

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA

AGROINDUSTRIAL



**“EVALUACIÓN DE FILMS BIODEGRADABLES OBTENIDOS A PARTIR DE
ALMIDÓN OXIDADO DE PLÁTANO (*Musa paradisiaca*) VARIEDAD
INGUIRI”**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach: REINALDO CANAZA CANAZA

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

PUNO

-

PERU

2012

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL

“EVALUACIÓN DE FILMS BIODEGRADABLES OBTENIDOS A PARTIR DE
ALMIDÓN OXIDADO DE PLÁTANO (*Musa paradisiaca*) VARIEDAD INGUIRI”

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach: REINALDO CANAZA CANAZA

PARA OPTAR EL TITULO DE:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE

Ing. MSc. LUIS ALBERTO JIMENEZ MONROY

PRIMER MIEMBRO

Ing. MSc. ISAAC TICONA ZUÑIGA

SEGUNDO MIEMBRO

Ing. WILBER INCAHUANACO YUCRA

DIRECTOR DE TESIS

Ing. MSc. LIZANDRO FERNANDEZ CASTRO

ASESOR DE TESIS

Ing. MSc. JHONY MAYTA ANCCO

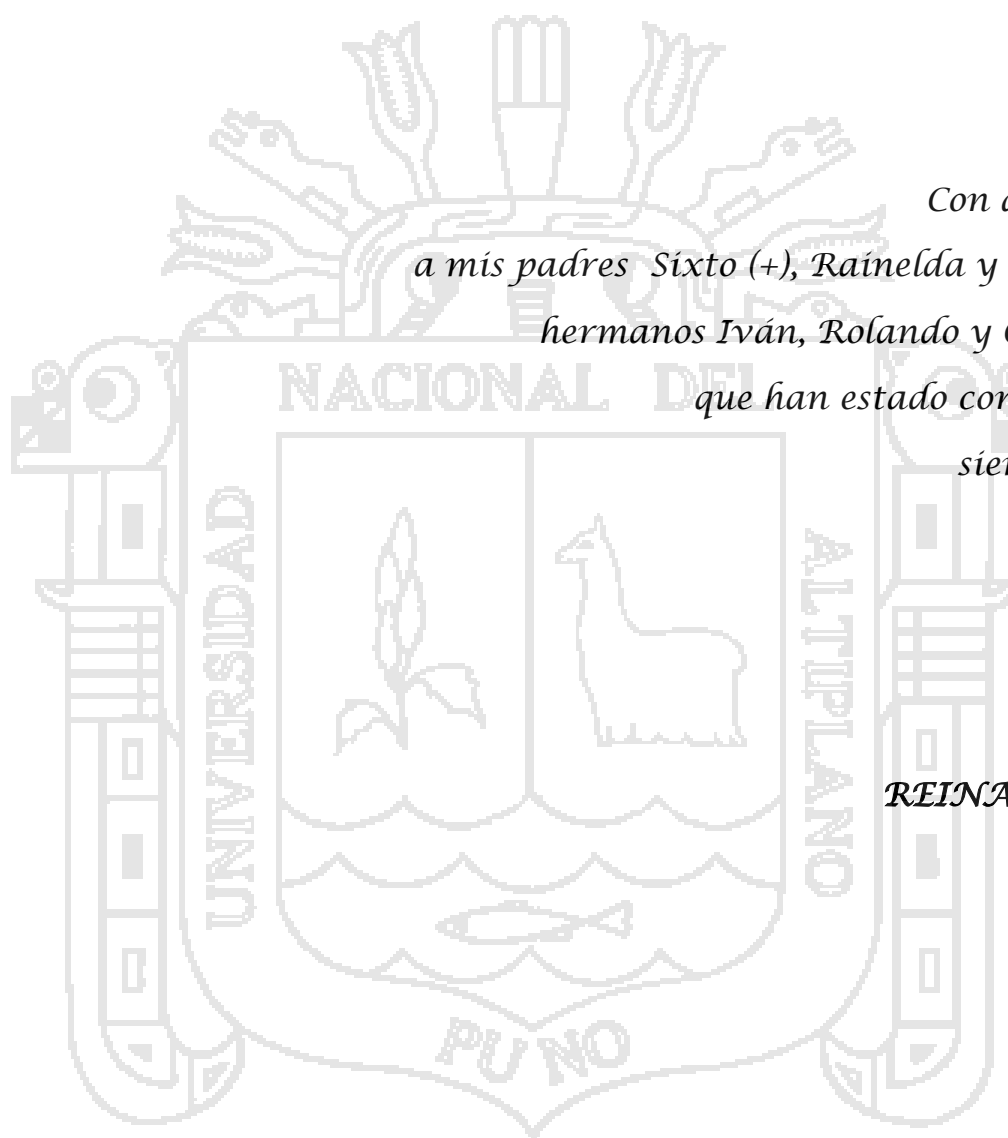
Área: Ingeniería y tecnología

Tema: Desarrollo de procesos y productos agroindustriales sostenibles y eficientes

DEDICATORIA

*Con amor,
a mis padres Sixto (+), Rainelda y mis
hermanos Iván, Rolando y Omar
que han estado conmigo
siempre.*

REINALDO.



AGRADECIMIENTOS

- A la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, por habernos brindado una formación profesional, y a los docentes de la Facultad de Ciencias Agrarias, por los conocimientos y enseñanzas impartidas durante nuestra formación.
- A las autoridades de la Facultad de Ciencias Agrarias, Docentes, Administrativos, por haberme brindado las facilidades en el transcurso de mi formación profesional y en el desarrollo del presente trabajo de investigación.
- A mi Asesor de Tesis Ing. MSc. Jhony Mayta Hanco, a quien expreso mis más sincero y afectuoso agradecimiento por su permanente e incondicional apoyo, entereza y orientación en la realización del trabajo de investigación.
- A mi Director de Tesis Ing. MSc. Lizandro G. Fernandez Castro, por su ayuda, excelente disposición y sobre todo por tener siempre una solución para los problemas que se presentaban a lo largo del proyecto.
- Al Ing. Martín Choque Yucra por sus consejos transmitidos durante la ejecución de mi proyecto de investigación.
- A mis jurados: Ing. MSc. Luis Alberto Jimenez Monroy, Ing. MSc. Isaac Ticona Zuñiga, Ing. Wilver Incahuanaco Yucra, quienes con su apoyo hicieron posible plasmar este trabajo de investigación.
- A mis padres por el ánimo y apoyo que siempre me han brindado para lograr este objetivo.
- Finalmente agradezco a mis amigos, compañeros y a todas las personas que no están mencionados que directa o indirectamente han contribuido en el desarrollo de este trabajo.

INDICE GENERAL**INDICE DE CUADROS****INDICE DE TABLAS****INDICE DE FIGURAS****RESUMEN****INTRODUCCION****CAPITULO I****1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Pag

01

1.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION

03

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION

04

1.3.1. Objetivo General

04

1.3.2. Objetivos Específicos

04

CAPITULO II:

04

REVISION DE LITERATURA

05

2.1 EL PLATANO

05

2.1.1 Descripción del plátano

06

2.1.2 Descripción morfológica

06

2.1.3 Variedades de plátano

09

2.1.4 Composición química del plátano

09

2.1.5 Condiciones Agroecológicas

10

2.2 ALMIDÓN

10

2.2.1 Estructura y Composición del Almidón

11

2.2.2 Polimorfismo del almidón

13

2.2.3 Almidón de plátano

14

2.2.4. ALMIDONES MODIFICADOS

15

2.2.4.1. Almidón modificado

15

2.2.4.2. Almidón oxidado

16

2.2.4.3. Almidón termoplástico

18

2.2.5. CAMBIOS ESTRUCTURALES DEL ALMIDÓN DURANTE EL

18

TRATAMIENTO TÉRMICO

2.2.5.1 Gelatinización y retrogradación del almidón	18
2.2.5.2. Empastado	19
2.2.5.3. Temperatura de transición vítrea	21
2.2.5.4. Funcionalidad del almidón	22

2.2.6. ELABORACIÓN DE PELÍCULAS A PARTIR DE POLÍMEROS**BIODEGRADABLES**

23

2.2.7. PROPIEDADES DE LOS FILMS DE ALMIDÓN

25

2.2.7.1. Propiedades mecánicas	25
2.2.7.2. Propiedades de barrera	26

2.2.8. FACTORES QUE AFECTAN LAS PROPIEDADES DE LOS

27

FILMS

2.2.8.1. Método de elaboración	27
2.2.8.2. Tipo de concentración de plastificante	27
2.2.8.3. Tipo de almidón y proporción de almidosa/amilopectina	28
2.2.8.4. Efecto del almacenamiento	29

2.2.9. BIOPOLÍMEROS

31

2.2.9.1. Recubrimientos y films	31
2.2.9.2. Films de almidón	32
2.2.9.3. Films elaborados a partir de proteína	33
2.2.9.4. Films comestibles	33

2.2.10. VENTAJAS POTENCIALES DE LOS FILMS HECHAS A BASE DE ALMIDÓN

36

2.3. HIPÓTESIS

37

2.3.1. Hipótesis General	37
2.3.2. Hipótesis Específicas	37

CAPITULO III.

38

3.1. MATERIALES Y METODOS DE INVESTIGACION

38

3.1.1. Materiales	38
3.1.2. Materia prima	38
3.1.3. Insumos y reactivos	38
3.1.4. Equipos	39
3.1.5. Materiales de laboratorio	39

3.2 MÉTODOS	39
3.2.1. Descripción del proceso de obtención de almidón	41
3.2.2. Descripción del proceso de obtención de almidón modificado	43
3.2.3. Descripción del proceso de obtención de films biodegradables de almidón oxidado de plátano	45
3.3 MÉTODOS DE ANÁLISIS	45
3.3.1. Análisis físico químico de la materia prima	45
3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	47
3.4.1 De los controles	47
3.4.1.1. % de elongación	47
3.4.1.2. Permeabilidad al vapor de agua	48
3.4.1.3. Gramaje	48
3.4.1.4. Espesor	49
3.4.1.5. Densidad	49
3.5. DISEÑO EXPERIMENTAL	49
3.6. VARIABLES DE RESPUESTA	51
CAPITULO IV.	51
RESULTADOS Y DISCUSIONES	
4.1. Composición Físico químico del plátano inguiri en estado fisiológico inmaduro.	51
4.2. Efecto de la concentración de NaOCl y glicerol en la PVA de los films	54
4.3. Efecto de la concentración de almidón y glicerol en las propiedades físicas y mecánicas	56
4.3.1. Efecto de la concentración de almidón y glicerol en la elongación de los films	56
4.3.2. Efecto de la concentración de almidón y glicerol en el gramaje de los films	59
4.3.3. Efecto de la concentración de almidón y glicerol en el espesor de los films	61
4.3.4. Efecto de la concentración de almidón y glicerol en el densidad de	64

los films

CAPITULO V.

CONCLUSIONES

67

CAPITULO VI.

RECOMENDACIONES

68

CAPITULO VII.

BIBLIOGRAFIA

69



INDICE DE FIGURAS

FIGURA 01: Estructura de la amilosa y la amilopectina	12
FIGURA 02: Representación esquemática de la estructura granular del almidón	13
FIGURA 03: Cristales polimórficos A- y B- del almidón	14
FIGURA 04: Reacción de oxidación del almidón	17
FIGURA 05: Curva amilografica de almidón de maíz que presenta las tres etapas usuales calentamiento, cocción enfriamiento	21
FIGURA 06: Curva típica de esfuerzo contra deformación de films de almidón de plátano	25
FIGURA 07: Tipos de isotermas de absorción	26
FIGURA 08: Difractogramas de transición de estructuras EH a VH	30
FIGURA 09: Diagrama de flujo de obtención de almidón de plátano variedad inguiri	40
FIGURA 10 Diagrama de obtención de almidón modificado	42
FIGURA 11: Diagrama de flujo de obtención de films de almidón oxidado de plátano	44
FIGURA 12 Plátano Inguiri	52
FIGURA 13 Estimacion de superficie de respuesta de Permeabilidad	55

INDICE DE CUADROS

CUADRO 01: Variables de estudio	50
CUADRO 02: Resultados del análisis fisicoquímico del plátano inguiri	53
CUADRO 03: Análisis de varianza para evaluar la concentración de NaOCL y glicerol sobre la PVA de los films biodegradables	54
CUADRO 04: Prueba de comparaciones múltiples de Tukey para permeabilidad según glicerol	55
CUADRO 05: Análisis de varianza para evaluar el efecto de las concentraciones de almidón oxidado y glicerol en la elongación de los films	57
CUADRO 06: Pruebas de comparaciones múltiples de Tukey para elongación según glicerol	57
CUADRO 07: Pruebas de comparación múltiples de Tukey para elongación según almidón	58
CUADRO 08: Análisis de varianza para evaluar el efecto de las concentraciones de almidón y glicerol en el gramaje de los films	59
CUADRO 09: Pruebas de comparaciones múltiple de Tukey para gramaje según almidón	60
CUADRO 10: Pruebas de comparaciones múltiple de Tukey para gramaje según glicerol	60
CUADRO 11: Análisis de varianza para evaluar el efecto de las concentraciones de almidón y glicerol en el espesor de los films	61
CUADRO 12: Pruebas de comparaciones múltiple de Tukey para espesor según almidón	61
CUADRO 13: Pruebas de comparaciones múltiple de Tukey para espesor según glicerol	62
CUADRO 14: Análisis de varianza para evaluar el efecto de las	64

concentraciones de almidón y glicerol en la densidad de los films

- CUADRO 15: Prueba de comparaciones múltiple de Tukey para densidad según almidón 64
- CUADRO 16: Pruebas de comparaciones múltiple de Tukey para densidad según glicerol 65



INDICE DE ANEXOS

Anexo I. Fotografías del proceso de obtención de films	76
Anexo II. Datos de permeabilidad	79
Anexo VI. Datos de propiedades mecánicas	80



RESUMEN

El presente trabajo de investigación, se llevó a cabo en los laboratorios de microbiología y análisis nutricional de la Escuela profesional de Ingeniería Agroindustrial Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Altiplano. Teniendo como objetivos del trabajo de investigación la evaluación del efecto de la concentración de hipoclorito de sodio (NaOCl) (1, 2,3%) y glicerol (0, 2,4%) en la permeabilidad al vapor de agua de los films y evaluar las concentraciones de almidón oxidado y glicerol en las propiedades físicas y mecánicas (gramaje, densidad, espesor, %de elongación). Se prepararon films de almidón oxidado de plátano inguiri (1%, 2% y 3 % de cloro activo) siguiendo según el Diagrama de Flujo Experimental propuesto de vertido en placa y con una concentración de 4%(w/w) de almidón, y glicerol (0%, 2% y 4%). Los films fueron vertidos en placas petri de 8.5cm de diámetro y secados a una temperatura de 35°C durante 24 horas para luego ser evaluadas su permeabilidad al vapor de agua, llegándose a las siguientes conclusiones. La permeabilidad al vapor de agua más alta se registró a una concentración de 4% de glicerol en los films con un valor de $2.74 \times 10^{-5} \text{g/m.s.Pa}$, sin embargo la Permeabilidad menor obtenida fue de 1.199×10^{-5} correspondiente al 2% de Glicerol, este último considerado como el mejor tratamiento por el valor obtenido, se observó que a medida que se registra el incremento de la concentración de Glicerol la permeabilidad de vapor de agua también se incrementa gradualmente. En tanto las mejores propiedades físicas y mecánicas obtenidas fueron 27.67% Elongación a un 2% Glicerol y 21.28% Elongación a un 5% Almidón obteniéndose al tratamiento 5%Almidon - 2%Glicerol con mejor elongación se observó que a mayor concentración de Almidón se obtiene mayor % de elongación, con respecto a gramaje se obtuvo con valores más altos las concentraciones de 3% Almidón con 101.79g/m^2 y 4%Glicerol con 142.33g/m^2 debido al carácter hidrofílico del Glicerol a mayor concentración Glicerol mayor gramaje del films, en caso de espesor 5% Almidon y 4% Glicerol con valores de 46.61μ y 49.86μ siendo estos tratamientos con los valores más altos se observó que a medida que se incrementa las concentraciones de Almidón y Glicerol el espesor de los films

también se incrementa y para la densidad el mejor tratamiento fue 3% Almidón y 4% Glicerol con valores registrados de 2.36g/m^3 y 2.85g/m^3 respectivamente.



INTRODUCCION

Es innegable que la introducción y el avance en la tecnología de los polímeros sintéticos a base de derivados del petróleo han traído muchos beneficios a la humanidad. Sin embargo, hay evidencia de que el ecosistema está considerablemente contaminado como resultado de estos materiales no degradables. El impacto ambiental de los desechos de estos polímeros sintéticos, denominados genéricamente como materiales plásticos, está creciendo cada día más a nivel global, mientras que los métodos de eliminación final son limitados.

El almidón, se utiliza debido a que es un polímero biodegradable que se obtiene de diversas fuentes vegetales, por lo que su costo es similar al de los materiales plásticos. Un polímero biodegradable es un compuesto de alto peso molecular que, mediante la acción de micro y/o macroorganismos o enzimas, se degrada a compuestos de bajo peso molecular.

Una de las alternativas actuales es utilizar el almidón de fuentes no convencionales como es el almidón de plátano, debido a que el almidón de plátano presenta una cierta coloración café, la cual es atribuida a las impurezas presentes como son los carotenos, xantofilas y algunos pigmentos relacionados, es necesario realizar un tipo de modificación química mediante el uso del hipoclorito de sodio como un agente oxidante necesario para blanquear el almidón y de esta manera tener un almidón oxidado de color blanco que se pueda utilizar en la elaboración de films degradables que no presenten el inconveniente de la coloración café.

La degradabilidad de los films de almidón se debe a que este está formado por unidades de glucosa en su estructura, y sufre cambios físicos o químicos causados por factores ambientales como pueden ser la luz, el calor y la humedad, entre otros, así como condiciones químicas o actividad biológica debida a microorganismos y enzimas, que llevan a dicho material hasta su completa desintegración. La degradación del almidón provoca que se forme una matriz polimérica porosa, lo cual se asocia con la pérdida de sus

propiedades mecánicas, incrementando la permeabilidad y la relación superficie/volumen, esto facilita el proceso de degradación por los factores anteriormente citados.



CAPITULO I

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El impacto medioambiental generado por los desechos de los polímeros sintéticos (polietileno, poliestireno), está creciendo cada día más, mientras que los métodos de eliminación final son limitados, la tecnología ha permitido desarrollar e innovar diversos tipos de plásticos y de mezclas que permiten que el envase sea impermeable a los gases, al agua, sólo al vapor de agua o a algunos tipos de gases. Pero esta generalización también implica un impacto en el medio ambiente, que recibe gran cantidad de residuos que no pueden ser degradados.

Debido a la problemática anterior, hay actualmente un creciente interés en los materiales biodegradables como el almidón, en sustitución a los materiales plásticos convencionales como el polietileno y el poliestireno. El almidón se utiliza debido a que es un polímero biodegradable que se obtiene de diversas fuentes vegetales, por lo que su costo es similar al de los materiales plásticos. Un polímero biodegradable es un compuesto de alto peso molecular que, mediante la acción de micro y/o macroorganismos o enzimas, se degrada a compuestos de bajo peso molecular. Uno de los ejes de investigación que se está desarrollando en la actualidad con más intensidad en relación con el envasado de alimentos es el uso de biopolímeros como films/recubrimientos comestibles o parte de sistemas activos. La finalidad de esta aplicación es la minimización de esta cantidad de materiales externos no biodegradables utilizados normalmente en envases, aportando además una mejora de la calidad y seguridad de los alimentos. Por tal motivo, el presente trabajo de investigación se plantea obtener films biodegradables a partir de almidón oxidado de plátano variedad inguiri, para lo cual se plantea las siguientes preguntas. Pregunta general:

¿Cuáles son las propiedades físicas y mecánicas de los films obtenidos a partir de almidón oxidado de plátano (musa paradisiaca) variedad inguiri, sometidos a diferentes concentraciones de hipoclorito de sodio y glicerol?, y las preguntas específicas:

¿Cuál es el efecto de las diferentes concentraciones de hipoclorito de sodio (NaOCl), (1, 2, 3%) y glicerol (0, 2 y 4%) en la permeabilidad al vapor de agua de los films biodegradables obtenidos a partir de almidón oxidado de plátano?

¿Cuál es el efecto de las concentraciones de almidón oxidado de plátano (5, 4, 3%) y glicerol (4, 2, 0%) en las propiedades físicas (gramaje, espesor, densidad), mecánicas (elongación) de los films?

1.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION

Alvarado et al. (2005) Evaluó la permeabilidad al vapor de agua de películas biodegradables de quitosano obtenido mediante diferentes procesos para establecer el efecto del tipo de ácido utilizado en la preparación de las suspensiones (acético, fórmico), la concentración de quitosano (1.00, 1.25 y 1.50%) y tipo de desprendimiento de la película desde el moldeo o desmolde (con sin solución de hidróxido de sodio). Los valores de permeabilidad al vapor de agua (WVP) están en un intervalo desde 0.097 hasta 0.227 (g.mm/KPa.h.m²), se incrementa conforme aumenta la concentración de quitosano y consecuentemente el espesor de las películas, estos valores corresponden a películas de baja permeabilidad al vapor de agua con relación con otras películas biodegradables, pero de alta permeabilidad con relación a las películas plásticas inorgánicas.

