



# **INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE TIERRA BLANCA**

## **MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LOS ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA**

**MODIFICACION DE LAS PROPIEDADES ESTRUCTURALES  
DE UN MOLDE ELABORADO A BASE DE AGRO-RESIDUOS.**

### **T E S I S**

**PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO (A) EN CIENCIAS DE LOS ALIMENTOS Y  
BIOTECNOLOGÍA**

**PRESENTA:**

**IIA MARINA COLORADO GUZMÁN**

**COMITÉ TUTORIAL:**

**DRA. ELIZABETH DEL CARMEN VARELA SANTOS (DIRECTOR)**

**DRA. KARINA BUSTOS RAMIREZ (CO-DIRECTOR)**

**DRA. ELIZABETH DEL CARMEN VARELA (ASESOR)**

**M.C. IBIS RAFAEL HUERTA MORA (ASESOR)**

**TIERRA BLANCA, VER., A 27 DE MARZO DE 2023**



Tierra Blanca, Ver., a 28/marzo/2023

**DRA. KARINA BUSTOS RAMIREZ**  
**SUBDIRECTORA DE POSGRADO E INVESTIGACION**

Los que suscriben, miembros de la comisión revisora, una vez concluido y analizado los contenidos de la Tesis de Maestría que presenta el C.:

**Marina Colorado Guzmán**

Con el título de:

**“MODIFICACION DE LAS PROPIEDADES ESTRUCTURALES DE  
UN MOLDE ELABORADO A BASE DE AGRO-RESIDUOS”**

Determinan que es aceptada, como requisito parcial para la obtención del grado de Maestría en Ciencias de los Alimentos y Biotecnología.

**ATENTAMENTE**

<b>PRESIDENTE</b>	<b>Dra. Karen Aylin Vargas García</b>
<b>SECRETARIO</b>	<b>Dra. Karina Bustos Ramírez</b>
<b>VOCAL</b>	<b>Dra. Elizabeth del Carmen Varela Santos</b>
<b>VOCAL SUPLENTE</b>	<b>M.C. Ibis Rafael Huerta Mora</b>

## CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la ciudad de Tierra Blanca Veracruz el día 31 del mes de Marzo del año 2023 el (la) que suscribe Marina Colorado Guzmán del programa de Maestría en Ciencias de los Alimentos y Biotecnología del TecNM/Superior de Tierra Blanca, manifiesta que el autor(a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de

Dra. Karen Aylin Vargas Garcia

Dra. Karina Bustos Ramírez

y cede los derechos del trabajo titulado

Modificación de las propiedades estructurales de un molde elaborado a base de agro-residuos.

al Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo.



Marina Colorado Guzmán

Nombre y Firma

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD DE LA TESIS

C. Marina Colorado Guzmán estudiante en el programa de Maestría en Ciencias de los Alimentos y Biotecnología del Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca, Veracruz, como autor(a) de la tesis presentada y registrada para la obtención del título de Maestro en Ciencias con el título:

Modificación de las propiedades estructurales de un molde elaborado a base de agro-residuos

dirigida por:

Dra. Karen Aylin Vargas Garcia

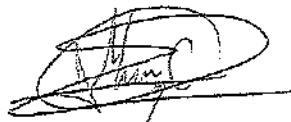
Dra. Karina Bustos Ramírez

**Declaro que:**

La tesis es una obra original que no infringe los derechos de propiedad intelectual ni los derechos de propiedad industrial u otros, de acuerdo con lo establecido por el artículo 168 de la ley federal de derechos de autor.

Del mismo modo, asumo frente al TecNM/Superior de Tierra Blanca cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría o falta de originalidad del contenido de la tesis.

Tierra Blanca, Veracruz, a 31 de Marzo de 2023



Marina Colorado Guzmán

Nombre y firma

NOMBRE DEL TRABAJO

**TESIS MCG VERSION FINAL TURNITI.pdf**

AUTOR

**MARINA COLORADO GUZMAN**

RECUENTO DE PALABRAS

**21769 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**113923 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**74 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**2.9MB**

FECHA DE ENTREGA

**Mar 29, 2023 2:07 PM CST**

FECHA DEL INFORME

**Mar 29, 2023 2:08 PM CST****● 18% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de

- 17% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 8% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

**● Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 8 palabras)

# Contenido

RESUMEN.....	v
ABSTRACT .....	vii
1. Introducción.....	1
2. MARCO TEORICO .....	3
2.1.- Productos biodegradables.....	3
2.1.1.- Tipos de productos biodegradables.....	3
2.2.- Residuo agroindustrial.....	5
2.2.1.- Uso y aplicaciones de residuos agroindustriales.....	6
2.3.- Empaque .....	7
2.3.1.- Tipos de empaques .....	7
2.4.- Materiales convencionales para la elaboración de envases y empaques.....	8
2.4.1- Importancia de los envases y empaques biodegradables .....	8
2.5.- Empaques biodegradables.....	10
2.5.1.- Panorama actual del mercado para los envases y empaques biodegradables.....	10
2.6.- Explosión por vapor .....	11
2.7.- Recubrimientos.....	16
2.7.1.- Tipos de recubrimientos .....	16
2.7.2.- Propiedades de superficie.....	16
2.8.- Materiales de empaques alimentarios.....	18
2.9.- Tecnologías para la aplicación de recubrimientos comestibles y películas comestibles.....	19
3. Antecedentes .....	20
4. Justificación.....	30
5. Hipótesis .....	32
6. Objetivo general.....	32
6.1.- Objetivos específicos.....	32
7. Metodología.....	33
7.1.- Recepción de materias primas .....	33
7.1.1.- Obtención del almidónes .....	33
7.1.1.1 Almidón de papa .....	33
7.1.1.2 Almidón de platano .....	33
7.1.2 Obtención de la fibra.....	33

7.2.- Caracterización fisicoquímica de las materias primas .....	34
<b>7.2.1.- Humedad</b> .....	34
<b>7.2.2.- Determinación de cenizas</b> .....	34
<b>7.2.3.- Determinación cualitativa de almidón</b> .....	35
<b>7.2.4.- Determinación de Amilosa – Amilopectina</b> .....	35
<b>7.4.1.- Determinación de la Capacidad de retención de Agua (CRA)</b> .....	37
<b>7.4.2.- Determinación de grasas por el método de Soxhlet</b> .....	37
<b>7.4.3.- Contenido de celulosa</b> .....	38
<b>7.4.4.- Contenido de lignina</b> .....	39
<b>7.4.5.- Contenido de hemicelulosa</b> .....	39
<b>7.4.6.- Determinación de los azúcares reductores</b> .....	40
7.4.- Elaboración de moldes biodegradables .....	40
7.5.- Formulación y aplicación del recubrimiento.....	41
7.5.1.-Preparación y formulación del recubrimiento .....	41
7.5.2.- Colocación del recubrimiento. ....	41
7.5.3.- Secado del recubrimiento.....	42
7.6.- Propiedades de barrera en terminos de propiedades de superficie .....	43
7.6.1.- Determinación de ángulo de contacto y trabajo de adhesión. ....	43
7.7.- Determinación del color. ....	47
7.8.- Prueba de evaluación sensorial por aceptación. ....	48
8.- Resultados y discusión.....	49
8.1.- Caracterización de las materias primas. ....	49
8.1.1.- Caracterización fisicoquímica .....	50
8.1.2.- Determinación de amilosa y amilopectina. ....	51
8.1.3.- Caracterización estructuralde las fibras .....	53
8.2.- Evaluación de los recubrimientos.....	58
8.3.- Propiedades superficiales.....	62
8.4.- Determinación de color .....	64
8.5.- Evaluación Sensorial.....	67
9.- Conclusiones.....	70
10.- Agradecimientos.....	71
11.- Referencias Bibliográficas .....	72
12.- Anexos .....	83

12.1 Curvas Calibración.....	83
12.1.1 Curva calibración azúcares reductores .....	83
12.1.2 Curva calibración amilosa-amilopectina.....	84
12.2. Cuestionario empleado en la evaluación sensorial de los moldes. ....	86
12.4 Actividades de retribución social. ....	90
12.4.1 Jornada de Divulgación.....	90
12.4.2 Participación modalidad Oral en el XLIII encuentro nacional de la AMIDIQ 2022-1. ....	91
12.5. Producto Académicos.....	96
12.5.1 Participación modalidad Oral congreso internacional Latin Food 2022 .....	96
13.5.2 Capítulo de libro publicado 2022-1.....	99
.....	104
<b>12.5.1.3.- Artículo de Congreso arbitrado con ISSN 2022-2 .....</b>	<b>117</b>



## Índice de tablas

<b>Tabla 1. Bioplásticos representativos y sus propiedades (Vázquez et al., 2016)</b> .....	4
<b>Tabla 2. Clasificación de empaques (Tarango, 2011).</b> .....	8
<b>Tabla 3.- Empleo de polisacáridos a partir de diferentes subproductos para su uso como envases en productos hortofrutícolas (Rives et al., 2020).</b> .....	9
<b>Tabla 4.- Antecedentes relacionados con la investigación.</b> .....	20
<b>Tabla 5.- Antecedentes relacionados con la investigación (Continuación)</b> .....	21
<b>Tabla 6.- Antecedentes relacionados con la investigación (Continuación)</b> .....	22
<b>Tabla 7.- Antecedentes relacionados con la investigación (Continuación)</b> .....	23
<b>Tabla 8.- Antecedentes relacionados con la investigación (Continuación)</b> .....	24
<b>Tabla 9.- Antecedentes relacionados con la investigación (Continuación)</b> .....	25
<b>Tabla 10.- Antecedentes relacionados con la investigación (Continuación)</b> .....	26
<b>Tabla 11.- Antecedentes relacionados con la investigación (Continuación)</b> .....	27
<b>Tabla 12.- Antecedentes relacionados con la investigación (Continuación)</b> .....	28
<b>Tabla 13.- Formulaciones empleadas con cera de candelilla y cera de abeja.</b> .....	42
<b>Tabla 14.- Codificación de los platos</b> .....	48
<b>Tabla 15.-Caracterización fisicoquímica de las materias primas.</b> .....	51
<b>Tabla 16.- Contenido de amilosa y amilopectina.</b> .....	52
<b>Tabla 17.- Caracterización fisicoquímica de las fibras.</b> .....	53
<b>Tabla 18.- Caracterización estructural de las fibras.</b> .....	54
<b>Tabla 19.- Efectos o Atributos ocasionados al aplicar el recubrimiento.</b> .....	60
<b>Tabla 20.- Propiedades barrera en terminos de propiedades superficiales</b> .....	63
<b>Tabla 21.- Resultados de las mediciones de color.</b> .....	65

## Índice de figuras

Figura 1.- Proceso de fabricación de plásticos biobasados.....	5
Figura 2.- Rompimiento de la matriz por acción de la explosión por vapor.....	12
Figura 3.- Partes del equipo de explosión por vapor. 1. Válvula de carga de muestra. 2. Válvula de suministro de vapor saturado. 3. Válvula de descarga. 4. Válvula de drenado de condensación. 5. Cámara del reactor. 6. Tubo de conexión. 7. Ciclón, 8. Recipiente de recolección. SH= vapor Húmedo, V= Vapor saturado, S= Vapor de la caldera. ....	15
Figura 4.- Propiedades de superficie (hidrofilicidad / hidrofobicidad) en sólidos porosos de acuerdo al ángulo de contacto.....	17
Figura 5.- Proceso General del secado en estufa y a temperatura ambiente del recubrimiento con el molde biodegradable. (Colorado, M. et al 2019).....	43
Figura 6.- Tensión interfacial en las tres fases de línea de contacto, donde R es el radio. ....	43
Figura 7.- Muestras líquidas empleadas para las pruebas de calibración.....	44
Figura 8.- gota de agua sobre la muestra con FHEV.....	45
Figura 9.- Esquema general de los componentes del tensiómetro digital acoplado.....	46
Figura 10.- Colorímetro portátil FRU. ....	47
Figura 11.- Escala de Likert.....	48
<i>Figura 12.- Materias primas: a) Almidón de papa, b) Almidón de plátano, c) Pseudotallo de plátano. ....</i>	<i>49</i>
Figura 13.- Efecto de la Explosión por vapor en las fibras tratadas. ....	56
Figura 14.- Efecto de la explosión por vapor sobre el material lignocelulósico. ....	56
Figura 15.- Estructura de la pared celular del pseudotallo de plátano y su comportamiento con las moléculas del agua con y sin tratamiento. ....	57
Figura 16.- Recubrimientos Evaluados en cuartiles de los moldes: a) Glicerol, b) Cera comercial de grado alimentario, c) Sorbitol, d) Cera de candelilla, y e) Cera de abeja. ...	59
Figura 17.- Selección de la superficie para evaluar: a) Fraccionado del molde, b) cuartil seleccionado para evaluar un recubrimiento, y c) Cuartil con el recubrimiento aplicado. ...	59
Figura 18.- Plano cartesiano del color. ....	66
Figura 19.- Contenedores o moldes biodegradables obtenidos.....	67
Figura 20.- Evaluación del molde con recubrimiento .....	68
Figura 21.- Evaluación del molde sin recubrimiento.....	68

