia, 2019

Publicación

<1 %

22

issuu.com

Fuente de Internet

<1 %

23

rid.unam.edu.ar

Fuente de Internet

<1 %

24

search.bvsalud.org

Fuente de Internet

<1 %

25

C. A. Romero-Bastida, M. O. Martin-Polo, G. Velazquez, J. A. Torres. "EFFECT OF PLASTICIZER, pH AND HYDRATION ON THE MECHANICAL AND BARRIER PROPERTIES OF ZEIN AND ETHYLCELLULOSE FILMS EFECTO DE PLASTIFICANTE, pH E HIDRATACIÓN SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y DE BARRERA DE PELÍCULAS DE ZEÍNA Y ETIL CELULOSA EFECTO DO PLASTIFICANTE, pH E HIDRATACIÓN SOBOR DAS PROPIEDADES

<1 %

MECÁNICAS E DE BARREIRA DE PELÍCULAS DE ZEÍNA E ETIL CELULOSA", Ciencia y Tecnologia Alimentaria, 2004

Publicación

26

Submitted to Universidad Cesar Vallejo

Trabajo del estudiante

<1 %

27

www.votocel.com.br

Fuente de Internet

<1 %

28

MARÍA ALEJANDRA AGUDELO MOTATO. "La revalorización del uso de almidón de tapioca. Estrategia multienfoque en su aplicación en rellenos de fruta", Universitat Politecnica de Valencia, 2014

Publicación

<1 %

29

Submitted to Universidad de Cartagena

Trabajo del estudiante

<1 %

30

YU LEE. "La técnica de la policromía en los artesanados de templos budistas en Taiwán: caracterización científica y estudio de la aplicabilidad de consolidantes biocompatibles para su conservación.", Universitat Politecnica de Valencia, 2015

Publicación

<1 %

31

repositorio.uach.mx

Fuente de Internet

<1 %

32

Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru

<1 %

Excluir citas Activo

Excluir bibliografía Activo

Excluir coincidencias < 15 words

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

El que suscribe, TOAPANTA ROMAN STEEVEN FERNANDO, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado Desarrollo de películas de almidón oxidado de cáscaras de plátano verde y aceite esencial de cáscaras de naranja, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

El autor como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.



TOAPANTA ROMAN STEEVEN FERNANDO

0707109690

DEDICATORIA

Con gran esfuerzo y dedicación, dedico este trabajo a las personas más importantes en mi vida: A mi padre, Augusto Fernando Toapanta Troncoso, y a mi madre, María Eugenia Roman Caminos, por su apoyo incondicional y por ser mi mayor inspiración, gracias por creer en mí y alentarme a perseguir mis sueños.

A mi esposa, Paula Nayeli Sinche Calle, por acompañarme en cada paso de este proceso y por ser mi compañera de vida, tu amor y paciencia han sido fundamentales.

A mi único amigo, Pigman, por estar siempre a mi lado, incluso en los momentos más difíciles, tu amistad es un tesoro invaluable.

Finalmente, a todos los docentes que me brindaron los conocimientos y herramientas necesarias para alcanzar esta meta, gracias por su dedicación y por inspirarme a seguir aprendiendo.

Steeven Fernando Toapanta Roman

AGRADECIMIENTO

Agradezco, en primer lugar, a Dios por brindarme la vida, los conocimientos y por permitirme llegar hasta aquí.

A mis padres, por su apoyo incondicional y los sacrificios que hicieron para ayudarme a alcanzar esta meta; a mi esposa, por darme la fuerza necesaria para seguir adelante; y a mi amigo, que en paz descanse, por el apoyo emocional que tanto necesitaba en momentos difíciles.

Extiendo mi agradecimiento a mi tutora de tesis, la Ing. Quim Gabriela Armijos Mgs., y a mi cotutor, el Ing. Quim Luis Cedeño Mgs., por su paciencia, conocimientos y valiosas recomendaciones, que fueron fundamentales para culminar con éxito mi trabajo de titulación.

Steeven Fernando Toapanta Roman

RESUMEN

La contaminación ambiental causada por plásticos desechables ha generado una crisis global, impulsando la búsqueda de alternativas biodegradables. Este trabajo experimental, aborda esta problemática desarrollando películas biodegradables a partir de almidón extraído de cáscaras de plátano verde, un residuo agrícola abundante, y aceite esencial de cáscaras de naranja.

Se llevó a cabo el proceso de extracción del almidón empleando la molienda húmeda y evitando el pardeamiento enzimático con ácido cítrico ($C_6H_8O_7$), obteniendo un rendimiento de $4.5166 \pm 1.3614\%$.

La modificación química empleada fue el método de oxidación, aplicado a los almidones extraídos de las cáscaras de plátanos; para la formulación de los almidones oxidados, se inició con una concentración estándar de 0.5% de NaClO (v/v) con cloro activo y tiempos de reacción de 30 y 45 minutos, demostrando que la reacción incrementó los grupos carboxilos ($p < 0.05$).

Las propiedades funcionales como el índice de absorción de agua (IAA), el índice de solubilidad en agua (ISA) y el poder de hinchamiento (PH), analizados en los almidones oxidados, tienden a incrementar a medida que aumentan los tiempos de reacción ($p < 0.05$).

La composición química de los almidones estudiados registró incremento en los porcentajes de cenizas, humedad ($p < 0.05$); pero se demostró lo contrario en los porcentajes de proteína, grasa, fibra y carbohidratos. ($p < 0.05$).

La formulación de las películas se desarrolló mediante un diseño factorial multinivel, de 2^2 , desarrollado en tres bloques, empleando el programa Statgraphics 19, obteniendo un total de 12 tratamientos con dos niveles de glicerol de (2%p/p) y (3%p/p) y AE de cáscaras de naranjas con dos niveles de (0.3%p/p y 0.6%p/p); manteniendo constante los contenidos de almidón y agua; las variables de respuestas propuestas fueron %Humedad, %Solubilidad y PVA.

El porcentaje de aceite esencial (AE) de residuos de cáscaras de naranja y su interacción con el porcentaje de plastificante glicerol, tienden a disminuir los %Humedad, %Solubilidad y PVA de las películas estudiadas ($p < 0.05$); mientras que el porcentaje de glicerol por sí solo tiende a incrementarse en los porcentajes de las variables de respuesta estudiadas en las películas obtenidas ($p < 0.05$).

Los valores óptimos para la formulación de películas con glicerol y AE de cáscara de naranja que facilitan minimizar el %Humedad y el %Solubilidad fueron de (2%p/p) y (0.69%p/p), respectivamente y para la PVA, los valores óptimos que permiten minimizar esta variable de respuesta fueron de (3%p/p) y (0.29%p/p); estos porcentajes reducen las propiedades físicas de humedad y solubilidad, así como las propiedades de barrera del PVA.

Por último, el modelo ajustado de las variables de respuesta obtenidas para él %Humedad, %Solubilidad y PVA indicadas por las R^2 ajustadas de 99.6008%, 99.1802% y 96.7755% respectivamente y sus modelos de regresión obtenidos fueron, (%Humedad= $3.41667 + 4.46333 * \%Glicerol + 7.13333 * \%AE + 6.05556 * \%Glicerol * \%AE$), (%Solubilidad= $0.517533 + 0.181033 * \%Glicerol - 0.0412222 * \%AE - 0.226333 * \%Glicerol * \%AE$) y (%PVA= $-0.000403716 + 0.000211928 * \%Glicerol + 0.000670489 * \%AE - 0.000343409 * \%Glicerol * \%AE$).

Palabras claves: Biodegradables, Almidón oxidado, Cáscara de plátano, Aceite esencial, películas sostenibles.

ABSTRACT

Environmental pollution caused by disposable plastics has generated a global crisis, driving the search for biodegradable alternatives. This experimental work addresses this problematic development of biodegradable films from starch extracted from green banana peels, an abundant agricultural residue, and essential oil from orange peels.

The starch extraction process was carried out using wet grinding and avoiding enzymatic browning with citric acid ($C_6H_8O_7$), obtaining a yield of $4.5166 \pm 1.3614\%$.

The chemical modification used was the oxidation method, applied to starches extracted from banana peels; for the formulation of oxidized starches, it was started with a standard concentration of 0.5% NaClO (v/v) with active chlorine and reaction times of 30 and 45 minutes, demonstrating that the reaction increased the carboxyl groups ($p < 0.05$).

The functional properties analyzed such as water absorption index (WAI), water solubility index (WSI) and swelling power (PH), analyzed in oxidized starches, tend to increase as reaction times increase ($p < 0.05$).

The chemical composition of the starches studied registered an increase in the percentages of ash, moisture ($p < 0.05$); but the opposite is shown in the percentages of proteins, fats, fibers and carbohydrates ($p < 0.05$).

The formulation of the films was developed through a multilevel factorial design, of 2^2 , developed in three blocks, using the Statgraphics 19 program, obtaining a total of 12 treatments with two levels of glycerol of 2% w/w and 3% w/w and AE. of orange peels with two levels of (0.3% w/w and 0.6% w/w); keeping the starch and water contents constant; The proposed response variables were %Humidity, %Solubility and PVA.

The percentage of essential oil (EO) from orange peel residues and its interaction with the percentage of glycerol plasticizer, tend to decrease the % of humidity, %solubility and PVA of the films studied ($p < 0.05$); while the percentage of glycerol alone tends to increase the percentages of the response variables studied in the films obtained ($p < 0.05$).

The optimal values for the formulation of films with glycerol and EO from orange peel that facilitate minimizing the % of humidity and % solubility were 2%w/w and 0.69%w/w, respectively and for PVA, the optimal values that allow minimizing this response variable were 3%w/w and 0.29%w/w; these percentages reduce the physical properties of humidity and solubility; as well as the barrier properties of PVA.

Finally, the adjusted model of the response variables obtained for %humidity, %solubility and PVA indicate an R^2 of 99.7822%, 99.5528% and 98.2412% and the adjusted R^2 of 99.6008%, 99.1802% and 96.7755% respectively and their regression models obtained were, (%Humidity= $3.41667 + 4.46333 * \%Glycerol + 7.13333 * \%AE + 6.05556 * \%Glycerol * \%AE$), (%Solubility= $0.517533 + 0.181033 * \%Glycerol - 0.0412222 * \%AE - 0.226333 * \%Glycerol * \%AE$) and (%PVA= $-0.000403716 + 0.000211928 * \%Glycerol + 0.000670489 * \%AE - 0.000343409 * \%Glycerol * \%AE$).

Keywords: Biodegradable, Oxidized starch, Banana peel, Essential oil, Sustainable films.

ÍNDICE

	Pág.
DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTO.....	III
RESUMEN	IV
ABSTRACT	VI
INTRODUCCIÓN	14
OBJETIVOS.....	16
Objetivo general	16
Objetivos específicos	16
1. MARCO TEÓRICO.....	17
1.1 Residuos orgánicos de origen municipal	17
1.1.1 Cáscaras de plátano verde.....	17
1.1.2 Cáscaras de naranja.	18
1.2 Almidón de cáscara de plátano verde.....	18
1.2.1 Composición química.	18
1.2.2 Características fisicoquímicas del almidón de la cáscara del plátano verde.	19
1.2.3 Propiedades funcionales.	19
1.2.3.1 Poder de hinchamiento (PH).	19
1.2.3.2 Índice de solubilidad en agua (ISA).	20
1.2.3.3 Índice de absorción en agua (IAA).....	20
1.2.3.4 Gelatinización.....	20
1.3 Modificación del almidón de cáscara de plátano verde.....	21
1.3.1 Modificación química del almidón por oxidación.....	21
1.4 Grupos carbonilos y carboxilos.....	22
1.5 Aceite esencial de cascara de naranja	22
1.6 Películas de almidón oxidado y aceite esencial de cáscaras naranja	23

1.6.1 Método de obtención de las películas de almidón modificado.	24
1.7 Propiedades físicas y de barrera	24
2. METODOLOGÍA.....	26
2.1 Tipo de investigación.....	26
2.2 Localización	27
2.3 Población y muestra.....	27
2.4 Identificación de variables	27
2.5 Reactivos, materiales y equipos.....	28
2.6 Métodos.....	28
2.6.1 Extracción de almidón.	28
2.6.2 Oxidación de almidón.....	29
2.6.3 Determinación de grupos carboxilo.	30
2.6.4 Determinación de las propiedades funcionales.....	30
2.6.5 Análisis de la composición básica del almidón nativo y oxidado.....	31
2.6.6 Elaboración de películas.....	31
2.6.7 Determinación de propiedades físicas y de barrera de las películas.....	32
2.6.8 Extracción de aceite esencial de cáscaras de naranja.....	33
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
3.1 Rendimiento de la extracción de almidón	34
3.2 Efecto de la oxidación en las propiedades químicas del almidón de las cáscaras de plátano verde.....	34
3.2.1 Evaluación de grupo carboxilo.....	34
3.3 Evaluación de las propiedades funcionales de almidón nativo y oxidado a diferentes tiempos de reacción	36
3.4 Efecto del tiempo de reacción en la composición proximal de almidones nativos y oxidados.....	38
3.5 Propiedades físicas y de barrera (PVA) en películas de almidón oxidado y AE.....	41
3.5.1 Contenido de humedad.	42

3.5.2 Solubilidad.....	44
3.5.3 Permeabilidad al vapor de agua (PVA).....	47
4. CONCLUSIONES.....	50
5. RECOMENDACIONES	51
6. BIBLIOGRAFÍA.....	52
7. ANEXOS.....	60

INDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Caracterización fisicoquímica de la cáscara de plátano	17
Tabla 2. Composición química del aceite esencial de cáscara de naranja obtenidos por hidrodestilación tipo clevenger	23
Tabla 3. Lista de reactivos, materiales y equipos.....	28
Tabla 4. Rendimiento de almidón de plátano verde	34
Tabla 5. Contenido de grupos carboxilos a diferentes tiempos de reacción de cloro activo	35
Tabla 6. Propiedades funcionales del almidón oxidado	36
Tabla 7. Análisis proximal de almidones nativos y oxidados... ..	38
Tabla 8. Tratamientos para la elaboración de películas	42
Tabla 9. Análisis de varianza para contenido de humedad	43
Tabla 10. Modelo ajustado para contenido de humedad	44
Tabla 11. Modelo de optimización para minizar el porcentaje de humedad	44
Tabla 12. Análisis de varianza para el porcentaje de solubilidad	45
Tabla 13. Modelo ajustado para porcentaje de solubilidad	46
Tabla 14. Modelo de optimización para minimizar el porcentaje de solubilidad	46
Tabla 15. Análisis de varianza para PVA	47
Tabla 16. Modelo ajustado para PVA	48
Tabla 17. Modelo de optimización para minimizar el valor de la PVA	49