Ruiz. (2006) obtuvo y caracterizó polímeros biodegradables de almidón de yuca en esta investigación obtuvo un biopolímero biodegradable a partir de almidón de yuca al procesar mezclas de almidón modificado con glicerina y agua como plastificantes, utilizó un molino abierto y una extrusora de mono husillo. Las variables a controlar durante la extrusión fueron: perfil de temperatura, torque, y velocidad de rotación del husillo. Evaluó características mecánicas y fisicoquímicas mediante ensayos de tensión, análisis térmicos Calorimetría Diferencial de Barrido y Análisis Termo gravimétrico, Análisis Infrarrojo por transformadas de Fourier.

Plascencia. (2006), caracterizó películas de quitosano evaluando su efecto antimicrobiano mediante experimentos *in vitro* e *in vivo*. Las películas obtenidas presentaron buena homogeneidad y transparencia cuando se añadió el agente

dispersante encontrando que la rigidez y el grosor aumentaron conforme se incremento la concentración del biopolimero. La incorporación de dispersantes mejoro las propiedades de esfuerzo, deformación mostrando un desplazamiento de 9 mm. Así mismo, la presencia de dispersantes incremento de 5 a 20 veces el grosor de la película. Comparando con una muestra comercial de polietileno de aja densidad, las películas de quitosano presentaron buena permeabilidad al oxígeno (1952 a 35890 $\text{cm}^3/\text{m}^2/\text{día}$), aunque esta propiedad disminuyo al aumentar el grosor de la película (0.007 a 0.0013mm). Las películas adicionadas con dispersantes resultaron ser impermeables. Al evaluar la actividad antimicrobiana in vitro se observo que las películas de quitosano inhibieron efectivamente el crecimiento radical del hongo. Los resultados de los experimentos in vivo indicaron que dentro de los empaques de quitosano, *A Níger* fue capaz de crecer sobre el alimento de manera similar que estando dentro de los controles de celulosa.

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION

1.3.1. Objetivo General

- Evaluar las propiedades físicas y mecánicas de films obtenidos a partir de almidón oxidado de plátano variedad inguiri, sometidas a diferentes concentraciones de hipoclorito de sodio y glicerol.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Evaluar el efecto de las concentraciones de hipoclorito de sodio (NaOCL), (1, 2 y 3%) y glicerol (0, 2 y 4%) en la permeabilidad al vapor de agua de los films biodegradables obtenidos a partir de almidón oxidado de plátano.
- Evaluar las concentraciones de almidón oxidado (3, 4 y 5%) y glicerol (0, 2 y 4%) en las propiedades físicas (gramaje, densidad, espesor) y mecánicas (elongación) de los films.

CAPITULO II

REVISION DE LITERATURA

2.1 EL PLÁTANO (*musa paradisiaca*)

El plátano, es una planta de gran talla, es cultivada en regiones bajas y húmedas de los países tropicales. Generalmente mide en promedio 4 m de altura, pero hay variedades que alcanzan mayores dimensiones. Su raíz fibrosa se origina de un tallo subterráneo en rizoma, del cual nace un tallo corto y tuberoso, que produce hojas alternas muy grandes, provistas de un robusto pecíolo. Este cultivo se propaga a través de hijuelos. Los frutos que son comúnmente llamados plátanos, son bayas ricas en almidón y otros glúcidos, se sitúan alrededor del eje floral formando un doble anillo transversal denominado "manos"; la unión de las manos forma un agrupamiento conocido como penca. Cada penca contiene alrededor de 60 a 80 frutos, los cuales tardan en madurar cerca de tres meses desde el momento de la floración. Las pencas de los plátanos se cortan con los frutos verdes, los cuales completan posteriormente su maduración. La especie *Musa paradisiaca* comprende al plátano macho o largo, y la *Musa sapientum*, al plátano guineo con sus variedades dominico, manzano y roatán, entre otros. El plátano macho es muy similar al plátano guineo, salvo que es más grande y menos dulce; su tamaño oscila entre los 30 y los 45 cm de longitud, tiene mayor contenido de almidón y menos azúcar (Bancomex, 1999).

2.1.1 Descripción del plátano

Según (Belalcázar, *et. al.*, 1991).

- **Familia:** Musáceas.
- **Especie:** *Musa cavendishii* (plátanos comestibles cuando están crudos) y *Musa paradisiaca* (plátanos machos o para cocer).
- **Origen:** tiene su origen en Asia meridional, siendo conocida en el Mediterráneo desde el año 650.

2.1.2 Descripción morfológica

- a) Sistema radicular:** Está conformado por raíces adventicias, fasciculadas y fibrosas, La formación de raíces inicia antes que el brote haya salido a la superficie del suelo, a nivel de la capa central, atraviesan la zona cortical y emergen a través de los nudos y entrenudos subterráneos del cormo, bien se en forma individual o en grupos de 2-4 raíces y se denominan primeras. Estas darán luego origen a las segundas y terceras por ramificación del ápice; poseen en sus partes terminales pelos absorbentes que tienen funciones nutricionales. Son carnosas, casi cilíndricas poco ramificadas y laterales. Su color depende de la edad, así cuando están jóvenes tienen un aspecto blanco cremoso o pardo amarillento, tornándose luego castaño oscuro al madurar. Su longitud está estrechamente relacionada con la textura y estructura del suelo, drenaje, fertilidad y presencia de nematodos u otros organismos dañinos; pero en general, se puede afirmar que su longitud varía entre 1.50 y 3.0 m (Cayon, 1992).
- b) Tallo:** Desde el punto de vista botánico, el tallo corresponde al rizoma, ñame, bulbo o cormo subterráneo el cual es simpódico, originado de una yema vegetativa de la planta madre, que da origen al seudotallo (formado por las bases de las hojas) y a raíces adventicias en la parte inferior. Por lo cual es más técnico hablar de cormo. El cormo es un bulbo sólido de forma cónica o cilíndrica (suelos livianos), carnoso debido a la gran cantidad de parénquima amiláceo y a su alto contenido de agua. En él se diferencian claramente dos zonas: la **cortical externa**, constituida por epidermis y exodermis (formadas por capas de células quitinizadas y suberizadas), separada de la interna por el periciclo, y la que se denomina **cilindro central**, conformada por la mesodermis (endodermis y tejido del cambium). De esta zona interna se originan el sistema radicular, foliar y las yemas vegetativas que darán origen a los hijuelos. En la parte externa del cormo, se observan nudos localizados por debajo del punto de inserción de la vaina de la hoja y entrenudos sumamente cortos y marcados por las cicatrices de las hojas (Cayon y Belalcazar, 1994).

c) Seudotallo: Se origina en el cormo está conformada por la prolongación y modificación de las hojas. Es de color blancuzco inicialmente, tornándose verde al exponerse a la luz solar. Anatómicamente tiene la misma estructura del cormo, reduciéndose bastante el espesor de la corteza y con un sistema vascular compuesto solamente de haces con destino foliar. Su función es dar soporte al sistema foliar, el tallo aéreo y la inflorescencia. La altura y el perímetro están en función del tipo de clon y el vigor de la plantación.

Sistema foliar: Las hojas se originan en el meristemo terminal, en el interior delseudotallo con intervalos de tiempo de aparición de acuerdo a la variedad y el clima. Están conformadas por: vaina foliar o base, pseudopeciolo, limbo y nervadura central (Belalcázar, *et. al.*, 1991).

d) Inflorescencia: Se origina a partir del ápice vegetativo, como resultado de la diferenciación de los primordios foliares en florales. El cambio de yema vegetativa a yema floral se relaciona con la emisión de cierto número de hojas, aproximadamente el 50% y con cambios morfológicos que experimentan las mismas (de inserción de semilimbos con nervadura central). Una vez ha ocurrido la diferenciación, se inicia el proceso de ensanchamiento y elongación de la superficie superior del tallo subterráneo, convirtiéndose en un tallo aéreo en cuyo ápice se encuentra la inflorescencia que es transportada por el centro delseudotallo hacia la parte superior de la planta ; se dice entonces que la planta esta pariendo. La bellota a su vez da origen al racimo. El verdadero tallo floral (escupo floral) empieza a emerger cuando se inicia la floración (Cayon, 1998).

La bellota o bacota está conformada de afuera hacia adentro por las brácteas, las cuales en forma alternada cubren 4-6 nódulos de flores femeninas (pistiladas) y un número variable de nódulos de flores masculinas (estaminadas). Las brácteas aparentemente corresponden a vainas modificadas y cubren cada uno de los nódulos de flores

femeninas; dicho cubrimiento dura hasta que se inicia el llenado de los ovarios femeninos, momento en el cual se secan y desprenden.

Las flores masculinas y femeninas no se pueden distinguir morfológicamente hasta que el desarrollo de la inflorescencia haya alcanzado como mínimo 12 cm de longitud, resaltándose entonces diferentes grados de desarrollo ovárico. Las flores femeninas son las primeras en diferenciarse, se encuentran en la base de la inflorescencia, sus ovarios se transforman en frutos partenocárpicos. En el otro extremo de la inflorescencia, bajo las últimas manos, se encuentran las flores masculinas, cuyos estambres son bastante desarrollados, pero su ovario es bastante reducido. En la zona comprendida entre las flores femeninas y las masculinas se encuentran las flores hermafroditas, formadas por el ovario que es la mitad de la flor y que constituye frutos pequeños sin valor comercial (Belalcázar, *et. al.*, 1991).

- e) **Fruto:** En una baya partenocárpica cuyo desarrollo está condicionado únicamente por la acumulación de pulpa en la cavidad formada por las paredes internas del pericarpio. En un comienzo el ovario crece en longitud y diámetro. Durante la primera semana es lento, pero va incrementándose significativamente a partir de la tercera semana. En toda variedad, el número de manos es fijo, y sólo se altera por irregularidades hídricas o en la nutrición. Cuando estas alteraciones se producen después de la floración, puede aumentar o disminuir el número de dedos, pero no el número de manos, que está codificada cuatro meses antes de que se produzca el bacoteo (Fages, *et. al.*, 1995).

2.1.3 Variedades de Plátanos

INIA. (1997) reporta las siguientes variedades de plátanos:

- La *Musa paradisiaca*, que viene a producir el 30% del género, proporcionando unos frutos que sólo son comestibles si se asan o cuecen (técnicamente son los verdaderos plátanos).
- La *Musa cavendishii* supone el 70% de la producción del género. Sus frutos, previa maduración natural o inducida, se comen directamente (técnicamente son las llamadas bananas).

- Las principales variedades cultivadas de bananas son:
- Cavendish enana, con dos subvariedades, pequeña y gran enana. Es el fruto canario. Origen chino. Color amarillo oro. Pulpa blanda compacta.
- Gros Michel. Color verde amarillo. Resiste bien el transporte.
- Lacatán (*Musa acuminata*). Similar al Gros Michel pero es resistente al mal de Panamá (una fusariosis). El fruto aparece como aplastado por el extremo que no está unido a la “mano”.
- Poyo. Variedad tipo enana.
- Dominicó.
- Currarré. Dos subvariedades: rosada y enana.
- Otras variedades e híbridos: Zelig, Brier, Gruesa, Balangón.

2.1.4 Composición química del plátano

La composición química del plátano, en estado inmaduro (verde) está conformado de 70-74 % de humedad, 1 % de proteína, 0.3-0.5 % de grasa, 20-30 % de carbohidratos totales, 0.5 % de fibra total, 3-5 % de fibra dietética y 1 % de cenizas, alcanzando un contenido energético de 4 kcal/g aproximadamente.

El polisacárido predominante en el plátano es el almidón, que en la fruta madura es reemplazado en gran parte por sacarosa, glucosa y fructosa. Este polisacárido es probablemente el más abundante e importante desde el punto de vista comercial. Se encuentra en los cereales, los tubérculos y en algunas frutas como carbohidrato de reserva energética y su concentración varía con el estado de madurez. El caso del plátano es muy indicativo en este sentido, ya que en estado verde o inmaduro, el almidón constituye la mayor fracción de los carbohidratos, porque los azúcares están presentes en la fruta verde sólo en cantidades muy pequeñas, promediando alrededor del 1-2 % de la pulpa tierna, aumentando a 15-20 % en la madurez (Tobin y Muller, 1998).

2.1.5 Condiciones Agroecológicas:

Cayon, (1998) indican que las condiciones agroecológicas son las siguientes:

- Suelos: aluviales, sueltos ligeros, permeables.
- Clima: subtropicales y tropicales.

- pH: de 4.5 a 8.0
- Precipitación pluvial: 1800 a 4000 mm, distribuidos en todo el año, las necesidades mensuales de agua son de 150 a 180 mm.
- Altitud: de 0 a 1700 msnm
- Temperatura: 16 – 30 °C
- Humedad relativa: 70 a 90%
- Pendiente: 25%
- Luminosidad promedio 2000 horas luz por año, al disminuir la intensidad de luz el ciclo vegetativo de la planta se alarga.

2.2. EL ALMIDÓN

En la naturaleza, el almidón ocupa el segundo lugar en abundancia después de la celulosa. Es el producto de la fotosíntesis, se almacena en el amilo plastos de las células vegetales y se extrae de diferentes fuentes, lo cual genera diversas propiedades según el uso de este, ya que para la elaboración de algunos productos se requieren tipos específicos de almidón. Las fuentes industriales más importantes de almidón son maíz, trigo, papa, tapioca y arroz (Badui, 2005).

El almidón es versátil por su variedad de usos, también es uno de los ingredientes más importantes a nivel industrial. Su uso se remota a la época de los egipcios en la cual, este fue utilizado para la elaboración de papiro y adhesivos los romanos lo utilizaron para blanquear y dar firmeza a textiles casi toda las grandes industrias han encontrado algún uso para el almidón. En la industria alimentaria, el almidón se usa para impartir una amplia gama de propiedades funcionales y es probablemente el hidrocoloide más utilizado. Puede servir como espesante, encapsulador de sabor, agente de relleno, en productos de panadería, etc. El almidón también se utiliza en la producción de jarabes. Los usos incluyen a la industria de textiles, papel, cosméticos, plásticos, farmacéutica y la industria de adhesivos. En la manufactura de utensilios de comida rápida y como empaque ha ido ganando atención (Schulman, *et. al.*, 2002).

2.2.1. Estructura y composición del almidón

El almidón consiste de gránulos, parcialmente cristalinos e insolubles en agua a temperatura ambiente y son la principal forma de almacenamiento de energía de las plantas. De acuerdo a su fuente botánica puede ser de diversas formas y tamaño. La forma puede ser redonda, elíptica, ovalada, lenticular o poligonal. El tamaño de los gránulos de almidón de arroz y amaranto son las mas pequeños. Con aproximadamente $1-3\mu\text{m}$ y los más grandes son los de papa y tapioca con un diámetro aproximadamente de $50-100\mu\text{m}$

El granulo de almidón consiste en dos estructuras poliméricas de glucosa denominados amilosa y amilopectina, además lípidos, proteínas, agua y iones minerales que pueden encontrarse en la matriz del granulo o formar complejos específicos con el polímero de almidón. La proporción de amilosa y amilopectina en los almidones, determina las propiedades del mismo (Buléon, *et. al.*, 1998).

La amilosa es un polímero lineal de moléculas de glucosa unidas por enlaces glucosídicos $\alpha\text{-D-(1-4)}$, como se aprecia en la Figura 1. Las unidades de glucosa se encuentran en la forma de alfa-D-glucopirinoso y tienen la facilidad de adquirir una conformación helicoidal en la que cada vuelta se compone de seis a ocho unidades. También presentan entre un 0.3-0.5% de enlaces $\alpha\text{-D-(1-6)}$ formando ramificaciones. El interior de la hélice contiene solo átomo de hidrogeno y en el exterior los grupos hidroxilo. La amilopectina es una molécula larga y altamente ramificada, en la cual, las moléculas lineales de D-glucosa están unidas mediante enlaces $\alpha\text{-(1-4)}$ que se encuentran interligadas entre un 5-6% de enlaces glucosídicos $\alpha\text{-D-(1-6)}$ formando una estructura muy ramificada (Myllarinen, *et. al.*, 2002)

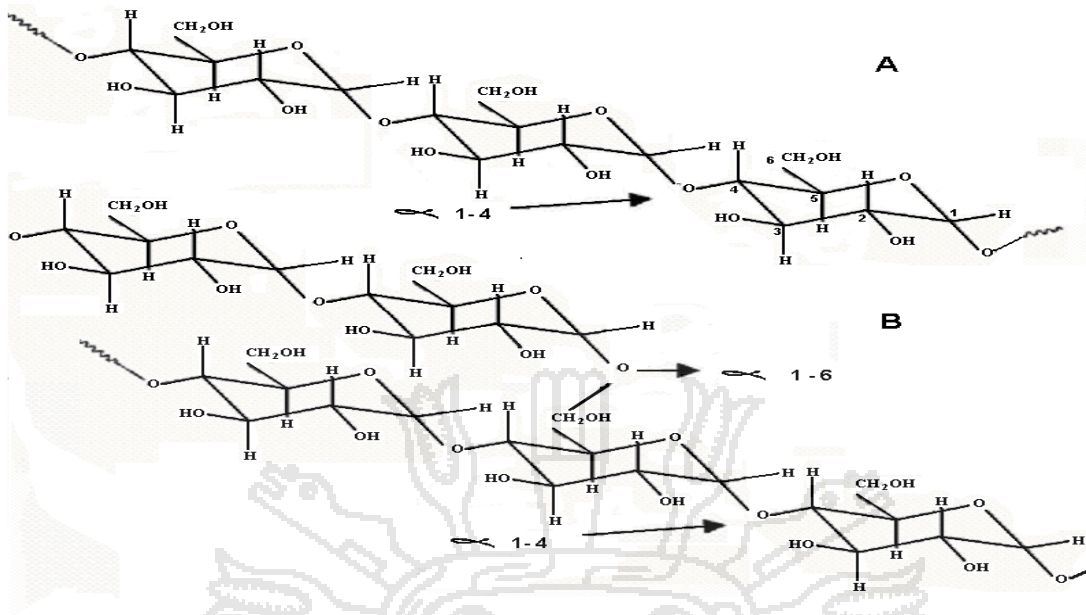


Figura 1. Estructura de la amilosa (A) y de la amilopectina (B) (Myllarinen, *et.al.*, 2002).

El almidón nativo es parcialmente cristalino (semicristalino), con un porcentaje de cristalinidad del 20 al 45% dependiendo de la fuente botánica. En los gránulos de almidón, la amilosa y los puntos de ramificación de la amilopectina, forman las regiones amorfas, mientras que las cadenas de la amilopectina constituyen las zonas cristalinas. Ambas regiones, se encuentran arregladas en dominios laminares intercalados. Además de la cristalinidad, puede haber una co-cristalinización con la amilosa en estructuras de una sola hélice, que puede formar complejos con ácidos grasos o lípidos. En la figura 2, se muestra la representación esquemática de la estructura del gránulo de almidón (Lehninger, *et. al.*, 1998).

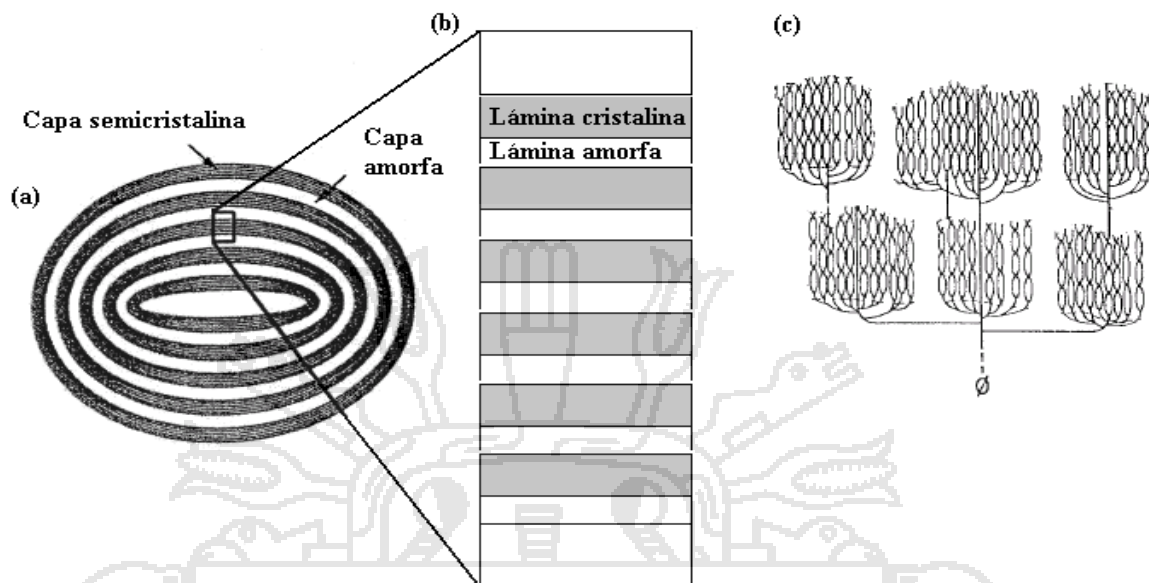


Figura 2. Representación esquemática de la estructura granular del almidón: (a) un granulo con capas amorfas y semicristalinas. (b) vista expandida de la capa semicristalina de un anillo creciente, (c) estructura de la amilopectina dentro de la capa semicristalina (Marchal *et. al.*, 2001).