## RESUMEN

El uso de empaques biodegradables ha promovido el estudio de fuentes renovables y naturales en el desarrollo de biomateriales alternativos y que minimicen el impacto ambiental. Se ha desarrollado recubrimientos, contendedores o empaques biodegradables con función similar a los materiales sintéticos convencionales. Los residuos agroindustriales son candidatos idóneos a este fin debido a que pueden ser componentes estructurales para la generación de productos con valor agregado. Debido a que el pseudotallo de plátano, tiene una alta capacidad de retención de agua (CRA), debido al contenido de material lignocelulósico, por lo que el tratamiento de explosión por vapor (EV) se utiliza para modificar esta propiedad. Por lo que el objetivo del trabajo es la evaluación del efecto de la aplicación de explosión por vapor y la adición de un recubrimiento de grado alimentario sobre las propiedades estructurales en un molde elaborado a base de agro-residuos. Se realiza la aplicación de la explosión por vapor y con eso cambiar su estructura lignocelulosica, disminuir CRA, mejorar sus propiedades de superficie y poderle adherirle un recubrimiento de grado alimentario para mejorar sus propiedades de superficie. Se dividió a la fibra en: 1.- Fibra seca - FSEV, 2.- Fibra húmeda – FHEV, 3.- Fibra natural - FNEV y 4.- Fibra sin explotar – Control. Se aplicó la explosión por vapor a las fibras bajo las siguientes condiciones de operación: a 10 PSI, 180°C por 30 segundos. Se elaboraron moldes a base de los agros-residuos: papa, plátano y el pseudotallo de la planta de plátano, 15, 25 y 20% respectivamente. La caracterización fisicoquímica se realizó en términos de humedad y sólidos totales de cada uno de los componentes; así como del contenido de amilosa y amilopectina en los almidones, mientras que en las fibras se realizó en términos de CRA (Capacidad de Retención de Agua), Celulosa, Hemicelulosa, Lignina y Azúcares Reductores (A.R.). Se determinó las características físicas como grosor y diámetro del molde teniendo como referente un plato comercial. También se midió el color utilizando tres blancos: Papel estraza, papel craft y molde control, realizando las mediciones con cada molde y la determinación del Angulo de contacto y el trabajo de adhesión. Se aplicaron recubrimientos a base de glicerol y sorbitol al 100-0, 20-80, 70-30, 50-50, 30-70, 80-20 y 0-100% y de cera comercial de grado alimentario al 100% a temperatura ambiente, esto mediante la impregnación por brocha. Los resultados indicaron que la explosión por vapor promovió una reducción en la CRA alrededor del 42%, una disminución en Celulosa de 35%, Hemicelulosa de 40% y Lignina de 58% aproximadamente, lo cual podría traducirse en una mejora en las propiedades estructurales del molde. El tratamiento permitió una adecuada conformación entre los componentes y sin fracturas en los envases con un diámetro

de 15 cm y espesor de 1 mm similar a los contenedores comerciales disponibles. Los resultados de propiedades de superficie indicaron que FHEV y FSEV fueron los moldes con mejores características para su aplicación como platos. Mientras que FHEV fue el de mayor aceptación de acuerdo a los resultados de la evaluación sensorial para su incorporación en la sociedad. Las reducciones tanto en la capacidad de retención de agua como en el trabajo de adhesión confirmaron que las fuerzas adhesivas de las superficies de los contenedores disminuyeron después de la explosión de vapor y los envases biodegradables con tratamiento de explosión de vapor podrían superar al envase comercial y biodegradable. Así al implementar este pre-tratamiento es posible el desarrollo de envases biodegradables de bajo costo y la intensificación de procesos como explosión de vapor alternativa promisoría para el uso sostenible de residuos agroindustriales en contexto con los objetivos de la agenda 2030.

## ABSTRACT

The use of biodegradable packaging has promoted the study of renewable and natural sources in the development of alternative biomaterials that minimize environmental impact. Biodegradable coatings, containers or packaging with a similar function to conventional synthetic materials have been developed. Agroindustrial residues are ideal candidates for this purpose because they can be structural components for the generation of value-added products. Because the banana pseudostem has a high water retention capacity (CRA), due to the content of lignocellulosic material, so the steam explosion (SV) treatment is used to modify this property. Therefore, the objective of the work is the evaluation of the effect of the application of steam explosion and the addition of a food grade coating on the structural properties of a mold made from agro-residues. The application of the steam explosion is carried out and with that change its lignocellulosic structure, decrease CRA, improve its surface properties and be able to adhere a food grade coating to improve its surface properties. The fiber was divided into: 1.- Dry fiber - FSEV, 2.- Wet fiber - FHEV, 3.- Natural fiber - FNEV and 4.- Untapped fiber - Control. Steam explosion was applied to the fibers under the following operating conditions: at 10 PSI, 180°C for 30 seconds. Molds based on agro-residues were made: potato, banana and the pseudostem of the banana plant, 15, 25 and 20% respectively. The physicochemical characterization was carried out in terms of humidity and total solids of each one of the components; as well as the content of amylose and amylopectin in the starches, while in the fibers it was carried out in terms of CRA (Water Retention Capacity), Cellulose, Hemicellulose, Lignin and Reducing Sugars (A.R.). The physical characteristics such as thickness and diameter of the mold were determined using a commercial plate as a reference. The color was also measured using three targets: brown paper, craft paper and control mold, making the measurements with each mold and determining the contact angle and adhesion work. Glycerol and sorbitol based coatings were applied at 100-0, 20-80, 70-30, 50-50, 30-70, 80-20 and 0-100% and 100% food grade commercial wax at room temperature. environment, this through impregnation by brush. The results indicated that the steam explosion promoted a reduction in CRA around 42%, a decrease in Cellulose of 35%, Hemicellulose of 40% and Lignin of approximately 58%, which could translate into an improvement in the structural properties of the mold. The treatment allowed an adequate conformation between the components and without fractures in the containers with a diameter of 15 cm and a thickness of 1 mm similar to the commercial containers available. The surface properties results indicated that

FHEV and FSEV were the molds with the best characteristics for their application as plates. While FHEV was the most accepted according to the results of the sensory evaluation for its incorporation into society. Reductions in both water-holding capacity and adhesion work confirmed that the adhesive forces of container surfaces decreased after vapor explosion and biodegradable packaging with vapor explosion treatment could outperform commercial packaging and biodegradable. Thus, by implementing this pre-treatment, it is possible to develop low-cost biodegradable packaging and the intensification of processes such as a promising alternative steam explosion for the sustainable use of agro-industrial waste in context with the objectives of the 2030 agenda.

## 1. Introducción

Actualmente, uno de los principales propósitos de la sociedad es la preservación del medio ambiente. Se está optando por cambiar la forma de empaquetar y envasar alimentos, así como reemplazar los plásticos por biomateriales con características similares y tratar de mejorar costumbres para poder ofrecer un mundo, al menos como lo conocemos a futuras generaciones. Los residuos agroindustriales están siendo en las últimas décadas motivo de diversos estudios, debido a que gran parte de sus componentes pueden ser utilizados como materia prima para la generación de productos con valor agregado, condición que prevalece actualmente y que se prevé continúe en el futuro, para reducir el impacto ambiental que ocasionan dichos residuos (Mejías *et al.*, 2016). Los envases y empaques alimentarios se componen de una serie de materiales previamente seleccionados que se encuentran destinados a preservar y salvaguardar la calidad de los alimentos durante su almacenamiento, distribución, y a su vez también, protegerlos del deterioro por daño y de la contaminación externa. (Borneo *et al.*, 2016). En la actualidad el uso de empaques biodegradables ha cobrado mucho auge y se ha vuelto una tendencia en diversas partes del mundo debido a la situación de contaminación ambiental que prevalece y que ha incrementado en los últimos años de manera alarmante. Esto ha provocado el estudio de fuentes renovables y naturales para crear biomateriales capaces de sustituir a los plásticos convencionales. La alta demanda por parte de los consumidores por productos alimenticios atractivos, seguros y convenientemente envasados y empaquetados, junto con la necesidad de minimizar el impacto ambiental ha llevado al estudio y desarrollo de películas y recubrimientos biodegradables, también comestibles y aptos para el empaquetado (Escobar *et al.*, 2011). Para ello es importante determinar la adecuada combinación de las necesidades del alimento y de las propiedades del material de envasado y empaquetado para lograr óptimos resultados en cuanto a la calidad. La necesidad de transporte y distribución de los productos desde las plantas de producción y procesado hasta los puntos de venta, prolonga los períodos de almacenamiento. (Kerch *et al.*, 2011). A partir del año 2018 en el estado de Veracruz se aprobó una ley de prohibición de los plásticos cuyo objetivo es erradicar su uso para cuidar el medio ambiente, actualmente se ha demostrado que es posible utilizar diversos residuos para la obtención de un material con características similares a las de los plásticos. Es por lo anterior que en este trabajo se abordó la modificación estructural de material lignocelulósico presente en agro-residuos de la Región de Tierra Blanca y su aplicación en el desarrollo de un contenedor biodegradable. Para esta modificación se analizó la explosión por vapor. Y se estudió la adición de un recubrimiento de grado alimentario para que en sinergia con la explosión de vapor mejorar sus

propiedades estructurales y de barrera. De esta forma con este trabajo se logro desarrollar contenedores biodegradables que pueden satisfacer las necesidades similares a las de los contenedores tradicionales elaborados de materiales plásticos. Adicionalmente se logró dar un valor agregado a los residuos de la agroindustria generados en la Cuenca del Papaloapan y del estado de Veracruz, generando una propuesta de valor que permite reducir la contaminación provocada por los plásticos, lo anterior en concordancia con la agenda 2030.



## 2. MARCO TEORICO

### 2.1.- Productos biodegradables

Se dice Biodegradable al producto o sustancia que puede descomponerse en sus elementos químicos que los conforman, debido a la acción de agentes biológicos, como plantas, animales, microorganismos y hongos, bajo condiciones ambientales naturales. No todas las sustancias son biodegradables bajo condiciones ambientales naturales. La velocidad de biodegradación de las sustancias depende de varios factores, principalmente de la estabilidad que presenta su molécula, del medio en el que se encuentran que les permite estar biodisponibles para los agentes biológicos y de las enzimas de dichos agentes. Cuando se dice que un producto o material es biodegradable significa que tiene la capacidad de descomponerse de forma natural y ecológica en un plazo relativamente corto. De este modo, no contamina el medio ambiente o, incluso, se transforma en abono para la tierra. Es cierto que todos los organismos pueden desintegrarse espontáneamente. Unos necesitan unas pocas semanas para biodegradarse y otros pueden tardar siglos. Y aquí está el problema para el planeta, cuando el tiempo que necesita un material para degradarse es demasiado largo, quedándose, mientras, en la naturaleza (Vazqu ez *et al.*, 2016).

#### 2.1.1.- Tipos de productos biodegradables

##### **Bioplásticos**

La organización European bioplastics define a los bioplásticos como plásticos que son biobasados, biodegradables, o que reúnen ambas características. Esta definición ha sido retomada en el anteproyecto de norma mexicana PROY-NMX-E-260-CNCP-2013 Industria del plástico – Materiales bioplásticos – Terminología, que establece lo siguiente:

Bioplástico: plástico que en su constitución total proviene de:

- a) Materias primas de origen renovable y es biodegradable
- b) Materias primas de origen renovable y no es biodegradable, o
- c) Materias primas de origen petroquímico y es biodegradable.

##### **Plásticos biobasados**

Los plásticos biobasados son aquellos que se fabrican a partir de la biomasa –la materia orgánica que compone a los seres vivos– de recursos naturales renovables, generalmente plantas, algas y microorganismos. En algunos casos es posible producirlos incluso a partir de residuos. A diferencia de los biopolímeros que se generan directamente en la naturaleza, como el almidón, las proteínas, la lignina y el quitosano, los plásticos biobasados requieren de etapas de procesamiento químico antes de su utilización (Vázquez *et al.*, 2016). Esto puede

ocurrir a partir de 2 procesos

1.- El procesamiento químico de algún componente extraído de plantas como el maíz, soya, yuca y caña de azúcar, 2.- La producción de etanol, ácido láctico y otros compuestos básicos a partir de la fermentación del almidón de las plantas, para después transformarlo y obtener los monómeros que darán origen al plástico. Este método permite obtener plásticos como el ácido poliláctico (PLA), pero también polietileno, polipropileno, nylon y otros plásticos convencionales, que presentan exactamente las mismas propiedades que los polímeros equivalentes obtenidos del petróleo (Vázquez et al., 2016). La mayor ventaja relacionada con los plásticos biobasados es la posibilidad de fabricarlos a partir de recursos que, si se manejan adecuadamente, no se agotan. (Vázquez et al., 2016).

**Tabla 1. Bioplásticos representativos y sus propiedades (Vázquez et al., 2016).**

Bioplásticos	Biobasado	Biodegradable	Propiedades	Observaciones
Ácido Poliláctico (PLA)	X	X	-Similares a las del PET, aunque con menor resistencia a la temperatura.	-Generalmente se fabrica a partir de maíz. -Uno de los bioplásticos más usados.
Bio- polietileno (BIO-PE)	X	-	-Idénticas a las del polietileno convencional	-Generalmente se fabrica a partir de la caña de azúcar, con bioetanol como producto intermedio.
Policaprolactonas (PCL)	-	X	-Resistente al agua, aceite, solventes y cloros.	-Se emplea en la fabricación de poliuretanos.
Polihidroxialcanoatos (PHA)	X	X	-Dependientes del polímero específico. -Muy sensibles a las condiciones de procesamiento	-Se extraen de las células de plantas y microorga. -Costo es hasta 10 veces mayor al de plástico convencional.

La fabricación de los plásticos biobasados, como se puede apreciar en la figura 1, es en función de las condiciones específicas de cada proceso productivo, pueden presentar una huella de carbono menor que los plásticos convencionales. Por otro lado, algunos de ellos presentan desventajas relacionadas con sus condiciones exigentes de procesamiento, alta afinidad con el agua, menores propiedades de barrera y menor biocompatibilidad. Es importante señalar que el origen biobasado de un plástico no implica que éste sea biodegradable. Aunque hay casos como el del PLA, en el que se reúnen ambas condiciones en un solo material, la biodegradabilidad de un plástico depende de su estructura química, y no del proceso o la materia prima mediante la cual se haya producido. (Vázquez et al., 2016).



Figura 1.- Proceso de fabricación de plásticos biobasados.