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Composición química del almidón: A) Amilosa, cadena lineal de anhidroglucosa α -1,4. B) Amilopectina, cadena ramificada de anhidroglucosa α -1,4, unidas por enlaces glucosídicos α -1,6.	19
Figura 2. Proceso de oxidación del almidón de cáscara de plátano (formación de grupos carbonilos y carboxilos).	22
Figura 3. Contenido de Humedad	39
Figura 4. Contenido de ceniza, proteínas y grasa	40
Figura 5. Contenido de Fibra y carbohidrato	41
Figura 6. Diagrama de Pareto estandarizado para contenido de humedad	43
Figura 7. Diagrama de superficie de respuesta para contenido de humedad	44
Figura 8. Diagrama de Pareto estandarizado para porcentaje de solubilidad	45
Figura 9. Diagrama de superficie de respuesta para porcentaje de solubilidad	46
Ilustración 10. Diagrama de Pareto Estandarizado para PVA	48
Figura 11. Diagrama de superficie de respuesta para PVA	48

INDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Obtención de almidón nativo	60
Anexos 2. Modificación del almidón nativo por oxidación	61
Anexos 3. Análisis de propiedades funcionales del almidón oxidado	62
Anexos 4. Elaboración de películas de almidón oxidado y Aceite esencial de cáscaras de naranja	63
Anexos 5. Determinación de las propiedades físicas y de barrera de las películas elaboradas a base de almidón oxidado y AE.....	64

INTRODUCCIÓN

Actualmente el aumento en la producción y consumo global de plásticos, como el polietileno (PE) y el polipropileno (PP), representan un peligro para los ecosistemas terrestres y acuáticos debido a su resistencia natural a la degradación.¹, por tanto, es fundamental tomar medidas para invertir el impacto negativo del modelo económico lineal (extraer-producir-usar-desechar).²

El “Libro Blanco de Economía Circular de Ecuador”, revela que en el país se consumen alrededor de 20 kilogramos de plástico por persona cada año. Esto representa un total aproximado de 530 mil toneladas anuales, de las cuales la mitad corresponde a envases de plástico de un solo uso.³

Distintas investigaciones proponen el aprovechamiento de un residuo agrícola como materia prima económica y ecológica para la elaboración de films flexibles, en esos estudios se analiza la utilización del almidón extraído de las cáscaras de plátanos verdes comercializados que constituye aproximadamente el 30% de la fruta y se desecha después de la cosecha, comercialización y consumo.⁴

El almidón es un polisacárido que se encuentra estructurado principalmente por amilosa y amilopectina, las cuales crean redes moleculares cohesionadas gracias a la fuerte interacción entre sus moléculas, incluyendo puentes de hidrógeno, fuerzas de Van Der Waals, de London, de Debye, de cristalización y de valencia primaria. Esta cohesión molecular les otorga excelentes propiedades mecánicas, permitiéndoles actuar como matriz estructural en los recubrimientos.⁵

Las películas hechas de almidón tienen propiedades funcionales como permeabilidad moderada al oxígeno, baja barrera contra la humedad y resistencia mecánica relativamente baja.⁶, por tanto la modificación química es una opción eficaz para potenciar las cualidades de los almidones naturales, las cuales están relacionadas con las reacciones de los grupos hidroxilo presentes en el polímero de almidón.⁷

La oxidación es uno de los técnica de transformación química más utilizados en el almidón, ya que permite la introducción de grupos carbonilo y carboxilo en su cadena polimérica, este proceso se desarrolla en dos etapas: en la primera, los grupos hidroxilo del almidón se transforman en grupos carbonilo y, posteriormente, en grupos carboxilo durante la oxidación; en la segunda etapa, las moléculas de almidón se degradan al romperse los enlaces α -1,4 de las moléculas de los componentes del almidón.⁸

El almidón oxidado demuestra capacidad para desarrollar películas con propiedades físicas y de barrera superiores, adquiriendo cualidades hidrofóbicas y permeabilidad al vapor de agua (PVA), debido a la modificación de las propiedades fisicoquímicas del almidón, con grupos carboxilos asociados en su estructura, ya que conforme aumenta el nivel de oxidación del almidón utilizado en la película, se una mejora la resistencia a la tracción, aunque se reduce la elongación en el punto de ruptura de las películas de plátano.⁹

La combinación de polisacáridos en películas con alto grado de oxidación requiere la adición de lípidos, como los aceites esenciales (AE) extraídos mediante hidrodestilación de las cáscaras de naranja, esta combinación es necesaria para reducir la PVA. Los terpenos presentes en los AE interactúan con las cadenas poliméricas del almidón oxidado a través de fuerzas de dispersión, además, el glicerol juega un papel crucial al establecer puentes de hidrógeno mediante sus grupos hidroxilos, contribuyendo a la flexibilidad y plasticidad de la película.^{10, 11}

OBJETIVOS

Objetivo general

Desarrollar películas de almidón oxidado de cáscaras de plátano verde y aceite esencial de cáscaras de naranja, estableciendo formulaciones óptimas para su potencial aplicación como sustituto de films flexibles.

Objetivos específicos

- Determinar la cantidad de almidón nativo obtenido a partir de los residuos de cáscaras de plátano verde (*Musa paradisiaca*), mediante un proceso de molienda húmeda.
- Determinar las propiedades físico-químicas del almidón de cascara de plátano verde obtenidos a diferentes condiciones de oxidación.
- Analizar las propiedades físicas y de barrera de las películas de almidón oxidado de cáscara plátano verde y aceite esencial de cáscaras de naranja obtenido por hidrodestilación.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Residuos orgánicos de origen municipal

Los residuos orgánicos de origen municipal son aquellos desechos biodegradables generados normalmente en hogares, establecimientos comerciales y espacios públicos de una ciudad o comunidad; estos incluyen principalmente restos de alimentos, así como otros materiales de origen biológico, los cuales son desechados en vertederos municipales en donde tienden a descomponerse naturalmente afectando negativamente al aire, suelo y agua.¹²

A pesar de ser considerados desechos, estos residuos poseen un potencial significativo para su valorización en diversas aplicaciones, desde la producción de energía hasta la elaboración de nuevos materiales, lo que ofrece oportunidades para la economía circular y la reducción del impacto ambiental.¹³

1.1.1 Cáscaras de plátano verde. La cáscara de plátano verde es un residuo generado en los hogares, restaurantes y establecimientos comerciales durante el procesamiento y consumo del plátano verde; ya que este residuo, constituye aproximadamente el 30% del fruto, tiene la capacidad de ser aprovechado en la producción de diversos productos de valor agregado al poder transformarse en almidón, fertilizantes verdes, comida para ganado y harinas, así como en una fuente de pectinas para la industria alimentaria.¹⁴

De acuerdo con la investigación de Andrés Rojas et al.¹⁵, la composición fisicoquímica de la cáscara de plátano se relacionó con datos de la literatura, encontrando similitudes en la composición proximal, elemental y fenoles totales, pero diferencias en la estructura (celulosa y hemicelulosa) y capacidad antioxidante; estas diferencias se atribuyen a variaciones en la biomasa y al menor contenido de compuestos bioactivos en la cáscara de plátano comparada con otras frutas (Tabla 1).

Tabla 1. Caracterización fisicoquímica de la cáscara de plátano

	Experimental	Tórico
Análisis proximal-base seca		
Humedad total - Hwt, %	84.94±0.10	87.17
Materia volátil - MV, %	74.00±1.76	---
Ceniza - Cz, %	8.18±0.43	7.20
Carbono Fijo - CF, %	17.82±1.18	---
MV/CF	4.15±0.85	---

Tabla 1. (Continuación)		
Poder calorífico, MJ/kg	17.39±1.27	16.82
Análisis estructural y bioactivo		
Celulosa, %	42.87±0.23	20.90
Hemicelulosa, %	29.09±0.43	7.92
Lignina, %	10.91±0.01	18.11
Extractivos totales, %	45.61±0.31	---
Fenoles totales, mg AG/g	15.4±0.80	16.00
Capacidad antioxidante, (mg Trolox/100g p.s.)	161.10±50	173.10±65
Fuente: ¹⁵		

1.1.2 Cáscaras de naranja. Las cáscaras de naranja son consideradas residuos sólidos orgánicos, generados en grandes cantidades, desechadas normalmente por vendedores de jugos y que luego pasan a descomponerse en vertederos municipales.¹⁶

El exocarpio de la naranja está compuesto por la epidermis y una capa de células glandulares en donde se generan considerables volúmenes de subproductos y uno de los más importantes para su extracción es el aceite esencial, aplicado en el mejoramiento de las propiedades funcionales y mecánicas en las películas.¹⁷

1.2 Almidón de cáscara de plátano verde

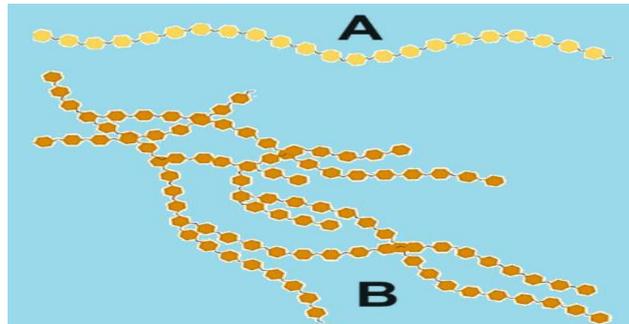
El almidón de la cáscara de plátano verde está compuesto por amilosa (cadena lineal) y amilopectina (cadena ramificada), carbohidratos, proteínas, lípidos, minerales y compuestos fenólicos en pequeñas cantidades.¹⁸

Investigaciones recientes, como la realizada por Valeria Figueroa et al.¹⁹, han demostrado la viabilidad de procesar las cáscaras de plátano verde, logrando un rendimiento óptimo de extracción de almidón del 7.61%, este almidón extraído de las cáscaras presenta características favorables como un material base con potencial para la preparación de películas biodegradables.

1.2.1 Composición química. El almidón, es el polisacárido de reserva en las plantas, se compone de dos familias de macromoléculas, la amilosa y la amilopectina, que presentan diferencias en su estructura molecular, propiedades físicas y biológicas.

La amilosa es un polímero de unidades de glucosa anhidra unidas principalmente por enlaces glucosídicos α -(1-4), mientras que la amilopectina, la otra fracción del almidón, consiste en moléculas más grandes con enlaces glucosídicos α -(1→4) y α -(1→6), y ramificaciones que le confieren una estructura molecular similar a la de un árbol.²⁰

Figura 1. Composición química del almidón: A) Amilosa y B) Amilopectina



Fuente: ²¹

1.2.2 Características fisicoquímicas del almidón de la cáscara del plátano verde. Según la investigación de Zheng Li et al.²², demostraron que las cáscaras de plátano verde poseen ciertas propiedades fisicoquímicas distintivas, estando seca contiene un 22.6% de almidón, en comparación con el 69.5% presente en la pulpa; además, la cáscara tiene un contenido aparente de amilosa del 25.7%, superior al 21.3% de la pulpa, lo cual puede deberse a diversos factores como métodos de medición, variedades de plátano y el grado de madurez; en cuanto a la morfología, los gránulos de almidón de la cáscara presentan una variedad de formas y tamaños, incluyendo gránulos grandes ovalados y pequeños gránulos delgados o irregulares con hilios excéntricos.

1.2.3 Propiedades funcionales. La solubilidad, la capacidad de absorción de agua y el poder de hinchamiento son propiedades que reflejan la capacidad del almidón para disolverse en agua, la cantidad de agua que puede ser absorbida por un gramo de material seco en condiciones de exceso de agua, y el grado de expansión de los gránulos de almidón cuando se someten a calentamiento durante la cocción.²³

1.2.3.1 Poder de hinchamiento (PH). El poder de hinchamiento del almidón está estrechamente ligado a su habilidad para retener agua, siendo la amilopectina la responsable de este fenómeno; mediante la presencia de la amilopectina, con su estructura ramificada, facilita la interacción con el agua, resultando en un incremento significativo en el PH en comparación con la amilosa, que juega un papel opuesto al actuar como un moderador en la expansión.²⁴

En el estudio experimental realizado por Norramon Thanyapanich et al. ²⁵, indican que el PH de los almidones aumenta al ser sometido a un incremento gradual de temperatura, partiendo de un umbral específico; partiendo de los almidones que experimentan un ligero hinchamiento debido a los enlaces de hidrógeno presentes en sus gránulos, lo que resulta en la formación de un complejo de lípidos y proteínas que restringe el PH; sin embargo, al superar los 70 °C, los enlaces de hidrógeno se rompen, permitiendo que el agua penetre en los gránulos de almidón y resultando en su hinchazón.

1.2.3.2 Índice de solubilidad en agua (ISA). La solubilidad en agua refleja el grado de disolución de los componentes del almidón durante el hinchamiento de los gránulos; esta propiedad incrementa a medida que se eleva la temperatura a la que son expuestos, debido a la ruptura de los enlaces de hidrógeno y la expansión de las cadenas de amilopectina y amilosa presentes en el almidón; por ende, cuando se alcanza los 95 °C, la solubilidad de los almidones de la cáscara de plátano es significativamente mayor, ya que el calor provoca una mayor disociación de las moléculas de almidón, permitiendo una mayor interacción con las moléculas de agua.²²

1.2.3.3 Índice de absorción en agua (IAA). Cuando los almidones se exponen al calor, experimentan modificaciones a nivel de los enlaces moleculares de la amilosa y la amilopectina, lo que se puede evaluar mediante el índice de absorción de agua (IAA); mencionando, que el aumento del IAA y de la temperatura posiblemente se deba a la descomposición o degradación del almidón, lo que podría resultar en una mayor disponibilidad de grupos hidrofílicos para unirse al agua, generando valores superiores de IAA en un proceso de hidrólisis parcial o baja gelatinización.²⁶

1.2.3.4 Gelatinización. La gelatinización implica la absorción de agua por los gránulos de almidón, desestructurándolos y formando un gel amorfo mediante interacciones entre las cadenas de almidón; este proceso ocurre cuando el almidón se calienta en agua, provocando que las moléculas de agua penetran en los gránulos de almidón, que comienzan a hincharse al absorber el agua, rompiendo las uniones hidrógeno y desorganizando la estructura cristalina; la temperatura de gelatinización varía según la composición del almidón (amilosa-amilopectina) y la actividad de agua.²⁷

1.3 Modificación del almidón de cáscara de plátano verde

El almidón de la cáscara de plátano verde, actúa como un hidrocoloide capaz de formar películas, pero su carácter hidrofílico restringe significativamente su uso, para superar esta limitación, es necesario modificar químicamente el almidón, lo que permite alterar la estructura y propiedades originales; las modificaciones químicas más comunes incluyen la eterificación, la esterificación, el entrecruzamiento y la descomposición, que puede lograrse mediante hidrólisis ácida o enzimática u oxidación.²⁸

Se ha determinado que no todos los almidones químicamente modificados poseen capacidad formadora de películas, además, se ha evaluado la necesidad de añadir plastificantes para mejorar las propiedades mecánicas de los materiales obtenidos; por lo general se incorporan polialcoholes, oligosacáridos o lípidos, siendo glicerol el más utilizado debido a su alta compatibilidad con la matriz en películas a base de almidón.²⁹

1.3.1 Modificación química del almidón por oxidación. La modificación química por oxidación de almidones provenientes de la cáscara de plátano, resulta en cambios estructurales, la reducción de su viscosidad y la formación de nuevos grupos funcionales; para la preparación almidón oxidado, se utilizan varios agentes oxidantes, siendo el hipoclorito de sodio (NaClO) el más usado en el ámbito comercial; es fundamental considerar variables importantes como el control del pH y la temperatura.³⁰

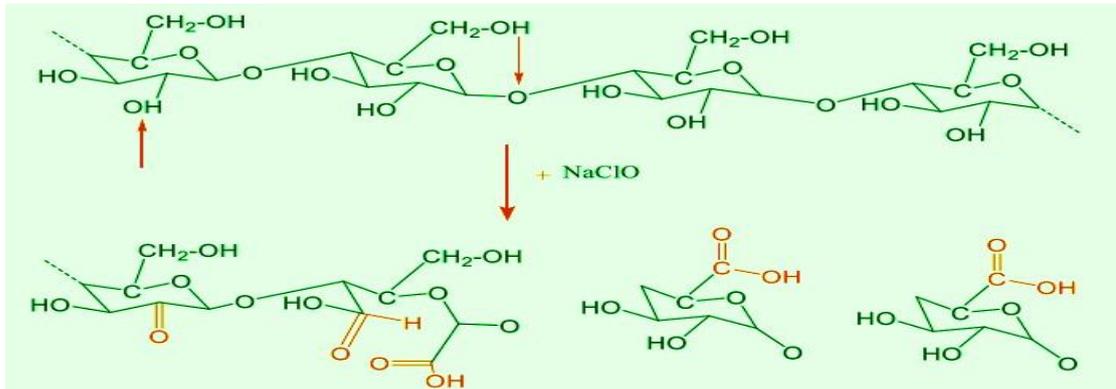
Mediante la investigación realizada por Herlina Marta et al.³¹, informaron que la oxidación aumenta la viscosidad máxima del almidón de plátano, causada por la introducción de los grupos carbonilo y carboxilo en la molécula de almidón, lo que facilita que los gránulos se hinchen.