2.2.2. Polimorfismo del almidón

Diversos estudios han analizado la estructura cristalina del granulo de almidón. Las dobles hélices, formadas por las cadenas de amilopectina, se pueden ordenar en tres arreglos, lo cual da lugar a tres patrones de difracción de rayos X: almidón tipo A, B y C. los almidones de cereales un patrón de tipo A, las dobles hélices de la amilopectina están empaquetadas en forma monoclinica y contienen de 4-8 moléculas de Agua; los de tubérculos presentan un patrón de tipo B, el cual presenta dobles hélices de amilopectina, empaquetadas en forma hexagonal y con 36 moléculas de agua y en almidones de ciertas raíces y semillas un tipo de C; que es una mezcla intermedia del patrón A y B. otro tipo de patrón es el V, que es característico cuando forma un complejo de inclusión con lípidos o alcoholes en el interior de la hélice de la amilosa.

Durante el procesamiento termo mecánico de almidones nativos, la estructura semicristalina presente en los gránulos, es parcial o completamente

destruida. Esto puede observarse por difracción de rayos X, dependiendo de las condiciones de procesamiento (como la temperatura y la humedad relativa) (Buleon, et.al., 1998).

Con el tiempo la amilosa y amilopectina recristalizan en las estructuras como: A, B y C, además se han reportado patrones tipo V (Tester, et.al., 1991).

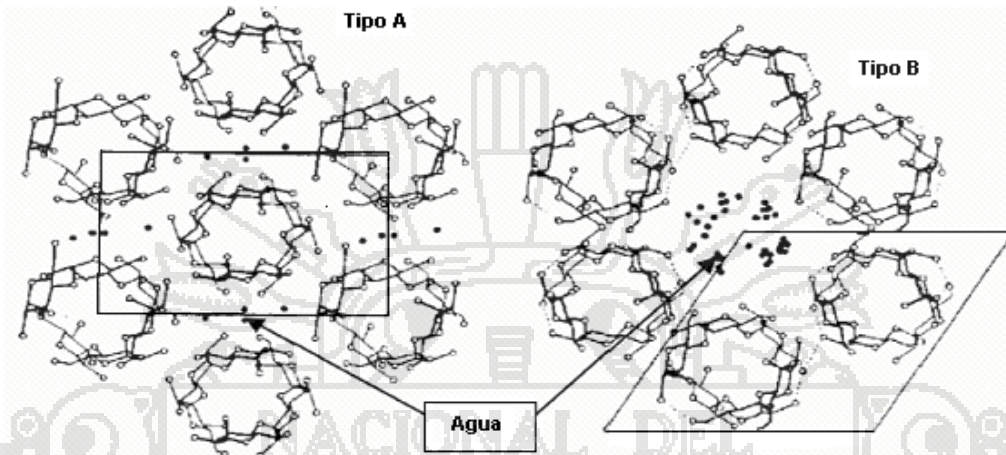


Figura 3. Cristales polimórficos A- y B- del almidón (Tester, et.al., 1991).

2.2.3. Almidón de plátano

Aunque el plátano es mayormente para ser consumido como fruta fresca, hay otras formas de utilización: para la fabricación de almidón y harina, para uso alimentario e industrial; como pulpa de banano para la elaboración de alimentos infantiles; como jugo de banano clarificado y como bananos deshidratados. Asimismo, se han hecho esfuerzos para utilizar partes de la planta y del fruto como materia prima para la fabricación de papel y de alcohol, a partir de los desechos fibrosos (FAO., 2003).

Se aislaron el almidón de dos variedades de plátano y estudiaron la composición química y algunas de sus propiedades fisicoquímicas y funcionales, ellos reportaron una temperatura de gelatinización de 77.3 °C para plátano macho y 74.3 °C para plátano criollo, la difracción de rayos X mostró que el almidón de plátano tiene un patrón de difracción tipo A. Los almidones de plátano presentaron una forma oval. Las pastas de almidón de plátano fueron opacas y estables durante el almacenamiento. En un estudio realizado en harinas obtenidas de diferentes variedades de plátano consumidas en

Brasil, reportaron temperaturas de gelatinización en un intervalo de 68 a 76 °C, dependiendo de la variedad. La composición promedio de las harinas de plátano fue: 61-76.5 % de almidón, con 19-23 % de amilosa, 2.5-3.3 % de proteína, 4-6 % de humedad, 0.3-0.8 % de lípidos, 2.6-3.5 de cenizas y 6-15.5 % de fibra total. Sin embargo, son pocos los estudios relacionados con la modificación fisicoquímica de este biopolímero obtuvieron almidón de plátano granular y soluble en agua fría mediante un tratamiento alcohólico-alcalino, así como almidón de plátano acetilado. Se realizó una caracterización química, fisicoquímica y funcional a estos almidones modificados, encontrándose propiedades que podrían ser interesantes para industrias como la de alimentos, de papel y textil (Bello, *et. al.*, 2000).

2.2.4. ALMIDONES MODIFICADOS

2.2.4.1. Almidón modificado

El almidón y sus derivados modificados químicamente, han jugado un papel importante en la economía del mundo. Las propiedades inducidas por las modificaciones químicas tienen su origen en los cambios estructurales de los gránulos de almidón los almidones modificados en la mayoría de los casos son materiales nativos que han sido sometidos a uno o más tratamientos físicos, químicos o enzimáticos, promoviendo la desorganización molecular, la degradación parcial de los polímeros, el rearrreglo molecular y la oxidación o adición de grupos químicos. La modificación química, cambia la funcionalidad del almidón e involucra reacciones asociadas con los grupos hidroxilo (OH⁻) de los polímeros de almidón, las modificaciones químicas del almidón para uso alimenticio, usualmente involucran esterificación, eterificación, modificación ácida, hidrólisis, dextrinización, y oxidación o blanqueado. Los almidones modificados químicamente, generalmente se obtienen haciéndolos reaccionar con reactivos químicos que introducen sustituyentes químicos, vía la reacción con grupos OH⁻ de los carbonos 2, 3 y 6 en las moléculas de glucosa del almidón. (Wolf, *et. al.*, 1999).

2.2.4.2. Almidón oxidado

Aunque particularmente se realiza en las industrias textiles y papelera, su aplicación en la industria de alimentos esta creciendo debido a que el almidón oxidado presenta baja viscosidad, alta estabilidad, claridad y capacidad para formar películas, en comparación con los almidones nativos. El bromuro de sodio (NaBr), cloro gaseoso (Cl_2), hipoclorito de calcio ($\text{Ca}(\text{OCl})_2$), permanganato de potasio (KMnO_4), persulfato de amonio ($(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$) e hipoclorito de sodio (NaOCl), son los agentes mas frecuentemente utilizados para la oxidación de almidón (Wing, 1994). El almidón oxidado se produce al reaccionar el almidón nativo con un agente oxidante específico bajo condiciones controladas de pH y temperatura. El hipoclorito de sodio es el más popular como agente oxidante. Durante la oxidación, los grupos hidroxilos presentes en los carbonos: C2, C3, y C6 en las moléculas de almidón, son atacados por el agente oxidante al azar, oxidándose primeramente a grupos carbonilo ($-\text{C}=\text{O}$) y posteriormente a grupos carboxilo ($-\text{COOH}$), como se muestra en la Figura 5, esto es lo que determina la eficiencia de la reacción. La oxidación provoca la hidrólisis de los enlaces glucosidicos y como consecuencia se pierden algunas de las propiedades del polímero, como por ejemplo, disminuye la viscosidad del almidón (Wang y Wang, 2003).

Los factores que influyen en el nivel de oxidación, además de la concentración del NaOCl, son la fuente de almidón y las características propias de los gránulos, como tamaño, forma, estrías, fisuras, el espesor de las láminas, el grado de polimerización, el peso molecular y la proporción de amilosa y amilopectina.

La velocidad de reacción del NaOCl con el almidón es altamente afectada por el pH, siendo más rápida a pH 7 y muy lenta a pH 10. Bajo condiciones acidas, el cloro, reacciona con los grupos hidroxilo de cada molécula de almidón y se forma un ester de hipoclorito y HCl. Posteriormente, se descompone en un grupo ceto y una molécula de HCl. En ambos pasos, los átomos de hidrogeno son removidos como protones de los átomos de oxigeno y carbono. Por lo tanto, en un medio acido con exceso de protones, la liberación de más protones podría ser obstaculizada y la velocidad de reacción disminuiría al

mismo tiempo que se incrementa la acidez. Durante la oxidación, se solubilizan del 70 al 80 % de las impurezas que contienen nitrógeno, también se decolora y/o elimina el material pigmentado debido al efecto de blanqueado que produce el agente oxidante; por lo tanto, los almidones oxidados son más blancos que el almidón nativo y la blancura se incrementa al aumentar la cantidad de agente oxidante. Por otra parte, los ácidos grasos libres se reducen del 15 al 20 % en la etapa temprana de la oxidación (Rudrapatman, *et.al.*, 2005).

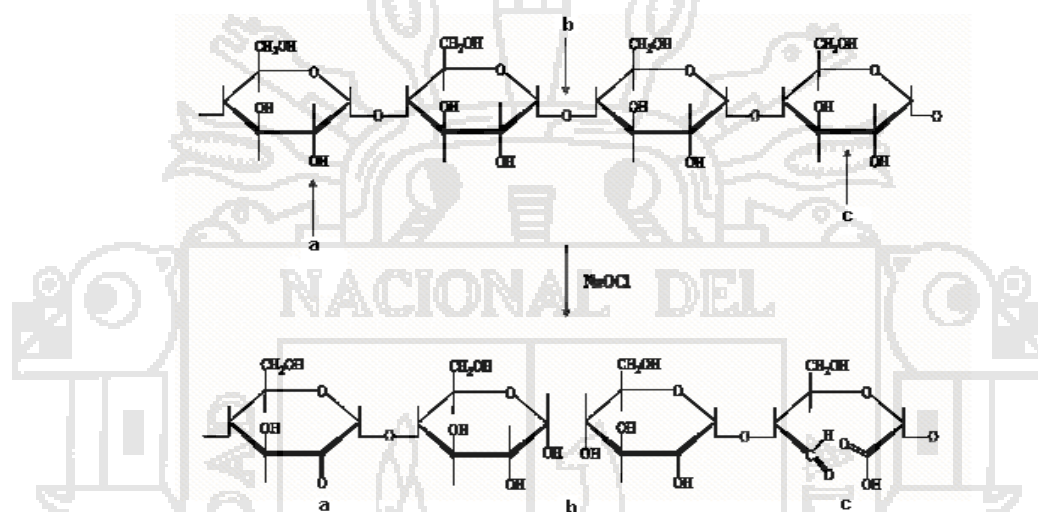


Figura 4. Reacción de oxidación del almidón, que muestra los grupos de la glucosa susceptibles al ataque por el hipoclorito de sodio (Myllarinen, *et.al.*, 2002).

2.2.4.3. Almidón termoplástico (ATP)

El almidón se puede convertir en un material termoplástico por la desintegración granular en presencia de plastificantes (agua, glicerol, sorbitol, xilitol, entre otros) mediante su procesamiento con equipos usualmente empleados en la obtención de plásticos, sintéticos, como extrusores. El almidón termoplástico (ATP) presenta varios atributos, además de su biodegradabilidad, es un material renovable y de bajo costo.

Existe mucho interés en la utilización de ATP para el desarrollo de plásticos biodegradables, platos, vasos, cucharas, tenedores, cuchillos y bolsas para basura. Sin embargo existen problemas en su estabilidad estructural, ya que

los materiales termoplásticos son susceptibles a la retrogradación del almidón y a la cristalinización, algunos materiales son expuestos a la humedad durante su almacenamiento y su uso, lo que ocasiona variaciones en su contenido de humedad durante y también en las propiedades del material causadas por la cristalinización del almidón (Soest, *et.al.*, 1996).

El comportamiento térmico de los almidones es mucho más que el de los materiales termoplásticos convencionales (como el polietileno), debido a los cambios fisicoquímicos que ocurren durante el calentamiento del almidón o de productos derivados del mismo, como gelatinización, fusión, temperatura de transición, degradación molecular y fenómenos de transferencia de masa (Stading, *et.al.*, 2001).

2.2.5. CAMBIOS ESTRUCTURALES DEL ALMIDON DURANTE TRATAMIENTO TERMICO

2.2.5.1. Gelatinización y retrogradación del almidón

La parcialidad de la estructura granular cristalina del almidón es estable en el agua a temperatura ambiente. Debajo de los 50 °C, solamente ocurre un pequeño hinchamiento de las partes amorfas, y este proceso es reversible. Arriba de los 50 °C, las partes amorfas absorben más agua y la estructura granular comienza a cambiar. Este proceso es irreversible y la estructura granular queda destruida. Con un posterior calentamiento del gránulo, el hinchamiento continúa, mientras que al mismo tiempo la amilosa lineal amorfa se difunde fuera del gránulo hacia alrededor de la fase acuosa. Esta temperatura es llamada temperatura de gelatinización o temperatura de formación de pasta. Por el incremento de la temperatura, los polímeros de almidón, principalmente la amilosa, son posteriormente disueltos. Finalmente, los gránulos pierden su estructura cristalina, y serán fragmentados a 100-150 °C. Los diferentes almidones tienen sus propias temperaturas de gelatinización, la avena tiene la más baja (60 °C), y las variedades de maíz alto en amilosa tienen las más altas (86 °C). Se reportó que la temperatura y las condiciones de crecimiento de las plantas afectan la cantidad, la composición química, las

propiedades físicas y el tamaño granular del almidón en diferentes cereales. Se encontró que las plantas de arroz que crecen a 30 °C tienen una mayor temperatura de inicio (T_0) y de conclusión (T_c), y una mayor entalpía de gelatinización (ΔH) que las que crecen a 25° C, cuando se analizaron por Calorimetría Diferencial de Barrido (CDB) se sugirió que las mayores temperaturas de gelatinización fueron debidas a la mayor perfección de los cristales de almidón (Tester, *et. al.*, 1991).

2.2.5.2. Empastado

La formación de un gel o pasta es determinante en la textura de los alimentos, esta depende no solo de la concentración de almidón sino también de la estructura del granulo hinchado, de la proporción de amilosa y amilopectina lixiviada del granulo y de las condiciones de calentamiento como temperatura, tiempo, velocidad de calentamiento y esfuerzo de corte. El termino “pasta de almidón” engloba varios procesos: hinchamiento del granulo, lixiviación de componentes a partir del granulo (principalmente amilosa), y eventualmente la desintegración del granulo. En general, una pasta de almidón puede ser descrita como un sistema de dos fases, compuesto de una fase dispersa de gránulos hinchados y una fase continua de amilosa lixiviada a partir del granulo.

La Figura 5 muestra el perfil típico de una curva amilográfica para almidón. Durante la fase de calentamiento (50 a 95 °C), se presenta un aumento en la viscosidad, la cual es registrada como el inicio del hinchamiento de los gránulos. Al continuar el calentamiento, los polímeros de bajo peso molecular, particularmente las moléculas de amilosa, comienzan a solubilizarse desde el granulo y se obtiene un valor máximo de viscosidad; en esta etapa la mayoría de los gránulos se hinchan completamente. Durante la etapa de cocción (95 °C; se deja estabilizar a esta temperatura por algunos minutos), se presenta una disociación molecular y continua la solubilización de los polímeros; en este punto se presenta una disminución en los valores de viscosidad. Durante la fase de enfriamiento (95 a 50 °C), los polímeros de amilosa y amilopectina solubilizados comienzan a reasociarse y se registra un ligero aumento en los

valores de viscosidad. Este segundo incremento en la viscosidad es referido como la etapa de gelificación (Thomas y Atwell, 1999).

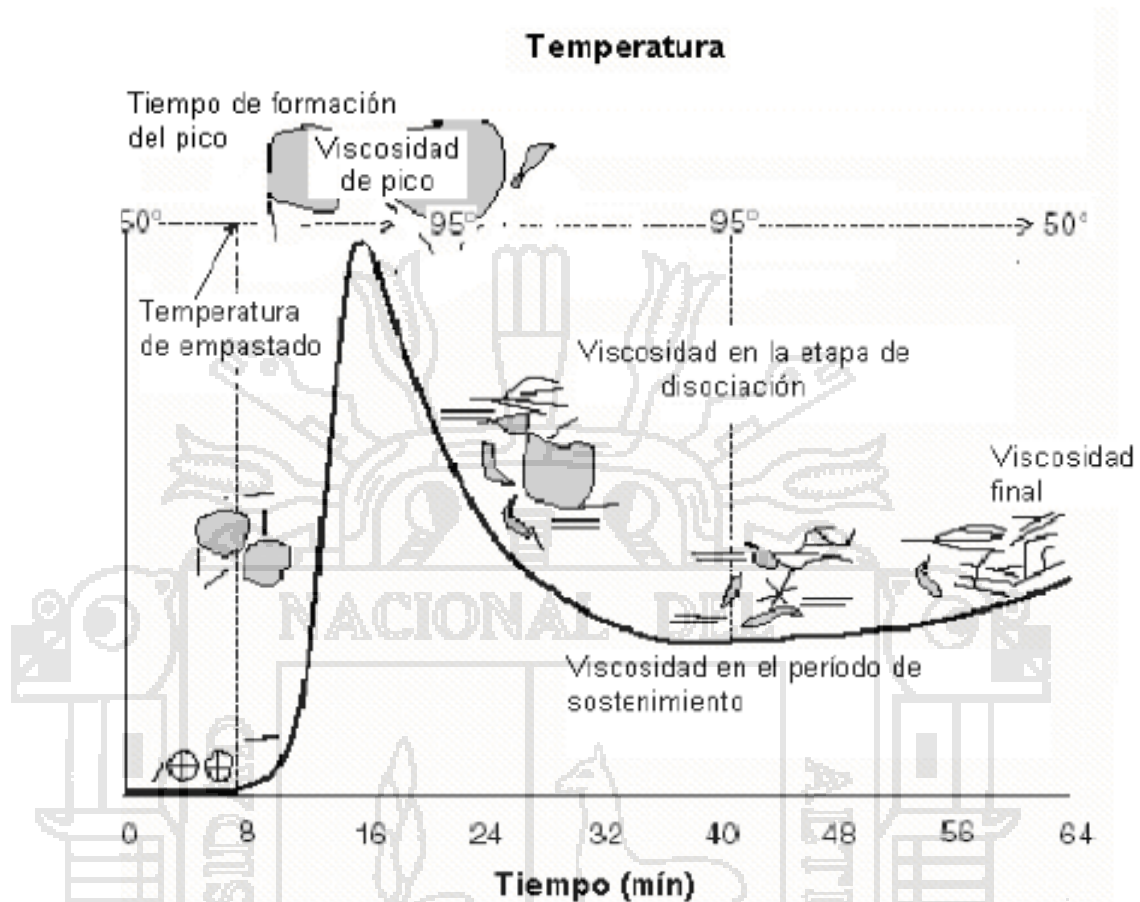


Figura 5. Curva amilográfica de almidón de maíz que presenta las tres etapas usuales: calentamiento, cocción y enfriamiento (Thomas y Atwell, 1999).

2.2.5.3. Temperatura de transición vítrea

La temperatura de transición vítrea (T_g) es el parámetro más importante en la determinación de las propiedades mecánicas de los polímeros amorfos y en el control de la cinética de cristalización de los materiales amorfos. Para la amilosa y la amilopectina seca, la T_g se ha estimado en 227 °C, y en la presencia de 13 % de humedad se ha observado que disminuye la T_g a 56 °C), la T_g del almidón de trigo gelatinizado conteniendo 22 % de humedad fue estimada cerca de los 25 °C, muchos estudios han demostrado el efecto de la plastificación del agua en los almidones, y varias técnicas para el análisis de la transición vítrea han sido comparadas. Cuando se examinan diferentes

técnicas, la más frecuentemente usada es la Calorimetría Diferencial de Barrido (CDB), esta técnica fue observada por dar T_g s de 10 a 30 °C más altas que la técnica de Resonancia Magnética Nuclear (RMN) de pulso del protón (Kalichevsky, *et. al.*, 1992).

El efecto del agua sobre la T_g de la amilosa y la amilopectina fue recientemente analizado usando CDB. La amilopectina muy ramificada tiene una T_g un poco más baja que el polímero de amilosa. Los estudios del efecto del glicerol y otros plastificantes sobre la T_g del almidón de papa mostraron que la plastificación del almidón siguió el modelo de Couchman. Cuando la amilosa y la maltosa fueron plastificadas por el glicerol, la separación de fase, arriba del 25% de glicerol fue encontrada, en base al Análisis Térmico Dieléctrico (ATDE). En una combinación de agua y glicerol como plastificantes del almidón de cebada, dos temperaturas de transición vítrea calorimétrica se midieron. Las dos transiciones observadas fueron una indicación de la separación de fase. La mecánica dinámica, el comportamiento térmico dieléctrico y calorimétrico de un sistema binario amilosa-glicerol, analizados por ATMD, ATDE y CDB, respectivamente, indicaron que el sistema estuvo compuesto de fases ricas en amilosa y fases ricas en glicerol (Lourdin, *et. al.*, 1998).

2.2.5.4. Funcionalidad Del almidón

Los almidones nativos y modificados son materiales generalmente usados en la industria tanto alimentaria como en la no alimentaria. La posibilidad de producir diseños especialmente nuevos de las variedades de almidón con nuevas propiedades ha sido también discutida, la industria utiliza principalmente los almidones modificados, tales como los pregelatinizados, extrudidos, los hidrolizados con ácido y los almidones entrecruzados o los derivados del almidón con varios grupos sustituyentes las variedades de almidón ricos en amilosa han sido utilizadas muy poco, pero hay un interés en el desarrollo de los almidones lentamente digeribles y en explotar la capacidad de formación de películas de los almidones (Ruiz, 2006).