### **Plásticos biodegradables**

Para considerar a un plástico como biodegradable es necesario garantizar que alcanza una mineralización completa en un periodo de tiempo establecido. Los plásticos biodegradables pueden fabricarse a partir de recursos renovables o de combustibles fósiles, dado que la biodegradabilidad no es función del material de origen, sino de la estructura química del plástico. Sin embargo, para que la biodegradación ocurra deben cumplirse otros requisitos, tales como la presencia de microorganismos capaces de llevarla a cabo y las condiciones ambientales requeridas para su desarrollo. La mayoría de los plásticos biodegradables ha sido diseñada para sufrir este proceso en un entorno específico, haciéndolos susceptibles a los microorganismos presentes en los procesos de composteo, los ambientes marinos o, en menor medida, ambientes (Vázquez *et al.*, 2016).

### **2.2.- Residuo agroindustrial**

En su mayoría los residuos agroindustriales corresponden a biomasa lignocelulósica y lipídica que, pese a su dificultad de degradación en algunos

casos, es posible su desdoble a monosacáridos y ésteres más simples mediante procesos físicos, químicos y/o biológicos. Por tanto, el aprovechamiento de los residuos agroindustriales ha venido evolucionado a través de investigaciones implementadas en países desarrollados donde han dejado de ser productos desecho-problema para convertirse en materia prima potencial maximizando su potencial de uso al dar valor agregado a los mismos, que de no ser así presentan un gran problema ambiental debido a su disposición final (Mejías *et al.*, 2016). Los residuos agroindustriales están siendo en las últimas décadas motivo de diversos estudios, debido a que gran parte de sus componentes pueden ser utilizados como materia prima para la generación de productos con valor agregado, condición que prevalece actualmente y que se prevé continúe en el futuro desde el punto de vista de la generación de bioenergéticos y la prioridad para reducir el impacto ambiental que ocasionan dichos residuos (Mejías *et al.*, 2016). En la agroindustria mexicana los productos que se industrializan son: frutas, verduras, tubérculos y vainas, semillas, raíces, hojas; algunos comercializados en fresco y otros son transformados en harinas, aceites, néctares, jugos, vinos, mermeladas, ensaladas, concentrados en polvo, entre otros, por lo que es notable la generación de residuos, desde la cosecha misma, pasando por los centros de concentración y distribución y finalizando en la industrialización, comercialización y consumo.

### 2.2.1.- Uso y aplicaciones de residuos agroindustriales

Los residuos agroindustriales están considerados entre los recursos renovables más importantes para la obtención de productos de interés económico y social. En los últimos años ha crecido el interés por el uso de los residuos lignocelulósicos en diversos ámbitos. Esta tendencia tiene sus orígenes en el bajo costo y la abundancia y disponibilidad de estos materiales a nivel mundial, unido a la necesidad de minimizar el deterioro medioambiental provocado por la disposición de los mismos. Las principales investigaciones han estado dirigidas a desarrollar tecnologías que los utilicen como materias primas en la producción de biocombustibles, pulpas, papel y productos químicos de nueva generación y alto valor agregado. Entre los materiales prospectivos para estos fines están los residuos agroindustriales, los cuales están disponibles alrededor del mundo, ya que son generados a partir de la cosecha y procesamiento de diferentes productos agrícolas de alta demanda social (Sarkar *et al.*, 2012). En los países en vías de desarrollo los residuos son abandonados en vertederos o reducidos a cenizas, provocando la contaminación del entorno (León y col., 2013).

México, en la búsqueda de alternativas para aprovechar sus residuos y elevar la calidad de vida de sus habitantes, se ha comprometido con el desarrollo sostenible como un paradigma viable a nivel mundial, firmando los acuerdos de la última Cumbre de las Naciones Unidas celebrada en 2015, donde la sostenibilidad provee

una nueva visión, pues a partir del ambiente que se tiene se propone una transformación planificada y gradual que modifique el enfoque actual económico, cultural y social de nuestra relación social con la naturaleza.

Factores claves a atender para ese desarrollo sostenible eficaz y eficiente son la demanda energética, el cambio climático, la escasez de recursos naturales y el manejo de los residuos (Mejías *et al.*, 2016). El aprovechamiento de los residuos agroindustriales ha evolucionado a través de investigaciones implementadas donde han dejado de ser productos desecho-problema para convertirse en materia prima potencial maximizando su potencial de uso al dar valor agregado a los mismos, de no ser así presentan un gran problema ambiental debido a su disposición final, contribuyendo en el desarrollo energético de México, la agroindustria, sus residuos y el impacto ambiental, teniendo su aporte en la biotecnología y la valorización energética que existe aplicando tecnologías limpias (Mejías *et al.*, 2016).

### 2.3.- Empaque

Es todo producto fabricado con materiales apropiados, que es utilizado para contener, proteger, manipular, distribuir y presentar productos de venta al público. Es un sistema diseñado para mantener y asegurar los productos con el fin de poder transportarlos del sitio de producción al consumidor final sin que sufran ningún daño. El empaque es la presentación inicial de la empresa con el consumidor, con el ánimo de establecer un reconocimiento de marca que apoye la fidelización de los clientes, basados en la información contenida en los materiales utilizados y apoyados por marcas y pictogramas que ayudan al reconocimiento y manejo de los productos. (Tarango, 2011). La clasificación del empaque se muestra en la Tabla 2.

#### 2.3.1.- Tipos de empaques

De los materiales de empaque, se pueden destacar algunos básicos que son: plásticos, vidrio, metal y materiales celulósicos. Por su consistencia los empaques se clasifican en envases rígidos, semirrígidos y flexibles, aspecto que define si el producto puede o no aportar resistencia a la carga de producto en una estiba (resistencia a la compresión), y que por lo tanto determina el diseño del embalaje. (Tarango, 2011). Los empaques semirrígidos están destinados a mantener una forma definida, pero pueden presentar cierto grado de deformación bajo diferentes tipos de esfuerzos. Un claro ejemplo de este empaque son las botellas de plástico, las cuales pueden ser muy moldeables en términos de forma, tamaño y color. El caso particular de las botellas PET tiene mayor influencia en la actualidad, estas poseen una gran transparencia, son muy difíciles de romper y tienen muy bajo peso. Por su parte los empaques rígidos son aquellos que tienen una forma definida y no

moldeable. Su rigidez permite arrumar el producto sobre sí mismo sin sufrir daños. Entre este tipo de empaques se destacan el vidrio y la hojalata para el sector de alimentos. Mientras que la estructura de los empaques puede ser mono capa o multicapa (más de una capa). Los materiales para empaques flexibles se dejan enrollar, doblar, formar y fraccionar, para posteriormente formar cuerpos tridimensionales. En general, este tipo de envase ofrece una reducción de materiales y peso, en comparación con los envases rígidos. (Tarango, 2011)

**Tabla 2. Clasificación de empaques (Tarango, 2011).**

<b>Tipo de empaque</b>	<b>Función</b>	<b>Características</b>
<b>Primarios</b>	Envase o envoltura	Es el que está en contacto directo con el producto con la función de envasarlo y protegerlo.
<b>Secundarios</b>	Empaque	Se usan como complemento externo para contener o agrupar varias unidades del empaque primarios.
<b>Terciarios</b>	Embalaje	Puede agrupar varias unidades de empaques primarios y secundarios, facilitando la manipulación y el transporte.

#### 2.4.- Materiales convencionales para la elaboración de envases y empaques.

La mayoría de los materiales utilizados en la elaboración de envases para alimentos son productos derivados del petróleo. (McKeen, 2013) reportó que los polímeros que más se comercializan en la actualidad son los polietilenos y los polipropilenos los cuales continúan incrementando su demanda anual hasta un 4 %. Por su parte, (Bandyopadhyay y Sinha 2019) reportaron que los plásticos más utilizados en la industria del envase, empaque y embalaje son el HDPE, LDPE, PVC, PP y PS. Estos materiales plásticos se caracterizan por ser ligeros, versátiles, durables, resistentes, y aislantes (Ebnesjjad, 2012), características que les permite almacenar de mejor manera al producto, protegiéndolo de diversos daños físicos, químicos y biológicos. Además, alcanzan un precio en el mercado muy reducido, haciéndolos más competitivos que los biopolímeros (Rives-Castillo *et al.*, 2020).

##### 2.4.1- Importancia de los envases y empaques biodegradables

(Atarés y Chiralt 2016) han hecho hincapié en que el uso de plásticos derivados del petróleo se ha convertido en un grave problema ambiental, una tendencia es la sustitución de estos polímeros convencionales por polímeros renovables y sustentables, pero sobre todo biodegradables. En los últimos años, la investigación

en el campo de envases se ha centrado en materiales biodegradables o bioplásticos que ayuden a alargar la vida de anaquel, así como preservar la calidad y garantizar la inocuidad de los alimentos. Los polímeros biodegradables son definidos por (Khaneghah *et al.*, 2018) como materiales con la capacidad de descomponerse en dióxido de carbono, metano, compuestos inorgánicos o biomasa (predominante de acción enzimática) y agua. (Jabeen *et al.*, 2015) reportaron que en los últimos 10 años la demanda de bioplásticos biodegradables para envases de alimentos se ha incrementado. Igualmente, (Cazón *et al.*, 2017) reportaron que en la elaboración de envases deben utilizarse materiales biodegradables, que provengan de fuentes renovables, abundantes y sobre todo de bajo costo, es por lo que, en la última década se ha pretendido obtener biopolímeros a partir de residuos naturales o fuentes secundarias como son los desechos agroindustriales, biomoléculas derivadas de productos agrícolas utilizados para la elaboración de polímeros para envases biodegradables (Méndez *et al.*, 2014; Cazón *et al.*, 2017) como se menciona en la Tabla 3.

**Tabla 3.- Empleo de polisacáridos a partir de diferentes subproductos para su uso como envases en productos hortofrutícolas (Rives *et al.*, 2020).**

Polisacárido	Fuente	Uso	Aplicación	Referencia
<b>Almidón</b>	Cascara de papa	Recubrimiento	Manzanas	Mehyar <i>et al.</i> , (2011)
		Recubrimiento	Nueces	Mehyar <i>et al.</i> , (2012)
	Cascara de chícharo	Recubrimiento	Guayaba	Pereira <i>et al.</i> , (2012)
<b>Pectina</b>	Yuca			
	Aloe vera	Recubrimiento	Chicozapote	Khalia <i>et al.</i> , (2019)
	Aloe vera	Recubrimiento	Papaya	Mendy <i>et al.</i> , (2019)
	Aloe vera	Recubrimiento	Naranjas	Rasouli <i>et al.</i> , (2019)
<b>Celulosa</b>	Naranjas	Película	Tomate	Sucheta <i>et al.</i> , (2019)
	CMC	Biopolímero	Manzanas	Saba y Sogvar., (2016)
	CMC	Biopolímero	Fresas	
	Semilla de aguacate	Biopolímero	-	Shao <i>et al.</i> , (2018)
	HMC	Recubrimiento	Tomate	Lubis <i>et al.</i> , (2018)
<b>Quitosano</b>	Cangrejo	Película	Chile verde	Priyadarshi <i>et al.</i> , (2018)
	-	Recubrimiento	Hongo	
	Cangrejo	Recubrimiento	shiitake	Huang <i>et al.</i> , (2019)
	Camarón	Envase activo	Mango	Jaimun <i>et al.</i> , (2019)
			Durian	Niponsak <i>et al.</i> , (2020)

CMC= Carboximetilcelulosa; HMC= HemiCelulosa; - = Información No Disponible.

De acuerdo con (Sircusa *et al.*, 2008), los principales recursos biodegradables que se utilizan en la elaboración de diversos tipos de envases para alimentos pueden ser los aceites vegetales, la fécula de maíz, la fécula de papa, fibras obtenidas de piña, yute, cáñamo, henequén y tallos de plátano, entre otros, mientras que, para (Riera y Palma 2018) la obtención de biopolímeros a partir de residuos agrícolas puede incluir al almidón de yuca, olores de maíz, papa, plátano y diversos polímeros naturales.

Otros autores señalan que parte de los residuos más utilizados han sido los de papa, zanahoria, cáscara de tomate verde, residuos de manzanas, cáscara de cacahuate, arroz, fibras de coco, cáscaras de cacao y más actualmente residuos de nopal, entre otros (Virtanen *et al.*, 2017; Bilo *et al.*, 2018; Scaffaro *et al.*, 2019). Como ejemplos de esto, a la fecha se han desarrollado envases para alimentos a partir de fibras vegetales de plátano, coco y caña, usando como aglutinante harina de arroz de rechazo (Sarasty 2017). (Chantawee y Riyajan 2018) mostró la degradabilidad en 30 días de hasta el 80% de un polímero hecho a base de almidón de yuca y fibras de hoja de caña, mencionaron que los subproductos de la industria agrícola buscan aislar macromoléculas específicas como celulosa, lignina, pectina y suberina, así como compuestos aromáticos que sirvan para poder formular matrices poliméricas biodegradables y biofuncionales.

## 2.5.- Empaques biodegradables

En la actualidad, hay muchos tipos de materiales nuevos que en el siglo XXI ya son más comerciales, como el unicel, la piedra, el cemento, el barro; hay algunos materiales combinados, como PVC, envases térmicos, frascos de plástico con tapa de metal, latas con la modalidad “abre fácil”, envases tetra pack, plástico biodegradable hecho con azúcares y plantas (al ser expuestos a altas temperaturas de calor se degradan, y son benéficos para el medio ambiente), materiales reciclables como el cartón, el papel y el plástico, entre otros, que son de menor costo y mantienen por más tiempo los productos (Navia *et al.*, 2014).