La oxidación del almidón de la cáscara de plátano verde es una práctica habitual para mejorar sus propiedades desfavorables, mediante el aumento de los grupos carboxilo proporcionándoles hidrofobicidad, lo que puede disminuir la sensibilidad al agua tanto interna como externamente en las películas, además, la PVA de las películas de almidón de plátano aumenta con el grado de oxidación, mientras que la oxidación mejora la resistencia a la tracción, pero reduce el alargamiento a la rotura de las películas.⁹

En el transcurso de la oxidación, se producen dos reacciones clave (Figura 2); primero, los grupos hidroxilo presentes en el almidón se transforman a grupos carbonilo y posteriormente, estos se convierten en grupos carboxilo; en segundo lugar, la oxidación provoca la descomposición de las moléculas de almidón, al separar los enlaces glicosídicos α -1-4.³²

Por lo tanto, la cantidad de grupos carbonilo y carboxilo, junto con el nivel de despolimerización del almidón oxidado, sirven como indicadores del grado de oxidación.³³

Figura 2. Proceso de oxidación del almidón de cáscara de plátano (formación de grupos carbonilos y carboxilos).



Fuente: ³³

1.4 Grupos carbonilos y carboxilos

La obtención de grupos carbonilo (CO) y carboxilo (COOH) implica la conversión de hidroxilos a carbonilos y posteriormente a carboxilos mediante reacciones de oxidación; por lo general, el contenido de estos grupos CO y COOH se emplean como indicadores del grado de oxidación del almidón, que depende de características intrínsecas como la estructura molecular y el contenido de amilosa del almidón, seguido de distintos parámetros de reacción como el tiempo, temperatura, pH, concentración y tipo de reactivo oxidante.³⁴

El hipoclorito de sodio (NaClO) es el agente oxidante más comúnmente empleado en la modificación del almidón, especialmente en la producción de películas, debido a sus excelentes resultados; a través de la acción del cloro libre, este proceso de oxidación introduce grupos carboxilo y carbonilo en la estructura del almidón, como resultado, se logra una mayor hidratación y expansión de la molécula, así como una reducción en la viscosidad, mayor transparencia y una mejor estabilidad en comparación con el almidón nativo.³⁵

1.5 Aceite esencial de cascara de naranja

El AE de la cáscara de naranja es un líquido aromático conformado por varias sustancias, siendo el limoneno, su principal componente.³⁶

Se utilizan varios métodos para obtener este aceite, destacando la hidrodestilación tipo Clevenger como el más común; esta técnica aprovecha el calentamiento óhmico para acelerar la extracción al aumentar la permeabilidad celular, mejorando así la difusión del aceite esencial y optimizando los rendimientos obtenidos.³⁷

Tabla 2. Composición química del aceite esencial de cáscara de naranja obtenidos por hidrodestilación tipo Clevenger

Composición química	
Componente	Cantidad (%)
Limoneno	78.5
β -Mirceno	5.3
Sabineno	1.2
α -Pino	1.6
β -Pino	2.7
Octanal	0.5
Linalool	2.0
α -Terpineol	0.4

Fuente: ³⁸

1.6 Películas de almidón oxidado y aceite esencial de cáscaras naranja

La disposición final de los polímeros sintéticos, es un problema medioambiental significativo; como alternativa, se han propuesto biomoléculas biodegradables, tales como almidón, celulosa y proteínas, ya que existe un interés creciente en el almidón de la cáscara de plátano verde, esta se destaca por su bajo costo, alta biodegradabilidad, abundancia y es formador de películas biodegradables.³⁹

Sin embargo, las películas elaboradas exclusivamente con almidón presentan limitadas propiedades mecánicas; por esta razón, la adición de plastificantes a las películas de almidón se realiza con el objetivo de prevenir la fragilidad y mejorar la flexibilidad, ya que estos componentes desempeñan un papel fundamental en la estructura y propiedades de la película de polímero resultante.⁴⁰

El glicerol, es un material polar y no volátil conformado por 3 grupos hidroxilos (poliol), que permiten la creación de enlaces resistentes de hidrógeno con el polímero hidrofílico, aumentando el espacio intermolecular al reducir los enlaces de hidrógeno internos, reduciendo así la fragilidad y proporcionando flexibilidad a las películas.⁴¹

Otro componente de refuerzo indispensable para la formulación y elaboración de películas de almidón oxidado es la integración de aceite esencial, como el extraído de las cáscaras de naranja. Este compuesto lipídico con propiedades activas, ayuda a aumentar la fracción hidrofóbica de la película.⁴²

En la investigación de Zahra Eslami et al.⁴¹, mencionan que la incorporación de los aceites esenciales generalmente reducen la resistencia a la tracción de los polímeros hidrófilos porque los aceites debilitan las películas al reducir la interacción intermolecular entre las cadenas del polímero; por lo tanto, a temperatura ambiente, el aceite en estado líquido se encuentra en forma de pequeñas gotas dispersas a través de la estructura polimérica que pueden deformarse fácilmente, lo que mejora la flexibilidad de la película; como resultado, los aceites pueden actuar como plastificantes reduciendo la resistencia a la tracción y aumentando la elongación a la ruptura de las películas.

1.6.1 Método de obtención de las películas de almidón modificado. En la producción de películas de almidón modificado se aplica normalmente el “proceso húmedo”, que consiste en dispersar o disolver los biopolímeros en una solución para formar la biopelícula, seguido de la evaporación del solvente.⁴³

La formación de las películas al utilizar el método de vaciado (*casting*), según la explicación de Sánchez Aldana et al.⁴⁴, consiste en verter una suspensión en cajas petri, en la que se controla el grosor de la película a través de la cantidad de suspensión vertida; durante este procedimiento, el almidón se gelatiniza con exceso de agua luego de haber sido calentado y agitado de forma continua se asegura la hidratación de sus moléculas y se logra una mezcla adecuada de los componentes.

1.7 Propiedades físicas y de barrera

Luz Solano et al.⁴⁵, definen estas propiedades de la siguiente manera: La barrera contra gases regula la transferencia de oxígeno, dióxido de carbono y vapor de agua, influenciada por la humedad relativa; estos polímeros naturales tienen excelentes propiedades de barrera semipermeable y, la permeabilidad al vapor de agua se determina por las leyes de Fick y Henry, afectada por componentes hidrofóbicos; la resistencia a la tensión, la resistencia al rompimiento y la elongación están relacionadas con la estructura química que demuestran la fuerza máxima antes de estirarse, ligadas al rompimiento, la capacidad de estiramiento y la flexibilidad.

La solubilidad y la permeabilidad al vapor de agua en las películas y films biodegradables pueden mejorarse añadiendo lípidos como aceites esenciales. Estos interactúan con los grupos hidroxilo de las películas, reduciendo su interacción con las moléculas de agua y, por lo tanto, disminuyendo la solubilidad del agua en películas de almidón. Además, los aceites esenciales aportan flexibilidad y resistencia, ya que pueden penetrar la red de biopolímeros, debilitando la matriz de la película y permitiendo un mayor movimiento de las cadenas de polímeros, lo que mejora el alargamiento y la resistencia a la rotura.⁴⁶

Las propiedades físicas de la humedad y la solubilidad en las películas de almidón están interrelacionadas y afectan significativamente el comportamiento estructural y funcional del material; la humedad actúa como un plastificante que disminuye la fragilidad de los gránulos de almidón, facilitando la formación de una estructura más flexible y resistente; este efecto plastificante se debe a la capacidad del agua de penetrar en las regiones amorfas del almidón, solubilizando parcialmente los polímeros y aumentando la movilidad de las cadenas moleculares.⁴⁷

Según la investigación de Danijela Šuput et al.⁴², indica que el glicerol afecta directamente a las propiedades físicas de las películas hechas a base de almidón, provocando incrementos en la tasa de transferencia de vapor de agua, debido a que es una molécula hidrofílica y por ende disminuye las atracciones intermoleculares y aumenta la movilidad molecular; debido a este efecto, adicionaron compuestos hidrofóbicos como el AE, mejorando las propiedades físicas de las películas.

Las propiedades ópticas de las películas, como el color, brillo y transparencia, pueden mejorarse mediante la incorporación de lípidos, tal como lo demostró Bin Wang et al.⁴⁸, en su estudio; los autores señalaron que al aumentar el contenido de aceite esencial (AE) en películas a base de almidón de maíz, se logró modificar la tonalidad de estas; también mencionaron que este efecto se atribuye, probablemente, a la dispersión de la luz causada por las microgotas de lípidos que se incorporan y se distribuyen homogéneamente a lo largo de la matriz de las películas.

2. METODOLOGÍA

2.1 Tipo de investigación

La investigación de este trabajo es de carácter experimental, analítica, en la cual se obtuvo almidón proveniente de las cascaras de plátano en nivel de grado de maduración 2, mediante la molienda húmeda, en donde se obtuvo pasta húmeda, luego el secado, molienda y finalmente tamizado en malla N°40 para mantener granulometría uniforme.

Para la valoración de la modificación por oxidación del almidón nativo se aplicó estudios de Anova simple, verificando la afectación de las condiciones de reacción sobre las propiedades químicas, composición proximal y las propiedades funcionales de los almidones obtenidos; para ello; el almidón nativo fue sometido a reacciones de oxidación variando el tiempo de reacción, con la finalidad de verificar las afectaciones en las propiedades fisicoquímicas de los almidones obtenidos.

Los resultados obtenidos se sometieron a pruebas de distribución normal a través del test de Shapiro Wilk y las pruebas de Levene's, respectivamente, con la finalidad de aplicar análisis de varianza de un solo factor y así verificar las diferencias estadísticamente significativas en el estudio de afectación del tiempo de reacción sobre la composición química y propiedades funcionales de los almidones obtenidos como el índice de absorción de agua, Índice de solubilidad de agua y el poder de hinchamiento.

Con la finalidad de determinar las propiedades físicas y de barrera de las películas oxidadas, se elaboró un diseño factorial multinivel del 2^2 con dos replicas completamente al azar, en la cual se pretendió evidenciar el efecto del porcentaje de glicerol y del porcentaje de aceite esencial de cascara de naranja sobre las propiedades físicas y de barrera de las películas obtenidas, producto de las diferentes formulaciones pertenecientes al diseño experimental planificado.

Se valoró los resultados obtenidos a través del correspondiente Anova del diseño, se obtuvo los modelos matemáticos que explican el comportamiento de las variables respuestas frente a las composiciones de los diferentes tratamientos, para luego aplicar optimización y graficas de superficie respuesta, con la finalidad de obtener una formulación óptima.

2.2 Localización

En la elaboración y estudio de la película modificada elaborada a base de residuos de plátano, MCC y AE de clavo de olor se realizó en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad Técnica de Machala, localizada la Av. Panamericana km 5 1/2 Vía a Pasaje Machala, Ecuador.

2.3 Población y muestra

La muestra de este proyecto es de tipo probabilístico; Se Utilizó como materia prima, 6 Kg de residuos de plátano verde (*Musa Paradisiaca*) aproximadamente, de una chiflera en la ciudad de Machala.

2.4 Identificación de variables

Para analizar el estudio de la extracción del almidón nativo, oxidación del almidón y elaboración de biopelículas en el ámbito experimental, se consideran las siguientes variables independientes:

- Tratamientos.
- Tiempo de reacción.
- Porcentaje de plastificante.
- Porcentaje de AE

Las variables dependientes:

- Rendimiento del almidón.
- Grupo carboxilo.
- Propiedades funcionales.
- Propiedades de barrea (PVA).
- Contenido de humedad.
- Porcentaje de Solubilidad.

2.5 Reactivos, materiales y equipos

Tabla 3. Lista de reactivos, materiales y equipos

Reactivos	Materiales	Equipos
Agua destilada	Materiales de Vidrio	Plancha de calentamiento
Hidróxido de sodio 2N	Termómetros	Estufa
Hidróxido de sodio 1N	Papel filtro	Termobalanza
Hidróxido de sodio 0.01N	Tela filtro	Centrifugadora
Ácido Clorhídrico 0.1N	Moldes de aluminio	Desecador
NaClO 0.5%	Espátulas	Potenciómetro
Ácido Sulfúrico 1N	Soporte para buretas	Balanza analítica
Glicerol	Soporte para embudos	Agitador magnético
	Mortero	Homogeneizador

Fuente: Elaboración propia

2.6 Métodos

2.6.1 Extracción de almidón. Para la obtención del almidón nativo de la cascará de plátano, se emplearon las metodologías de extracción por el método húmedo, basadas en los trabajos de Mazzeo M. Miguel et al.¹⁸, Henry Lambis M. et al.⁴⁹, Urías Montiel Álvarez et al.⁵⁰ y Alexandra Aguirre et al.⁵¹, con algunas modificaciones.

La extracción se comienza con el pesado de las cáscaras, seguido de dos lavados, con la finalidad de remover cualquier sólido que se encuentre adherido y por último se procedió a un troceado la cáscara, obteniendo piezas de 8 mm aproximadamente; para evitar el pardeamiento y prolongar la conservación del producto final, las cáscaras se sumergen en una solución de ácido cítrico en una proporción de 30 g/L (gramos por litro); las cáscaras se dejan en esta solución durante 30 minutos y, después de este tiempo, se realizan dos lavados para eliminar el ácido cítrico residual.

El proceso de molienda húmeda, se realizó añadiendo trozos finos de cáscara y agua en una proporción de 35 g/500 ml en una licuadora de alimentos marca Oster; la mezcla se licuó durante 3 minutos hasta obtener una lechada compuesta por agua, almidón y partículas sólidas del residuo; posteriormente, se filtró la mezcla utilizando una tela filtro lisa y se dejó decantar la suspensión obtenida durante 24 horas.