Los almidones nativos tienen propiedades únicas y propias; la fuente botánica es de gran importancia para las propiedades químicas y funcionales de un almidón. Las aplicaciones industriales del almidón nativo son limitadas

debido a que son susceptibles a altas temperaturas, ácidos y pHs extremos, son menos solubles y las películas son más sensibles al rompimiento. Por lo que, para muchas de las aplicaciones de los almidones (como son su utilización en la formación de películas), se requiere de la modificación de sus propiedades fisicoquímicas y funcionales a fin de extender su utilización en aplicaciones industriales. La modificación de las propiedades por vías químicas, físicas, enzimáticas o por una combinación de ellas, tiene la finalidad de superar algunas de las limitaciones que posee el almidón nativo, con el propósito de obtener almidones con mayor versatilidad, que por lo general, son productos que respectivamente, indicaron que el sistema estuvo compuesto de fases ricas en amilosa y fases ricas en glicerol (Moates, *et. al.*, 2001).

2.2.6. ELABORACION DE PELICULAS A PARTIR DE POLIMEROS BIODEGRADABLES

Los polímeros biodegradables son un campo emergente en América latina y sus aplicaciones son amplias, principalmente en el área biomédica en aplicaciones tales como implantes quirúrgicos y en empaques de fármacos. También tienen aplicaciones agrícolas tales como; maceteros para las semillas y/o cobertura, empaqueo de alimentos, productos de papelería. Entre los polímeros más usados se encuentran los polisacáridos, tales como la celulosa, el almidón y el quitosán. Este último tiene actividad antimicrobiana y su entrecruzamiento con aldehídos hace la película más dura e insoluble en agua. Estos materiales le proporcionan a algunas películas dureza, flexibilidad, transparencia y pueden utilizarse en la elaboración de panales de huevo, en películas que absorben aceites, coberturas o materiales de empaque para frutas y verduras (Krochta, *et. al.*, 1994). La pectina puede usarse en la elaboración de películas por proceso de extrusión, comprensión y/o operaciones térmicas; es soluble en agua e igualmente es usada en la fabricación de bolsas y en diversos sistemas médicos. Las películas que resultan de las mezclas de pectina y quitosán junto con cualquier plastificante y ácido poliláctico, generan buenas propiedades mecánicas y de barrera según el porcentaje de los componentes y la relación con el material alimenticio en estudio (Forsell, *et.al.*, 1999). Los films comestibles, son hechos de materiales comestibles como: proteínas de origen animal (caseína de la leche,

miofibrilares de pescado) y a partir de plantas (zeína, soya y trigo), exhiben excelentes propiedades de barrera, pero también son quebradizas por lo que la adición de plastificantes mejora su extensibilidad y viscosidad. Los materiales tienden a absorber agua debido a que las proteínas y los plastificantes son hidrofílicos. La zeína es una fracción proteica del maíz, puede formar películas con gran resistencia y con la adición de un polialcohol se mejora el esfuerzo de tensión. La proteína del suero de leche, cuando se procesa apropiadamente, produce una película flexible, pero frágil (Rindlav, *et. al.*, 1998).

La fermentación bacteriana de la glucosa y el suministro del sustrato ácido acético, durante el almacenamiento da un novedoso poliéster termoplástico llamado polihidroxibutirato el cual, solo o en combinación con plásticos sintéticos o con almidón, produce excelentes películas para empaques. El polihidroxibutirato es un biopolímero termoplástico que posibilita la acumulación de CO₂, de tal manera que permite el control de atmósferas y el crecimiento de bacterias. El polihidroxialcanoato, es otro biopolímero producido por *Pseudomonas aeruginosa* que produce excelentes películas para empaques y permite controlar el CO₂ durante el almacenamiento de frutas y verduras. De la fermentación de la glucosa o de las plantas modificadas genéticamente, se obtienen polímeros del grupo sintético (también biodegradables), que incluyen al ácido láctico, a la policaprolactona, polivinil alcohol poliéster. Los poliésteres alifáticos son conocidos por ser susceptibles a ataques biológicos entre estos se encuentran: el poli (etilen adipato) y la poli (ϵ -caprolactona) poliuretanos y copoliésteres, compuestos de poliésteres alifáticos y aromáticos. El poli (ácido láctico), los polihidroxialcanoatos, y la policaprolactona aparecen como los más atractivos debido a sus buenas propiedades mecánicas y de biodegradabilidad en la elaboración de películas (Krochta, *et.al.*, 1994).

2.2.7. PROPIEDADES DE LOS FILMS DE ALMIDON

2.2.7.1. Propiedades mecánicas

Las pruebas de esfuerzo y deformación, son utilizadas para determinar las propiedades mecánicas de los materiales. Los parámetros comunes que se caracterizan son: la a la fractura (TF), el porcentaje de elongación (%E) y el modulo de elasticidad (ME o modulo de Young). En la figura se tiene las variables utilizadas para la determinación de los parámetros el módulo de Young se calcula como la pendiente de la elongación de cedencia entre el esfuerzo de cedencia (Wilhelm, *et. al.*, 2003)

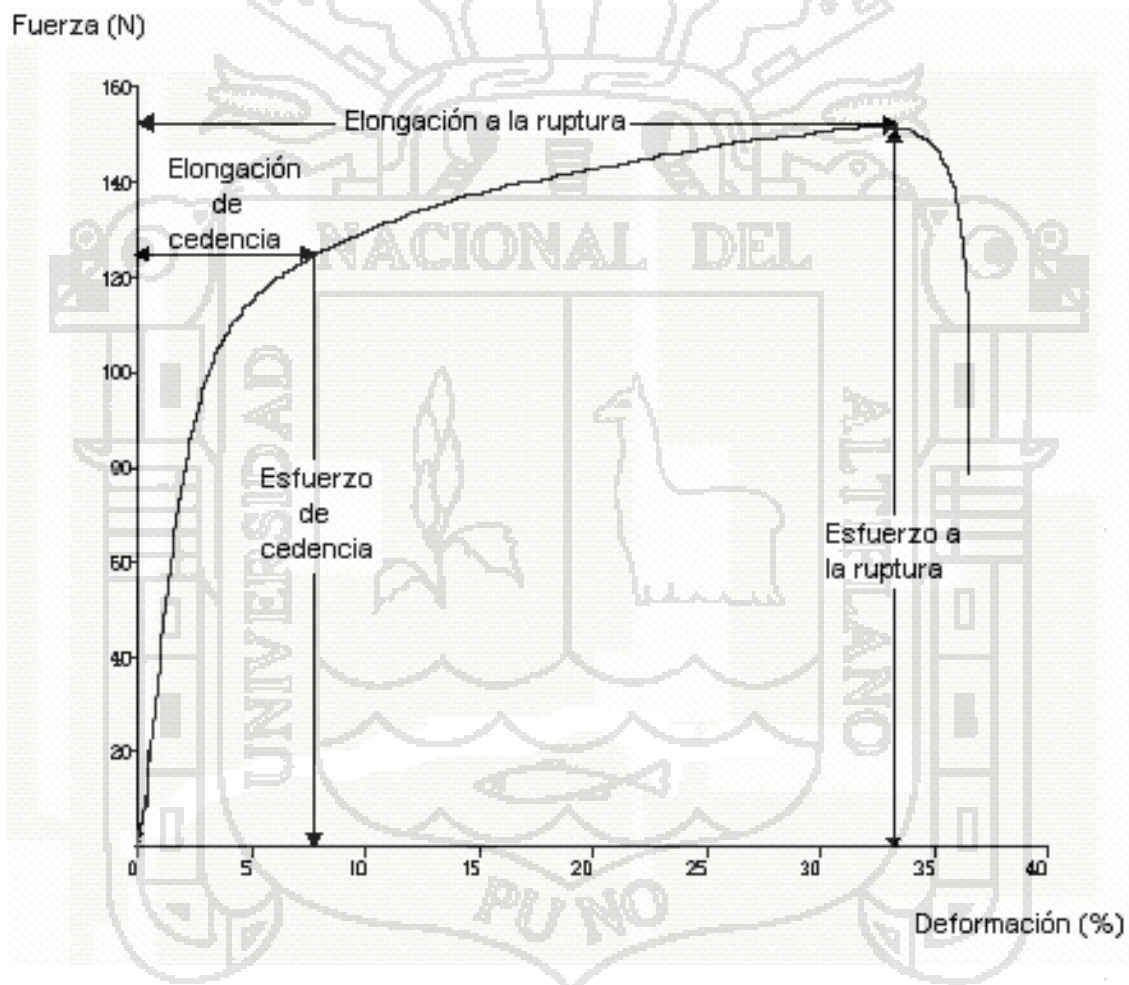


Figura 6. Curva típica de esfuerzo contra deformación de películas de almidón de plátano evaluadas a los 15 días de almacenamiento (Wilhelm, *et. al.*, 2003)

2.2.7.2. Propiedades de barrera

La permeabilidad al vapor de agua (PVA), es una propiedad importante que indica la habilidad del film, de encontrar el transporte de agua a través de la misma. Se ha buscado producir films o películas, en donde se minimice la transferencia de vapor de agua, es decir la reducción de la PVA. Otra propiedad que presenta el film es la adsorción de agua; lo cual quiere decir que las moléculas de agua se ligan en sitios hidrofílicos específicos, como puede ser en residuos carboxilo e hidroxilo, a bajas humedades relativas o A_w . A altas A_w la adsorción va acompañada de hinchamiento y cambios conformacionales en la estructura macromolecular. Parte del vapor de agua queda retenido en el film este puede medirse mediante la elaboración de un isoterma de adsorción. La isoterma de un producto relaciona gráficamente, a una temperatura constante, el contenido en humedad de equilibrio de un producto con la actividad termodinámica del agua del mismo (A_w), ya que el equilibrio, este último parámetro es igual a la humedad relativa del aire que rodea al producto. Existen diferentes tipos de isotermas propuestas por Van der Waals, la de tipo corresponde a fenómeno de quimiosorción que ocurren en los puntos activos de la superficie. Los tipos II y III son los más frecuentes en alimentos no porosos, los tipos IV y V corresponden a isotermas de productos porosos, en los que la meseta de las curvas esta asociada a la saturación capilar, en la Figura 7. Se muestra una ilustración de las isotermas (Martínez, *et. al.*, 1999).

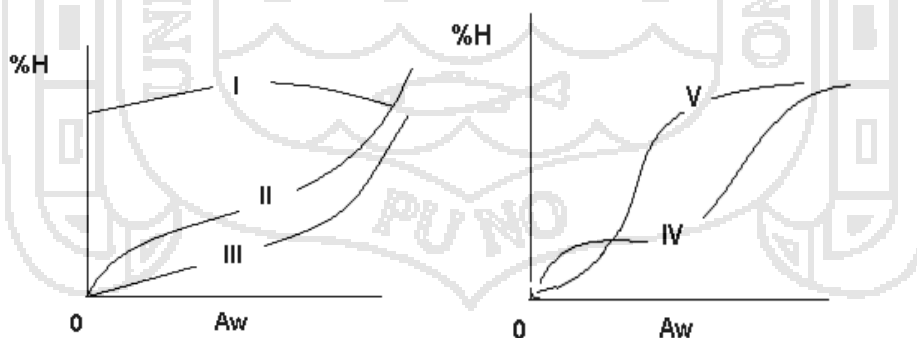


Figura 7. Tipos de isotermas de adsorción (Matissek, *et. al.*, 1998).

2.2.8. FACTORES QUE AFECTAN LAS PROPIEDADES DE LOS FILMS

2.2.8.1. Método de elaboración

El almidón termoplástico puede producirse mediante diferentes tecnologías, tales como; compresión, soplado por extrusión con un solo tornillo o doble y vertido en placa (VP). El VP consiste en hacer una dispersión de almidón a concentraciones bajas (2-4%) y posteriormente el almidón es gelatinizado por diferentes técnicas, como la gelatinización térmica en donde la dispersión es transferida a la copa de un microviscoamilografo y calentada hasta 95°C o gelatinización fría con hidróxido de sodio (NaOH), finalmente la solución filmogénica se vierte en una placa y se seca. La extrusión es un proceso termomecánico por medio del cual, el almidón a humedades bajas es plastificado y cocido por la acción combinada de presión, calor, acción mecánica y son forzado a pasar por una boquilla. Las diferencias en ambos procesos son el alto contenido de humedad en la técnica de VP y la alta viscosidad generada en el extrusor (Mali, *et. al.*, 2003).

Existe un estudio en donde se comparan los métodos de formación de films utilizando: moldeo por compresión, soplado por extrusión y extrusión, para el procesamiento de una mezcla de pectina, almidón, poli (vinil alcohol) y glicerol. Se observó que la formación de films mediante los diferentes métodos, depende de la composición de las mezclas, ya que en el soplado es necesario una mayor proporción de poli (vinil alcohol). Los films elaborados por VP, presentaron mayor esfuerzo de tensión en comparación con los de los métodos y elaborados por extrusión presentaron mayor esfuerzo de tensión y porcentaje de elongación, que las elaboradas por moldeo, en cuanto a la permeabilidad al vapor de agua, se ha visto que las elaboradas por extrusión, es mayor que las elaboradas por VP (Fishman, *et. al.*, 2006).

2.2.8.2. Tipo y concentración de plastificante

Un plastificante se define como una sustancia no volátil de alto punto de ebullición la cual, al ser agregada a otro material, cambia las propiedades físicas y/o mecánicas de la misma. En la elaboración de films, un plastificante conduce a una disminución de las fuerzas intermoleculares a lo largo de

cadena polimérica, aumentando su flexibilidad y disminuyendo su fragilidad de la misma. Las moléculas como los poli glicoles, amidas y aminas sirven como plastificantes no volátiles para el almidón. Se han utilizado plastificantes como glicerol, sorbitol, fructuosa, glucosa, sacarosa, xilosa, urea etilenglicol, cera de abeja etc., los cuales son inocuos para el ser humano y podrían aplicarse para fines alimenticios. Los polioles más utilizados son el sorbitol y glicerol que plastifican efectivamente, debido a su habilidad para reducir los enlaces de hidrogeno internos, mientras se incrementa el espacio intermolecular (Standing, *et. al.*, 2001).

2.2.8.3. Tipo de almidón y proporción amilosa/amilopectina

Se ha reportado que las films elaboradas de almidón de diferente fuente, tienen diferentes propiedades y esas diferencias se han atribuido a la proporción de amilosa presente en el almidón y a la medida y forma del granulo. Los films elaboradas con amilosa, tienen mejores propiedades mecánicas que las de amilopectina, y en las elaboradas con ambos componentes a mayor relación amilosa/amilopectina mayor el incremento lineal en el esfuerzo de tensión (ET) y porcentaje de elongación (%E), pero en presencia de plastificantes como el glicerol, al aumentar el contenido de amilosa, el ET aumenta y el %E disminuye. La tendencia lineal en ambos parámetros alcanza una platea, ya que Lourdin y col. (1998) encontraron que a incrementos mayores al 40 % de amilosa y a una concentración del 20 % de glicerol no observaron cambio en las propiedades mecánicas. La fuente de almidón también tiene una repercusión, ya que al comparar las propiedades mecánicas de films elaboradas con almidón de chícharo con las de otros almidones (papa, trigo, maíz ceroso), estas presentaron menor esfuerzo de tensión y mayor porcentaje de elongación, lo cual se cree que se debió a la alta concentración de amilosa presente en el almidón de chícharo, lo cual provoco un realineamiento moderado de las moléculas. Además de la proporción de amilosa, se observó en un estudio reciente, que en films de almidón de trigo, el tipo de granulo (fracción A o B) tuvo un efecto significativo en las propiedades mecánicas, ya que con gránulos de la fracción B y con 40 % de glicerol se obtuvieron films dúctiles, resistentes a la deformación pero no extensibles y las

elaboradas con la fracción A (40 % de glicerol), fueron extensibles y con baja resistencia a la deformación (Bello, *et. al.*, 2002).

En cuanto a la permeabilidad al vapor de agua (PVA), el aumento en el contenido de amilosa en films sin plastificante se ve reflejado en la disminución de la PVA; lo contrario se observa en películas plastificadas con glicerol. El comportamiento de la PVA es diferente entre las películas de amilopectina y amilosa; en las primeras esta aumenta al incrementar el contenido de glicerol por arriba del 10 %, en films de amilosa la PVA es independiente del aumento (Forssell, *et. al.*, 1999).

La fuente de almidón también influye en la PVA, ya que se reporta en films elaboradas a partir de almidón de maíz, yuca y camote dulce, que al incrementarse el contenido de glicerol, hubo un mayor aumento en la PVA de las películas elaboradas de camote dulce en comparación con las demás fuentes (Mali, *et. al.*, 2006).

2.2.8.4. Efecto del almacenamiento

Los cambios que ocurren durante el almacenamiento han sido explicados por el contenido de agua, la temperatura de transición vítrea y la cristalinidad. La cristalinidad es inducida por la rápida recristalización de las estructuras de hélice sencilla de la amilosa después de su elaboración. Se ha observado la formación de tres tipos de cristales identificados como VH, VA y EH mediante difracción de rayos X. La formación de las hélices sencillas está determinada por los parámetros de procesamiento, el contenido de amilosa y aditivos como el glicerol. El contenido de amilosa es proporcional a la amilosa cristalizada y en materiales elaborados con almidón ceroso, que contienen poco o ningún contenido de amilosa, no se observa cristalización de hélices sencillas de amilosa. La velocidad de formación de los cristales está influenciada por la temperatura y la humedad. En la Figura 8 se muestra un ejemplo de la transición de estructuras EH en VH, debido al almacenamiento e incremento de agua (Forssell, *et. al.*, 1999).

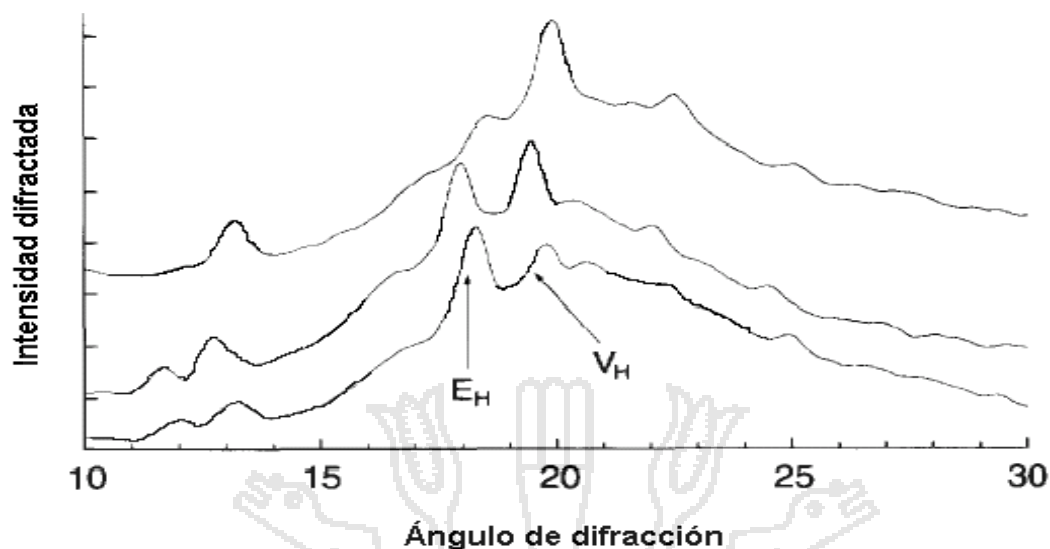


Figura 8. Difractogramas de transición de estructuras EH a VH (Soest y Vliegenthart, 1996).

Muchos estudios han reportado los cambios en las propiedades mecánicas de los films de almidón a diferentes tiempos de almacenamiento. Las propiedades de films de almidón extrudidas, combinando diferentes proporciones de amilosa y amilopectina, las cuales fueron almacenadas hasta 8 meses. Ellos encontraron que a pocos días de su elaboración, hubo un incremento en la hélice sencilla de amilosa y en la cristalinidad de tipo B, lo cual causó un rápido incremento en el módulo de Young junto con una reducción en el porcentaje de elongación (Soest y Vliegenthart, 1996).

La elongación de los films disminuye mientras que el esfuerzo de tensión aumenta, esto se debe a los cambios en el contenido de agua y temperatura de transición vítrea (T_g) y cristalinidad. Forssell . (1999) concluyen que los cambios en las propiedades mecánicas se deben a la reorientación y/o cristalización de las moléculas de amilosa y amilopectina. Las films elaboradas con amilopectina y glicerol, desarrollan un mayor grado de cristalinidad cuando se almacenan a mayor humedad relativa. Los films plastificados con 0, 10 o 30 % de glicerol mostraron un patrón de difracción de tipo B y no se observaron cambios en la cristalinidad durante dos meses de almacenamiento (a una humedad relativa de 54 y 91 % a temperatura ambiente). En moléculas de amilopectina no ocurrieron cambios; sin embargo, en películas con 30 % de

glicerol almacenadas a una humedad relativa del 91 % la cristalinidad aumento de 10 a 19 % en un mes (Standing, *et. al.*, 2001).