### 2.5.1.- Panorama actual del mercado para los envases y empaques biodegradables

Los principales productores de bioplásticos son Asia con el 56 % de la producción, seguido de Estados Unidos con el 16 %, Sudamérica con el 10 % y de éste, principalmente los países de Colombia, Chile, Argentina y Brasil, mientras que, Europa produce el 18 % de estos bioplásticos (Riera y Palma, 2018). (Vázquez-Morilla *et al.*, 2018) indicaron que, aunque los bioplásticos tienen una baja presencia en el mercado, su producción ha aumentado aproximadamente 30%. Actualmente, existen pocos registros de empresas dedicadas a la obtención de bioplásticos, aunque se reporta interés en realizar investigaciones acerca de su forma de obtención, comercialización y uso; por lo que, surgen iniciativas para reducir el uso de plásticos de un solo uso y promover el uso de materiales biodegradables. Se han incorporado a esta iniciativa varios estados de la República, como Ciudad de México,



Chiapas, Chihuahua, Hidalgo, Nayarit, Oaxaca, Puebla, San Luis Potosí, Sinaloa, Tabasco, Tamaulipas, Veracruz, Yucatán entre otros, los cuales han emitido propuestas para restringir el uso de productos plásticos de un solo uso y promover el uso de materiales biodegradables. En la actualidad, el 65 % de los bioplásticos se utiliza en envases y productos de vida corta (Rives-castillo *et al.*, 2020).

## 2.6.- Explosión por vapor

La explosión por vapor tiene como fundamento tratar la biomasa lignocelulósica con vapor saturado a alta presión y disminuirla rápidamente, lo que genera que las muestras estén expuestas a una descompresión explosiva, provocando que la hemicelulosa pierda su estructura y la lignina se separe de la hemicelulosa debido a la alta temperatura y al cambio de presión, haciendo que la estructura del material pre-tratado se rompa dando como resultado la solubilización de fracción hemicelulósica liberándose azúcares y haciéndose disponible a la celulosa aumentándose así el potencial de la hidrólisis de la celulosa (Romero-García *et al.*, 2016). El pre-tratamiento requiere de altas temperaturas y presión de vapor, es por ello que se deben considerar factores que afectan el pre-tratamiento de explosión de vapor, los cuales son: el tiempo de retención, la temperatura, tamaño de la muestra y el contenido de humedad (Ballesteros *et. al.*, 2006). La explosión por vapor fue introducida y patentada en el año de 1926 por W.H. Mason como un eficiente proceso para desfibrar madera. Posteriormente en 1932 L.W. Babcock aplicó este proceso para pre-tratar la madera para la producción de azúcares fermentables y alcohol.

Normalmente, explosión por vapor se clasifica como un proceso de pre-tratamiento físico-químico, acompañado por el cizallamiento mecánico y desfibrilación de la estructura. Durante el pre-tratamiento, el vapor saturado a alta presión penetra en la recalcitrante pared celular por difusión, y la separación mecánica de las fibras se consigue por la repentina evaporación de la humedad condensada en la liberación de la presión provocando una ruptura de la estructura y exponiendo los metabolitos de interés como se muestra en la Figura 2 (Wang *et al.*, 2015).

Las ventajas generales del pre-tratamiento con explosión de vapor son:

- ✓ Productos químicos limitados, ya que solo se utiliza agua.
- ✓ No se requiere un tratamiento previo de la muestra.
- ✓ Se evita la degradación excesiva de los metabolitos por los cortos tiempos de operativos del proceso.
- ✓ Los requerimientos de energía son considerablemente menores que el proceso mecánico.
- ✓ Impacto ambiental muy bajo

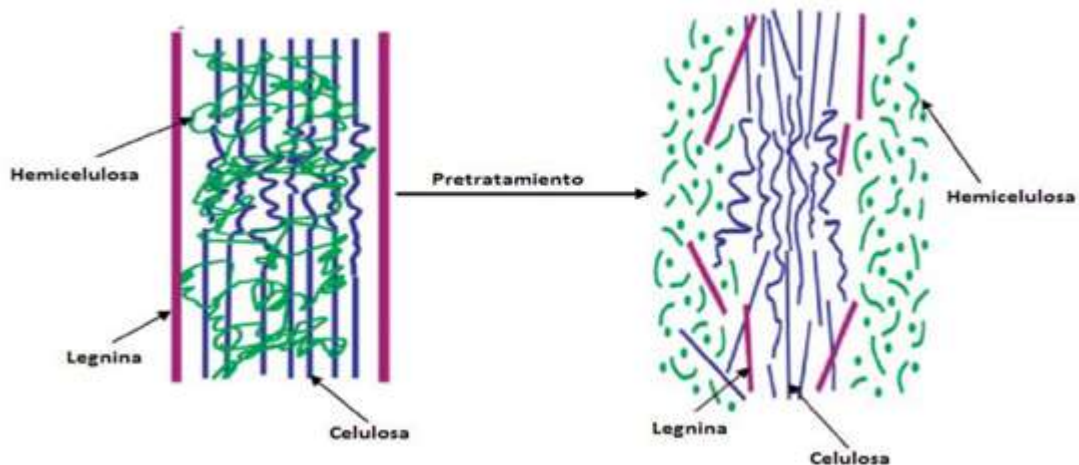


Figura 2.- Rompimiento de la matriz por acción de la explosión por vapor.

Pero también es necesario considerar algunas desventajas como:

- Variación del peso en la matriz al salir del pre-tratamiento.
- Establecimiento lento de las condiciones de operación.

Una vez conociendo ventajas y desventajas se debe tener en claro que los resultados del pre-tratamiento de explosión por vapor dependen principalmente del tamaño de partícula y contenido de humedad (Sun & Cheng, 2002; Romero-García *et al.*, 2016). Durante la explosión por vapor, los materiales lignocelulósicos se calientan a través de los poros y la luminosidad de las células. La velocidad de calentamiento en la dirección longitudinal es mucho más rápida que en la dirección tangencial o radial. En consecuencia, la emisión de transferencia de calor puede dar lugar a la cocción excesiva de la superficie y autohidrólisis incompleta del interior de grandes partículas de biomasa, por lo que se recomienda evaluar el tiempo de exposición y la temperatura para no causar daño a los compuestos, el tamaño de partícula pequeño requiere un importante consumo de energía (Wang *et al.*, 2015). La humedad inicial es también uno de los factores importantes ya que afecta a la severidad de la explosión de vapor. El alto contenido de humedad podría reducir la capacidad del calor y de los productos químicos para penetrar en la muestra y luego reduce la velocidad en la cinética, porque los poros en la biomasa están llenos de condensado antes de que se alcance la temperatura fija (Lam *et al.*, 2011). La industria alimentaria ha adoptado esta tecnología de pre-tratamiento en diversos procesos:

Kurosumi *et al.*, (2007) uso el proceso de explosión por vapor y algunos disolventes para extraer antioxidantes de Sasa palmata, se determinó que la condición óptima de explosión de vapor para la extracción efectiva de compuestos antioxidantes de S. palmata fue de una temperatura de vapor de 250 ° C y un tiempo de 1 min. En estas condiciones, se obtuvieron 217.41 mg / (hoja g-Sasa) de compuestos fenólicos y

142.81 mg / (hoja g-Sasa) de actividad de eliminación de radicales, haciendo de esta planta una alternativa en la producción de antioxidantes. Boluda-Aguilar *et al.*, (2010) estudiaron los residuos de cáscara de cítricos de mandarina (*Citrus reticulata* L.) (MCPW) para la producción de bioetanol, obteniéndose también como co-productos: D-limoneno, ácido galacturónico y pastillas de pulpa cítrica (CPP), se pudieron obtener contenidos de etanol de 50-60 L /1000 kg de MCPW crudo y los rendimientos de CPP pudieron ser regulados mediante el control de la dosis de enzimas y el pre-tratamiento de explosión por vapor que puede reducir significativamente los requerimientos de enzimas. Piñeros-Castro *et al.*, (2011) estudiaron la explosión por vapor a 190°C (10 y 25 min) de cascarilla de arroz impregnada con agua y una solución de ácido sulfúrico 0.5% v. Como resultado, se logró solubilizar parcialmente la hemicelulosa y afectar la estructura del material, con lo que se aumentó la producción de azúcares a partir de cascarilla, obteniéndose una máxima recuperación global de glucosa (tratamiento e hidrólisis enzimática) de 14.98% p (0.5% v H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 25 min, 190°C); este valor es muy superior al 0.7% p logrado con material sin tratar. Deepa *et al.*, (2011) la utilizaron para determinar la eficiencia de desgomado y las características fisicoquímicas de la fibra de banano. Las fibras se trataron con NaOH al 2% con una presión de 20 lb ya una temperatura de 110-120 ° C durante un período de 1h. Chen & Chen (2011) estudiaron los efectos de la explosión por vapor en la extracción y conversión de flavonoides de frutas de sumac, mostrando que el rendimiento de flavonoides de los frutos de sumac explotado a 200 °C durante 5min alcanzó el máximo de 19.65 mg / g de peso seco al 20 min, que era aproximadamente 8 veces mayor que la de la muestra sin procesar. Noda *et al.*, (2013) aplicó esta tecnología para mejorar la actividad antioxidante en el ajo, la mayor cantidad de compuestos fenólicos: 93.7 mg de catequina equiv. /g-seco ajo crudo, se obtuvo a una presión de vapor de 30 bar para un tiempo de cocción de 5 min. Zhang *et al.*, (2014) logro reducir mediante la explosión por vapor la hidrofobicidad superficial de proteína de Soya, mejorando las propiedades emulsionantes. El índice de actividad emulsionante y estabilidad de emulsión se mejoró a 41.94 m<sup>2</sup>/ g a 35.27 min bajo 1.3 MPa. Nurra *et al.*, (2014) utilizó la explosión por vapor para la extracción de lípidos en microalgas, es notable que el tratamiento de explosión de vapor mejora en gran medida la cantidad de lípido extraíble en n-hexano, de 0.3% a 3.6% (a 120 ° C) y 8.8% (a 180 °C). Romero Garcia *et al.*, (2016) investigaron la recuperación de azúcares naturales y antioxidantes de hojas de olivo, las condiciones operativas para maximizar simultáneamente las recuperaciones de azúcares y antioxidantes naturales resultaron ser de 180 °C, 8.3 min y hojas enteras; Bajo estas condiciones se obtuvieron 18.39 g y 1950 mg a partir de 100 g de hojas de olivo seco, respectivamente. Esto equivale a una recuperación del 70% de los azúcares iniciales presentes en las hojas de olivo.

En nuestra institución se ha empleado la explosión de vapor con fines como el aprovechamiento de residuos agroindustriales en la obtención de productos de valor agregado como aceite de melón, y en la obtención de maltodextrinas como ingrediente alimentario. De igual manera se ha explorado como una alternativa de fragmentación de material lignocelulósico que en combinación con procesos enzimáticos permitan obtener azúcares fermentables.

Huerta Zamora (2018) utilizó la explosión por vapor como pre-tratamiento para la extracción de aceite en semilla de Melón (*Cucumis melo*) comparándolo con un método convencional, el objetivo de este trabajo fue evaluar la extracción de aceite de semilla de melón en extracción Soxhlet, asistida por EV y compararla con su control sin EV (CSEV). Las condiciones de operación fueron 180°C, 10 Bar durante 12 min para el pre-tratamiento EV, posteriormente se secaron por 1.5 h a 80°C y se llevó a cabo la molienda y el tamizado para EV y CSEV. Figueroa Torres (2018) aplicó explosión por vapor como tratamiento en combinación con hidrólisis enzimática al lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), para aumentar los rendimientos de la sacarificación del lirio acuático. En la combinación de pre-tratamientos para la sacarificación, primero fue aplicado el proceso de explosión por vapor, donde se evalúan tres diferentes tiempos de retención: 1, 5 y 10 minutos, de los cuales se encontró que el tiempo de 10 minutos es del que mayores rendimientos de azúcares se obtuvieron, liberándose 3.4, 4.3 y 5.4 g/L para azúcares reductores y 6.1, 6.6 y 8.5 g/L para azúcares totales. Santiago Carrillo (2018) implementó explosión por vapor (EPV) como tratamiento de hidrólisis en la pulpa de plátano macho de desecho para obtener maltodextrina. Se probaron 2 tiempos de retención (10, 15s) para ver el efecto de EPV y se evaluaron 3 temperaturas de secado, dando como mejores resultados una retención de 10s y secado a 60°C obteniendo mayores rendimientos de maltodextrina y con mejores propiedades funcionales.

El sistema de explosión por vapor más utilizado es por lotes. La planta piloto en la que se han llevado a cabo las pruebas de tratamiento con explosión por vapor está constituida por tres unidades: reactor de explosión por vapor, acumulador de vapor y ciclón de descarga. En la Figura 3 (Wang *et al.*, 2015) se muestran los componentes que lo integran:

Donde las características del sistema se describen a continuación.

Reactor de explosión por vapor: Corresponde a la cámara en donde la biomasa lignocelulósica es comprimida y despresurizada súbitamente. Consiste en una tubería de 3" de diámetro nominal de acero inoxidable 316, montado verticalmente y limitado por dos válvulas de paso reducido de 3" de diámetro en acero inoxidable 316.

La válvula situada en el extremo superior se abre y cierra manualmente y a su través se efectúa la carga de la biomasa lignocelulósica en el reactor. La válvula del extremo inferior de la cámara se abre mediante un dispositivo de disparador y muelle con el fin de lograr una apertura en menos de 1 segundo. De esta manera, la mezcla de vapor y biomasa se descarga violentamente, pasando a través de la tubería que la conduce al ciclón.