Después del tiempo de decantación, se eliminó el exceso de agua sobrenadante y la mezcla se centrifugó para precipitar el almidón; para el secado, el almidón se colocó en bandejas de aluminio y se introdujo en una estufa de aire caliente a 60°C durante 24 horas; las muestras secas se molieron vigorosamente con un mortero hasta pulverizarse, luego se tamizaron utilizando un tamiz de malla N°40 y se envasaron herméticamente en frascos para evitar la absorción de humedad.

El porcentaje de rendimiento de almidón del residuo resultante de la extracción se calculó utilizando la ecuación (Ec.1) propuesta por Norramon Thanyapanich et al.²⁵

$$\text{Rendimiento del almidón (\%)} = \frac{\text{Peso de almidón seco}}{\text{Peso inicial de residuo}} * 100 \quad (\text{Ec.1})$$

2.6.2 Oxidación de almidón. La oxidación del almidón se realizó siguiendo las indicaciones de la metodología propuesta y aplicada por Oscar Carhuallay et al.⁵², con algunas modificaciones.

Se pesaron 30 gramos de almidón nativo en un vaso de precipitados de 1000 ml y se adicionaron 100 ml de agua destilada; la mezcla se agitó vigorosamente con una varilla hasta lograr la completa disolución del almidón; la solución se colocó en una plancha calefactora con agitación magnética constante, manteniendo una temperatura de 30°C durante todo el proceso; durante el proceso de agitación, el pH de la mezcla se ajustó a un rango de 9 a 9.5 utilizando un potenciómetro y una solución de NaOH 2N; a continuación, se añadió NaClO en una cantidad de 30 ml de una disolución al 0.5% v/v, empleando este reactivo como agente oxidante; inmediatamente después, se inició el cronometraje, manteniendo el pH en el rango de 9 a 9.5 mediante la adición de H₂SO₄ 1N, hasta que se agotó la disolución.

Una vez completada la adición del oxidante, se dejó reaccionar la mezcla durante tres tiempos distintos para cada muestra: 30 y 45 minutos, manteniendo el pH entre 9 y 9.5 mediante la adición de NaOH 1N.

Al finalizar el tiempo de reacción planificado, se añadió 1 g de bisulfito y se continuó agitando la mezcla durante 30 minutos; 30 segundos antes de completar el tiempo establecido, se detuvo el proceso y se procedió a la filtración utilizando papel filtro liso; este proceso de filtración continuó hasta que el líquido de lavado salió claro, realizando dos lavados consecutivos.

La muestra ya aclarada se vertió en bandejas de aluminio, para después secar en la estufa durante 24 horas, manteniendo una temperatura constante de 60°C.

Ya concluido el tiempo de secado se procedió a pulverizar la muestra con ayuda de un mortero y seguido se tamizó en un tamiz de malla (Nº40).

2.6.3 Determinación de grupos carboxilo. Para la determinación del grupo carboxilo se realizó siguiendo las indicaciones de la metodología propuesta y aplicada por Oscar Carhuallay et al.⁵², con algunas modificaciones.

Primero, pesamos 2 gramos de almidón nativo y oxidado, seguidamente, se colocan ambas muestras en vasos de 250 ml; luego, se agregan 25 ml de una solución de ácido clorhídrico (0.1N) en cada vaso y mezclamos durante 30 minutos; finalmente se filtra la mezcla usando un embudo de vidrio.

La pasta obtenida se coloca en un matraz grande al que se agregan 300 mililitros de agua pura; a continuación, la mezcla se lleva a ebullición durante 15 minutos, tras finalizar el tiempo de calentamiento, se añaden 150 mililitros adicionales de agua pura y se deja enfriar hasta alcanzar una temperatura entre 34°C y 39°C; una vez alcanzada la temperatura requerida, se ajusta el pH a 8.3 utilizando una solución de hidróxido de sodio (0.01N) y un medidor de pH; los valores del pH se registran en diferentes momentos durante la titulación y se emplean en una ecuación (Ec.2).

$$\% \text{ carboxilo} = \frac{m.equi.acidez}{100 \text{ g de almidón}} * 0.045 \quad (\text{Ec. 2})$$

$$\frac{mequi.de \text{ acidez}}{100 \text{ g de almidón}} = \frac{(A-B)*N \text{ NAOH}*100}{\text{Gramos de la muestra}}$$

Donde:

A: ml de la muestra, ml de NaOH 0.01N gastados en la titulación de almidón oxidado.

B: ml blanco, ml de NaOH 0.01N gastados en la titulación de almidón nativo.

0.045: miliequivalente del grupo carboxilo.

2.6.4 Determinación de las propiedades funcionales. La determinación de las propiedades funcionales del almidón tales como el índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad en agua (ISA) y poder de hinchamiento (PH), se realizó según las instrucciones de la metodología ejecutada por Salcedo-Mendoza, J.G et al.⁵³, con algunas modificaciones.

En primer lugar, se pesa 1 gramo de almidón en base seca y se coloca en un tubo de centrifuga previamente tarado, a continuación, se agregan 25 mililitros de agua destilada precalentada a 60°C al tubo.

La suspensión resultante se introduce en un baño de agua a 60°C durante 30 minutos, agitándola manualmente a los 10 minutos de iniciado el calentamiento, posteriormente, se centrifuga la muestra a 2500 rpm durante 15 minutos; luego, se extrae el sobrenadante (almidón soluble) y se mide el volumen total (V), a continuación, se toma una muestra de 10 mililitros del sobrenadante, se deposita en una caja de Petri previamente pesada y se seca en un horno a 70°C durante 16 horas; finalmente, se registra el peso de la caja de Petri con el material soluble y del tubo de centrífuga que contiene el gel (almidón insoluble), los índices de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad en agua (ISA) y poder de hinchamiento (PH) se calculan a partir de las siguientes ecuaciones: (Ec.3), (Ec.4) y (Ec.5).

$$IAA = \frac{\text{peso del gel (g)}}{\text{peso muestra (g) bs}} \quad (\text{Ec. 3})$$

$$ISA = \frac{\text{Peso soluble (g)} * V/10}{\text{Peso muestra (g) bs}} \quad (\text{Ec. 4})$$

$$PH = \frac{\text{Peso del gel (g)}}{\text{Peso muestra (g) - Peso soluble (g)}} \quad (\text{Ec. 5})$$

2.6.5 Análisis de la composición básica del almidón nativo y oxidado. La composición proximal del almidón nativo y oxidado se determinó mediante los siguientes métodos: la determinación de humedad se realizó mediante el método AOAC 21; el contenido de ceniza se determinado mediante el método PEE/CESECCA/QC/09 Método de Referencia AOAC Ed. 21, 2019; 938.08; 900.02. NTE INEN 467:1980; AACC 08- 12, Ed. 1999; el contenido de fibra se determinó mediante el método enzimático; el contenido de proteína se determinó mediante PEE/DATER/QC/15 Método de Referencia AOAC Ed. 21, 2019; 2001.11 NTE INEN 465: 1980; el contenido de grasa se determinó mediante PEE/DATER/QC/04 Método de Referencia AOAC Ed. 21, 2019; 2003.06 NTE INEN 466:1980; y finalmente el contenido de carbohidratos de determino mediante calculo.

2.6.6 Elaboración de películas. Para la preparación de las películas de almidón modificado de residuos de plátano se realizó siguiendo la metodología aplicada por Castillo Silva et. Al.⁵⁴ y R. Ferreira et Al.⁵⁵, con algunas modificaciones.

La elaboración de las películas se basó en un diseño factorial 2² se mezcló el almidón oxidado (4%) para todas las películas, en agua destilada (pH=7), en una pancha de calentamiento con agitación magnética, a 85°C, durante 30 min, a 400 rpm, hasta gelatinización del almidón.

Se incorporó glicerol como plastificante con concentraciones entre (2-3%p/p), mantener en agitación a máxima velocidad, hasta alcanzar una temperatura de 45 °C de la gelatina se añade el aceite esencial de cáscara de naranja, a concentraciones entre (0.3-0.6%p/p) y de la misma forma mantener agitación a máxima velocidad durante 30 minutos; finalmente las películas se vertieron en recipientes antiadherentes y se secaron en una estufa a 35 °C por 12 h y por último se colocó y se ajustó en un desecador a temperatura ambiente.

2.6.7 Determinación de propiedades físicas y de barrera de las películas. El nivel de humedad en las películas modificadas con AE se evaluó usando una termobalanza utilizando 1 gramo de muestra en cada tratamiento que fueron sometidas a una temperatura de 105 °C para poder llevar a cabo el análisis.

La solubilidad de las películas se determinó a 25 y 80 °C de acuerdo con la metodología aplicada por Zamudio Flores et Al.⁵⁶, con algunas modificaciones; en piezas de 2x2 cm se cortaron, se pesaron, se colocaron en vasos de precipitados de 150 ml y se agregaron 100 ml de agua destilada; las muestras se mantuvieron en agitación constante (250 rpm) en una placa de calentamiento y agitación controlada por 2 h a temperatura ambiente. Las películas se secaron 4 h en una estufa a 60 °C; el porcentaje de materia soluble (% solubilidad) se calculó mediante la ecuación (Ec. 6):

$$\%Solubilidad = \left[\frac{(\text{Peso inicial de la muestra} - \text{Peso de la muestra seca})}{\text{Peso inicial de la muestra}} \right] * 100 \quad (\text{Ec. 6})$$

La propiedad de barrera al vapor de agua de las películas se determinó mediante la metodología aplicada por Zamudio Flores et al.⁵⁶, y Adjouman et al.⁵⁷, con algunas modificaciones.

La propiedad de barrera al vapor de agua consistió en la evaluación de la permeabilidad al vapor de agua (PVA) y se utilizó el método gravimétrico estándar de la ASTM E96-80; las películas se cortaron en forma circular con un diámetro de 10 cm, se acondicionaron en un desecador a una HR de 61 %, y se colocaron sobre la parte superior en las celdas de prueba; en el interior de las celdas se colocó 10 g de sílica gel para generar una HR cercana al 0 %; el conjunto se colocó en un desecador a 25°C que contenía un vaso de precipitados con 100mL de agua destilada (80-90%, HR).

Después de que se alcanzaron las condiciones de estado estacionario, se tomaron siete mediciones de peso durante cada hora durante al menos 7 h; los cambios en el peso de las copas se registraron con una precisión de 0.0001g y se representaron en función del tiempo.

La pendiente de cada línea se calculó por regresión lineal ($r^2 > 0.99$), registrando la ganancia de peso en función del tiempo para calcular el coeficiente de transmisión de vapor de agua (CTVA) a partir de la pendiente de la línea recta (gs^{-1}) dividido por el área de transferencia (m^2). Después de las pruebas de permeación, se midió el grosor (promedio de diez determinaciones aleatorizadas sobre el área de la película) y se determinó la PVA ($gPa^{-1} s^{-1} m^{-1}$), de acuerdo a la siguiente ecuación (Ec. 7).

$$PVA = \frac{CTVA}{S(R1-R2)*D} \quad (Ec. 7)$$

Donde:

- S es la presión de saturación de vapor de agua, a T de 25°C, en (Pa).
- CR1 es la HR en el desecador.
- R2 es la HR en la celda de permeabilidad.
- D es el espesor de la película, en (mm).

2.6.8 Extracción de aceite esencial de cáscaras de naranja. El proceso de extracción de aceite esencial de clavo se realizó siguiendo la metodología propuesta por Panawan S. et al.⁵⁸ y María V. et al.⁵⁹ con algunas modificaciones.

La hidrodestilación del aceite esencial se realizó en un aparato Clevenger durante 4 h con las cáscaras de naranja en agua destilada proporción de 250g/1000ml, con una temperatura de 100 °C; se midió el rendimiento por cada ciclo de 4 horas de destilación.

La hidrodestilación implicó la suspensión de las cáscaras de naranja, al hervir el agua, se lograron arrastrar las moléculas del aceite esencial junto con el vapor de agua, este vapor, al pasar por el refrigerante, se condensó y se recolectó en una columna de separación, gracias a la diferencia de densidades, el aceite esencial se acumuló en la parte inferior de la columna; finalmente, se calculó el rendimiento (%R) utilizando la ecuación propuesta por Luis Cedeño et al.¹⁰, (Ec.8).

$$\%R = \frac{W_{AE}}{W_{MV}} * 100 \quad (Ec. 8)$$

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Rendimiento de la extracción de almidón

En el proceso de molienda húmeda se obtuvo un rendimiento de $4.5166 \pm 1.3614\%$, como se muestra en la (Tabla 4); cada tratamiento consistió en 4 minutos de licuado, logrando reducir de tamaño los gránulos de almidón y facilitar el paso de las partículas de almidón en el proceso de filtrado.

Tabla 4. Rendimiento de almidón de cáscaras de plátano verde

N° de tratamiento	Peso de cáscara de plátano (g)	Peso de almidón seco extraído (g)	Rendimiento (%)
1	2400	81.43	3.07
2	2800	95.00	3.39
3	2400	97.57	4.06
4	2800	118.12	4.21
5	2400	145.24	6.05
6	2800	177.23	6.32
Total	15.600	714.59	4.5166 ± 1.3614

Fuente: Elaboración propia.

Es importante destacar que el rendimiento obtenido es menor en comparación con los resultados reportados por Valeria Figueroa et al.¹⁹ y Alexandra Mogollón et al.⁵¹; esto se debe a que estos investigadores utilizaron cáscaras de plátano con un grado (1) de maduración cercano a la cosecha, mientras que las muestras de esta investigación es de grado (2), que corresponde a las cascaras ya desechadas después del consumo.

3.2 Efecto de la oxidación en las propiedades químicas del almidón de las cascaras de plátano verde

3.2.1 Evaluación de grupo carboxilo. Mediante el estadístico de Shapiro-Wilk se verificó el cumplimiento de la normalidad de los datos ($p > 0.05$). Para asegurar el cumplimiento de los requisitos para un ANOVA, se comprobó la homogeneidad de varianzas utilizando la prueba de Levene, concluyendo que los datos cumplen con este criterio ($p > 0.05$).

Tabla 5. Contenido de grupos carboxilos en almidones nativos y oxidados a diferentes tiempos de reacción de cloro activo al 0.5 % v/v.

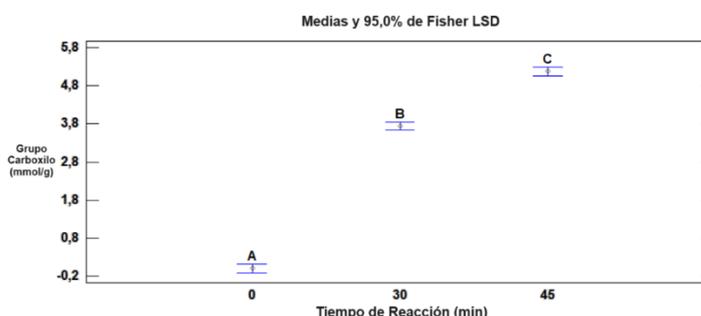
Tiempo de reacción (min)	Grupos carboxilo (COOH)
0	0.0000±0.0000 ^a
30	3.7400±0.0793 ^b
45	5.1766±0.1778 ^c

Media de tres determinaciones en diferentes niveles ± desviación estándar. Diferentes letras a, b, c, en la misma columna de grupos carbonilo y carboxilo, indican diferencias estadísticas significativas debido a la oxidación ($p < 0.05$).