2.2.9. BIOPOLIMEROS

Los biopolimeros pueden ser obtenidos por extracción a partir de la biomasa (almidón, quitosano, gelatina, colágeno, gluten, zeina, sueros, ceras, etc.), por síntesis química a partir de monómeros obtenidos de la biomasa (ácido láctico y otros poliésteres), o bien producidos por microorganismos (celulosa bacteriana, polihidroxicanoatos, etc.). La gran ventaja de la utilización de estos materiales es que son naturales, biodegradables y, en muchas ocasiones, pueden ser extraídos de residuos o de subproductos de la industria agrícola o alimentaria. Es por ello que la ventaja es doble: el costo de la materia prima se abarata y, además se le da un calor añadido a un residuo o subproducto industrial. Actualmente, los biopolimeros obtenidos directamente de productos marinos (como carragenonatos, quitosano, etc.) o agrícola son los que están siendo objeto de estudio como material para films o recubrimientos de alimentos (Villada, *et. al.*, 2006).

2.2.9.1. Recubrimientos y Films

Se denomina recubrimientos cuando las disoluciones biopolimericas se aplican mediante baños, cepillos o espray directamente sobre el producto. Los recubrimientos comestibles se definen como productos comestibles que envuelven al producto, creando una barrera semipermeable a los gases (O₂ y CO₂) y al vapor de agua. Los films, en cambio son preformados inicialmente sobre un molde o placa y posteriormente se aplican secos en el alimento. Estos recubrimientos/films proporcionan una barrera adicional de protección al producto, ayudan a mantener la integridad estructural del producto que recubren, a retener compuestos volátiles, y también pueden llevar aditivos seguros desde el punto de vista alimentario. Las propiedades funcionales requeridas para el recubrimiento o films dependerán de la matriz alimenticia y del proceso de deterioro al que estas suele estar sujeta. Los films biopolimericos se pueden formar por dos métodos o técnicas diferentes: el método seco y el método húmedo. El proceso seco es el más interesante

desde el punto de vista industrial y están basados en las propiedades termoplásticas del biopolímero, es decir, en función a su temperatura vítrea. Los métodos más utilizados son la extrusión, moldeo por inyección y termo conformado. El método húmedo por el contrario o de dispersión líquida, está basado en la dispersión del polímero y en su solubilidad. Este método se basa en la formación de una película biopolimérica tras la evaporación de un disolvente y se conoce como el método “casting” o de vertido. Este último método es el utilizado para recubrimientos sobre alimentos y para la formación de films a escala de laboratorio (Idoia, 2008).

2.2.9.2. Films a base de Almidón

El almidón termoplástico (atp) se prepara por extrusión o por casting (vaciado) en presencia de glicerol o cualquier otro material plastificante. Diferentes propiedades mecánicas se obtienen dependiendo del contenido de glicerol y de la fuente botánica del almidón, el almidón alto en amilosa ha sido utilizado para formar películas termoplásticas más fuertes y resistentes que las que contienen almidón alto en amilopectina. La naturaleza hidrofílica del almidón termoplástico lo hace sensible a la humedad ambiental, y la presencia de un alto nivel de glicerol refuerza este comportamiento. Durante el almacenamiento, el almidón termoplástico hecho del almidón de papa tiene una tendencia a cambiar su estructura, llegando a ser más quebradizo. Los cambios observados en el almidón termoplástico fueron similares a la retrogradación de los geles de almidón normal, indicando que este proceso puede estar ligado a la cristalización de la amilopectina. (Forsell, *et. al.*, 1999).

En la formación de película de la amilosa y la amilopectina, se observó que la amilosa es un excelente formador de película, y con propiedades similares a las películas de celulosa. Las películas de amilosa y amilopectina han mostrado tener muy buenas propiedades barrera al oxígeno a humedades menores del 81 % se encontraron que después de remover las cadenas cortas del almidón de papa hidroxilado (GP 10, 15 y 20), se formaron películas de buena calidad. Estudios en películas de almidón preparadas por “casting” y plastificadas con glicerol han intentado dilucidar con más detalle los efectos de la estructura del almidón en la plastificación y sus propiedades. Se observó que las estructuras

de las películas de almidón fueron enteramente amorfas. Las películas de amilosa fueron cristalinas y la estructura de las películas de amilopectina dependió de las condiciones de preparación. Las películas secadas a 50 °C o arriba de esta temperatura fueron casi completamente amorfas. Cuando la temperatura de secado fue de 20 °C, la cantidad de cristalinidad tipo B detectada dependió de la humedad relativa durante el secado. La más alta humedad produjo la más alta cristalinidad (23 %) (Rindlav, *et. al.*, 2002).

2.2.9.3. Films elaborados a partir de proteínas

Las proteínas del gluten de trigo, aislado de soya y aislado de proteína de suero de leche son biomateriales empleados para la fabricación de películas. Cada tipo de proteína brinda distintas propiedades fisicoquímicas y mecánicas a las películas comestibles; la incorporación y liberación de sustancias activas dentro de las películas elaboradas a base de proteínas depende tanto de la clase de proteína con la que fue laborada la película, así como de la estructura molecular del compuesto activo. En la literatura se ha reportado que las películas elaboradas con proteínas adicionadas con agentes antimicrobianos pueden ampliar la vida de anaquel de alimentos como la carne fresca, pavo, productos cárnicos, productos de confitería y palomitas (Theivendran, *et. al.*, 2006).

2.2.9.4. Films Comestibles

Los recubrimientos y *films* han sido usados por muchas décadas para proteger a los alimentos del ataque microbiológico y para prevenir la pérdida de agua durante el almacenamiento. El gran interés que han mostrado los consumidores de esta generación por la calidad de los alimentos que están consumiendo ha intensificado la investigación en esta área. El desarrollo de envases sintéticos se justifica debido a su eficiencia para reducir la transferencia de masa entre el alimento y el medio donde se encuentra almacenado, para esto ha sido necesaria la determinación de la permeabilidad. El constante mejoramiento de los envases sintéticos, tales como la resina, celulosa y *films* plásticos, han permitido el uso del *composite* (copolímero) y/o

envases de *films* multilaminados, los que son capaces de reducir en forma selectiva la transferencia tanto de gases como de solutos (Debeufort, 1998).

Sin embargo, la conveniencia del uso de *films* plásticos no es universal. La combinación de envases sintéticos y comestibles fue propuesta para así incrementar la eficiencia en la preservación de la calidad de los alimentos en el envasado. Por otro lado, los envases comestibles no contaminan ya que están compuestos por sustancias biodegradables naturales. Por lo tanto, contribuyen a la protección del medio ambiente (Debeufort, 1998).

Los polisacáridos (almidón, carragenatos, pectina, quitosano), son capaces de formar una matriz estructural, algunos de estos también funcionan como plastificantes y en cuanto a la permeabilidad, las películas elaboradas con polisacáridos generalmente presentan buenas barreras a la humedad y propiedades mecánicas moderadas. Las proteínas (colágeno, gelatina, gluten de trigo, aislados proteicos de soya, proteínas de la leche), presentan barreras más débiles que los polisacáridos al vapor de agua pero por otro lado desarrollan muy buenas propiedades de barrera al oxígeno y propiedades mecánicas que son muy favorables para recubrir alimentos. Por último, los lípidos (acetoglicéridos, ceras, surfactantes) son de gran ayuda para proteger al alimento (Viroben, *et. al.*, 2000).

Algunos pocos estudios recientes se han enfocado en optimizar las condiciones bajo las cuales se elaboran los *films* para así mejorar sus propiedades mecánicas (deformación, resistencia a la ruptura, adhesividad) y de barrera. Para las aplicaciones tanto de envasado como de recubrimiento, el control de la permeabilidad al agua y al gas (oxígeno y dióxido de carbono) ha sido una característica que tiene mucha influencia en la estabilidad de los alimentos durante el almacenamiento (Viroben, *et. al.*, 2000).

Siendo las recién mencionadas unas de las principales propiedades con las que debe cumplir un *film* o recubrimiento, existen otras características funcionales de suma importancia con las que también debiera cumplir este tipo de envase tales como; características sensoriales aceptables, estabilidad

microbiológica, bioquímica y fisicoquímica adecuadas, que sea inocua, que sea un buen medio para la adición de distintos aditivos (antioxidantes, saborizantes, colorantes) si fuese necesario. Y en lo técnico-económico, que las materias primas sean de bajo costo y que su tecnología de elaboración sea simple, entre otros.

Como ya se sabe, los materiales elaborados en base a quitosano, pueden ser utilizados en la elaboración de *films* comestibles debido a su propiedad única de aumentar significativamente su viscosidad a medida que se va hidratando. Además, los *films* de quitosano son firmes, elásticos, flexibles y muy difíciles de romper. La mayoría de las propiedades mecánicas son comparables a aquellas correspondientes a muchos de los polímeros comerciales de fuerza media.

Se ha demostrado que los *films* de quitosano tienen una permeabilidad moderada al vapor de agua y ayuda a incrementar la vida útil de productos alimenticios frescos que tienen una alta actividad de agua (*aw*) (Kalichepovsky, *et. al.*, 1992).

En cuanto a los *films* comestibles elaborados en base a proteínas de la quínoa, no existen estudios, pero se espera que sean un aporte en la elaboración de *films* comestibles ya que películas hechas con proteínas enriquecidas con globulinas principalmente del tipo 11S como las que posee la quínoa, estabilizadas por puentes disulfuro, permite que las proteínas, al momento de evaporar el solvente polimericen y formen películas con mejores propiedades mecánicas debido a los enlaces covalentes de mayor energía que se pueden establecer en este tipo de proteínas al aplicar temperatura y permitir su polimerización (Shulman, *et. al.*, 1995).

2.2.10. VENTAJAS POTENCIALES DE LAS PELÍCULAS HECHAS A BASE DE ALMIDÓN

Las películas a base de almidón pueden ser usadas para extender la vida de anaquel de mariscos o productos cárnicos por prevención de la rancidez oxidativa y el oscurecimiento superficial. Su aplicación en el campo de la

agricultura ha llegado a ser popular durante los últimos años debido a su capacidad para modificar las atmósferas internas del empaque que las contiene. Las cubiertas de frutas y vegetales frescos, basadas en ceras o aceites, han sido restringidas a aplicaciones para reducir la pérdida de humedad. Numerosos estudios, sin embargo, han reportado la presencia de olores como resultado de la sobre modificación de las atmósferas internas en frutas o vegetales cubiertos con ceras o aceites, las películas han sido mejores no solo para evitar la pérdida de humedad sino también para controlar su velocidad de respiración. La capacidad de los polisacáridos de ser solubles en agua para reducir los niveles de O_2 y el incremento de CO_2 en atmósferas internas reduce las velocidades de respiración, de este modo se prolonga la vida de anaquel de frutas y vegetales en una manera análoga a las atmósferas controladas. Existe evidencia suficiente para establecer los efectos benéficos de las cubiertas y películas en la producción agrícola, entre las cuales están:

- Mejora de la retención de sabores, ácidos, azúcares, la textura y el color
- Incremento de la estabilidad durante el transporte y el almacenamiento al disminuir la velocidad de respiración.
- Mejora de la apariencia, y reducción de la contaminación.

La facilidad con la cual las propiedades de permeabilidad pueden ser manipuladas reducen los cambios con los cuales ocurrirán las condiciones de anaerobiosis. Los aditivos alimenticios tales como las resinas, los plastificantes, aceites, ceras, y emulsificantes pueden ser agregados para proveer a la película una mayor resistencia a la humedad ambiental o el que no sea permeable, proporcionando una cubierta específica a frutas y vegetales para permitir la permeabilidad apropiada, mientras proveen brillo y reducen la pérdida de humedad. (Krochta, *et. al.*, 1994).

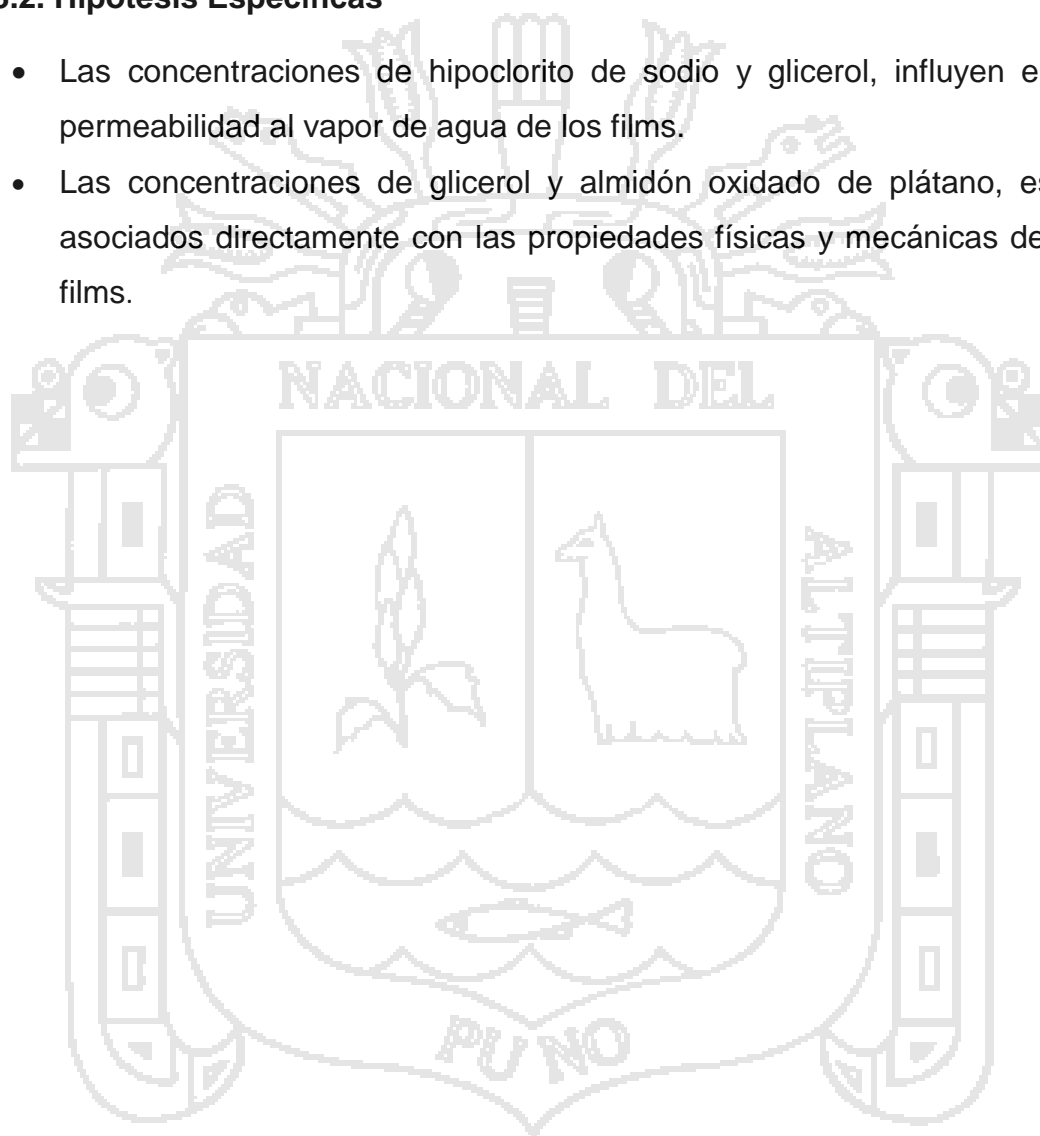
2.3. HIPÓTESIS

2.3.1. Hipótesis general

Las propiedades físicas y mecánicas de *films* obtenidos a partir de almidón oxidado de plátano (*Musa paradisiaca*) variedad *inguri*, están influenciadas por el hipoclorito de sodio y glicerol.

2.3.2. Hipótesis Específicas

- Las concentraciones de hipoclorito de sodio y glicerol, influyen en la permeabilidad al vapor de agua de los *films*.
- Las concentraciones de glicerol y almidón oxidado de plátano, están asociados directamente con las propiedades físicas y mecánicas de los *films*.



CAPITULO III

LAGAR DE EJECUCION DEL PROYECTO DE INVESTIGACION

El presente trabajo de investigación se ha desarrollado durante los meses de Mayo a Noviembre del año 2010, se llevó a cabo en la Universidad Nacional del Altiplano en la Facultad de Ciencias Agrarias en los laboratorios de microbiología y análisis nutricional de la escuela profesional de Ingeniería Agroindustrial.

3.1 MATERIALES Y METODOS DE INVESTIGACION

3.1.1 MATERIALES

3.1.2 Materia Prima

Se utilizó como materia prima plátano de la variedad Inguiri procedente del Distrito de San Pedro Putina Punco Provincia de Sandía, Región Puno.

3.1.3 Insumos y reactivos

- Almidón oxidado de plátano variedad Inguiri
- Metabisulfito 0.3% (p/v)
- Bisulfito de sodio 90-100% pureza
- Ácido sulfúrico 1N
- Hipoclorito de sodio
- Glicerol 95% de pureza
- NaOH 2N

3.1.4 Equipos

- Estufa MEMMERT universal 30-120°C modelo TV- 40
- Termómetro de 0- 100°C marca Pírex
- Balanza analítica y precisión marca AND FR- 300 Japón, capacidad de 0.0001 a 310g.
- Micrómetro starret

- pH – metro digital
- licuadora marca Oster cap. 1L.
- Cocinilla eléctrica

3.1.5 Materiales de Laboratorio

- Placas Petri marca Pírex
- Probeta marca pirex Cap. 50ml.
- Fiolas 500 ml marca pirex
- Pipetas 10ml marca Pírex
- Erlenmeyer de 50ml marca Pírex
- Vasos precipitados de 50ml marca Pírex
- Papel filtro
- Campana de desecación
- Embudo

3.2 METODOS

Los métodos que utilizados en el presente trabajo de investigación son descritos a continuación.

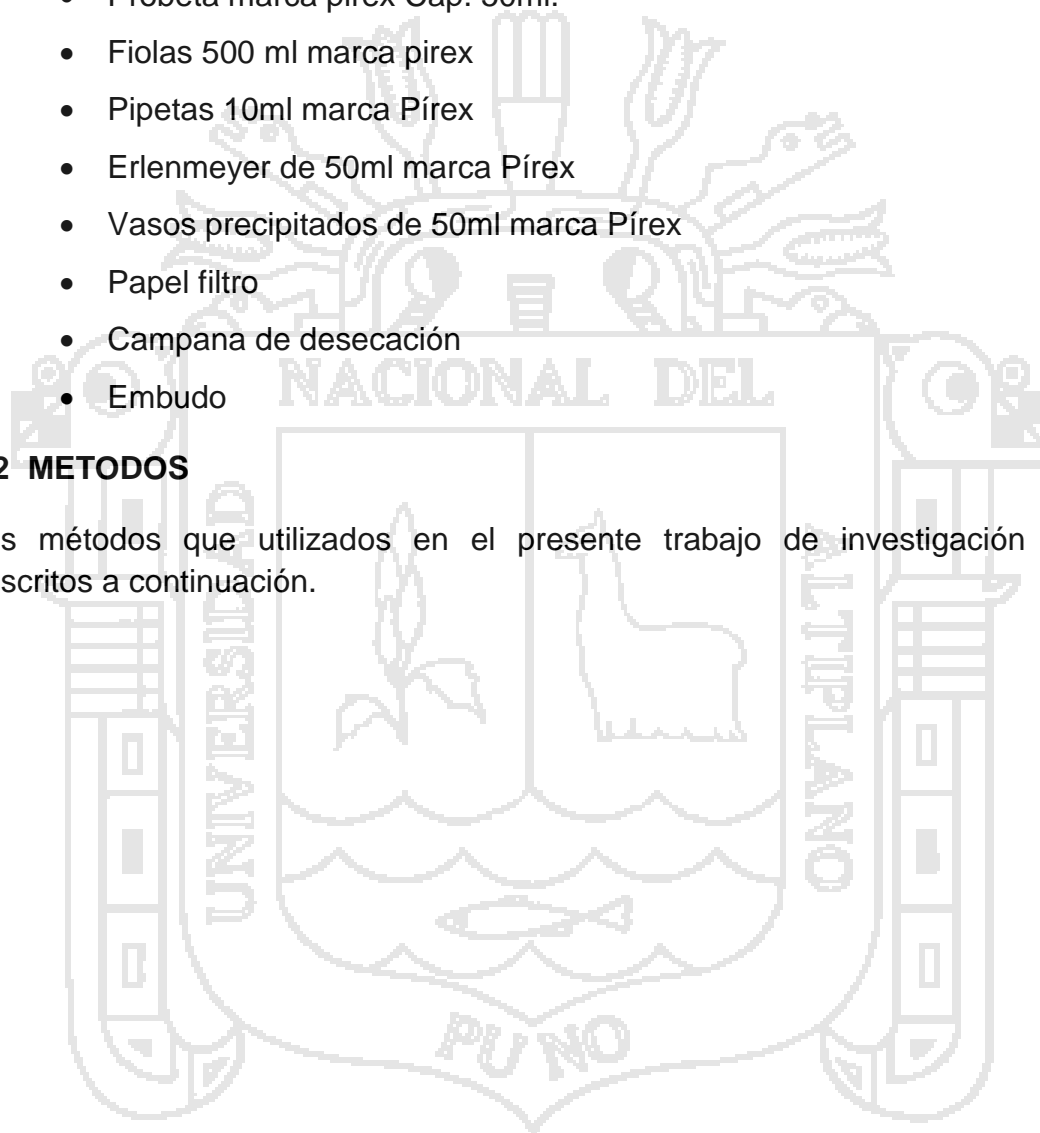
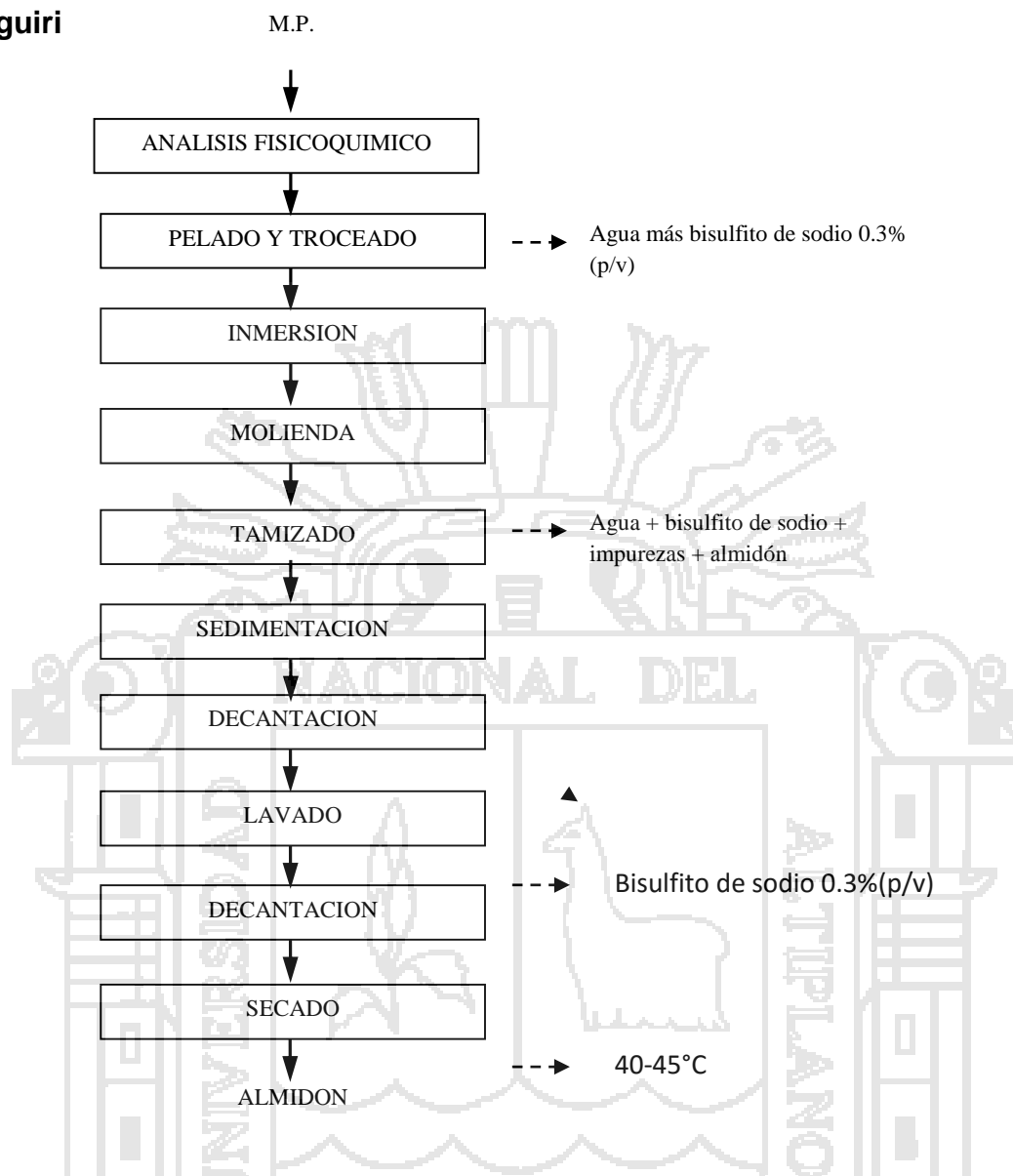