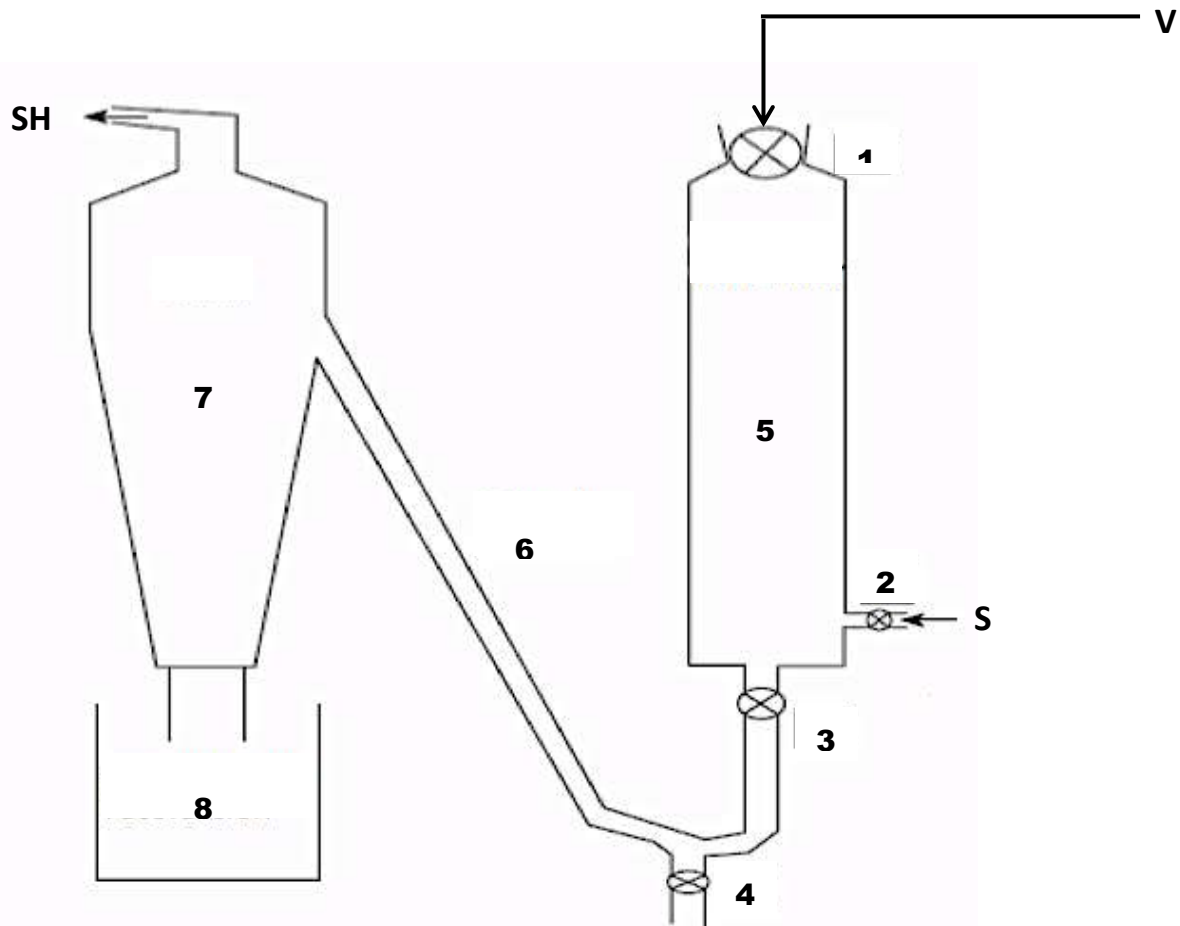


Figura 3.- Partes del equipo de explosión por vapor. 1. Válvula de carga de muestra. 2. Válvula de suministro de vapor saturado. 3. Válvula de descarga. 4. Válvula de drenado de condensación. 5. Cámara del reactor. 6. Tubo de conexión. 7. Ciclón, 8. Recipiente de recolección. SH= vapor Húmedo, V= Vapor saturado, S= Vapor de la caldera.

La cámara del reactor está provista de la siguiente instrumentación y elementos de seguridad: Termómetros en la parte superior de la cámara, cerca de la válvula de carga y en la parte inferior, cerca de la válvula de descarga, de modo que puedan comprobarse la temperatura del vapor y de la biomasa independientemente. Válvula de seguridad tarada a la presión máxima del acumulador de vapor. Manómetros para

el registro y control de la presión de vapor y en la cavidad Conexión de ventilación para de presurización después de los precalentamientos, con el fin de permitir, a continuación, la apertura de la válvula de carga.

Ciclón de descarga: La mezcla vapor y el material lignocelulósico del proceso es expulsado en cada disparo entra en el ciclón de descarga, horizontal y tangencialmente. Este ciclón está construido en acero inoxidable 316 y tiene una parte cilíndrica de 16" de diámetro y una parte troncocónica que parte de la cilíndrica, hacia abajo y muestra un ángulo de 60º, acaba en el cuello de una brida DN-80 y PN-16, sobre la que se monta una válvula tipo tajadera por la que se extrae el material expansionado en el reactor. El borde superior de la parte cilíndrica del ciclón acaba en una brida de 16" provista de orejetas y pasadores que sujetan los 16 pernos de ojo que fijan la brida ciega, que hace de tapadera del ciclón.

Recipiente de recolección: Corresponde al recipiente en forma cilíndrica, semejante a una olla de acero inoxidable 316, de 14" de diámetro, al momento de la explosión por vapor el material lignocelulósico junto con el vapor de agua son expulsados al recipiente.

## 2.7.- Recubrimientos

Los recubrimientos generalmente son películas plásticas recubiertas de algún compuesto que brinda barrera de gases. Un recubrimiento como su nombre lo indica consiste en añadir un elemento en la superficie de una estructura o película fabricada anteriormente. Los recubrimientos más utilizados en la actualidad son: Ceras, Barnices, PVDC (cloruro de polivinilideno), Lacas para sellado térmico y la metalización con aluminio. Cada recubrimiento puede proporcionar diferentes características de barrera al sustrato original. (Tarango, 2011).

### 2.7.1.- Tipos de recubrimientos

Las películas y los recubrimientos desempeñan un papel importante en la calidad, seguridad, transporte, almacenamiento y presentación de alimentos frescos y procesados. Su degradabilidad y comestibilidad hacen que estos productos sean adecuados en aplicaciones de envasado de alimentos. Contribuyen a prevenir el deterioro, la contaminación microbiana, pérdidas de peso por humedad y las tasas de reacciones metabólicas adversas en los alimentos (Tavassoli-Kafrani *et al.*, 2016). Entre los recubrimientos más utilizados se encuentran las ceras, los barnices, el PVDC (cloruro de polivinilideno) y lacas de termo sellado (Tarango, 2011).

### 2.7.2.- Propiedades de superficie.

Las propiedades superficiales connotadas como la interacción soluto-superficie no solo pueden definir el comportamiento hidrofobicidad o hidrofílico de una superficie

solida al entrar en contacto con un líquido; sino que además describen de manera indirecta una propiedad barrera si de la permisibilidad o permeabilidad se refiere, lo anterior en términos de ángulo de contacto. El ángulo de contacto ( $\Theta$ ) en el área de materiales y análisis de superficie corresponde a aquella medición para definir el nivel de hidrofobicidad que muestra una superficie sólida. Cuando este ángulo tiene un valor mayor a  $90^\circ$  existe una baja afinidad entre el líquido y el sólido (comportamiento hidrofóbico), mientras que en caso contrario (cuando el ángulo formado es menor de  $90^\circ$ ) se exhibe una alta afinidad (comportamiento hidrofílico). Finalmente, el humedecimiento (intrusión del líquido en los poros del sólido) ocurre, cuando el ángulo representa un valor de  $0^\circ$ , y en este caso, el líquido se dispersa totalmente sobre la superficie sólida. (Vargas, 2014).

En la Figura 4 (Vargas, 2014) se esquematiza el balance interfacial estacionario, de las fuerzas que determinan el valor del ángulo de contacto de un líquido sobre una superficie sólida, para los tres casos mencionados anteriormente.

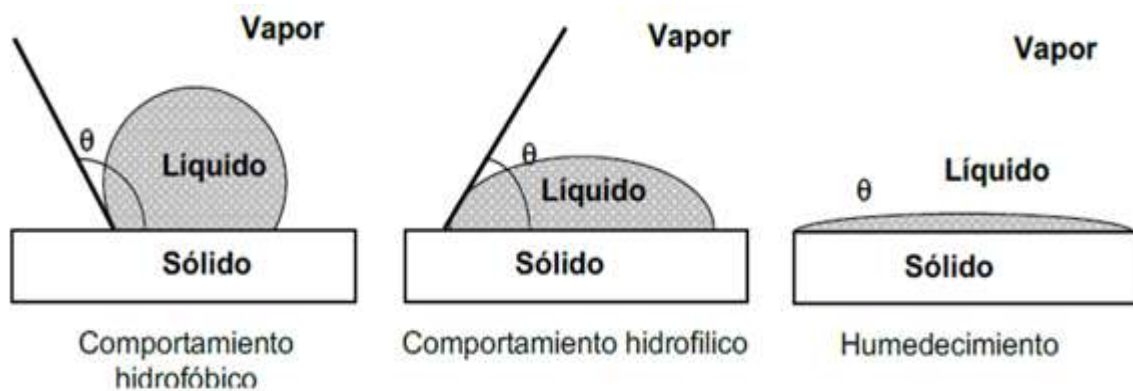


Figura 4.- Propiedades de superficie (hidrofilicidad / hidrofobicidad) en sólidos porosos de acuerdo al ángulo de contacto.

Donde, en el equilibrio de dicho balance, la tensión superficial ( $\gamma$ ) de los tres estados (sólido, líquido y gaseoso) coexisten: sólido/vapor (SV), sólido/líquido (SL) y líquido/vapor (LV) de acuerdo a la ecuación de Young (Ec. 1).

$$\gamma_{LV} \cos \theta = (\gamma_{SV} - \gamma_{SL}) \quad \text{Ec.1}$$

Además, considerando que el ángulo de contacto es una medida del nivel de humedecimiento sobre la superficie de un sólido, determinado por un balance entre las fuerzas adhesivas y cohesivas del material, esta medición también puede ser utilizada en la obtención de otras propiedades de superficie como son la tensión superficial ( $\gamma$ ) y el trabajo de adhesión ( $W_{SL}$ ) a través de ecuaciones que describan el balance entre las fuerzas de adhesión y cohesión existentes al contacto entre el sólido y el líquido (Ec. 2 y 3 de Young-Dupre y Young-Neumann respectivamente):

$$W_{SL} = \gamma_{LV}(1 + \cos \theta) \quad \text{Ec.2}$$

$$\cos \theta = -1 + 2 \sqrt{\left(\frac{\gamma_{SV}}{\gamma_{LV}}\right) \cdot \exp[-\beta(\gamma_{LV} - \gamma_{SV})^2]} \quad \text{Ec.3}$$

Donde  $\gamma$  es la energía superficial para las interfaces liquido-vapor (LV), solido-vapor (SV) o solido-liquido (SL), y  $\theta$  corresponde al ángulo de contacto entre el soluto y la superficie. Y  $\beta = 12.47 \times 10^{-5} \text{ (m}^2 \text{ mJ}^{-1})^2$  es un coeficiente independiente de los líquidos o sólidos involucrados.

### 2.8.- Materiales de empaques alimentarios.

Debido al cambio histórico que han tenido los materiales utilizados para elaborar recubrimientos comestibles y empacar productos alimenticios, se han dividido en tres generaciones:

**Primera generación:** Aquí se incluyen los materiales que se usaban como una bolsa de centro comercial hecha de polietileno de baja densidad (PEBD) de 5 a 15% de fibras de almidón con aditivos pro oxidativos y auto oxidativos, los cuales tenían una lenta fragmentación que se convertían en pequeñas moléculas que no eran biodegradables (Robertson, 2008).

**Segunda generación:** Formada por una mezcla de almidón 40-75% y PEBD más la adición de copolímeros hidrofílicos tales como polivinil alcohol y acetato de vinilo, cuya función era actuar como agente de compatibilidad. La degradación completa del almidón tomaba alrededor de 40 días y la degradación final de la película entre 2 y 3 años (Robertson, 2008).

Las características físicas que tenían estos empaques dejaban en duda la credibilidad de la degradación que supuestamente tenían, por lo que no eran del todo aceptados en el sector comercial.

**Tercera generación:** Está llena de empaques biodegradables que a su vez vuelven a clasificarse en tres categorías, a) polímeros extraídos de biomasa, b) polímeros producidos por síntesis química de monómeros de biomasa y c) polímeros producidos naturalmente o de organismos genéticamente modificados (Robertson, 2008).



## 2.9.- Tecnologías para la aplicación de recubrimientos comestibles y películas comestibles

Actualmente se desarrollaron varios métodos para la correcta aplicación de las matrices comestibles sobre los alimentos. Las técnicas de inmersión o spray se utilizan para RC (recubrimiento comestible) y el Casting para PC (películas comestibles):

1.- Inmersión: Consiste en la aplicación de las matrices comestibles sumergiendo el alimento en la solución filmogénica preparada. Se utiliza especialmente en aquellos alimentos cuya forma es irregular que requieren de una cobertura uniforme y gruesa. Es importante que el producto a tratar este previamente lavado y secado, y que una vez retirado de la solución se deje drenar el excedente de solución para lograr un recubrimiento uniforme (Parzanese, 2014).

2.- Aspersión: Esta técnica se basa en la aplicación de la solución filmogénica presurizada. Permite obtener RC más finos y uniformes. Se usa en alimentos de superficie lisa o para la separación de componentes de distinta humedad de un alimento compuesto, por ejemplo, en platos preparados como pizzas u otros (Parzanese, 2014).