Fuente: Elaboración propia

Mediante la (Tabla 5), se logró identificar que el almidón de cáscara de plátano verde oxidado a 45 min, presentaron un valor más elevado en la producción de grupos COOH obteniéndose un 5.1766 ± 1778 ; sin embargo, en los resultados de Zamudio-Flores et al.⁵⁶ evidenciaron que entre el almidón oxidado de plátano y el almidón oxidado de avena hubieron diferencias significativas en la generación de grupos COOH con un $0.010 \pm 0.004\%$ y $0.022 \pm 0.001\%$ respectivamente; demostrando en su estudio que los almidones oxidados de plátano presentaron menores resultados en la generación de grupos COOH; también, mediante esta comparación, expresaron que esto se debe a que se generan alteraciones en su contenido debido al tiempo de reacción y pH en la oxidación del almidón de plátano, también señalaron que la planta de origen del almidón es el factor clave que afecta su capacidad para oxidarse, ya que esta determina la proporción entre amilosa y amilopectina, la existencia de poros, canales o fracturas, así como el tamaño, la forma y la distribución de los gránulos, además de la relación entre las zonas amorfas y cristalinas.

Figura 3. Contenido de grupos carboxilo de almidones nativos y oxidados



Fuente: Tomado de Statgraphics 19

Finalmente, se demostró que el tiempo de reacción afecta significativamente la inserción de grupos carboxilo ($p < 0.05$), directamente en la cadena de amilosa y amilopectina, evidenciado que a medida que aumenta el tiempo de reacción el grado de oxidación también lo hace, por consecuente aumentan los grupos COOH (Figura 3); también se observaron resultados casi idénticos en el estudio de Rocío Bonilla et al.⁸, con el almidón oxidado de yuca donde al incrementar el tiempo de reacción del almidón con el agente oxidante se pudo evidenciar el aumento en el grado de oxidación ($p < 0.05$), registrándose nivel del pH óptimo de 9 para llevar a cabo esta reacción.

Oscar Carhuallay et al.⁵², logró identificar que la tendencia del grado de sustitución de los grupos carboxilo aumenta cuando se aplican mayores tiempos ($p < 0.05$), consecuente a esto, se explica que se genera una mayor oxidación de las moléculas de glucosa con la consiguiente formación de un mayor número de grupos carboxilo.

3.3 Evaluación de las propiedades funcionales de almidón nativo y oxidado a diferentes tiempos de reacción

Mediante el estadístico obtenido por Shapiro-Wilk se demuestra una correcta distribución normal ($p > 0.05$), de igual forma la identificación de la varianza mediante la prueba de Levene ($p > 0.05$) y seguidamente se procedió a realizar (ANOVA) (Tabla 6).

Tabla 6. Propiedades funcionales del almidón oxidado

Tiempo de reacción (min)	IAA	ISA	PH
0	4.9493±0.0435 ^a	0.0181±0.0013 ^a	4.9962±0.0477 ^a
30	5.6414±0.2331 ^b	0.0264±0.0037 ^b	5.7220±0.2480 ^b
45	6.4013±0.3936 ^c	0.0437±0.0040 ^c	6.5544±0.3996 ^c

Media de tres determinaciones en diferentes niveles \pm desviación estándar. Diferentes letras a, b, c, en la misma columna de IAA, ISA, y PH, indican diferencias estadísticas significativas debido a la oxidación ($p < 0.05$).

Fuente: Elaboración propia

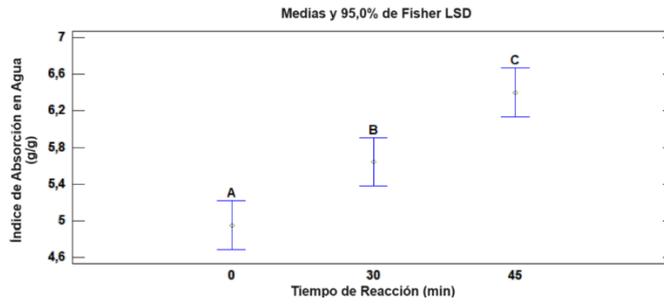
En la determinación de las propiedades funcionales del almidón oxidado de cáscara de plátano verde se registraron, a medida que aumenta el tiempo de oxidación, se evidencia el incremento en el índice de absorción de agua, el poder de hinchamiento y el índice de solubilidad en agua ($p < 0.05$) (Figuras 4,5 y 6).

El IAA se evidenció mediante el estadístico obtenido por la gráfica de medias y Fisher con un nivel de confianza del 95% (Figura 4), que indica que el almidón nativo presentó un bajo índice de absorción en agua de $4.9493 \pm 0.0435\%$, mientras que los almidones oxidados con el tiempo más alto de reacción, obtuvieron mayores resultados $6.4013 \pm 0.3936\%$; caso similar se obtuvo en los almidones oxidados de camote en la investigación de J.F Alvarez-Barreto et al. ⁶⁰, identificando que el agente oxidante aplicado a los gránulos de almidón hicieron que estos adquieran un mayor IAA, y explican que esto se debe a que algunos grupos hidroxilos presentes en el almidón tienen la capacidad de absorción en agua, efectuado por el alto grado de oxidación de los almidones, haciendo que estos tengan la capacidad de absorber más agua y de aumentar la tasa de hinchamiento del gránulo.

El ISA, de los almidones de cáscara de plátano verde, en los almidones nativos (A), es demasiado bajo en comparación con los almidones oxidados (B Y C) según se indica en la (Figura 5), en la cual estas aumentan conforme al grado de oxidación alcanzado únicamente por el aumento del tiempo; de la misma manera sucede en los almidones oxidados de ñame, donde Carolina Agudelo-Azamudio et al. ⁶¹, indican que estas moléculas de almidón lixiviadas con el agente oxidante aumentan a un número mucho mayor el porcentaje de ISA, esto se debe a la expansión de los gránulos, causando una reducción en los enlaces de cada gránulo, debido a que las moléculas de almidón, especialmente la amilosa, se filtran hacia la fase líquida circundante, lo que conduce a una solubilidad elevada.

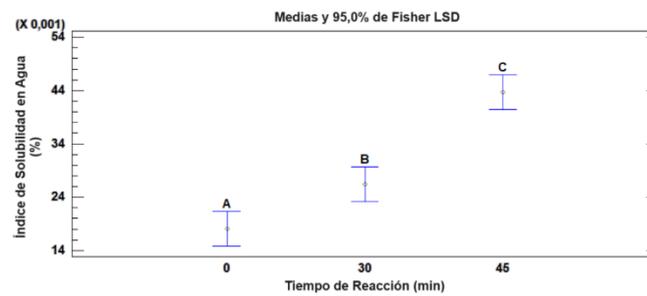
El poder de hinchamiento se evidencia mediante la gráfica de Medias y Fisher con un nivel de la confianza del 95.0%, (Figura 6), donde la capacidad de hinchamiento de las muestras de almidón oxidado aumentó significativamente en comparación con el almidón nativo. A tiempos de reacción más prolongados, la diferencia en la capacidad de hinchamiento entre las muestras fue la más notable; tal es el caso en los almidones oxidados de achira, realizado por Nguyen Van Khoi et al. ⁶², quienes lograron demostrar que el poder de hinchamiento del almidón tuvo que ver con la depolimerización en las cadenas de amilosa y amilopectina, siendo la amilosa más propensa a esta reacción de oxidación con el hipoclorito de sodio, debido a su naturaleza y a su cadena lineal, mientras que la amilopectina aumenta la capacidad de la amilosa para almacenar más moléculas de agua, contribuyendo al hinchamiento de los gránulos de almidón.

Figura 4. Índice de absorción en agua



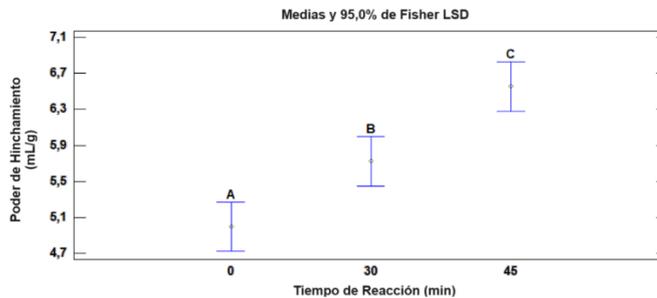
Fuente: Tomado de Statgraphics 19

Figura 5. Índice de solubilidad en agua



Fuente: Tomado de Statgraphics 19

Figura 6. Poder de hinchamiento



Fuente: Tomado de Statgraphics 19

3.4 Efecto del tiempo de reacción en la composición proximal de almidones nativos y oxidados

Tabla 7. Análisis proximal de almidones nativos y oxidados.

Composición proximal	Tiempos de reacción (min)		
	0	30	45
Humedad	9.01333±0.06429 ^a	9.3033±0.1823 ^a	11.3567±0.19502 ^b
Ceniza	0.83667±0,02516 ^a	1.67±0.02 ^b	2.03±0.14 ^c
Proteína	2.54±0.01 ^c	2.4533±0.01527 ^b	2.37333±0.00577 ^a

Tabla 7. (Continuación)

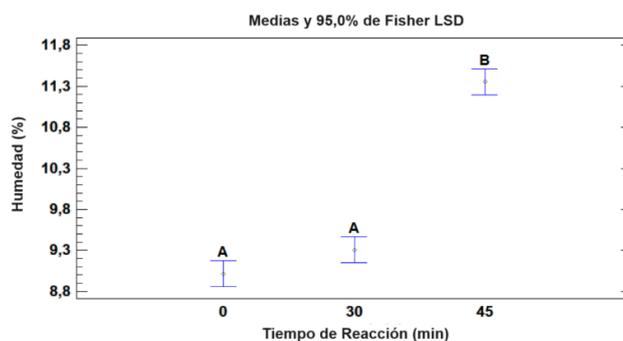
Grasa	0.98333±0.00577 ^b	0.95666±0.00577 ^b	0.90667±0.02516 ^a
Fibra	0.37±0.02 ^c	0.32±0.01 ^b	0.24333±0.01527 ^a
Carbohidrato	85.39±0.04582 ^c	84.97±0.09 ^b	84.2833±0.17502 ^a

Media de tres determinaciones en diferentes niveles ± desviación estándar. Letras que no son iguales en los diferentes tiempos (min) de reacción del almidón; donde en 30 y 45, demuestran diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$).

Fuente: Elaboración propia

A partir de los datos presentados en la (Tabla 7), se evidenció disminución ($p < 0.05$), en algunos componentes de los almidones oxidados, estos incluyen proteína, grasa, fibra y carbohidratos; en contraste, se evidenció aumento ($p < 0.05$) en el contenido de humedad y ceniza; estas diferencias se ven representadas en las (Figuras 3, 4 y 5).

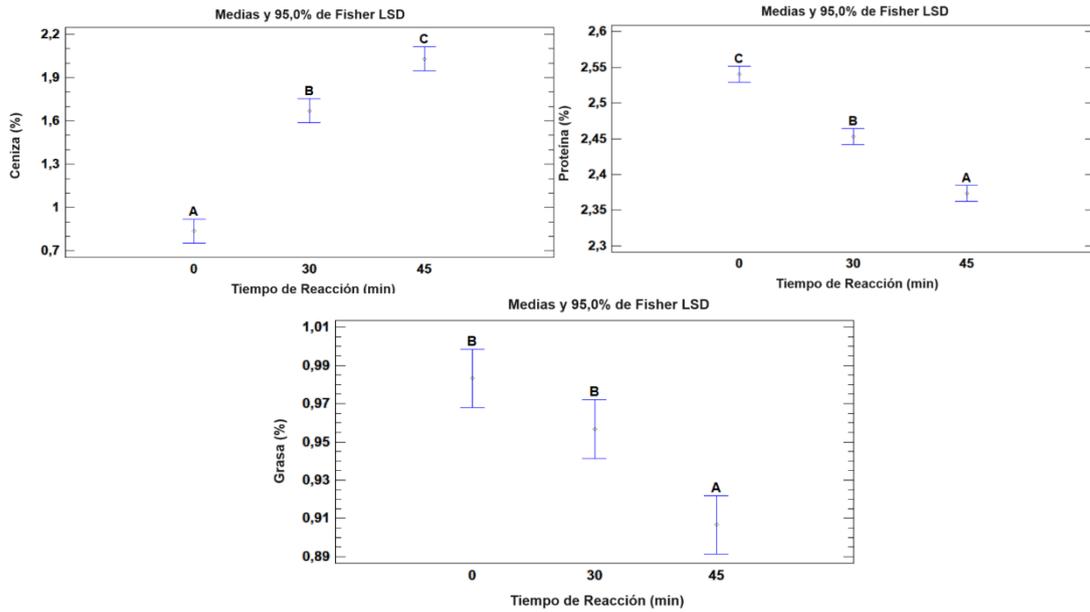
Figura 3. Contenido de Humedad



Fuente: Tomado de Statgraphics 19

En los almidones oxidados, se observó un incremento en la humedad de las muestras a medida que aumenta el tiempo de reacción (Figura 3), siendo el almidón nativo el que presentó el porcentaje más bajo; a través de los análisis, se determinó un mayor grado de oxidación, evidenciado por la cantidad de grupos carboxilos presentes que se originaron durante este proceso; además, se determinó que el contenido de humedad aumenta debido al carácter hidrofílico de las moléculas de los almidones oxidados, el método de secado como de la humedad del ambiente al que se exponen las muestras; esta interacción es similar a la que tuvieron almidones oxidados de plátano, en la investigación de Zamudio-Flores et al.⁵⁶, en la cual mencionan que el contenido de humedad en almidones nativo fue bastante bajo en comparación con el modificado, que oscilaron entre 4.2% y 13.1% respectivamente, acotando también, que esto se debe a la afinidad de los almidones por el agua, debido a los grupos carbonilo y carboxilo presentes en los almidones oxidados, los cuales tienen la capacidad de establecer enlaces de hidrogeno con las moléculas de agua.