Figura 09: Diagrama de flujo de obtención de almidón de plátano variedad inguiri



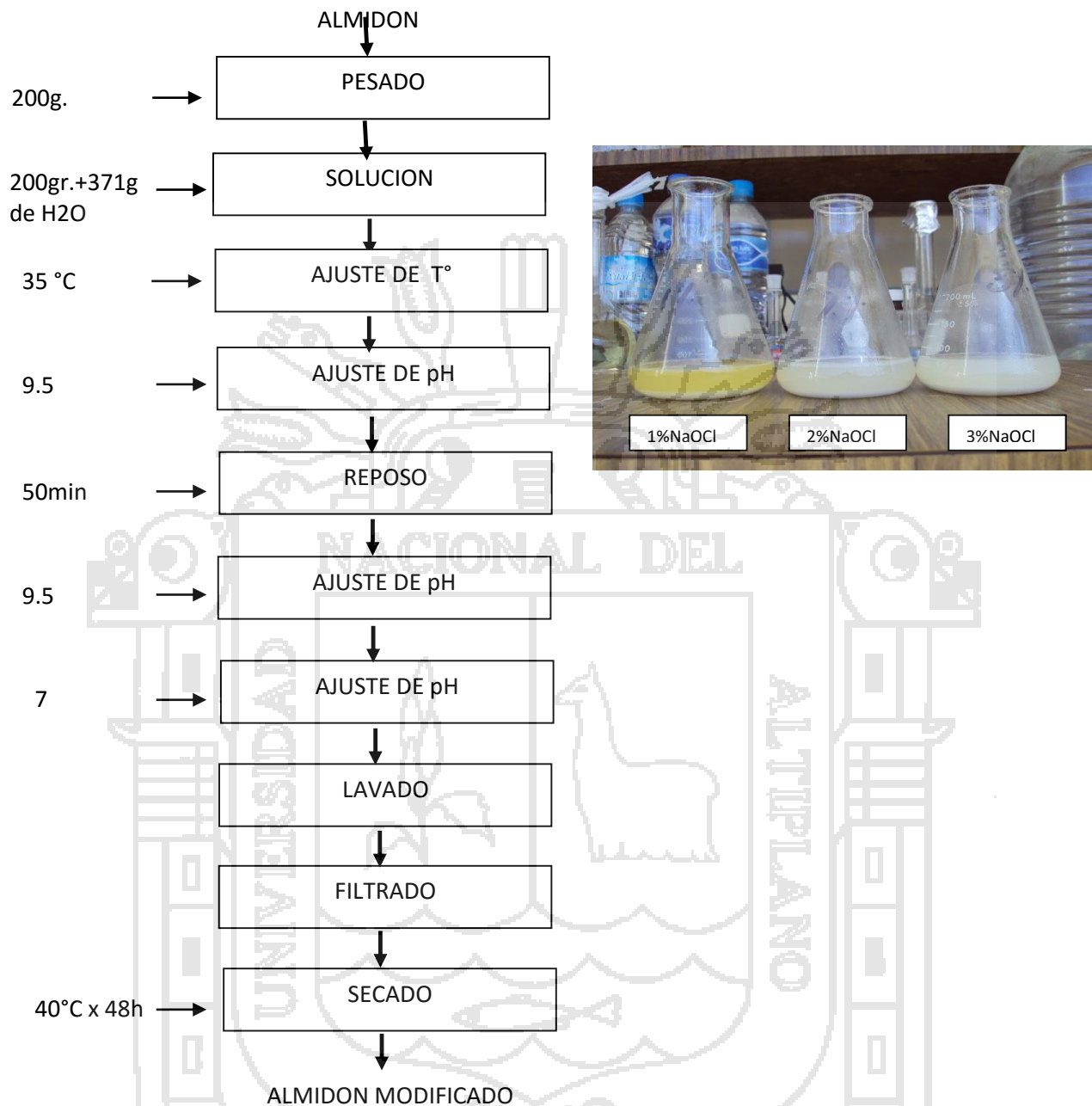
Fuente: Gorosquera, *et. al.*, 2004

3.2.1 Descripción del proceso de obtención de almidón

- **Materia prima:** Se utilizó plátanos en estado fisiológico verde de la variedad inguiri previa selección.
- **Pelado y troceado:** La materia prima es pelado y troceado en cubos para su mejor molienda para la obtención de almidón.
- **Molienda:** Previamente troceado de los plátanos para facilitar la molienda en el extractor, obteniéndose una pulpa, la cantidad de agua utilizada está en función de la adición o no de bisulfito de sodio al agua de lavado.

- Inmersión: A la pulpa obtenida se le agrega agua en proporción 2:1 (plátano: agua), para facilitar la extracción del almidón liberado.
- Tamizado: El producto en suspensión es tamizado a través de tamices para separar las partículas grandes, colectándose la lechada del almidón a la que se adiciona bisulfito de sodio al 0.3% p/v, en proporción de aproximada de uno entre dos (agua sulfatada: pulpa), con la finalidad de inactivar enzimas presentes obtener un producto de mejor calidad.
- Sedimentación: La suspensión se deja en reposo por un tiempo mínimo de 10 minutos (siendo el tiempo más prolongado) para permitir la separación del almidón del agua de inmersión y obtener mayor rendimiento de almidón.
- Decantación: Se procede a decantar cuidadosamente, eliminando el agua sobrenadante que contiene agua proteínica, impurezas, partículas de fibra o celulosa y algo de almidón.
- Lavado: Esta operación es importante para lograr un producto final lo más blanco posible, se realiza el lavado con agua sulfatada repitiendo esta operación dos veces, entre lavado y lavado se realiza un filtrado por tamices.
- Decantación: Se obtiene luego de la sedimentación final, un almidón purificado con un contenido de humedad más o menos del 50%.
- Secado: Obtenido el almidón húmedo se procede a realizar el secado a 40-45 °C por un espacio de tres o cuatro horas.

Fig. 10 Diagrama de flujo de obtención de almidón modificado

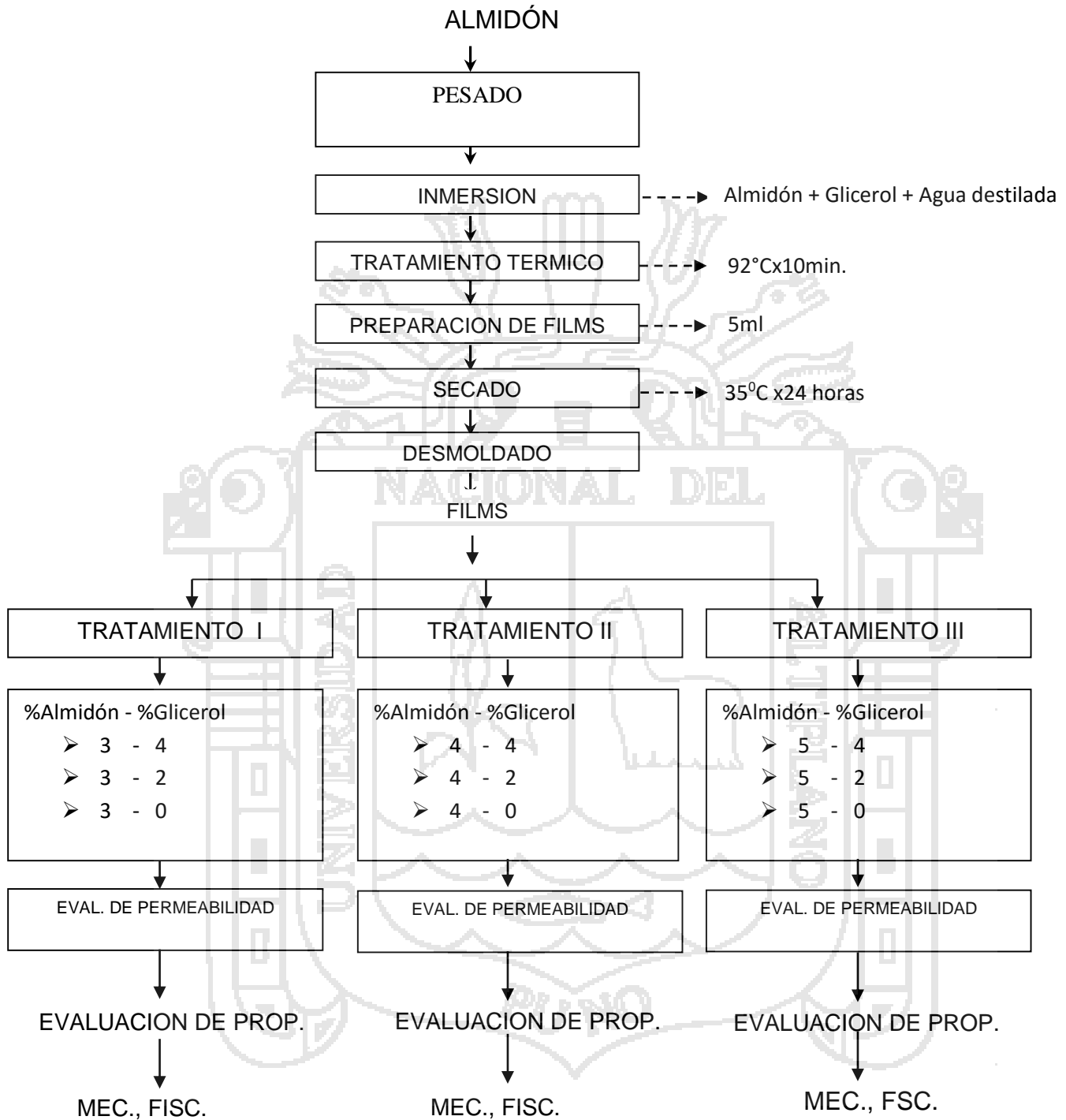
FUENTE: Wang, *et. al.*, 2003

3.2.2 Descripción del proceso de obtención de almidón modificado

- Modificación del almidón: El almidón nativo de plátano, se sometió a un proceso de oxidación con hipoclorito de sodio (NaOCl) a tres diferentes concentraciones de cloro activo (1, 2 y 3% p/v) utilizando el

procedimiento reportado por (Wang, *et. al.*, 2003) en base a 0.5 % de cloro activo. Se pesaron 200 g de almidón en base seca en un vaso de 2 L, y se agregaron 371 g de agua destilada para tener un peso final de 571 g. Esta dispersión se mantuvo a una temperatura de 35 °C y se ajustó a un pH de 9.5 con NaOH 2N. Se adicionaron lentamente 100 mL de hipoclorito de sodio a una concentración de cloro activo de 0.5% p/v en 30 min, en los cuales se mantuvo el pH 9.5 con H₂SO₄ 1 N. Después de la adición del hipoclorito de sodio se mantuvo a un pH 9.5 con la adición de 1 N de NaOH en los próximos 50 min. La mezcla fue ajustada a un pH 7 con H₂SO₄ N, se filtró por succión con un filtro Buchner (con un papel Whatman # 4), y se lavó con agua desionizada para después secarse en una estufa a 40 °C por 48 h. Cuando se secó el almidón, este se molió en un molino mecánico y se tamizó en malla No. 100 (0.15 mm) para homogeneizar el tamaño de partícula y se guardó para su posterior análisis. El mismo procedimiento fue aplicado al almidón nativo utilizando el hipoclorito de sodio a las concentraciones de cloro activo de 1, 2 y 3 % p/v, obteniéndose 3 almidones oxidados (a las concentraciones de 1, 2, 3% p/v de cloro activo).

Figura 11: Diagrama de flujo de obtención de films de almidón oxidado de plátano variedad Inguiri



Fuente: Elaboración propia

3.2.3 Descripción de la obtención de films biodegradables de almidón oxidado de plátano.

- Pesado: Operación consistente el pesado del almidón oxidado para su posterior inmersión
- Inmersión: Consiste en la preparación de la solución de diferentes concentraciones de almidón, glicerol (5, 4, 3%A p/p y 4, 2, 0%G p/p) y agua para la obtención de los films.
- Tratamiento térmico: Se realizó a un rango de 56 - 92°C hasta lograr la solubilidad del almidón para la formación de films
- Preparación de films: Se preparó en cajas petri de 8.5cm de diámetro, bien limpias y secas colocando 5ml de suspensión de almidón.
- Desmoldado: Consiste en retirar los films una vez que estén formados en las placas petri.
- Secado: Esta operación se realiza a temperatura ambiente 35°C por 24 horas.

3.3 METODOS DE ANALISIS

3.3.1 ANALISIS FISICOQUIMICO DE LA MATERIA PRIMA

Análisis físico químico de la materia prima: Se determinó de acuerdo a la técnica descrito por: (Matissek, *et. al.*, 1998).

- **Determinación de grasa total**

Procedimiento: Pesar 50g de muestra triturada y colocar dentro de un balón de 500ml, adicionar suficiente solución de HCL 6N para cubrir la muestra, conectar al condensador y someter a destilación por reflujo durante dos horas, trabar bajo una campana extractora, filtrar en un embudo buchner sobre un erlenmeyer y lavar el embudo con una solución metanol bajo una campana extractora, filtrar a un embudo de separación y extraer con éter (utilizar aprox. 50ml de éter), la fase acuosa se vuelve a extraer dos veces más, lavar el extracto de éter con agua destilada hasta que quede libre de ácido (usar papel indicador de pH), tomar un balón de 100ml, determinar su peso seco y, dentro de este balón, evaporar el solvente hasta sequedad en el evaporador rotatorio,

dejar el balón conteniendo la grasa en un desecador por 24 horas, pesar y evaluar el porcentaje de grasa total

- **Determinación de proteína total**

Procedimiento: Pesar 0.3g de muestra, luego agregar 1g de catalizador de oxígeno para acelerar la reacción. Limpiar con un poco de agua el cuello del balón de digestión, a agregar 2.5ml de ácido sulfúrico concentrado y colocar el balón en la cocina de digestión. La digestión termina cuando el contenido del balón es completamente cristalino, colocar la muestra digerida en el aparato de destilación, agregar 5ml de NaHO concentrado e inmediatamente al vapor para que se produzca la destilación. Conectar el refrigerante y recibir el destilado en un erlenmeyer conteniendo 5ml de la mezcla de ácido bórico más indicador de pH. La destilación termina cuando ya no pasa más amoníaco y hay viraje del indicador, luego se procede a la titulación con HCL valorado 0.05N anotar el gasto.

CALCULOS:

La cantidad de nitrógeno de la muestra se obtiene por la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Nitrógeno} = \frac{MI \text{ HCL} \times N \times meq \text{ N}}{g \text{ de muestra}} \times 100$$

Para obtener la cantidad de proteína bruta, se multiplica por el factor de correspondiente.

Dónde:

N= normalidad del HCL

meq= mili equivalente del nitrógeno

- **Determinación de ceniza total**

Procedimiento: Pesar 2 a 5g de muestra solida o tomar 25ml de muestra liquida en capsula de evaporación de platino o porcelana perfectamente desecada, carbonizar sobre llama de mechero bunsen, incinerar a 550-570°C. Esta temperatura aproximadamente se alcanza al aparecer en el interior del

horno de mufla un color rojo oscuro, pasada una hora retirar la capsula y colocar en un desecador para que se enfié. Pesar, incinerar durante otros 15 minutos y volver a pesar después de enfriar repetir si se observa una disminución de peso significativo.

CALCULOS: % de ceniz:
$$\frac{\text{Peso de ceniza}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS

3.4.1 DE LOS CONTROLES

3.4.1.1 Elongación: se determinó de acuerdo a la metodología descrita por: (Alvarado, *et. al.*, 2005) menciona que se entiende como fuerza de tensión la resistencia a la ruptura de una película o material plástico cuando este es sometido a un esfuerzo ejercido para alargar el material. Muchos materiales son capaces de alargarse cuando son sometidos a esfuerzos de tracción entre sus dos extremos. Esta propiedad se conoce con el nombre de elongación a la ruptura. Este ensayo esta normalizado según las normas ASTM D 1709 y ASTM D 3420.

$$\frac{L}{L_0} \times 100 = \% \text{ elongation}$$

Dónde:

L= longitud final

L₀= longitud inicial

3.4.1.2 Permeabilidad al vapor de agua: La determinación de la permeabilidad al vapor de agua se realizo de acuerdo a la técnica recomendada por: (Coloma, 2005).

Procedimiento:

- Colocar el silicagel seco en las bases de la placa petri, de modo que se forme una capa delgada y uniforme. Enseguida tape las placas petri. Codificar base y tapa de las placas petri.
- Registrar el peso de las placas petri más silicagel seco más tapa de cada una de las placas petri.
- Colocar agua destilada en la base de las campanas de vacío, colocar las tapas, las cuales previamente deben haber sido untadas con silicona o vaselina.
- Con sumo cuidado destapar las placas petri, colocar encima el empaque. Determinar el área del círculo.
- Colocar estas muestras en las campanas de vacío, colocar el termómetro en el interior para el registro de la temperatura.
- Después de 24 horas, retirar el empaque, colocar las tapas de las placas petri y registrar el peso con la ayuda de la balanza analítica.

$$P_M = \frac{(Cantidad\ de\ gas\ o\ vapor)\ (Espesor)}{(Área)(Tiempo\ Cantidad)(Diferencia\ de\ presión)}$$

3.4.1.3 Gramaje: se determinó con la metodología propuesta por: (Espinoza, *et. al.*, 2003) se determina el peso de una determinada área de cada films muestra para luego aplicar la fórmula propuesta:

$$G = 10000 \frac{P}{A}$$

Dónde:

G= Gramaje (g/m²)

P= Peso medio (g)

A= Área de la muestra (cm²)

Procedimiento:

- Cortar 4 muestras de 100cm² a partir de aproximadamente de 2.5cm de los bordes y transversalmente a la longitud de la bobina

previamente acondicionada. Las dimensiones deberán precisión de 0.5mm.

- Pesar cada muestra con aproximación de 1.0mg. calcular el valor medio de cuatro pesadas y expresar el resultado en g/m^2 .

3.4.1.4 Espesor (mm): se realizó con la finalidad de conocer por lectura directa el espesor de la superficie del films. Que consiste en realizar lectura directa del espesor del films a través del equipo denominado micrómetro. (Casey, 1990).