3.-Casting: Mediante esta técnica se obtienen películas o films pre-moldeados. Consiste básicamente en la obtención de una dispersión uniforme compuesta por biomoléculas (proteínas, polisacáridos, lípidos) plastificante y agua. Luego se vierte sobre una placa de material inocuo (acero inoxidable) donde se deja secar para que se forme el film o película. La velocidad de secado junto con la temperatura y humedad son condiciones determinantes para la calidad de la película (transparencia, consistencia y propiedades mecánicas), por lo tanto, deben ser controladas correctamente. Una vez finalizado el secado se tiene una película de gran tamaño, el cual es fraccionado para ser aplicado sobre los alimentos a tratar (Parzanese, 2014).

### 3. Antecedentes

A continuación, se presenta la tabla 4 de antecedentes, en la cual se enmarcan los principales estudios o trabajos analizados para el desarrollo de este proyecto de Tesis. Por lo tanto, se agruparon la selección realizada de trabajos referentes al uso o aprovechamiento de los agro-residuos, tratamientos de explosión por vapor, así como recubrimientos empleados en el área relacionada con los alimentos, modificación y aprovechamiento del material lignocelulosico.

*Tabla 4.- Antecedentes relacionados con la investigación.*

<b>AÑO/AUTOR/ TRABAJO</b>	<b>DESARROLLO</b>	<b>RESULTADO</b>
(Almeida, 2004) Bioplásticos: una alternativa ecológica	Se desarrolló la investigación para la creación de bioplásticos a base de PHA (polihidroxiálcanoatos) esto con el objetivo de reducir la contaminación en el medio ambiente y comprobar que podrían fabricarse plásticos que no son a base de petróleo, se obtuvieron resultados positivos, aunque con una producción costosa.	Estos biopolímeros son termoplásticos y poseen propiedades similares a las de los plásticos derivados del petróleo totalmente degradados por las bacterias que los producen, y por otras bacterias, hongos y algas. A pesar de las ventajas de los PHA frente a los plásticos derivados del petróleo, su uso está muy limitado por su alto costo de producción.
(Villada, 2007) Biopolímeros Naturales Usados En Empaques Biodegradables	Se describen algunos biopolímeros aplicados a la agroindustria de empaques biodegradables. Se busca conocer los diferentes biopolímeros obtenidos de diversas fuentes de recursos naturales y el cómo son usados en empaques biodegradables, así como su rendimiento.	Se mencionan diversos biopolímeros o sustancias naturales con las cuales se realizaron experimentaciones para comprobar si el material resultante es viable para empaques biodegradables pues son diferentes tipos de materiales los que resultaron de estas formulaciones y dieron diferentes resultados.

**Tabla 5.- Antecedentes relacionados con la investigación (Continuación)**

<b>AÑO/AUTOR/ TRABAJO</b>	<b>DESARROLLO</b>	<b>RESULTADO</b>
(Melo, 2011) Estudio del efecto del glicerol y del aceite esencial de anís en un recubrimiento comestible, sobre el tiempo de vida útil del babaco (Carica Pentagona).	Se estudió el comportamiento del objeto de estudio recubierto con soluciones preparadas a diversas concentraciones de glicerol y aceite esencial de anís.	El estudio mostro que el glicerol y aceite de anís a diferentes concentraciones forma un recubrimiento que alarga la vida del babaco hasta 30 días, pues posterior a esto comienza a deteriorarse sus propiedades organolépticas, el recubrimiento comestible tiene muy baja permeabilidad.
(Navia P., 2014) Impacto de la investigación en empaques biodegradables en ciencia, tecnología e innovación	Se describen experiencias en el campo de empaques biodegradables utilizando como derivados del procesamiento agroindustrial de la yuca ( <i>Manihot esculenta Crantz</i> ).	Se obtuvieron 2 bioplásticos, en el primero se obtuvo un plástico flexible y en el segundo un plástico semirrígido ambos plásticos parten de la mezcla de almidón de yuca con aditivos y plastificantes.
(Pacheco Gina., 2014) Bioplásticos	Se describen algunos bioplásticos importantes en el mercado divididos en tres grupos: polímeros obtenidos a partir de biomasa, polímeros a partir de síntesis química utilizando monómeros obtenidos a partir de recursos naturales y polímeros obtenidos a partir de microorganismos.	El incremento acelerado de generación de residuos plásticos derivados del petróleo y el aumento en el precio de este recurso no renovable demandan nuevas alternativas de tratamiento y tecnología, entre las cuales surge una tendencia en sustituir tales polímeros por bioplásticos.

**Tabla 6.- Antecedentes relacionados con la investigación (Continuación)**

<b>AÑO/AUTOR/ TRABAJO</b>	<b>DESARROLLO</b>	<b>RESULTADO</b>
(Pacheco Gina., 2014) Bioplásticos	Se describen bioplásticos de importancia comercial dividido en tres grupos: polímeros obtenidos a partir de biomasa, polímeros a partir de síntesis química utilizando monómeros obtenidos a partir de recursos naturales y polímeros obtenidos a partir de microorganismos.	El incremento acelerado de generación de residuos plásticos derivados del petróleo y el aumento en el precio de este recurso no renovable demandan nuevas alternativas de tratamiento y tecnología, entre las cuales surge una tendencia en sustituir tales polímeros por bioplásticos.
(Domínguez, 2014) Evaluación del Efecto de la concentración de glicerol, sorbitol y xilitol sobre las características ópticas y de barrera de películas a base de quitosano.	Se describe el análisis de diversas propiedades (color, humedad, solubilidad, grosor y permeabilidad al vapor de agua) a cuatro repeticiones por plastificante, para comparar los resultados de los efectos.	En el análisis del color el glicerol obtuvo los mejores resultados, en el porcentaje de humedad, solubilidad y grosor los parámetros de los plastificantes fueron iguales, en la permeabilidad de agua el mejor parámetro lo obtuvo el sorbitol.
(Vargas, 2014) Manual para la determinación de ángulo de contacto	Se realizó la evaluación de los cambios en las propiedades de superficie, las cuales fueron: el ángulo de contacto ( $\Theta$ ), tensión superficial y trabajo de adhesión sobre membranas modificadas químicamente por entrelazamiento químico de membranas cerámicas.	Los valores obtenidos para ángulo de contacto y tensión superficial están en el mismo orden de magnitud y coinciden con valores reportados para membranas con tamaño de poro similar. Además tomando en cuenta los niveles de variación entre las mediciones (intervalos de confianza) se puede sugerir la confiabilidad y reproducibilidad en las mediciones con este equipo.

**Tabla 7.- Antecedentes relacionados con la investigación (Continuación)**

<b>AÑO/AUTOR/ TRABAJO</b>	<b>DESARROLLO</b>	<b>RESULTADO</b>
(Castillo, y otros, 2015) "Bioplástico a base de la cascara de plátano"	Se obtuvo un biopolímero (almidón) partir del plátano macho en estado verde se obtiene un biopolímero para la fabricación de bioplásticos.	El bioplástico obtenido mostró buenas propiedades de flexibilidad y resistencia; con características y propiedades favorables como su biodegradabilidad.
(Larrea, 2015) Estudio de la obtención de plásticos biodegradables a partir de almidón de papa con adición de agentes plastificantes	Obtención de un producto plástico a partir del almidón de papa, mediante la aplicación de agentes plastificantes, formar películas plásticas.	Se optimizaron características del producto, como elasticidad y resistencia a esfuerzos físicos lo que permitió darle una aplicabilidad al producto final elaborado.
(Bohórquez, 2015) Estudio del efecto de las variables de formulación y del proceso de plastificación en las propiedades de barrera y mecánicas de películas a base de kefiran, y de su efectividad como recubrimientos protectores al ambiente para mango criollo colombiano.	Se caracterizaron películas de Kefiran/glicerol con adición de glicerol, por medio de un (TGA), (EM), (DSC), (FTIR), ensayo de tensión y barrera a vapor de agua	Se determinó que el glicerol tiene dos tipos de efectos antagónicos entre sí que dependen de su nivel de adición; uno anti-plastificante a bajos niveles y otro plastificante a altos.
(Rivera, 2016) Elaboración y caracterización de películas comestibles con Hidroxipropil metilcelulosa (HPMC)	Se diseñaron formulaciones de soluciones a base de distintas concentraciones de HPMC, usando glicerol como plastificante	Las películas resultantes fueron transparentes, la adición de glicerol mejoró la integridad y manejo de la película, así como su flexibilidad.

**Tabla 8.- Antecedentes relacionados con la investigación (Continuación)**

<b>AÑO/AUTOR/ TRABAJO</b>	<b>DESARROLLO</b>	<b>RESULTADO</b>
(Vázquez & Valdemar, 2016) Bioplásticos y plásticos degradables.	Existen diferencias entre los bioplásticos, plástico biobasado y plásticos biodegradables, en su forma de fabricación y el apoyo para la implementación de leyes para tratar temas de investigación referentes de los plásticos a base de petróleo.	Se presentan a los plásticos degradables y bioplásticos como alternativa por la contaminación del medio ambiente en México y el mundo. Así como su proyección al inminente consumo en el mundo pues con la aplicación de ciertas leyes los plásticos serán prohibidos gradualmente.
(Alba, 2016) Estudio del efecto del tiempo de almacenamiento sobre las propiedades de películas de harina de triticale	Se elaboraron películas con la técnica de casting, a distintas concentraciones de glicerol y se evaluó el efecto del tiempo sobre sus propiedades: color, microestructura, mecánicas, fisicoquímicas y de barrera	Durante el almacenamiento los valores de permeabilidad no presentaron cambios significativos, a 45 días de almacenamiento las películas mantuvieron propiedades funcionales que otorgan un potencial para aplicaciones de envasado de alimentos.
(Sahu, 2017) Bio Polymers: Sustainable Alternative for Food Packaging (Biopolímeros: alternativa sostenible para el envasado de alimentos)	Los biopolímeros tienen grandes aplicaciones potenciales en envasado de alimentos. El desarrollo de materiales a partir de polímeros naturales para diferentes aplicaciones ha ido en auge debido al aumento de los precios de los petroquímicos y aumento de las preocupaciones medioambientales	Se obtuvieron y evaluaron los resultados de formulaciones de diferentes polímeros que por sus características los hacen potencial para realizar un bioplástico para utilizarlo como embalaje de alimentos, pues las tendencias actuales puntualizan la reducción de materias primas, el uso de materiales de bajo costo de transporte y minimización de de residuos industriales.

**Tabla 9.- Antecedentes relacionados con la investigación (Continuación)**

<b>AÑO/AUTOR/ TRABAJO</b>	<b>DESARROLLO</b>	<b>RESULTADO</b>
(Muñiz, 2017)  Aplicaciones de recubrimientos comestibles a base de pectina, glicerol y cera de candelilla en frutos cultivados en la huasteca Potosina.	Se formuló y aplicó recubrimientos comestibles elaborados a base de cera de candelilla, pectina y glicerol para evaluar la vida de anaquel de frutos cultivados en la Huasteca Potosina: jobo y carambolo. Se hicieron dos formulaciones: pectina-glicerol y pectina-glicerol y cera de candelilla.	La adición de recubrimientos a base de pectina-glicerol y cera de candelilla permitió extender la vida de anaquel del jobo mientras que, el deterioro del carambolo con recubrimientos a base de pectina-glicerol fue más lento en comparación con el control. Y se observó un efecto significativo en la resistencia y permeabilidad del vapor de agua.
(Tintaya, 2017)  Optimización del proceso de secado de películas biodegradables formuladas a partir de suero de leche y goma tara (Caesalpinia spinosa).	Se evaluó el proceso de secado de películas biodegradables para mejorar el tiempo de proceso de secado y la calidad de la película mediante pruebas mecánicas, de permeabilidad y solubilidad.	Se obtuvieron películas flexibles, de fácil desprendimiento, transparentes, brillosas y la temperatura de secado fue crucial. La adición de GT mejoró las propiedades mecánicas, de permeabilidad y propiedades favorables de flexibilidad.
(Huerta, 2018)  Uso del Proceso de Explosión por Vapor como pre-tratamiento para la extracción de aceite en semilla de Melón (Cucumis melo) comparándolo con un método convencional.	Se propuso Explosión por Vapor (EV) como una tecnología alternativa que permitiría asistir la extracción Soxhlet en la disponibilidad de los metabolitos de interés primario con menor impacto ecológico.	La obtención de aceite de semilla de melón se incrementa al aplicar el Pre-tratamiento de EV y se mejora la extracción con respecto a los métodos convencionales.

**Tabla 10.- Antecedentes relacionados con la investigación (Continuación)**

<b>AÑO/AUTOR/ TRABAJO</b>	<b>DESARROLLO</b>	<b>RESULTADO</b>
(Ajay Yadav, 2018) Biopolymers as packaging material in food and allied industry (Biopolímeros como material de envasado en alimentos e industria aliada)	Durante los últimos años la demanda de los plásticos as aumento. Sin embargo, un mayor uso de los plásticos ha creado serios problemas ecológicos al medio ambiente debido a su resistencia a la biodegradación.	Se evaluaron polímeros como una fuente o alternativa para el uso de bioplásticos de diferentes orígenes (dependiendo el material utilizado) empleándolos como envasado para los alimentos.
(Carrillo, 2018) “Caracterización de la Maltodextrina Obtenida a Partir de Plátano Macho (Musa balbisiana) de Desecho Mediante Explosión por Vapor”	La explosión por vapor fue utilizada como tratamiento de hidrolisis, durante la explosión por vapor se probaron 2 tiempos de 10 y 15s.	La maltodextrina presento mejores valores en capacidad de emulsión y capacidad de absorción de grasas. Además de obtener maltodextrinas de diferentes rangos.
(Torres, 2018) Sacarificación de lirio acuático por combinación de métodos para la producción de etanol.	Aprovechamiento del lirio acuático y la sacarificación por métodos combinados en la producción de etanol. con pre-tratamientos de explosión por vapor	Dando mayores rendimientos el lirio explotado que sin tratamiento de explosión por vapor. Debido al rompimiento interno (lignocelulosico) que produjo la explosión.
(Rukhsana, 2019) Bioplastics for Food Packaging: A Review (Bioplásticos para envasado de alimentos: una revisión)	Se evalúan diferentes materiales orgánicos o bioplásticos a partir de fuentes renovables, como candidatos para la creación de materiales que compitan con los plásticos convencionales.	Se obtiene las características estructurales de los polímeros para la creación de los plásticos biodegradables y se estudio el área de factibilidad. La tendencia es implementar nuevas formas de explotar el potencial de los biopolímeros.