Figura 4. Contenido de ceniza, proteínas y grasa



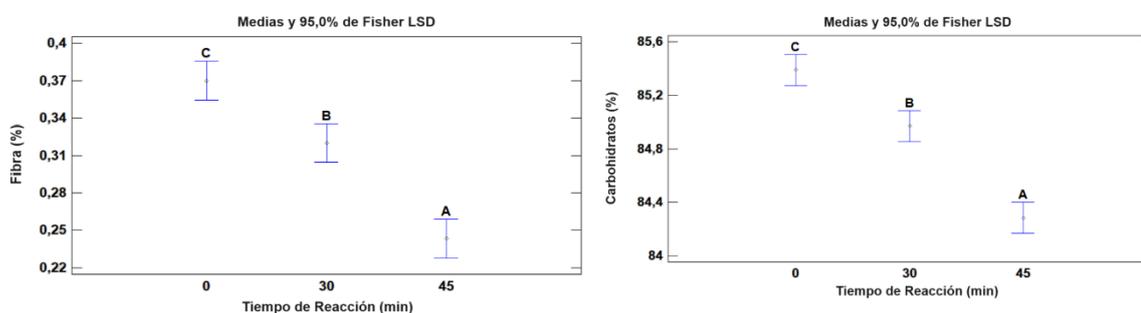
Fuente: Tomado de Statgraphics 19

Los datos que determinan el contenido de ceniza, proteínas y grasa del almidón oxidado de la cáscara de plátano, lo cuales sufrieron cambios durante el tiempo de exposición de los almidones a la reacción de oxidación ($p < 0.05$), fue obtenido mediante el gráfico estadístico (Figura 4), donde se muestra un evidente aumento de ceniza, en los almidones oxidados, indicando que la muestra expuesta a 45 minutos de reacción con NaClO, fue la que demostró tener un mayor porcentaje de cenizas, mientras que el almidón nativo se mostró con menor medida; en este análisis se determinó que al aumentar los tiempos de reacción del almidón con el NaClO, se logró incrementar la cantidad de ceniza; mientras que contenido de grasas y proteínas disminuyeron significativamente.

Caso similar ocurre con los almidones de oxidados de plátano en el estudio de García-Tejada et al.⁶³, expresados en estadístico ($p > 0.05$), anunciaron que sus muestras oxidadas no obtuvieron un contenido significativo de ceniza, ni de grasa, ni de proteína, con lo cual explicaron químicamente, que los gránulos del almidón que estuvieron en contacto con el NaClO, hicieron que sus componentes superficiales como las proteínas, enzimas y pigmentos sean más susceptibles a la degradación.

En cambio en el estudio de Zamudio-Flores et al.⁵⁶, se indicó mediante sus resultados estadísticos ($p \leq 0.05$), que el contenido de ceniza, proteína y lípidos obtenidos en la oxidación del almidón de plátano, fue menor que la cantidad de ceniza obtenida en el almidón nativo; por último, concluyeron que el almidón de plátano se degrada más rápido al oxidarse; y que el motivo de la disminución de la cenizas, proteínas y lípidos está relacionada con la hidrólisis de las proteínas, reacciones de saponificación en los lípidos a causa de reactivos químicos, y con los variados lavados efectuados durante el proceso de oxidación.

Figura 5. Contenido de Fibra y carbohidrato



Fuente: Tomado de Statgraphics 19

En la (Figura 5) se mostró el contenido de fibra y carbohidratos en el almidón nativo sometido a incrementos en los tiempos de reacción con NaClO. El análisis estadístico reveló una disminución ($p < 0.05$) en el contenido de fibra y carbohidratos a medida que se prolongaba el tiempo de reacción, como resultado, los almidones nativos, inicialmente ricos en estos compuestos, mostraron una notable reducción tras la oxidación, mientras que los almidones oxidados presentaron una marcada decadencia en su contenido de fibra y carbohidratos. Esta disminución se atribuye a la despolimerización de los gránulos de almidón, donde el agente oxidante provoca la pérdida progresiva de estos componentes durante el proceso de oxidación.^{56, 63}

3.5 Propiedades físicas y de barrera (PVA) en películas de almidón oxidado y AE

Las propiedades físicas y de barrera (PVA) de las películas compuestas de almidón oxidado y aceite esencial, se evaluaron en base a un diseño factorial multinivel 2^2 , los resultados obtenidos se presentan en la (Tabla 8).

Tabla 8. Tratamientos para la elaboración de películas

Trat.	Glicerol (%p/p)	A.E (%p/p)	Cont. Humedad (%)	Solubilidad (%)	PVA (gmm-1 h1 Pa-1)
1	3	0.6	10.14±0.01473 ^b	0.6243±0.00185 ^{cd}	1.52664E-05±3.3531E-07 ^a
2	2	0.3	10.81±0.03204 ^c	0.7121±0.00065 ^e	1.22372E-05±7.825E-07 ^a
3	3	0.3	13.45±0.25238 ^d	0.8423±0.00101 ^g	1.25079E-04±4.6676E-06 ^c
4	2	0.6	9.54±0.47618 ^a	0.5643±0.02626 ^a	1.07753E-05±1.2305E-06 ^a
5	3	0.6	10.18±0.05653 ^b	0.6313±0.00958 ^d	1.57239E-05±2.6312E-06 ^a
6	2	0.6	9.28±0.17776 ^a	0.6018±0.00075 ^{bc}	1.00093E-05±4.8881E-08 ^a
7	3	0.3	13.49±0.24879 ^d	0.8422±0.01826 ^g	1.40814E-04±2.795E-05 ^d
8	2	0.3	10.89±0.11532 ^c	0.7449±0.00288 ^f	1.5721E-05±6.799E-07 ^a
9	2	0.3	10.85±0.09848 ^c	0.7373±0.02257 ^{ef}	1.7766E-05±1.0119E-06 ^a
10	3	0.3	13.55±0.20074 ^d	0.8492±0.03205 ^g	1.06548E-04±3.1411E-06 ^b
11	3	0.6	10.24±0.15394 ^b	0.6299±0.00477 ^d	1.76864E-05±1.9568E-06 ^a
12	2	0.6	9.25±0.09539 ^a	0.5837±0.0015 ^{ab}	1.02433E-05±1.8502E-07 ^a

Media de tres determinaciones en diferentes niveles ± desviación estándar. Letras que no son iguales en los tratamientos demuestran diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$).

Fuente: Elaboración Propia.

3.5.1 Contenido de humedad. Para determinar el porcentaje de humedad en las películas, se procedió mediante análisis ANOVA, aplicando diseño factorial multinivel, como se muestra en la (Tabla 9).

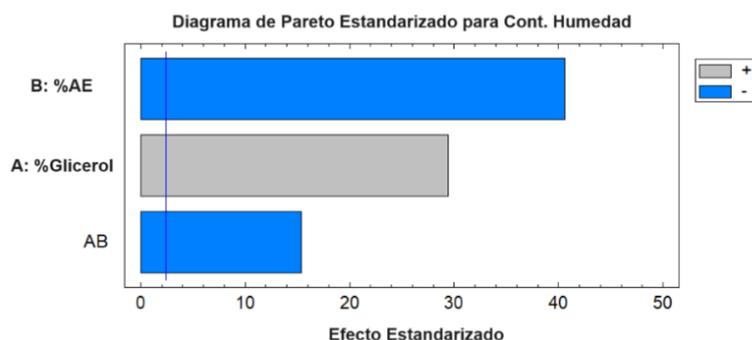
Tabla 9. Análisis de varianza para contenido de humedad

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
A: Glicerol	9.06541	1	9.06541	864.06	0.0000
B: A. E	17.304	1	17.304	1649.31	0.0000
AB	2.47521	1	2.47521	235.92	0.0000
Bloques	0.00125	2	0.000625	0.06	0.9427
Error total	0.06295	6	0.0104917		
Error (corr.)	28.9088	11			

Fuente: Tomado de Statgraphics 19

De acuerdo con el estudio, los factores A, B y AB inciden en el porcentaje de humedad de las películas ($p < 0.05$), siendo B el factor más significativo (Figura 6), esto quiere decir que, a mayor contenido de AE en la formulación, existe una disminución en el porcentaje de humedad, caso similar sucede con la interacción AB; mientras que el contenido de glicerol provoca el aumento en el contenido de humedad; resultados similares fueron presentados por Jhusty Moreno et al.⁶⁴, que evidenció que las películas basadas en hidrocoloides junto con el AE y pH optimizado, otorgaron menores capacidades en la atracción y retención de agua en la red estructural de las películas, disminuyendo considerablemente el contenido de humedad ($p < 0.05$); también se evidenciaron los mismos efectos en las películas a base de almidón de yuca y AE en la investigación de Rodrigo Ortega et al.⁶⁴, el cual obtuvo resultados ($p < 0.05$) en la reducción de la humedad en películas, indicando que el contenido de humedad de las películas tienden a disminuir con el aumento del contenido de aceite y mencionando también que esto se debe a la naturaleza hidrofóbica del aceite.

Figura 6. Diagrama de Pareto estandarizado para contenido de humedad



Fuente: Tomado de Statgraphics 19

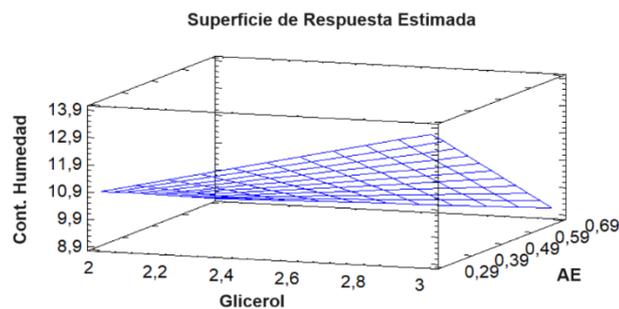
De acuerdo con el experimento desarrollado, el modelo de regresión (Tabla 10), existe una R^2 de 99.7822% y una R^2 (ajustada) de 99.6008%, lo que representa que el modelo matemático obtenido describe el 99.6008% de la variabilidad de humedad en la película.

Tabla 10. Modelo ajustado para contenido de humedad

	$\% \text{Humedad} = 3.41667 + 4.46333 * \% \text{Glicerol} + 7.13333 * \% \text{AE} - 6.05556 * \% \text{Glicerol} * \% \text{AE}$	
Porcentaje de humedad	R^2	R^2 (ajustada)
	99.7822%	99.6008%
Fuente: Elaboración propia.		

En el diagrama superficie respuesta (Figura 7), se muestra la interacción entre el porcentaje de glicerol y AE, evidenciando la afectación sobre el porcentaje de humedad, de modo que, los porcentajes óptimos de glicerol (1.5% p/p) y AE de cáscaras de naranjas (0.1% p/p) disminuyen el contenido de humedad en la película (Tabla 11).

Figura 7. Diagrama de superficie de respuesta para contenido de humedad



Fuente: Tomado de Statgraphics 19

Tabla 11. Modelo de optimización para minimizar el porcentaje de humedad

Factor	Baja	Alto	Optimo
Glicerol	2.0	3.0	2.0
AE	0.29	0.69	0.69

Fuente: Tomado de Statgraphics 19

3.5.2 Solubilidad. Para registrar el porcentaje de solubilidad en las películas, se diseñó un ANOVA, cuyos resultados se presentan en la (Tabla 12), basados en un diseño factorial multinivel.

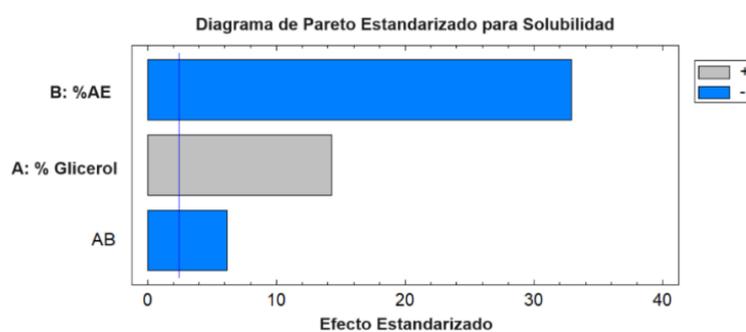
Tabla 12. Análisis de varianza para el porcentaje de solubilidad

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
A: Glicerol	0.01881	1	0.01881	204.98	0.0000
B: A. E	0.0994994	1	0.0994994	1084.31	0.0000
AB	0.0034578	1	0.00345781	37.68	0.0000
Bloques	0.0008020	2	0.000401011	4.37	0.0674
Error total	0.000550578	6	0.0000917631		
Error (corr.)	0.12312	11			

Fuente: Tomado de Statgraphics 19

Estos resultados se visualizan mediante un diagrama de Pareto (Figura 8), el cual demuestra que los factores A y su interacción AB provocan una disminución en el contenido de humedad de las películas ($p < 0.05$); en cambio el porcentaje de glicerol en la formulación tiende a incrementar el contenido de humedad de las películas ($p < 0.05$); esto también se analizó en los almidones oxidados de plátano y aceite esencial de canela de Romero-Bastidas et al.⁶⁵, que mediante un diagrama estadístico, revelaron que al aumentar el %AE se evidenció disminución en el %solubilidad en las películas ($p < 0.05$), debido al carácter hidrofílico del aceite y la matriz que forma la película; caso similar se observó en la investigación de Gabriela Muchiuti et al.⁶⁶, en la cual obtuvieron películas de almidón y AE con menor porcentaje de solubilidad ($p < 0.05$); los autores también señalan que la interacción del AE en las películas se debe a su naturaleza hidrofóbica, lo que puede afectar la integridad, el grado de hidrofobicidad de las películas y el aumento de sus propiedades de barrera.

Figura 8. Diagrama de Pareto estandarizado para porcentaje de solubilidad



Fuente: Tomado de Statgraphics 19.

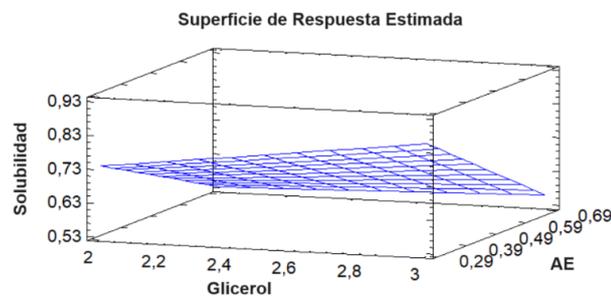
De acuerdo con el experimento desarrollado, el modelo de regresión (Tabla 13), existe una R^2 de 99,5528% y una R^2 (ajustada) de 99,1802%, lo que representa que el modelo matemático obtenido describe el 99.1802% de la variabilidad de solubilidad en la película.

Tabla 13. Modelo ajustado para porcentaje de solubilidad

	$\%Solubilidad= 0.517533 + 0.181033 * \%Glicerol - 0.0412222 * \%AE - 0.226333 * \%Glicerol * \%AE$	
Porcentaje de solubilidad	R²	R² (ajustada)
	99.5528%	99.1802%
Fuente: Elaboración propia.		

En el diagrama superficie respuesta (Figura 9), se muestra la interacción entre el porcentaje de glicerol y AE, evidenciando la afectación sobre el porcentaje de solubilidad, de modo que, los porcentajes óptimos de glicerol (2.0% p/p) y AE (0.69% p/p) disminuyen el porcentaje de solubilidad en la película (Tabla 14).

Figura 9. Diagrama de superficie de respuesta para porcentaje de solubilidad



Fuente: Tomado de Statgraphics 19.

Tabla 14. Modelo de optimización para minimizar el porcentaje de solubilidad

Factor	Baja	Alto	Optimo
% Glicerol	2.0	3.0	2.0
% AE	0.29	0.69	0.69

Fuente: Tomado de Statgraphics 19

3.5.3 *Permeabilidad al vapor de agua (PVA)*. Para analizar la permeabilidad al vapor de agua en las películas, se procedió al análisis del ANOVA, producto del diseño factorial multinivel aplicado, como se muestra en la (Tabla 15).