3.3.1.5 Densidad (g/m^3): para la densidad se realizó a través del método propuesta por Casey (1990), el procedimiento consiste en pesar el films, y calcular el volumen el cual se multiplica el espesor del films por el área de la superficie. Se utilizara la siguiente formula.

$$Densidad = \frac{Peso}{Volumen}$$

3.5 DISEÑO EXPERIMENTAL

El experimento para el primer objetivo se estableció bajo un diseño central compuesto rotable (DCCR) de dos factores al realizar el análisis de varianza y encontrar la diferencias significativas, se aplicó la prueba de comparación de medias a través de pruebas de Tukey (0.05).

CUADRO 1: Variables en Estudio

FACTOR	NIVEL CODIFICADO	DENOMINACION
NaOCL	3%	Nivel máximo
	2%	Nivel medio
	1%	Nivel mínimo
GLICEROL	4%	Nivel máximo
	2%	Nivel medio
	0%	Nivel mínimo

Fuente: Elaboración Propia

El segundo objetivo se estableció bajo un diseño completo al azar (DCA) con arreglo factorial 3Ax3G resultando 9 tratamientos, cada uno con tres repeticiones dando 27 observaciones al realizar el análisis de varianza y encontrar la diferencias significativas, se aplicara la prueba de comparación de medias a través de pruebas student (0.05). Donde emplearemos el siguiente modelo lineal aditivo:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

DONDE:

Y_{ijk} = Es la variable respuesta de la K-ésima observación bajo el j-ésimo nivel de factor G (glicerol), sujeto al i-ésimo nivel de tratamiento A (almidón).

μ = Constante media de la población a la cual pertenecen las observaciones,

α_i = Efecto del i-ésimo nivel del factor A.

β_j = Efecto del j-ésimo nivel del factor G.

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Efecto de la interacción del i-ésimo nivel del factor A, en el j-ésimo nivel del factor G.

ε_{ijk} = Efecto del error experimental, que está distribuido como $\varepsilon_{ijk} \sim \text{DNI}(0, \sigma^2)$

$i = 5, 4, 3, \dots, p$ (Niveles de factor A)

$j = 4, 2, 0, \dots, q$ (Niveles de factor G)

$k = 1, 2, \dots, r$ (repeticiones).

3.6 VARIABLES DE RESPUESTA

- Permeabilidad al vapor de agua
- Elongación
- Gramaje
- Espesor
- Densidad

CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

DE LA MATERIA PRIMA

4.1 COMPOSICION FISICO QUIMICA DEL PLATANO VARIEDAD INGUIRI



Figura N° 12: Plátano Inguiri

En el siguiente Cuadro 2 se presenta los resultados de la composición fisicoquímica del plátano Inguiri en estado fisiológico verde

Cuadro 2: Resultados de Análisis Físico Químico del plátano inguiri

ENSAYOS	RESULTADOS
MATERIA SECA	71.89%
CENIZAS	0.81%
PROTEINA	1.32%
GRASA	0.28%
FIBRA	2.03%
CARBOHIDRATOS %	23.67%

Según el Cuadro 2 la composición físico química del plátano variedad inguiri, en estado fisiológico inmaduro (verde) está conformado de 71. 89% de materia

seca, 0.81% de cenizas, 1.32% de proteína, 0.28% de grasa, 2.03% de fibra y 23.67% de carbohidratos.

Tobin y Muller, (1998), reporto la composición del plátano macho en estado inmaduro (verde) está conformado de 1% de proteína, 0.3-0.5% de grasa, 20-30% de carbohidratos totales, 0.5% de fibra, 3-5% de fibra y 1% de cenizas. De acuerdo a los resultados mostrados la composición físico químico del plátano Inguiri se encuentran cercanos a los resultados reportados a la composición físico químico del plátano macho.

4.2 EFECTO DE LA CONCENTRACION DE HIPOCLORITO DE SODIO (NaOCl) Y GLICEROL EN LA PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA DE LOS FILMS BIODEGRADABLES.

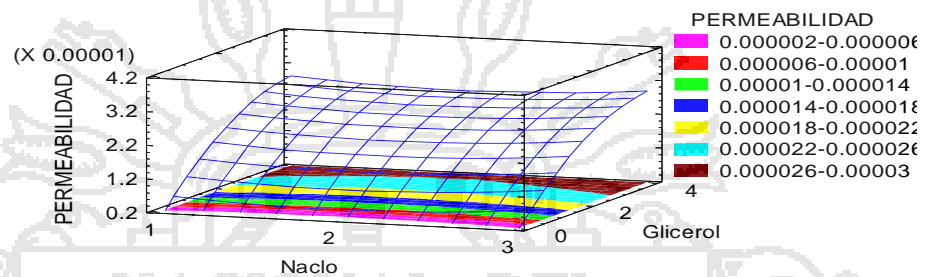
Cuadro 03: Análisis de varianza para evaluar la concentración de NaOCl y glicerol sobre la permeabilidad al vapor de agua de los films biodegradables

F. DE V.	S.C.	GL	CM	Fc	F _{t0.05}	SIG.
A	3.52907E-12	1	3.52907E-12	1.05	4.161	N.S.
B	3.8184E-9	1	3.8184E-9	1135.91	4.161	**
AA	9.18121E-11	1	9.18121E-11	27.31	4.161	**
AB	1.78315E-13	1	1.78315E-13	0.05	4.161	N.S.
BB	4.86456E-10	1	4.86456E-10	144.71	4.161	**
BLOQUES	5.01852E-13	2	2.50926E-13	0.07	3.311	N.S.
ERROR	1.04208E-10	31	3.36154E-12			
TOTAL		38				

C.V= 10.01

En el Cuadro 03, se encontró diferencias estadísticas altamente significativas ($P \leq 0.01$) para el efecto principal del factor glicerol en sus diferentes niveles en estudio, mientras que el factor hipoclorito de sodio (NaOCl), y la interacción (AB) no presento diferencia significativa, esto implica que los factores en estudio son independientes uno del otro. Para el efecto principal significativo.

Figura 13. Estimación de superficie de respuesta de Permeabilidad



En la Figura 13 observamos el comportamiento de las concentraciones de NaOCl y las concentraciones de Glicerol con respecto a la Permeabilidad al vapor de agua, en el cual observamos un comportamiento gradual de la permeabilidad con respecto a Glicerol, sin embargo con respecto a la concentración de NaOCl se observa constante la permeabilidad.

Cuadro 04: Prueba de comparaciones múltiples de Tukey para permeabilidad según glicerol

Metodo: 95.0 porcentaje HSD de Tukey			
GLICEROL	Frec.	Media	Nivel de Significancia
0	9	0.0	a
2	21	0.0000199895	b
4	6	0.0000274323	c

En el Cuadro 04 observamos el procedimiento de comparación múltiple de medias, de films en la cual las concentraciones de 4%(0.0000274323) de glicerol superan estadísticamente en Permeabilidad al vapor de agua (PVA) comparado a los films que poseen 2%(0.0000199895) de concentración de glicerol siendo el de 4% con mayor permeabilidad. Los films con 0% de glicerol no se realizó el análisis PVA por su carácter quebradiza. Estos resultados

podrían estar relacionados con la estructura modificada en la red del almidón por el glicerol y el carácter hidrofílico, el cual favorece la absorción de moléculas de agua, los plastificantes son efectivos debido a su habilidad para reducir los enlaces de hidrogeno internos, mientras se incrementa el espacio intermolecular.

Mali (2002), Expresa que la fuente de almidón también influye en la permeabilidad al vapor de agua, ya que se reporta en films elaborados a partir de almidón de maíz, yuca y camote dulce que al incrementarse el contenido de glicerol hubo un mayor aumento de permeabilidad al vapor de agua de los films elaborados de camote dulce en comparación con las demás fuentes. Esta fuente coincide con los resultados obtenidos según el Cuadro 4, a medida que se incrementa la concentración de glicerol en los films la permeabilidad al vapor de agua también va incrementándose gradualmente. Otra propiedad de los plastificantes es que tienden a atraer moléculas de agua porque se visto que los films plastificados con glicerol tiene un mayor contenido de humedad en comparación con films no plastificadas, se demostró que el glicerol favorece la absorción y desorción de agua en films de almidón de camote dulce, además favorece a la permeabilidad al vapor de agua (PVA).

Zamudio (2005), afirma en su estudio de comparación de permeabilidad al vapor de agua de los films de almidón nativo de plátano macho a diferentes tiempos de almacenamiento. Que los films elaborada con almidón nativo, agua y glicerol (AAG) presentó un valor de PVA de 3.884×10^{-10} g/m s Pa, determinado a los 30 días después de su elaboración, este valor no fue significativo con la determinación realizada a los 60 días después de haber sido elaborada esta película. La determinación de PVA realizada a los 90 día fue de 2.333×10^{-10} g/m s Pa, la cual es estadísticamente significativa con la determinación realizada a los 30 y 60 días, estos reportes se encuentran dentro del rango que se obtuvo de PVA de los films hechas a base de almidón oxidado de plátano variedad inguiri las cuales son de 1.09×10^{-9} a 8.19×10^{-10} g/m s Pa. En un estudio realizado por Mali, (2002) con películas hechas a base de almidón de yam (*Dioscorea alata*) empleando una concentración de almidón de 4 % p/p y plastificadas con glicerol a una concentración de 2 % p/p, ellos encontraron que la PVA de estas películas no cambió con el tiempo de

almacenamiento determinado a los 90 días después de haber sido realizadas estas películas, bajo las condiciones de almacenamiento de 20 °C y 65 % de humedad relativa (HR), estos valores fueron de 1.810 y de 1.800×10^{-10} g/m s Pa, para la evaluación realizada a las películas recién elaboradas y para la determinación en las películas a los 90 días después de su elaboración, respectivamente.

4.3 EFECTO DE LAS CONCENTRACIONES DE ALMIDON OXIDADO Y GLICEROL EN LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE LOS FILMS

4.3.1 EFECTO DE ALMIDON OXIDADO Y GLICEROL EN LA ELONGACION

Cuadro 05: Análisis de la Varianza para evaluar el efecto de las concentraciones de almidón oxidado y glicerol en la elongación de los films.

F. DE V.	S.C.	GL	CM	Fc	Ft _{0.05}	Sig.
A	48.93	2	24.46	166.34	3.63	**
B	2903.75	2	1451.87	9872.02	3.63	**
AB	50.29	4	12.57	85.48	3.01	**
BLOQUES	0.57	2	0.29	1.95	3.63	
ERROR	2.35	16	0.15			
TOTAL	3256.63	26				

C.V=1.99

En el Cuadro 05, se encontró diferencias altamente significativa ($P \leq 0.01$) para el efecto principal del factor almidón en sus diversos niveles de estudio y para el efecto principal de factor glicerol en sus diferentes niveles, con respecto a la interacción también presenta diferencia altamente significativas, esto implica que los factores en estudio son independientes.

Cuadro 06: Pruebas de comparaciones múltiples de Tukey para elongación según glicerol

Metodo: 95.0 porcentaje HSD de Tukey			
GLICEROL	Frec.	Media	Nivel de Significancia
0	9	4.76616	a
4	9	25.7192	b
2	9	27.6799	b

El Cuadro 06, presenta en comparación múltiple de Tukey para determinar las medias según glicerol. Se observa que las concentraciones de 2%(27.6799) y 4%(25.7192) de glicerol en los films superan estadísticamente en comparación a la concentración de 0%(4.76616) de glicerol en el porcentaje de elongación existiendo diferencias estadísticamente significativas, resultando con una mejor elongación los films de 2% de Glicerol.

El aumento en el porcentaje de elongación es debido al glicerol, el cual actúa como plastificante ya que interfiere con el arreglo de las cadenas del polímero y con los enlaces de hidrogeno, además de que disminuye la interacción del polímero y la cohesividad afectando la cristalinidad y la flexibilidad.

Cuadro 07: Pruebas de comparaciones múltiples de Tukey para elongación según almidón

Metodo: 95.0 porcentaje HSD de Tukey			
ALMIDON	Frec.	Media	Nivel de significancia
3	9	18.3164	a
4	9	18.562	a
5	9	21.2869	b

En el Cuadro 07 de comparación múltiple de Tukey, observamos que con concentraciones de 3%(18.3164) y 4%(18.562) de almidón en los films no existen diferencias significativa considerándose como grupos homogéneos, sin embargo frente a la comparación a una concentración de 5%(21.2869) de

almidón presenta diferencia significativa. En tanto el films con 5% de almidón posee mayor porcentaje de elongación.

El porcentaje de elongación encontrado fue de un rango de 2.74% - 36.33% para films echas a base de almidón oxidado de plátano variedad inguiri, Zamudio (2005) reporta el porcentaje de elongación del 37.38 % para la films elaborada con almidón nativo de platano, agua y glicerol, y del 12.66 % para la película que se elaboró con almidón nativo, agua, glicerol y aceite de girasol. También se reportaron valores del porcentaje de elongación del 20 al 5 % para películas elaboradas con almidón de arroz plastificadas con 30 y 20 % (p/p) de glicerol, respectivamente, las elongaciones obtenidas se encuentran dentro del rango de estas investigaciones anteriormente descritas.

Banker (1996), afirma que en la elaboración de films, un plastificante conduce a una disminución de las fuerzas intermoleculares a lo largo de las cadenas poliméricas, aumentando su flexibilidad y disminuyendo la fragilidad de la misma. A una mayor proporción de glicerol/almidón, la movilidad de las cadenas de almidón aumentan y las moléculas de glicerol debilitan los puentes de hidrogeno. Si la temperatura de transición vítrea T_g se baja a una temperatura de ambiente al ser aplicado un esfuerzo en los films, la elongación de las películas puede aumentar.

4.3.2 EFECTO DE LAS CONCENTRACIONES DE ALMIDON OXIDADO Y GLICEROL EN EL GRAMAJE DE LOS FILMS

Cuadro 08: Análisis de la Varianza para evaluar el efecto de las concentraciones de almidón y glicerol en el gramaje de los films

F. DE V.	S.C.	GL	CM	Fc	Ft _{0.05}	SIG.
A: Almidón	458.9	2	229.4	30.21	3.63	**
B: Glicerol	33722.8	2	16861.4	2220.23	3.63	**
AB	6742.4	4	1685.6	221.95	3.01	**
BLOQUES	10.9	2	5.5	0.72	3.63	N.S.
ERROR	121.5	16	7.6			
TOTAL	41056.5	26				

C.V= 2.86

En el Cuadro 08, se encontró diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) para el efecto principal del factor almidón en sus diferentes niveles de estudio, para el efecto principal de factor glicerol en sus diferentes niveles y la interacción, esto implica que son independientes entre sí para categorizar las diferencias significativas prueba de Tukey de comparación de medias mostrado en el Cuadro 09, se observa que entre las diferentes concentraciones de almidón existe diferencia significativa. El films con una concentración de 3%(101.797) de almidón muestra mayor gramaje frente a las concentraciones de 5%(92.0535) y 4%(94.6283) de almidón.

Cuadro 09: Pruebas de comparaciones múltiples de Tukey para gramaje según almidón

Metodo: 95.0 porcentaje HSD de Tukey

ALMIDON	Frec.	Media	Nivel de Significancia
5	9	92.0535	a
4	9	94.6283	b
3	9	101.797	c

Cuadro 10: Pruebas de comparaciones múltiples de Tukey para gramaje según glicerol

Método: 95.0 porcentaje HSD de Tukey

GLICEROL	Frec.	Media	Nivel de Significancia
0	9	56.5075	a
2	9	89.6365	b
4	9	142.335	c

En el Cuadro 10, en la comparación múltiple de Tukey para determinar las medias que son significativamente diferentes unas de otras observamos que las concentraciones de glicerol en los films tienen diferencias estadísticamente significativas en el gramaje, obteniéndose una diferencia gradual de gramaje de los films 0%(56.5075), 2%(89.6365) y 4%(142.335) resultando con un gramaje mayor el de 4% de Glicerol. Esto implica que a medida que se incrementa la concentración de glicerol en los films también se incremento el gramaje de los films.

El incremento de gramaje de los films se atribuye al plastificante glicerol, una de las propiedades de los plastificantes es que tienden a atraer moléculas de agua lo que conlleva a que los films tiendan a hidratarse y ganar peso con lo cual el gramaje también se ve incrementado.

4.3.3 EFECTO DE LAS CONCENTRACIONES DE ALMIDON OXIDADO Y GLICEROL EN EL ESPESOR DE LOS FILMS

Cuadro 11: Análisis de la Varianza para evaluar el efecto de las concentraciones de almidón y glicerol en el espesor de los films

F. DE V.	S.C.	GL	CM	Fc	Ft _{0.05}	SIG.
A: Almidón	312.96	2	156.48	87.21	3.63	**
B: Glicerol	992.96	2	496.48	276.71	3.63	**
AB	640.89	4	160.22	89.30	3.01	**
BLOQUES	1.53	2	0.76	0.43	3.63	N.S.
ERROR	28.71	16	1.79			
TOTAL	1977.05	26				

C.V= 3.19

En el Cuadro 11, en el análisis de varianza para espesor se encontró diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.01$) para el efecto principal del factor almidón en sus diferentes niveles en estudio y para el efecto principal de factor glicerol mientras que la interacción también presenta una diferencia estadística significativa, esto implica que los factores en estudio son independientes uno del otro.

Cuadro 12: Pruebas de comparaciones múltiples de Tukey para espesor según almidón

Método: 95.0 porcentaje HSD de Tukey			
ALMIDON	Frec.	Media	Nivel de Significancia
3	9	39.5851	a
4	9	39.9947	a
5	9	46.6181	b

En el Cuadro 12, se muestra la comparación múltiple para determinar las medias en el cual observamos que los films con una concentración de 3%(39.5851 μ) y 4%(39.9947 μ) de almidón, en espesor no muestran diferencia significativa; en tanto frente a la comparación de films con una concentración de 5%(46.618 μ) de almidón supera en espesor a los grupos antes mencionados siendo este último con mayor espesor.

Cuadro 13: Pruebas de comparaciones múltiples de Tukey para espesor según glicerol

Metodo: 95.0 porcentaje HSD de Tukey			
GLICEROL	Frec.	Media	Nivel de Significancia
0	9	35.1958	a
2	9	40.475	b
4	9	49.86	c

En el Cuadro 13, en la comparación de medias de Tukey observamos las concentraciones de 2%(40.47 μ) y 4%(49.86 μ) de glicerol en los films superan en el espesor a los films con una concentración de glicerol de 0%(35.10 μ), observamos una diferencia gradual de espesor de acuerdo al incremento de concentración de glicerol en los films. Existiendo entre estos grupos diferencias estadísticamente significativas a un nivel de confianza 0.05.

Mali, *et. al.*, 2008 En el estudio de films comestibles a base de grenetina al 5% con ácido acético y plastificantes muestran las propiedades mecánicas con diferentes grosores (12.7 μ ; 25,4 μ ; 50,8 μ y 76.2 μ), en donde se observó que conforme se incrementó el grosor de la película de 12.7 a 76.2 μ la fuerza de ruptura aumenta de 0,009 a 0,065MPa, el alargamiento de ruptura se incrementa de 1,608 a 5,69% y el trabajo de ruptura aumenta de 0,021 a 0,904Nm. Las propiedades mecánicas dependen del tipo de material con el que se forma la película y específicamente de su cohesión estructural. La cohesión es la habilidad del polímero para formar fuertes y numerosos enlaces moleculares y/o puentes de hidrógeno entre cadenas poliméricas, de este modo disminuye la separación molecular y se aumenta la cohesividad. Esta habilidad depende de la estructura del polímero y especialmente del tipo de

uniones que lo conforman, de las uniones que establece entre moléculas vecinas (enlaces covalentes, puentes de disulfuro, puentes de hidrógeno, fuerzas de Van der Waals), de la distribución del peso molecular, del tipo y posición de sus grupos laterales.

Velásquez. (2000) en su estudio de propiedades físicas de films en base a gelatina de pescado, obtuvo un rango de espesor promedio de 34.2μ - 44.2μ . Esta investigación fue realizado con el método de vertido en placa lo cual fue aplicado en la investigación de films de almidón obteniéndose espesores dentro del rango de la investigación anteriormente citada.

Arévalo, *et. al.*, 1996. Reporta en su estudio de Películas biodegradables a partir de residuos de cítricos: propuesta de empaques activos. El espesor de las películas utilizadas en pruebas fisicomecánicas fluctuó entre 90μ y 160μ , presentado por las formulaciones monocapa y bicapa, respectivamente. La diferencia en este parámetro para las diferentes formulaciones fue altamente significativa ($p < 0.01$) siendo mayor en las películas tipo bicapa.

Bosquez, *et. al.*, 2002 Reportó en su estudio de efecto de plastificantes y calcio en la PVA de películas a base de goma de mezquite y cera de caudelilla, un rango de espesor de 19.4μ – 219μ hechas a base de goma de mezquite con dos tipos de plastificante glicerol y sorbitol, los resultados obtenidos se encuentran dentro de este rango (24μ – 49μ) de espesor. El incremento del espesor posiblemente se atribuya al carácter higrofilico del glicerol ya que a medida que se incrementa la concentración del plastificante también se incrementa el espesor de los films.