**Tabla 11.- Antecedentes relacionados con la investigación (Continuación)**

<b>AÑO/AUTOR/ TRABAJO</b>	<b>DESARROLLO</b>	<b>RESULTADO</b>
(Vargas H. N., 2019) “Evaluación del efecto del sustrato y las condiciones de secado sobre el contenido de proteína y las propiedades funcionales en la obtención de un polvo proteico a partir de <i>Pleurotus ostreatus</i> ”.	Se utilizaron diversos sustratos: hojas de maíz, pseudotallo de plátano, entre otros para la obtención de hongos comestibles y se evaluaron propiedades funcionales de un polvo proteico como un producto de valor agregado derivado del procesamiento de estos hongos comestibles	Se obtuvieron cuerpos fructíferos con eficiencia de fructificación, rendimiento y contenido de proteína superior a hongos comerciales silvestres y empacados. El sustrato con mayor concentración de celulosa y lignina fue Bagazo de Caña, mientras que para proteína y C/N fueron Hoja de Maíz y Hoja de Almendro
(Covarrubias, 2020) Síntesis de recubrimientos comestibles en base a plátano macho ( <i>Musa balbisiana</i> ) enriquecido con extracto natural de moringa ( <i>Moringa oleífera</i> Lam) y su evaluación en la calidad postcosecha de papaya maradol ( <i>Carica papaya</i> L).	Se realizaron diferentes formulaciones y tratamientos, utilizando sorbitol como plastificante, almidón y moringa como agentes conformantes.	Se logra prolongar la vida de anaquel 7 días con una concentración de 8% de sorbitol como plastificante, 8% de almidón, 4% de extracto de Moringa diluido en agua destilada disminuyendo significativamente la transpiración del fruto y pérdida de peso.
(Pluas-Mora., 2020) Los bioplásticos para una alternativa ecológica.	Se resume la innovación en la generación de productos amigables con la naturaleza, como los materiales poliméricos a base de fuentes renovables, los cuales han ganado la atención y el interés en los últimos años, por su amplia aplicabilidad.	El uso de los bioplásticos está limitado debido a su alto costo. La yuca, maíz y plátano son con mayor frecuencia empleados para la producción de bioplásticos, estos biopolímeros son termoplásticos y poseen propiedades similares a los plásticos convencionales.

**Tabla 12.- Antecedentes relacionados con la investigación (Continuación)**

<b>AÑO/AUTOR/ TRABAJO</b>	<b>DESARROLLO</b>	<b>RESULTADO</b>
(Rives-Castillo, 2020) Current situation of the packaging used for the postharvest conservation of agricultural products - (Situación actual de los envases utilizados para la conservación postcosecha de productos hortofrutícolas).	En el sector agrícola de México y el mundo hay pérdidas considerables de cultivo, esto lleva a buscar alternativas que sean amigables con el medio ambiente y que contribuya a reducir las pérdidas en la cosecha.	Actualmente se desarrollan y ya existen algunos biomateriales que son capaces de sustituir a los plásticos, estos biomateriales están compuestos de polímeros naturales, son agro residuos y que se espera surjan más pues existen diferentes residuos orgánicos que pueden ser utilizados para este fin.
(Gerson, <i>et al.</i> , 2021). Biopolímeros para uso agro industrial: Alternativa sostenible para la elaboración de una película biodegradable	Se estudiaron los plastificantes actuales en la formulación de películas degradables para su uso como empaques alimentarios.	Cuanto más se incluye un plastificante en una matriz polimérica, la elongación y la deformación aumentan.

**Síntesis de los antecedentes**

Se ha observado que en los últimos años el uso de empaques biodegradables ha cobrado auge promoviendo el estudio de fuentes renovables y naturales para el desarrollo de biomateriales alternativos, los cuales permitan minimizar el impacto ambiental. Estos estudios se han enfocado principalmente al desarrollo de películas y de recubrimientos; así como de contenedores o empaques biodegradables con funciones similares a los materiales sintéticos convencionales y características que se encuentran actualmente en el mercado como: alta fuerza mecánica, suavidad, luminosidad, resistencia al agua, entre otras. Los antecedentes recopilados mencionan de igual manera que actualmente el estudio de fuentes renovables como los agro-residuos, Los sugieren como materiales prospectivos y atractivos para estos fines. Los residuos agroindustriales, los cuales no sólo tienen amplia disponibilidad,

ya que son generados a partir de la cosecha y procesamiento de diferentes productos agrícolas de alta demanda social. Por lo cual el empleo de estos recursos renovables para la creación de biomateriales y bioplásticos, no debe ser sólo un tema en tendencia, sino de importancia y alternativa tecnológica, ya que al igual que el uso de energías renovables y procesos para optimizar la obtención de recursos naturales, estas estrategias puntualizan a la sustentabilidad. Adicionalmente el uso de tecnologías verdes o emergentes son una alternativa tecnológica poco explotada en estas áreas, un ejemplo de estas es la explosión por vapor, ya que no le genera impactos al medio ambiente. El empleo de estos biomateriales para crear alternativas de empaques, envases o biopelículas es una necesidad que año con año incrementa. Estos biomateriales deben brindar buenas propiedades de superficie y de barrera ya que la gran mayoría se emplea para el empaquetado de alimentos, en algunos casos se contribuye a la mejora de sus propiedades cuando se aplica un recubrimiento de grado alimentario, el cual también es biodegradable.

## 4. Justificación

En el estado de Veracruz se generan 6 mil toneladas diarias de basura y 2 millones 200 mil al año. Tan sólo en la ciudad de Xalapa se producen aproximadamente 400 toneladas diarias de residuos y 146 mil al año; residuos de los cuales aproximadamente el 70% es aprovechable; y de este porcentaje la mitad corresponde a materia orgánica. Así, el promedio de generación de un veracruzano es de 1 kg de basura al día.

En 2018 en el estado de Veracruz se aprobó una ley de prohibición de los plásticos cuyo objetivo es erradicar su uso para cuidar el medio ambiente. Si bien los plásticos podrían ser reutilizados o reciclados en su gran mayoría, lo cierto es que hoy estos desechos son un problema de difícil solución, fundamentalmente en las grandes ciudades, pues los materiales plásticos más utilizados como el Polietileno Tereftalato (PET), el Cloruro de Polivinilo (PVC), entre otros llevan tiempos de descomposición de entre 150 a 1000 años, lo cual supone un problema, ya que estos materiales se van acumulando, elevando la contaminación en el medio ambiente, un material de PVC podría pasar hasta 10 generaciones para llegar a ver su descomposición.

En la actualidad la demanda de empaques biodegradables ha ido aumentando debido a la gran contaminación del medio ambiente, es por esto que el propósito de este proyecto es mejorar las propiedades estructurales de un molde elaborado a base de agro-residuos con la aplicación del tratamiento de explosión por vapor y la adición de un recubrimiento de grado alimentario para la mejora de sus propiedades de barrera. Con el pre-tratamiento de explosión por vapor en las fibras del material se obtendrá un rompimiento de estas lo cual permitirá un mejor entrelazamiento, maleabilidad y compatibilidad, este biomaterial (molde) con la aplicación de un recubrimiento de grado alimentario tendrá mejores propiedades de superficie y de barrera, las cuales son características de los plásticos convencionales pero no será perjudicial para el medio ambiente, ya que en conjunto con el molde tendrá la característica de degradarse en un lapso de tiempo de 4 meses una vez desechado, así se proporciona una alternativa para mejorar el problema de los desechos producidos por los plásticos derivados de petróleo como son los platos, botellas y etc.

Debido al uso de materiales desechables que no son degradables y contaminan el medio ambiente, en los últimos años, la investigación sobre el aprovechamiento de residuos agroindustriales o polímeros biodegradables de origen natural ha sido un campo muy activo debido a los problemas derivados del elevado impacto que los plásticos procedentes del petróleo presentan sobre el medio ambiente.

Como resultado de estas investigaciones han surgido alternativas naturales que pueden constituir una vía factible para reemplazar a los plásticos de uso habitual.

Estas investigaciones indican el uso de agro-residuos para formar biomateriales los cuales pueden conformar bioplásticos. En la actualidad los bioplásticos empleados en empaques de productos alimenticios están orientados en preservar y garantizar la calidad e inocuidad en los alimentos. Las propiedades estructurales son el soporte de esto, es decir, son fundamentales en el empaquetado y envasado de alimentos. Así como las propiedades de barrera de los empaques y envases utilizados para el almacenamiento y transporte de los alimentos, contribuyendo en conjunto con las propiedades estructurales en la seguridad e inocuidad del alimento, evitando así el deterioro de este. Las tecnologías verdes, son alternativas a métodos convencionales, teniendo ventajas como ahorro energético, tiempos más cortos de tratamiento, entre otros. Es importante señalar, que el realizar este proyecto se vendría a beneficiar a los productores de plátano macho de la región cuenca del Papaloapan y la agroindustria de la región ya que se le daría un valor agregado al producto evitando, pérdidas post cosechas y cuando no llenan las expectativas de los compradores estas se pierden por la poca demanda del mercado nacional.

## 5. Hipótesis

Mejorarán las propiedades estructurales de un molde elaborado a base de agro-residuos con la aplicación de explosión por vapor y la adición de un recubrimiento de grado alimentario.

## 6. Objetivo general

Efecto de la aplicación de explosión por vapor y la adición de un recubrimiento de grado alimentario sobre las propiedades estructurales en un molde elaborado a base de agro-residuos.

### 6.1.- Objetivos específicos

1. Caracterizar las fibras e pseudotallo de plátano.
2. Formular y aplicar el recubrimiento.
3. Evaluar las formulaciones del recubrimiento sobre el molde.
4. Caracterizar las propiedades estructurales y de barrera en el molde con y sin recubrimiento.

## 7. Metodología

### 7.1.- Recepción de materias primas

Las materias primas: papa, platano macho y pseudotallo de platano fueron obtenidas de municipios cercanos a la región de Tierra Blanca Veracruz. La papa se obtuvo del Rancho la Esmeralda ubicado en Córdoba Veracruz y es papa de 3ra calidad. Mientras que las pencas del plátano macho utilizado en este trabajo fue de de la finca Mundo nuevo, ubicada en Tuxtepec Oaxaca, en estado verde y de 3ra calidad. El pseudotallo de platano que se utilizó se obtuvo del rancho los 2 potrillos ubicado en Tierra Blanca.

#### 7.1.1.- Obtención del almidónes

##### 7.1.1.1 Almidón de papa

Para obtener este almidón primero se realizó el lavado y desinfección de la papa, para evitar alguna contaminación por agentes externos. Posteriormente se trituró y se sedimentó, por medio del método de decantación. Entonces se realizó la extracción del almidón de la papa, apoyándose con una filtración de la pasta obtenida para reducir la cantidad de agua usando una malla filtrante. Esta pasta se llevó entonces a secado durante 180 minutos en una estufa de secado a una temperatura de 65°C. Una vez seca, se trituró en un molino de bolas por un periodo de tiempo de 30 minutos y por último se realizó la reducción de tamaño de partícula colocando el almidón en un tamizador, usando un tamiz de 300 micras. El almidón obtenido fue entonces almacenado hasta su uso.

##### 7.1.1.2 Almidón de platano

Para el almidón del platano primero se realizó el corte del racimo de platano, se corta para quedar cada fruto sin el raquis, cada parte (plátano) se lava y se desinfectó la materia orgánica obtenida de forma manual o mecánica, posteriormente se cortó el plátano con todo y cascara en rodajas, luego se colocó en charolas para secarlo en una estufa de secado por un tiempo de 180 min, a una temperatura de 75°C, una vez seco se muelen empleando un molino de cuchillas. Por último, se tamizó el almidón obtenido por un periodo de tiempo de 20 min, usando un tamiz de 300 micras. El almidón obtenido fue entonces almacenado hasta su uso.

##### 7.1.2 Obtención de la fibra

Se realizó la limpieza manual del pseudotallo. Posteriormente se cortó cada parte en trozos de 50 cm de manera transversal, lo que resulta en aproximadamente 4 partes y estas son cortadas en 4 trozos. Se separó una a una las capas que forman el

pseudotallo hasta llegar al pedúnculo floral, con el objetivo de revisar si existe algún detalle (tierra, plaga, etc.) dentro de sus partes, se redujo el tamaño de cada parte una vez más cortando (rodajas) las capas que fueron separadas, estas deben de tener un grosor aproximado de 3.5 cm, luego se colocó en charolas de aluminio para secar la materia en un periodo de tiempo de 6 horas en una estufa de secado a una temperatura de 75°C. Una vez seca la materia prima, se realizó la disminución del tamaño de partícula usando un triturador de martillos. Por último, la fibra se filtró en un equipo de tamizado por 5 min, utilizando un tamiz de 300 micras. Se continúa con el almacenado de la fibra en recipientes herméticos en un lugar seco. (Colorado, M. *et al.*, 2019). Esta fibra se denominó Fibra Control para terminos de este trabajo (FC).