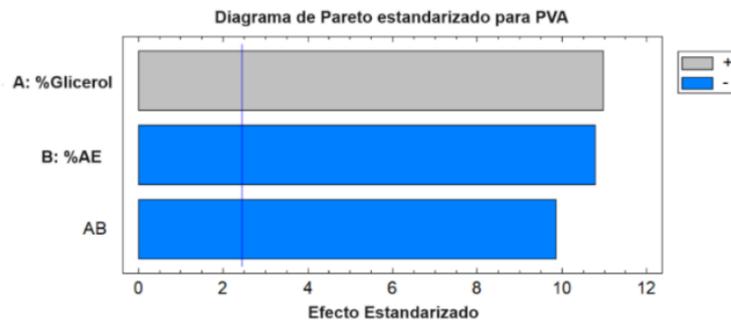
Tabla 15. Análisis de varianza para PVA

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
A: Glicerol	0.00000000988231	1	9.88231E-9	120.42	0.0000
B: A. E	0.0000000095463	1	9.5463E-9	116.312	0.0000
AB	0.00000000796025	1	7.96025E-9	97.00	0.0000
Bloques	0.000000000115216	2	5.76081E-11	0.70	0.5322
Error total	0.000000000492409	6	8.20681E-11		
Error (corr.)	0.0000000279965	11			

Fuente: Tomado de Statgraphics 19

Los datos estadísticos presentaron un gráfico de pareto (Figura 10), que muestra que el contenido de glicerol tiene mayor efecto, incrementando la PVA ($p < 0.05$), mientras que el contenido AE y su interacción con el glicerol reducen la PVA ($p < 0.05$); de igual manera Paola Chaves et al.⁶⁷, también observó que al aumentar el porcentaje de glicerol, la PVA se incrementa ($p < 0.05$), mientras que la adición de AE reduce la PVA ($p < 0.05$) en sus películas a base de almidón de arroz, además, mencionó que la reducción de la PVA está relacionada con la adición de lípidos a las matrices poliméricas del almidón; caso contrario ocurre en la investigación de Jarine Amaral et al.¹⁷, demostró que las películas de almidón de maíz adicionadas con AE de naranja incrementaron la PVA ($p < 0.05$), mientras que las películas sin AE presentaron una PVA más baja ($p < 0.05$); este efecto se atribuye a la formación de cavidades que alteran la integridad estructural de las películas, aumentando los espacios libres en la red polimérica y facilitando el paso del vapor de agua.

Figura 10. Diagrama de Pareto Estandarizado para PVA



Fuente: Tomado de Statgraphics 19.

De acuerdo con el experimento desarrollado, el modelo de regresión (Tabla 16), existe una R^2 de 98.2412% y una R^2 (ajustada) de 96.7755%, lo que representa que el modelo matemático obtenido describe el 99.1802% de la variabilidad de la PVA en la película.

Tabla 16. Modelo ajustado para PVA

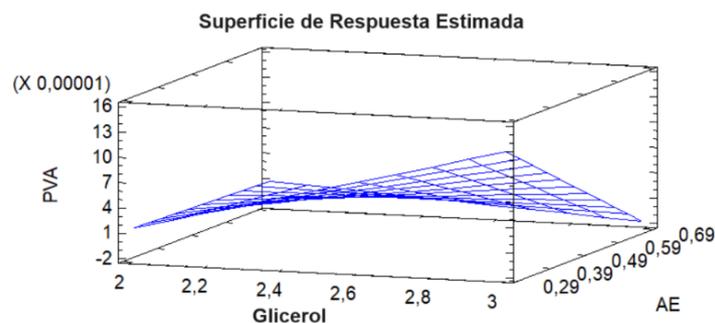
$$\%PVA = -0.000403716 + 0.000211928 * \%Glicerol + 0.000670489 * \%AE - 0.000343409 * \%Glicerol * \%AE$$

Permeabilidad al vapor de agua (PVA)	R^2	R^2 (ajustada)
		98.2412%

Fuente: Elaboración propia.

En el diagrama superficie respuesta (Figura 11), se muestra la interacción entre el porcentaje de glicerol y MCC, evidenciando la afectación sobre el valor de PVA, de modo que, los porcentajes óptimos de glicerol (3.0% p/p) y AE (0.29% p/p) disminuyen el valor de la PVA en la película (Tabla 17).

Figura 11. Diagrama de superficie de respuesta para PVA



Fuente: Tomado de Statgraphics 19.

Tabla 17. Modelo de optimización para minimizar el valor de la PVA

Factor	Baja	Alto	Optimo
% Glicerol	2.0	3.0	3.0
% AE	0.29	0.69	0.29

Fuente: Tomado de Statgraphics 19

4. CONCLUSIONES

- A través de la molienda húmeda se obtuvo un rendimiento $4,5166 \pm 1,3614\%$. El almidón obtenido se oxidó con NaClO a una concentración de (0.5%v/v), y a diferentes tiempos de reacción, donde se evidenció el incremento significativo de los grupos carboxilos y el grado de oxidación de los almidones modificados, a un tiempo óptimo de 45 min.
- El incremento del tiempo de reacción, causó un incremento en los grupos carboxilos ($p < 0.05$) insertado en las unidades anhidrido glucosa de la molécula de almidón perteneciente a la cascara de plátano, situación similar provocó en las propiedades de poder hinchamiento ($p < 0.05$), índice de solubilidad en agua, y adsorción de agua.
- La formulación de los modelos de regresión obtenidos fueron los siguientes, (%Humedad= $3.41667 + 4.46333 * \%Glicerol + 7.13333 * \%AE + 6.05556 * \%Glicerol * \%AE$), (%Solubilidad= $0.517533 + 0.181033 * \%Glicerol - 0.0412222 * \%AE - 0.226333 * \%Glicerol * \%AE$) y (%PVA= $-0.000403716 + 0.000211928 * \%Glicerol + 0.000670489 * \%AE - 0.000343409 * \%Glicerol * \%AE$).
- En lo relacionado a las películas, el porcentaje de aceite esencial y su combinación con el componente glicerol (AB) tiende a disminuir el %humedad, %solubilidad y la permeabilidad al vapor de agua de las películas ($p < 0.05$) también el %glicerol colocado en los tratamientos, mientras que el %glicerol por sí solo, llega a incrementar estas propiedades en las películas ($p < 0.05$); se obtuvieron los modelos matemáticos que describe el fenómeno dentro de los rangos estudiados, los cuales son; %humedad con un R^2 de 99.7822%, para el %solubilidad con 99.5528% y la PVA con 98.2412; los R^2 ajustados fueron 99.6008% para la humedad, 99.1802% para la solubilidad y 96.7755% de PVA que a través de la optimización permite disminuir los correspondientes valores de las propiedades físicas y de barrera; con relación al %glicerina y %AE fue de (2.0%p/p) y (0.69%p/p) para la humedad, (2.0%p/p) y (0.69%p/p) para la solubilidad, (3.0%p/p) y (0.29%p/p) para la PVA.

5. RECOMENDACIONES

- Lograr un mayor rendimiento en la obtención de almidones a partir de residuos, valorando mayores tiempos en el proceso de molienda húmeda.
- Desarrollar estudio de retrogradación a almidones nativos y oxidados determinado su estabilidad a temperaturas de refrigeración.
- Someter las muestras de almidones nativos y oxidados obtenidos a partir de cáscaras de plátano, mediante análisis IR con transformada de Fourier (FTIR) y poder comparar los resultados, específicamente en relación a los grupos carboxilo que se incorporan a las moléculas de almidón durante el proceso de oxidación.
- Desarrollar en las películas pruebas mecánicas que permitan ampliar la aplicación de los films obtenidos.

6. BIBLIOGRAFÍA

1. Boenel M, Vobis G, Solans M. Actinobacterias Degradadoras De Polipropileno. *Rev Int Contam Ambient.* Published online 2021:577-588. doi:<https://doi.org/10.20937/RICA.54004>
2. Santiago D, Alexander D, Paulina L, et al. Propiedades físicas y mecánicas de reciclados de plásticos producidos en Ecuador como material de construcción. 2023;16(2). doi:<https://doi.org/10.29166/revfig.v16i2.4495>
3. MPCEIP & GIZ. Libro Blanco de Economía Circular de Ecuador. *Minist Prod Comer Exterior, Inversiones y Pesca.* 2021;1(9):1-211. https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2021/05/Libro-Blanco-final-web_mayo102021.pdf
4. Gómez Montaña FJ, Bolado García VE, Blasco López G. Compositional and antioxidant analysis of peels from different banana varieties (*Musa spp.*) for their possible use in developing enriched flours. *Acta Univ.* 2019;29:1-14. doi:<https://doi.org/10.15174/au.2019.2260>
5. Anchundia K, Santacruz S, Coloma J. Caracterización física de películas comestibles a base de cáscara de plátano (*Musa Paradisiaca*). *Rev Chil Nutr.* 2016;43(4):394-399. doi:10.4067/S0717-75182016000400009
6. Oliveira RV, Paula A, Pezzin T, et al. Biocompósito biodegradable hidrofóbico a base de almidón de banana verde asociado a celulosa bacteriana Biodegradable hydrophobic biocomposite based on green banana starch associated with bacterial cellulose. *Matéria (Rio Janeiro).* 2022;27. doi:<https://doi.org/10.1590/1517-7076-RMAT-2021-49059>
7. León G, León D, Monroy M, Espriella S, Herrera A. Modificación química de almidones mediante reacciones de esterificación y su potencial uso en la industria cosmética. *Avft.* 2020;39(5):620-625. doi:<https://doi.org/10.5281/zenodo.4263365>
8. Bonilla R, Hoyos L, Velasco R. Efecto de oxidación de almidón de yuca sobre propiedades mecánicas y térmicas de películas biodegradables. *Biotecnol en el Sect Agropecu y Agroindustrial.* 2013;11(1):208-217. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612013000100024&lng=en&tlng=es
9. Shan GAO, Li YU, Yun D, Danfeng W, Yu Z. Efecto del tratamiento de congelación y descongelación sobre las propiedades estructurales, térmicas, mecánicas y físicas de las películas a base de almidón. *FOOD Sci.* 2021;42(21):72-79. doi:<https://doi.org/10.7506/spkx1002-6630-20201012-088>

10. CEDEÑO SARES LA, Yáñez Romero M, Nuñez Quezada T, Montalván Guamán N, Rogel Preciado M. Efecto de gelatina y aceite esencial de mandarina en películas de almidón de maíz. *Cienc Unemi*. 2023;16(42):35-44. doi:<https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol16iss42.2023pp35-44p>
11. Alata E, Cuadros Y, Miranda L, Medina E. Biopelículas producidas con cáscara de naranja y reforzadas con celulosa bacteriana. *Rev Soc Química Perú*. 2019;85(2):231-241. doi:10.37761/rsqp.v85i2.80
12. Edgardo L, Salinas C, Daniel H, Juárez G, Antonio R, Juárez A. Estudio de prefactibilidad para el diseño de una plantade compostaje en Perú. *Rev Alfa*. 2023;7(19):21-36. doi:10.33996/revistaalfa.v7i19.194
13. Riera M, Maldonado S, Palma R. Residuos agroindustriales generados en Ecuador para la elaboración de biopásticos. *Ing Ind*. 2018;17(3):227-246. doi:10.22320/S07179103/2018.13
14. Alcivar-Gavilanes MG, Carrillo-Anchundia KL, Rieral MA. Development of a Bioplastic from Banana Peel. *Ing e Investig*. 2022;42(3):4-11. doi:10.15446/ing.investig.92768
15. Rojas, Andrés F., Rodríguez-Barona, Sneyder, & Montoya J. Evaluación de Alternativas de Aprovechamiento Energético y Bioactivo de la Cáscara de Plátano. *Inf tecnológica*. 2019;30(5):11-24. doi:10.4067/S0718-07642019000500011
16. Almeida C, Carrillo I, Chamorro Armas S, Palacios Cabrera T. Diseño de una planta piloto de extracción de pectina como gelificante a partir de residuos de la naranja (*Citrus Sinensis*). *FIGEMPA, Investig y Desarro*. 2019;1:1-7. doi:<https://doi.org/10.29166/revfig.v1i2.1274>
17. Amaral J, Dannenberg S, Biduski B, et al. Actividad antibacteriana, propiedades ópticas, mecánicas y de barrera de películas de almidón de maíz que contienen aceite esencial de naranja. *Carbohydr Polym*. 2019;222. doi:<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.114981>
18. M. Mazzeo M., A. Alzate G. MMM. Obtencion de almidon a partir de residuos poscosecha del platano Dominico Harton (*Musa AAB SIMMONDS*). *Vector*. 2008;57+:57-69. <https://link.gale.com/apps/doc/A258132239/IFME?u=anon~8e02d372&sid=googleScholar&xid=763eb72d>
19. Contreras VPFLMVMÁQC. Almidón obtenido a partir de la cáscara de plátano de adquisición comercial como materia prima para la obtención de bioplástico. *Rev Tecnocientífica URU*. 2022;22:35-49. <https://ojs2.uru.edu/index.php/tecnocientificauru/article/view/128>

20. Chamilpa C, Instituto M, Querétaro T De. de plátano (*Musa paradisiaca* L .) acetilado. Published online 2011:294-300. <https://raco.cat/index.php/afinidad/article/view/269205.%0A>
21. Gomez L, Loreto A, Rosas C, Vargas R, Juarez H, Aldapa G. Películas de almidón de papa (*Solanum tuberosum* L.), empaques innovadores para alimentos: una revisión Potato (*Solanum tuberosum* L.) starch films, innovate packaging for food: a review. *Pädi Boletín Científico Ciencias Básicas e Ing del ICBI*. 2022;10(19):11-22. doi:10.29057/icbi.v10i19.8965
22. Li Z, Guo K, Lin L, He W, Zhang L, Wei C. Comparación de las propiedades fisicoquímicas de los almidones de la pulpa y la cáscara del fruto del plátano verde. *Molecules*. 2018;23(9):1-15. doi:10.3390/molecules23092312
23. Contreras-Pérez RK, Torre-Gutiérrez LD la, González-Cortés N, Jiménez-Vera R. Caracterización funcional de almidones de plátano cuadrado (*Musa balbisiana* Colla). *Eur Sci Journal, ESJ*. 2018;14(30):82. doi:http://dx.doi.org/10.19044/esj.2018.v14n30p82
24. Granados C, Guzman L, Acevedo D, Díaz M, Herrera A. Propiedades funcionales del almidón de sagu (*Maranta arundinacea*). *Biotechnol en el Sect Agropecu y Agroindustrial*. 2014;12(2):90-96. <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotechnologia/article/view/339>
25. Thanyapanich N, Jimtaisong A. Propiedades funcionales del almidón de plátano (*Musa spp.*) y su utilización en cosmética. *Molecules*. 2021;26(12):1-16. doi:https://doi.org/10.3390/molecules26123637
26. Huamani-Huamani AL, Ponce-Ramírez JC, Málaga-Juárez J. Optimización del proceso de cocción de quinua utilizando el diseño 3k y la función de deseabilidad: Grado de gelatinización, índice de absorción de agua, índice de solubilidad y desprendimiento de cotiledones. *Sci Agropecu*. 2020;11(3):381-390. doi:10.17268/sci.agropecu.2020.03.10
27. Duarte R. Gelatinización: Más de lo que parece. *Rev Gastron y Cocina*. 2022;1(1):0-2. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8131523>
28. J.J. Islas-Hernández, R.A. González-Soto GARG. Propiedades mecánicas y fisicoquímicas parciales de películas preparadas con harina de plátano verde acetilada. *Investig y Desarro en Cienc y Tecnol Aliment*. 2020;5:403-407. <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume5/5/8/80.pdf>
29. López, Olivia Valeria; Zaritzky, Noemí Elisabet; García MA. Películas biodegradables a partir de almidón de maíz nativo y acetilado. In: *Biodegradable Films from Native and Acetylated Corn Starch*. 2009; 2009:166-172. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/124095>