4.3.4 EFECTO DE LAS CONCENTRACIONES DE ALMIDON OXIDADO Y GLICEROL EN LA DENSIDAD DE LOS FILMS

Cuadro 14: Análisis de la Varianza para evaluar el efecto de las concentraciones de almidón y glicerol en la densidad de los films

F. DE V.	S.C.	GL	CM	Fc	F _{t0.05}	SIG.
A: Almidon	0.8770	2	0.4385	2080.84	3.63	**
B:Glicerol	8.4962	2	4.2481	20158.95	3.63	**
AB	0.8889	4	0.2222	1054.60	3.01	**
BLOQUES	0.0005	2	0.0002	1.11	3.63	N.S.
ERROR	0.0034	16	0.0002			
TOTAL	10.266	26				

C.V= 0.664

De acuerdo el Cuadro 14, se puede estimar que estadísticamente los films presentan diferencias altamente significativas para los dos efectos principales Almidón, Glicerol y también en la interacción con respecto a la densidad de acuerdo a la concentración de almidón y glicerol en los films aun nivel de confianza 0.01. Para categorizar las diferencias significativas mediante la prueba de HSD de Tukey en el Cuadro 15, se observa la comparación múltiple para densidad según almidón para determinar las medias que son significativamente diferentes unas de otras en el cual observamos las concentraciones de 4%(2.07538) y 3%(2.36906) de almidón en los films presentan una densidad superior en comparación a una concentración de 5%(1.93678) de almidón obteniéndose con mayor densidad el de 3%Almidon.

Cuadro 15: Pruebas de comparaciones múltiples de Tukey para densidad según almidón

Metodo: 95.0 porcentaje HSD de Tukey			
GLICEROL	Frec.	Media	Nivel de Significancia
5	9	1.93678	a
4	9	2.07538	b
3	9	2.36906	b

Cuadro 16: Pruebas de comparaciones múltiples de Tukey para densidad según glicerol

Metodo: 95.0 porcentaje HSD de Tukey			
GLICEROL	Frec.	Media	Nivel de Significancia
0	9	1.48461	a
2	9	2.04526	b
4	9	2.85135	c

De acuerdo al Cuadro 16, de comparación múltiple de Tukey para determinar las medias que son significativamente diferentes unas de otras demuestra que los films con una concentración de 0%(1.48461) de glicerol son superados estadísticamente en densidad por los films que poseen una concentración de 2%(2.04526) y 4%(2.85135) de glicerol obteniéndose con un mayor densidad de 4% de Glicerol. El incremento gradual de la densidad de los films se debió a la presencia de glicerol el cual aumenta el carácter hidrofílico de los films, lo que hace que los films sean más susceptibles a hidratarse y ganar peso.



CAPITULO V.

CONCLUSIONES

- la permeabilidad al vapor de agua más alta se registró a una concentración de 4% de glicerol en los films con un valor de $2.74 \times 10^{-5} \text{g/m.s.Pa}$, sin embargo la Permeabilidad menor obtenida fue de 1.199×10^{-5} correspondiente al 2% de Glicerol, este último considerado como el mejor tratamiento por el valor obtenido, se observó que a medida que se registra el incremento de la concentración de Glicerol la permeabilidad de vapor de agua también se incrementa gradualmente.
- Las mejores propiedades físicas y mecánicas obtenidos son 27.67%Elongacion a un 2% Glicerol y 21.28%Elongacion a un 5% Almidón obteniéndose al tratamiento 5%Almidon -2%Glicerol con mejor elongación se observó que a mayor concentración de Almidón se obtiene mayor % de elongación, con respecto a gramaje se obtuvo con valores más altos las concentraciones de 3%Almidon con 101.79g/m^2 y 4%Glicerol con 142.33g/m^2 debido al carácter hidrofílico del Glicerol a mayor concentración Glicerol mayor gramaje del films, en caso de espesor 5%Almidon y 4%Glicerol con valores de 46.61μ y 49.86μ siendo estos tratamientos con los valores más altos se observó que a medida que se incrementa las concentraciones de Almidón y Glicerol el espesor de los films también se incrementa y para la densidad el mejor tratamiento fue 3%Almidon y 4%Glicerol con valores registrados de 2.36g/m^3 y 2.85g/m^3 .

CAPITULO VI.

RECOMENDACIONES

- Realizar investigaciones acerca de la estructura interna de los films a nivel molecular.
- Efectuar estudios sobre isothermas de absorción para determinar cómo se comportan estos films a diferentes condiciones ambientales.
- Ejecutar investigaciones con formulaciones de plastificante inferiores a los efectuados y su posterior aplicación en diversos productos.
- Realizar investigaciones para determinar el grado de modificación del almidón
- Ejecutar estudios aplicando los films en los diversos productos cárnicos y frutas.



CAPITULO VII.**BIBLIOGRAFIA**

- ALVARADO J. 2001. Propiedades Físicas en Industrias de Alimento. Zaragoza- España
- ALVARADO, J., ARANCIBIA, M., ALMEDIA, A. 2005, Permeabilidad al Vapor de Agua de Películas biodegradables de Quitosano Obtenidos de Caparazones de Camaron. Ciencia y Tecnología , 17-20.
- AREVALO, N.K. 1996. Elaboración de plásticos biodegradables a partir de polisacáridos y su estudio de biodegradabilidad a nivel laboratorio y campo. Tesis de Doctorado (Biotecnología). Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma de Nuevo León, México.
- AUGSBURGER, F., BERGER, J., CENSKOWSKY, U., HEID, P. 2002. Agricultura Organica en el Tropico y Subtropico. Asociacion Naturland , pag. 3.
- BANCOMEX. (martes de junio de 1999). <http://www.bancomext.com>. Recuperado el miercoles de Abril de 2010, de <http://www.bancomext.com>.
- BADUI, S. D. (2005). Química de los alimentos. Editorial Pearson. Cap. 5.
- BANKER, G.S. 1996. Film Coating Theory and Practice. J. Pharm. Pharmac. pag. 457- 460.
- BELALCÁZAR, S. 1991, Manejo Integrado de Plagas. El Cultivo del plátano en el trópico.
- BELLO PEREZ, L. A., SANCHEZ HERNANDEZ, L., MORENO, D. E., TORO VASQUEZ, J. 2002. Laboratory scale Production of Maltodextrins and Glucose syrup From Banana Starch. Acta Científica Venezolana, (págs. 44-48).
- BELLO-PÉREZ L. A., C.R. S.M.F.A. 2000, Propiedades químicas y funcionales del almidón modificado de plátano *Musa paradisiaca* L. (var. Macho). Agrociencia , 168-169.
- BELLO PÉREZ L. A., MÉNDEZ MONTEALVO M. G. C. Y SOLORZA FERIA J. 2002. Estructura molecular de almidones. Memoria , CEPROBI-IPN.

- BOSQUEZ-MOLINA, E., BADILLO-CASASOLA, A., GUERRERO-LEGARRETA, I., Y VERNON-CARTER, E.J., 2002. Water Vapor Permeability of Mesquite Gum-Candelilla Wax Emulsion Coatings Incorporating Plasticizers. Paper 100B-34. June 15-19. Anaheim, CA: Institute of Food Technologists Annual Meeting.
- BULÉON, A., COLONNA, P., PLANCHOT, V. AND BALL, S. 1998. Starch granules: structure and biosynthesis. *Int. J. Biol. Macromol.* 23: 85-112.
- CANAVARO. 2006, Permeabilidad. *redalyc* , 17-18.
- CAYÓN, G. 1992. Fotosíntesis y productividad de cultivos. *Revista Comalfi* 19 (2): 23-31.
- CAYÓN, G.; LOZADA, J.E.; BELALCÁZAR, S. 1994. Estudios comparativos sobre la actividad fotosintética de clones de plátano (*Musa* AAB, ABB Simmonds) en Colombia. En: ACORBAT. X Reunión de la Asociación para la Cooperación en Investigación de Banano en el Caribe y en América Tropical (10, 1991, Tabasco, México).
- CHOI W. S Y HAN J. H. 2002. Film-forming mechanism and heat denaturation effect on the physical and chemical properties of pea-protein-isolate edible films. *J. Food Sci.*, 67:1399-1406.
- DEBEUFORT F., 1998. Methycellulose basib edible films and coating, Mechanical and Thermal properties of plasticizer Content. *Journal of Agriculture and Food Chemistry.* 45: 685-689
- FAO. (2003). <http://www.fao.com>. Recuperado el Miercoles de Abril de 2010, de <http://www.fao.com>.
- FISHMAN, M.L. 2006. Edible and Biodegradable Polymer Films: Challenges and Opportunities. *Food Technol.* 51: 16
- FLORES-GOROSQUERA, E., GARCÍA-SUÁREZ, F. J., FLORES-HUICOCHEA, E., NÚÑEZ-SANTIAGO, M. C., GONZÁLEZ-SOTO, R.

- A Y BELLO-PÉREZ, L. A. 2004. Rendimiento del proceso de extracción de almidón a partir de frutos de plátano (*Musa paradisiaca*). Estudio en planta piloto. *Acta Científica Venezolana*. 55: 86-90.
- FORSELL, P., HULLEMAN, S. H., MYLLÄRINEN, P. J., MOATES, G. K., PARKER, R. 1999. Ageing of rubbery thermoplastic barley and oat starches. *Carbohydrate Polymers* , 43-51.
- FORSELL, P., HULLEMAN, S. H. D., MYLLÄRINEN, P. J., MOATES, G. K. AND PARKER, R. 1999. Ageing of rubbery thermoplastic barley and oat starches. *Carbohydrate Polymers*. 39: 43-51.
- G., R. 2006. Obtención y Caracterización de un Polímero Biodegradable a partir de Almidón de Yuca. *Revista Ingeniería Y Ciencia* , 3-5.
- HARPER: 1991. *Bioquímica de*. 2ª ed. Manual Murray, R.K.; Granner, D.K.; Mayes, P.A. y Rodwell, V.W.
- IDOIA, P. 2008. Biopolímeros Una Respuesta Para el Envasado de Alimentos. *AZTI- TECNALIA* , 15-18.
- INIA. (1997). *El Cultivo del Platano*. Boletín Técnico , 08.
- INIBAP, ICA, CIID, Comité Departamental de Cafeteros del Quindío 376 p.
- KALICHEVSKY, M. T., JAROSZKIEWICZ, E. M., ABLETT, S., BLANSHARD, M. V., LILLFORD, P. J. 1992, The glass transition of amylopectin measured by DSC, DMTA and NMR. *Carbohydrate Polymers* , 77-88.
- KROCHTA, J. M., BALDWIN, E. A., NISPEROS CARRIEDO, M. 1994, *Edible coatings and films to improve food quality*. Technomic Publishing, Co. Basilea, Suiza , 329-330.
- LEHNINGER, A. L.; NELSON, D.L. Y COX, M.M: 1998. *Bioquímica – Las Bases Moleculares de la Estructura y Función Celular – 2da. Ed.* Barcelona, España.
- LOURDIN, D., RING, S. G., COLONNA, P. 1998. Study of plasticizer-oligomer and plasticizer-polymer interactions by dielectric analysis: maltose-glycerol and amylose-glycerol-water systems. *Carbohydrate Research* , 551-558.

- MALI, S. 2002. Produção, caracterização e aplicação de filmes plásticos biodegradáveis a base de amido de cará (*Dioscorea alata*). Tesis Doctoral. Universidade Estadual de Londrina. Londrina. Brasil.
- MALI, S., GROSSMANN, M. V. E., GARCIA, M. A., MARTINO, M. N. AND ZARITZKY, N. E. 2003. Microstructural characterization of yam starch films. *Carbohydrate Polymers*. 50: 379-386.
- MALI, S., GROSSMANN, M. V. E., GARCÍA, M. A., MARTINO, M. N. AND ZARITZKY, N. E. 2005. Mechanical and thermal properties of yam starch films. *Food Hydrocolloids*. 19: 157-164.
- MARCHAL L.M., ZORDENVAN J., BERGSMA J., BEEFTINK H.H., TRAMPER J: 2001. Montecarlo simulation of alfa amylolysis of amylopectin of amylopectin potato starch. Part 1: modelling of the structure of amylopectin. *Bioprocess and Byosystems Engineering* 24:163-170.
- MARTÍNEZ BUSTOS AND AHMED A. ELDAHS: 1999. Effect of Addition of Instant Corn Flour in Rheological Characteristics of Wheat Flour and Breadmaking III. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, vol 43 No. 4, p. 321-326
- MATISSEK, R., SCCHNEPEL, F., STEINER, G. 1998. Analisis de los Alimentos. Fundamentos - Metodos - Aplicaciones. Zaragoza-España: Acribia, S.A.
- MOATES, G. K., NOEL, T. R., PARKER, R.,RING, S. G. 2001. Dynamic mechanical and dielectric characterisation of amylose-glycerol films. *Carbohydrate Polymers* , 247-253.
- MYLLARINEN, P. BULEON A., LAHTINEN, R. AND FORSELL, P. 2002, La Cristalización de amilosa y amilopectina. *Carbohidratos, Polimeros* 48: 41-48.
- MONTGOMERY, D. C., PIÑA GARCIA, R. 2004. Control Estadístico de Calidad. Mexico D.F.
- NUTRICION, I. N. 1993. La Composición de los Alimentos de Mayor Consumo en el Peru. Ministerio de Salud , 63.

- RINDLAV-WESTLING, Å. STADING, M., HERMANSSON, A. M. AND GATENHOLM, P. 1998. Structure, mechanical and barrier properties of amylose and amylopectin films. *Carbohydrate Polymers*. 36: 217-224.
- RINDLAV WESTLING, Å., STADING, M., GATENHOLM, P. 2002. Crystallinity and Morphology in Films of Starch, Amylose and Amylopectin Blends. *Biomacromolecules* , 84-91.
- RUIZ, G. 2006. Obtencion y Caracterizacion de un Polimero Biodegradable apartir de Almidon de Yuca. *Revista Ingenieria y Ciencia* , 7-10.
- SOEST, J. J. G., H. TOURNOIS, D. DE WIT, AND J. F. G. VLIEGENTHART. 1996. Short-range structure in (partially) crystalline potato starch determined with attenuated total reflectance Fourier-transform IR spectroscopy. *Carbohydr. Research*. 279: 201-214.
- SCHULMAN, A. H. 2002. Structural analysis of starch from normal and shx (shrunken endosperm) barley (*Hordeum vulgare* L.). *Carbohydrate Research*.
- SCHULMAN, A. H., TOMOOKA, S., SUZUKI, A., MYLLARINEN, P., HIZUCURI, S. 1995. Structural analisis of Starch from Normal and shx (shurunken endosperm) Barley (*hordeu vulgare* l.). *Carboydrate Research* , 361-369.
- STADING, M., RINDLAV-WESTLING, Å., AND GATENHOLM, P. 2001. Humidity-induced structural transitions in amylose and amylopectin films. *Carbohydrate Polymers*. 45: 209-217.
- THEIVENDRAN S., HETTIARACHCHY S. JOHNSON G. 2006. Inhibition of *Listeria monocytogenes* by nisin combined with grape seed extract or green tea extract in soy protein film coated on turkey frankfurters. *J. Food Sci.*, 71:M39-M44.
- TESTER, R. F., SOUTH, J. B., MORRISON W. R., ELLIS, R. P. 1991. temperature during the grainfilling period on the composition and properties of starch from four barley genotypes. *J. Cereal Sci* , 113-127.

- TOBIN, H.G, M. 1998. Nutricion y Ciencia de los alimentos. En Tobin, & M. H.G, Nutricion y Ciencia de los alimentos (págs. 171-173). Zaragoza_España.
- TOBIN, G. y. 1998. Nutricion y Ciencia de los Alimentos. Zaragoza: Acribia.
- TOBIN, G., MULLER, H. G. 1998. Nutricion y Ciencia de Los Alimentos. En G. Tobin, H. G. Muller, Nutricion y Ciencia de Los Alimentos (págs. 171-173). Zaragoza-España: Acribia.
- TOBIN, M. H. 1998. Nutricion y Ciencia de los Alimentos. En Tobin, Nutricion y ciencia de los Alimentos (págs. 171-173). Zaragoza-España: Acribia.
- THOMAS, D. J., AND W. A. ATWELL. 1999. Starches: Practical Guides for the Food Industry. St. Paul, M N. USA. Egan Press Handbook Series AACC. pp: 19-22.
- VILLADA, S., ACOSTA, H., VELASCO, R. 2006. Biopolimeros naturales usados en Empaques Biodegradables . Cali- Colombia: Universidad del Valle.
- VELÁZQUEZ-DE LA CRUZ, G. 2000. Efecto de la humedad y la temperatura sobre las propiedades mecánicas y de transporte de películas flexibles. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Querétaro.
- VIROBEN, G. ; BARBOT, J. ; MOULOINGUI, Z. Y GUÉGUEN, J. 2000. Preparation and characterization of films from pea protein. J. Agric. Food Chem., (48):1064-1069, 2000.
- WANG, Y. J., WANG, L. 2003. Physicochemical properties of common and waxy corn starches oxidized by different levels of sodium hypochlorite. Carbohydrate Polymers , 207-217.
- WILSON, G. 1992. El Cultivo del Platano en el Peru. Lima- Peru: Ediciones Fundeagro.
- WILHELM, H. M. SIERAKOWSKI, M.R., SOUZA G.P. AND WYPYCH, F. 2003. Starch films reinforced with mineralclay. Carbohtdrate Polymes. 52: 101-110
- WOLF, B. W., BAUER, L. L.,FAHEY, G. C. 1999. Effects of chemical modification in vitro rate and extent of food starch digestion: an attempt to discover a slowly digested starch. Journal of Agricultural and Food Chemistry , 4176-4180.

ANEXOS

ANEXO I. Proceso de obtención de films



ESCALDADO DE PLATANO INGUIRI





ALMIDON MODIFICADO AL 1. 2.3% DE HIPOCLORITO DE SODIO





FILMS CON 3% DE NaOCl y 4% GLICEROL



DETERMINACION DE PERMEABILIDAD DE LOS FILMS



ANEXO II. DATOS REALES Y AJUSTADOS DE PERMEABILIDAD

% DE NaOCl	% DE GLICEROL	PERMEABILIDAD (g/msPa)	PERMEABILIDAD AJUSTADO
2	2	3.41E-10	1.84591E-05
2	2	2.49E-10	1.57792E-05
2	2	2.95E-10	1.71774E-05
2	2	3.97E-10	1.99238E-05
2	2	2.84E-10	1.6845E-05
3	2	7.94E-10	2.81852E-05
1	2	5.24E-10	2.29003E-05
3	4	7.58E-10	2.75245E-05
2	4	8.19E-10	2.86181E-05
1	4	7.31E-10	2.70302E-05
3	0	0.00E+00	0
2	0	0.00E+00	0
1	0	0.00E+00	0
2	2	2.78E-10	1.66638E-05
2	2	3.52E-10	1.87527E-05
2	2	3.96E-10	1.99079E-05
2	2	3.60E-10	1.89787E-05
3	2	6.14E-10	2.47757E-05
1	2	4.00E-10	2.00101E-05
3	4	8.02E-10	2.8326E-05
2	4	8.06E-10	2.83913E-05
1	4	7.66E-10	2.76703E-05
3	0	0.00E+00	0
2	0	0.00E+00	0
1	0	0.00E+00	0
2	2	3.96E-10	1.98891E-05
2	2	3.97E-10	1.99307E-05
2	2	2.96E-10	1.7197E-05
2	2	3.44E-10	1.8539E-05
2	2	3.98E-10	1.99559E-05
3	2	5.03E-10	2.24223E-05
1	2	6.22E-10	2.49309E-05
3	4	6.61E-10	2.57151E-05
2	4	8.09E-10	2.84373E-05
1	4	8.02E-10	2.83279E-05
3	0	0.00E+00	0
2	0	0.00E+00	0
1	0	0.00E+00	0

ANEXO VI. DATOS DE PROPIEDADES MECANICAS DE LOS FILMS

ALMIDON	GLICEROL	GRAMAJE (g/m ²)	DENSIDAD (g/m ³)	% ELONGACION	ESPESOR (µm)
3	0	41.2345679	1.4430295	4.0827027	28.775
4	0	47.4074074	1.45905188	4.57545455	29.777
5	0	73.382716	1.54084443	5.79285714	47.625
3	2	95.0617284	2.40505849	24.0307692	34.1
3	4	170.271605	3.27306309	26	53.8
4	2	91.037037	1.8403033	26.1333333	39.7875
4	4	139.358025	2.92615275	24.95	47.625
5	2	86.4197531	1.87715999	31.0769231	46.0375
5	4	113.333333	2.40176125	26	46.0375
3	0	40.4074074	1.42313419	3.89615385	24.9225
4	0	58.0740741	1.47425391	4.45142857	33.1
5	0	77.7283951	1.56003316	5.61	47.15
3	2	87.2222222	2.39425117	25.25	34.925
3	4	173.975309	3.25441874	26.1297297	55.12
4	2	91.5555556	1.86602929	26.2142857	42.8625
4	4	137.209877	2.89188699	24.8748148	46.75
5	2	85.049383	1.85362451	33	43.975
5	4	116.790123	2.37318006	26.0769231	49.2125
3	0	39.3580247	1.45837979	4.08666667	26.9875
4	0	54.382716	1.44454165	4.77827586	30.8
5	0	76.5925926	1.55824341	5.62190476	47.625
3	2	93.197531	2.41285261	25	36.5125
3	4	175.444444	3.25737436	26.3714286	55.12
4	2	92.0987654	1.87383235	26.0806452	41.625
4	4	140.530864	2.90237452	25	47.625
5	2	85.0864198	1.88420517	32.3333333	44.45
5	4	114.098765	2.38192948	26.07	47.45