30. Piñeros-Guerrero N, Sierra-Barahona FD, Piñeros-Castro Y, Ortega-Toro R. Propiedades Microestructurales y Ópticas de Películas Biodegradables a Base de Almidón Termoplástico y Poli (ϵ -Caprolactona) con Actividad Antioxidante Nicolás. *Inf Tecnol.* 2019;30(4):293-300. doi:<https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000400293>
31. Marta H, Cahyana Y, Djali M, Pramafisi G. The Properties, Modification, and Application of Banana Starch. *Polymers (Basel)*. 2022;14(15):1-20. doi:10.3390/polym14153092
32. Masina N, Choonara YE, Kumar P, et al. A review of the chemical modification techniques of starch. *Carbohydr Polym.* 2017;157:1226-1236. doi:10.1016/j.carbpol.2016.09.094
33. Molina P, Encalada K, Valle V. Estudio Preliminar del Efecto de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ en la Oxidación del Almidón de Achira (*Canna edulis*) con Peróxido de Hidrógeno Preliminary Evaluation of the Effect of $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ and $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ Over the Oxidation of Achira St. *Esc Politécnica Nac.* 2017;39(2):7-12.
http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-01292017000200067&lng=es&tlng=es
34. Ventura-Avalos Y, Díaz-Soto R, Soriano-Colchado J, Barraza-Jáuregui G. Chemical modification of starch from fruit seeds: Methods, properties, and applications. *Sci Agropecu.* 2024;15(2):311-325. doi:10.17268/sci.agropecu.2024.024
35. Berenice González-Torres, J. Padilla-Frausto, Claudia Navarro Villarruel, Arturo Barrera, Melesio Gutiérrez-Lomelí, Francisco Rodríguez-Félix, Lizette Del Toro MR. Preparación y caracterización de almidón modificado para elaborar a futuro biopelículas para productos hortofrutícolas. 2019;(January):1-5. doi:10.13140/RG.2.2.13437.00486
36. Muñoz Briones P, Almeida-Streitwieser D, Fonseca-Ashton JD, Alvarez-Barreto JF. Estudio de pre-factibilidad técnica y económica de la implementación de una biorrefinería para la conversión de residuos de cáscara de naranja. *ACI Av en Ciencias e Ing.* 2021;13(2):14. doi:10.18272/aci.v13i2.2289
37. Meyer Torres G, Sarmiento OI, Ramírez RI, Guevara O. Evaluación del rendimiento del aceite esencial de caléndula (*Calendula officinalis* L) obtenido por OAH. *Rev ION.* 2018;31(1):13-19. doi:10.18273/revion.v31n1-2018002
38. Ferhat MA, Meklati BY, Smadja J, Chemat F. Un aparato Clevenger de microondas mejorado para la destilación de aceites esenciales de cáscara de naranja. *J Chromatogr A.* 2006;1112(1-2):121-126.

- doi:10.1016/j.chroma.2005.12.030
39. Palma-rodríguez H, Salgado-delgado R, Páramo-calderón D. Caracterización parcial de películas biodegradables elaboradas con almidón de plátano y proteínas séricas de la leche. *Acta Univ.* 2017;27(1):26-33. doi:10.15174/au.2017.1215
 40. Oropeza González RA, Montes Hernández AI, Alberto C, Pereira P. Películas biodegradables a base de almidón: propiedades mecánicas, funcionales y biodegradación. *Rev Venez Cienc y Tecnol Aliment.* 2016;7(1):65-093. <https://sites.google.com/site/1rvcta>
 41. Eslami Z, Elkoun S, Robert M, Adjallé K. Una revisión del efecto de los plastificantes sobre las propiedades físicas y mecánicas de las películas a base de alginato. *Molecules.* 2023;28(18). doi:10.3390/molecules28186637
 42. Šuput D, Lazić V, Pezo L, et al. Caracterización de películas comestibles de almidón con adición de diferentes aceites esenciales. *Polish J Food Nutr Sci.* 2016;66(4):277-285. doi:10.1515/pjfn-2016-0008
 43. Alimentarios GDP. Películas biodegradables y comestibles desarrolladas en base a aislado de proteínas de suero lácteo : estudio de dos métodos de elaboración y del uso de sorbato de potasio como conservador. *Innotec.* 2011;4(4):33-36. doi:10.26461/04.07
 44. Sánchez Aldana D, Contreras-Esquivel JC, Nevárez-Moorillón G V., Aguilar CN. Caracterización de películas comestibles a base de extractos pécticos y aceite esencial de limón Mexicano. *CYTA - J Food.* 2015;13(1):17-25. doi:10.1080/19476337.2014.904929
 45. Solano-Doblado LG, Alamilla-Beltrán L, Jiménez-Martínez C. Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados. *TIP Rev Espec en Ciencias Químico-Biológicas.* 2018;21(2):30. doi:<https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2018.0.153>
 46. Zhou Y, Wu X, Chen J, He J. Efectos del aceite esencial de canela sobre las propiedades físicas, mecánicas, estructurales y térmicas de películas comestibles a base de almidón de yuca. *Int J Biol Macromol.* 2021;184(December 2020):574-583. doi:10.1016/j.ijbiomac.2021.06.067
 47. Sifuentes-Nieves I, Flores-Silva PC, Gallardo-Vega C, et al. Películas elaboradas a partir de almidón de maíz modificado con plasma: propiedades químicas, mecánicas y de barrera. *Carbohydr Polym.* 2020;237:116103. doi:<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116103>
 48. Wang B, Sui J, Yu B, et al. Physicochemical properties and antibacterial activity of corn starch-based films incorporated with *Zanthoxylum bungeanum* essential

- oil. *Carbohydr Polym.* 2021;254:117314. doi:10.1016/j.carbpol.2020.117314
49. Lambis H, Hernández F, Morales Y, Fernando Marín L, Pasqualino J. Extracción de almidón a partir de residuos de piel de plátano. https://www.researchgate.net/publication/303541238_Extraccion_de_almidon_a_partir_de_residuos_de_piel_de_platano. Published October 2015.
 50. Montiel Álvarez U, Gómez NA, Escobar DM. Recubrimiento a base de almidón de plátano (Musa ABB) para la protección del plátano de exportación. *Acta Agronómica.* 2023;71(4):357-368. doi:<https://doi.org/10.15446/acag.v71n4.106827>
 51. Mogollón AA, Romero JDO, Moreno JAT. Desempeño del almidón natural de plátano en el control de propiedades físicas en un fluido de perforación polimérico a nivel de laboratorio. *Fuentes el Revent Energ.* 2022;20(1):21-30. doi:<https://doi.org/10.18273/revfue.v20n1-2022003>
 52. Carhuallay O, Cerna E, Polo J, Sandoval E, Salvador D. Efecto de la concentración de hipoclorito de sodio y tiempo de oxidación sobre el grado de sustitución de grupos carboxilo, índice de absorción de agua y temperatura de gelatinización de almidón de Achira (*Canna edulis Ker*). *Agroindustrial Sci.* 2020;10(2):165-173. doi:<https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2020.02.07>
 53. Salcedo-Mendoza JG, Rodríguez-Lora MC, Figueroa-Flórez JA. Efecto de la acetilación sobre las propiedades estructurales y funcionales de almidones de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) y ñame (*Dioscorea alata cv. Diamante 22*). *Rev Mex Ing Quim.* 2016;15(3):787-796. doi:<https://doi.org/10.24275/rmiq/Alim1037>
 54. Silva C, Salazar Anacona DA, Mosquera Sánchez K, et al. Efecto De Recubrimientos De Almidón Modificado De Yuca, Proteína Aislada De Soya Y Aceite Esencial De Orégano Aplicados a La Papaya. *Act Div Cient.* 2018;21(1):71-80. doi:<https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n1.2018.664>
 55. Ferreira RR, Souza AG, Quispe YM, Rosa DS. Incorporación de nanocápsulas de quitosano cargadas de aceites esenciales en películas de almidón biodegradables: una estrategia para mejorar la vida útil de las frutas. *Int J Biol Macromol.* 2021;188(May):628-638. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.08.046>
 56. Zamudio-Flores PB, Ochoa-Reyes E, Ornelas-Paz JDJ, et al. Caracterización fisicoquímica, mecánica y estructural de películas de almidones oxidados de avena y plátano adicionados con betalainas. *Agrociencia.* 2015;49(5):483-498. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952015000500002&Ing=es&tlng=es
 57. AY D, N C, TF A, DA C, AN G, S M. Permeabilidad al vapor de agua de películas

- comestibles basadas en almidones nativos mejorados de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). *J Food Process Technol.* 2017;08(03). doi:<http://dx.doi.org/10.4172/2157-7110.1000665>
58. Suttiarporn P, Seangwattana T, Srisurat T, Kongitthinon K, Chumnarvej N, Luangkamin S. Extracción mejorada de aceite esencial de clavo mediante hidrodestilación asistida por ultrasonido y microondas y su comparación en actividad antioxidante. *Curr Res Green Sustain Chem.* 2024;8(2):1-6. doi:<https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2024.100411>
 59. Vargas M. *Evaluación Microbiológica De Aceite Esencial Canela Y Clavo De Olor En La Conservación De Carne Molida De Res Tipo Hamburguesa.* Universidad Técnica de Machala; 2019. doi:<http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/14107>
 60. Proano JS, Caicedo A, Grunauer M, Eguiguren L, Vargas M. Desarrollo de Películas, Basadas en Almidón Oxidado de Ipomea Batatas, con Encapsulación de Proteínas. *Rev Mex Ing biomédica.* 2021;42(2):119-131. doi:<https://doi.org/10.17488/rmib.42.2.10>
 61. Agudelo-Zamudio C, Argoty-Ortegón JE, Torres-Vargas OL, Alonso-Gómez L. Efecto de las modificaciones con ácido acético e hidróxido de calcio sobre las propiedades funcionales y reológicas del almidón de ñame (*Dioscorea esculenta* L.). *TecnoLógicas.* 2023;26(58):e2802. doi:10.22430/22565337.2802
 62. Van Khoi N, Tung NT, Ha PTT, et al. Preparación y caracterización de almidón de achira oxidado por diferentes concentraciones de hipoclorito de sodio. *Vietnam J Chem.* 2023;61(S3):36-42. doi:10.1002/vjch.202300045
 63. Verónica García-Tejeda Y, Baruk Zamudio-Flores P, Arturo Bello-Pérez L, Andrea Romero-Bastida C, Solorza-Feria J. Oxidación del almidón nativo de plátano para su uso potencial en la fabricación de materiales de empaque biodegradables caracterización física, química, térmica y morfológica. *Rev Iberoam Polim.* 2011;12(3):125-135. <https://reviberpol.org/wp-content/uploads/2019/07/2011-garcia-tejana.pdf>
 64. Moreno Henao M, Bohórquez Pérez Y, Ayala Sánchez L, Valenzuela Real C. Efecto del pH sobre propiedades mecánicas, fisicoquímicas y morfológicas en películas comestibles multicomponentes. *Rev UDCA Actual Divulg Científica.* 2020;23(1):1-8. doi:10.31910/rudca.v23.n1.2020.1457
 65. Romero-Bastida CA, Zamudio-Flores PB, Bello-Pérez LA. Antimicrobianos en películas de almidón de plátano oxidado: efecto sobre la actividad antibacteriana, microestructura, propiedades mecánicas y de barrera. *Rev Mex Ing Quim.* 2011;10(3):445-453.

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-27382011000300010

66. Muchiutti GS, Barrios LG, Cámara NG, Pancrazio GI, Larrosa VJ. Aplicación de un recubrimiento de almidón de maíz en masa de pizza precocida. *Ciencia, Docencia y Technol.* 2023;34(69 (set-dic)). doi:10.33255/3469/1627
67. Martins PC, Bagatini DC, Martins VG. Adición de aceite esencial de orégano en películas de almidón de arroz y sus efectos en el almacenamiento refrigerado de pescado. *J Food Sci Technol.* 2021;58(4):1562-1573. doi:10.1007/s13197-020-04668-z

7. ANEXOS

Anexo 1. Obtención de almidón nativo

	
<p>Recolección</p>	<p>Lavado</p>
	
<p>Troceado</p>	<p>Molienda húmeda</p>
	
<p>Decantado</p>	<p>Secado</p>

Anexos 2. Modificación del almidón nativo por oxidación

	
<p>Preparación de los reactivos</p>	<p>Oxidación del almidón tiempos (30-45 min)</p>
	
<p>Filtrado</p>	<p>Secado</p>
	
<p>Molienda y tamizado</p>	<p>Almacenado</p>

Anexos 3. Análisis de propiedades funcionales del almidón oxidado

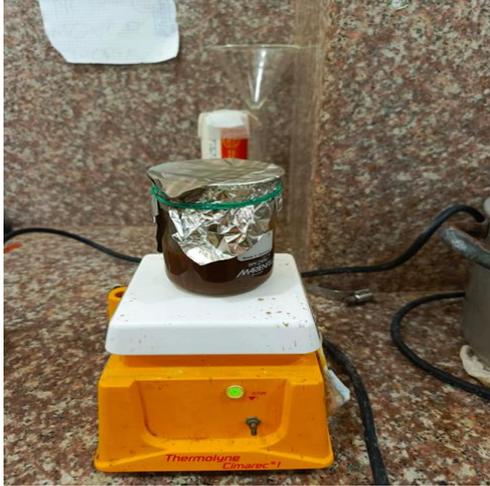
Determinación de grupos carboxilo



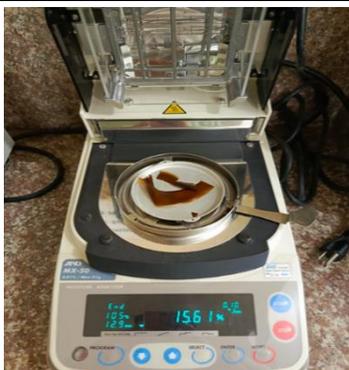
IAA, ISA Y PH



Anexos 4. *Elaboración de películas de almidón oxidado y Aceite esencial de cáscaras de naranja*

	
<p>Preparación de la pasta formadora de películas</p>	<p>Peso y moldeado de la película</p>
	
<p>Secado</p>	<p>Despegado</p>
	
<p>Almacenamiento</p>	

Anexos 5. Determinación de las propiedades físicas y de barrera de las películas elaboradas a base de almidón oxidado y AE



Análisis del %Humedad



Análisis del % de solubilidad



Análisis de la PVA