## 7.2.- Caracterización fisicoquímica de las materias primas

La caracterización fisicoquímica de las materias primas se realizó de acuerdo ha lo descrito a continuación:

### 7.2.1.- Humedad

Para la determinación de humedad de los diferentes residuos se utilizaron capsulas de porcelana. Estas fueron llevadas a peso constante en una estufa de secado durante 5 h, a una temperatura de 100°C. Posteriormente se pesó 5 g de pseudotallo de plátano por triplicado y se colocaron en la estufa de secado por 24 h a 100°C. Transcurrido este tiempo las capsulas fueron retiradas de la estufa de secado y se colocaron en el desecador por 30 min hasta alcanzar la temperatura ambiente, se realizó el pesado en la balanza analítica y se anotó el peso. Todas las mediciones se realizaron por triplicado. El cálculo para determinar este porcentaje de humedad se realizó de acuerdo a:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(M1 - M2)}{M} * 100$$

Donde:

M1 = peso de la capsula a peso seco más la muestra húmeda (g).

M2 = peso de la capsula a pesos seco más la muestra seca (g).

M = peso de la muestra húmeda (g).

### 7.2.2.- Determinación de cenizas

El contenido de cenizas de las materias primas se determinó por pérdida de peso, empleando el método de la estufa de secado y mufla respectivamente de acuerdo a



(AOAC). La medición se realizó por triplicado, para lo cual se llevaron crisoles a peso constante. Posteriormente se pesaron 5 g de los sustratos evaluados en los crisoles anteriormente mencionados, e introdujeron en una estufa a 100 ° C durante 24 h. Una vez realizado esto, se retiraron de la estufa, y se en colocaron en un desecador 30 minutos y fueron pesados en una balanza analítica. Para la determinación de cenizas, las muestras secas previamente obtenidas se llevaron a una mufla a 530 °C hasta calcinación (t=4 h). Una vez terminado este proceso se retiró de la mufla, y fueron colocados en un desecador durante 30 minutos, después se pesaron empleando la balanza analítica anteriormente mencionada. Todas las mediciones se realizaron por triplicado. La determinación del % cenizas se obtuvo de acuerdo a la siguiente formula:

$$\% \text{ de Cenizas} = \frac{M2 - M1}{M3} * 100$$

Donde:

M1= peso de crisol (g)

M2= peso de crisol + cenizas de sustrato seco (g)

M3= peso de crisol + sustrato seco (g)

### **7.2.3.- Determinación cualitativa de almidón**

Se determinó bajo la Norma NMX-F-374-1983, bajo la cual este método se basa en la identificación de la presencia de almidón por la aparición de una coloración azul al combinarse la muestra con gotas de Lugol (Se disuelve 1g de Yodo (I<sub>2</sub>) y 2g de Yoduro de Potasio (KI) aforando a 200mL) cuando ésta contiene almidón. Se evaluó a concentraciones de 5g/L, 10g/L, 15g/L, 20g/L, 25g/L y 30g/L, se llevaron dichas diluciones a ebullición para su posterior evaluación de tinción con 5 gotas de Lugol a temperatura ambiente. Toda la experimentación se realizó por triplicado.

### **7.2.4.- Determinación de Amilosa – Amilopeptina**

Se determinó por la técnica de Hoover y Ratnayakee 2002 consistente en tomar 100g de harina de almidón de plátano mezclada con 15mL de Dimetilsulfóxido (DMSO) al 90% llevando a agitación por 20 min para su homogenización y calentamiento a 85°C por 15min esperando su enfriamiento a temperatura ambiente para aforo a 25mL, tomando una alícuota de 1mL y mezclando con una solución I-KI I-KI (I<sub>2</sub> 2.5mM y KI 6.5mM) aforando a 50mL y dejando reposar para enfriamiento a temperatura ambiente reposando por 15min y tomando lecturas de absorbancia a 620nm. Toda la experimentación se realizó por triplicado. Para la determinación de valores de

amilosa y amilopectina se tomó como referencia la curva de calibración de Rivas-González *et al.*, 2008.

$$y = 0.0168x + 0.2138$$
$$R^2 = 0.9998$$
$$\% \text{ Amilosa} = \frac{\text{absorbancia} - 0.2138}{0.0168}$$

### 7.3 Explosión por Vapor

De acuerdo a la literatura revisada previamente, la capacidad de retención de agua (CRA) en materias renovables ricas en material lignocelulósico es alto. En el caso de las fibras de pseudotallo de plátano, que es el sujeto de estudio en este trabajo; esta propiedad limita su aplicación en la elaboración de contenedores, envases y moldes biodegradables, ya que la absorción de agua no solo promueve físicamente la deformación de los moldes, sino que además las propiedades barreras para su uso en alimentos se ven afectadas negativamente. Es por ello que en este trabajo se empleará el método de explosión por vapor con el fin de minimizar el impacto de esta propiedad en la propiedad barrera y superficial de los contenedores a elaborar. Este tratamiento termo mecánico y emergente permite romper las fibras internamente (matriz), y modificar sus propiedades de absorción de agua como una consecuencia de la fragmentación de material lignocelulósico: celulosa, hemicelulosa y lignina.

La explosión por vapor se llevó a cabo a 10 psi y una temperatura de 180°C durante 30 segundos. Esto se realizó en tres muestras de fibra: fibra seca (**Fibra Seca Explotada, FSE**), fibra seca y humedecida (**Fibra Seca Humedecida Explotada, FSHE**) y fibra natural (**Fibra Natural Explotada, FNE**). Para la obtención de estas fibras, el pseudotallo de plátano se cortó en rodajas (**FN**), y se sometió a secado en una estufa durante 12 horas a 70°C (**FS**). Posteriormente esta fue humedecida a 24 horas en una relación 1:10 utilizando para esto agua y fue escurrida durante 8 horas (**FSH**). Toda la experimentación se realizó por triplicado.

El proceso de explosión por vapor, consistió en colocar las muestras de fibra (500 g) en la cámara de carga del reactor, una vez cerrada dicha cámara se suministró el vapor proveniente de la caldera con las condiciones de explosión por vapor a una temperatura de 180°C a 10 PSI durante 30 segundos. Ya explotada la fibra se colocó a pre-secado ambiente (temperatura promedio de 30-35°C) durante 8 -12 horas. Y fueron secadas posteriormente a 70°C por 12 horas en una estufa de secado. Posteriormente estando la fibra seca se procedió a triturarla (disminución del tamaño de partícula) usando un triturador de martillos. Por último, la fibra se colocó en un equipo de tamizado por 5 min, utilizando un tamiz de 300 micras. Se almacenó la

fibra en recipientes herméticos en un lugar seco hasta su uso. Toda la experimentación se realizó por triplicado.

#### **7.4. Caracterización estructural de las fibras**

La caracterización estructural se realizó en las fibras del pseudotallo de platano en términos de la Capacidad de retención de agua (CRA); y de la constitución de la fracción lignocelulósica: contenido de Celulosa, Hemicelulosa y Lignina. Así como azúcares reductores como un indicador indirecto del fraccionamiento de la matriz lignocelulósica. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado, de igual manera es importante mencionar que todos los análisis de caracterización estructural se realizaron tanto en las fibras antes y después del tratamiento de explosión por vapor.

##### **7.4.1.- Determinación de la Capacidad de retención de Agua (CRA)**

La capacidad de retener agua se refiere a la habilidad de la fibra dietética de atrapar agua dentro de su matriz. Su determinación se realizó por método gravimétrico. Para ello se pesó 10 g de sustrato (fibra) y se vertió en un vaso de precipitado de 600ml, adicionándose 150ml de agua durante 24 horas para que se hidrataran, posteriormente se escurrieron usando un embudo y papel filtro durante 8 horas y determinó la capacidad de retención de agua (CRA) como sigue:

$$CRA = (P2 - P1)/P1$$

- Reportándose como (g de agua)] / (g sustrato)
- Donde P1 = Peso inicial del sustrato.

La constitución de la fracción lignocelulósica se determinará por los métodos reportados por Vargas Hernández, N. 2020, NMX-AA-67-1985, y ANSI/ASTM-1977, que consisten en el desgasado de las muestras seguido de tratamientos químicos y tomando en cuenta el porcentaje total de la materia orgánica de acuerdo a lo descrito a continuación.

##### **7.4.2.- Determinación de grasas por el método de Soxhlet**

Para la determinación de grasas de la fibra de pseudotallo se colocaron 5 g de la muestra (triturada y seca) en cartuchos de extracción, y posteriormente se colocó el cartucho dentro de un extractor Soxhlet. En la parte inferior se colocaron los matraces (llevados previamente a peso constante), se les adicionó 165 mL de hexano y se llevaron a ebullición. Se colocó el refrigerante y posteriormente se hizo circular el agua por el refrigerante y se calentó a una temperatura de 70 –80 °C hasta

que se obtuvo una frecuencia de 2 gotas por segundo. La extracción se efectuó durante 6 h. Una vez transcurrido el tiempo se suspendió el calentamiento y se quitó el matraz del extractor y se dejó caer una gota en un reloj de vidrio, si al evaporarse el hexano se observó una mancha de grasa se debe volver ajustar el Soxhlet al matraz y continuar con la extracción de lo contrario se debe evaporar el hexano del matraz y meter a una estufa de secado a 100°C hasta peso constante (24 horas) y posteriormente se pesó. Toda la experimentación se realizó por triplicado. Para determinar el porcentaje de grasa es por diferencias de peso y se utilizó la siguiente fórmula.

$$\% \text{ de Grasa} = \frac{PG - PV}{PM} * 100$$

Donde:

PG = Peso del matraz con grasa seca (g).

PV = Peso del matraz con cuerpos a peso constante (g).

PM = Peso de la muestra (g).

#### **7.4.3.- Contenido de celulosa**

Se determinó en pseudotallo de plátano seco (fibra) el contenido de celulosa previamente desgrasado, el análisis consistió en cuatro etapas, siendo la primera etapa el proceso de digestión, la cual consistió en colocar 2 g de muestra en los tubos Kjeldahl y se le agrego 2 ml de ácido tricloroacético, 5 ml de ácido nítrico y 70 ml de ácido acético al 70 % (v/v), los tubos se llevaron a un digestor durante 30 min, una vez transcurrido el tiempo se prosiguió con la segunda etapa que fue el proceso de filtración el cual consistió en filtrar la muestra que fue sometida a digestión agregándole 20 ml de agua destilada sobre un papel filtro para eliminar el exceso del ácido acético, la tercera etapa consistió en pesar el papel filtro llevado a peso constante donde se le agrego la muestra y se colocó sobre una capsula que fue previamente llevada a peso constante, posteriormente se sometieron las muestras a una estufa de secado a 105°C durante 2 h, transcurrido el tiempo se retiraron las muestras y se pesaron para poder continuar con la última etapa la cual fue llevar a incinerar las muestras por 5 h a 550°C y cuando las muestras se retiraron de la mufla se volvieron a pesar una vez incineradas. Para obtener el porcentaje de celulosa presente en la muestra se calculó de la siguiente manera:

$$\% \text{ Celulosa} = \frac{(Pr - Pv)(Pf - Pc)}{M} * 100$$

Donde:

M = Peso de la muestra después de la extracción.

Pv = Peso constante del filtro Gooch.

Pr = Peso del filtro más el residuo seco después de 105°C.

Pc = Peso constante de la capsula vacía.

Pf = Peso de la capsula más las cenizas después de 550°C.

#### 7.4.4.- Contenido de lignina

Mientras que para el contenido de lignina se pesaron 0.2 g de pseudotallo de plátano previamente desgrasada y secas para proceder con la determinación de lignina, se agregó en los tubos de ensaye y se añadió 2 ml de la solución de ácido sulfúrico al 72% (p/p) que se enfrió previamente, se sometieron los tubos a baño maría por 1 h a 30°C con agitación, se pasó el contenido de los tubos a los matraz Erlenmeyer de 250 ml y se le adicione 56 ml de agua destilada para retirar la muestra que estuviera presente, posteriormente se colocaron en autoclave 15 lb a 120°C por 1 h, transcurrido el tiempo se procedió a filtrar la muestra adicionando 20 ml de agua destilada caliente para retirar el ácido presente, las muestras se sometieron en una estufa de secado al vacío a 70°C por 12 h, el papel filtro se pesó previamente, retiraron las muestras de la estufa, se pesaron y se colocaron en las capsulas previamente pesada llevándolas a la mufla a 550°C por 5 h para calcinarlas y posteriormente pesar las muestras. Para obtener el porcentaje de lignina presente en la muestra se calculó de la siguiente manera:

$$\% \text{ Lignina} = \frac{(Pt - Pv) - (Pf - Pc)}{W} * 100$$

Donde:

Pt = Peso de la muestra con filtro.

Pv = Peso constante del filtro Gooch.

Pf = Peso de la capsula más las cenizas después de 550°C.

Pc = Peso constante de la capsula vacía.

W = Peso de la muestra después de la extracción.

#### 7.4.5- Contenido de hemicelulosa

Para la determinación del porcentaje de hemicelulosa se realizó por diferencia de pesos tomando en cuenta el porcentaje total de la materia orgánica menos el

porcentaje de celulosa, menos el de lignina para poder obtener el porcentaje total de hemicelulosa.

$$\% \text{ de Hemicelulosa} = \%M.O. - \% \text{ de celulosa} - \% \text{ de lignina}$$

- P2= Peso final del final del sustrato

#### **7.4.6.- Determinación de los azúcares reductores**

Para conocer el efecto de la explosión por vapor (EV) sobre las fibras explotadas, se midieron los azúcares reductores; los cuales se determinaron mediante la técnica DNS propuesta por Miller, (Ver anexo 13.1.1). Se analiza cada tratamiento de hidrólisis previamente realizado. Donde, el reactivo - el ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS) es reducido por la acción de los azúcares reductores presentes, dicha reacción se lleva a cabo en presencia de calor; cuando los azúcares entran en contacto con el DNS desarrollándose una variación de color que va de amarillo a café; dicho efecto se determina a través espectrofotometría.

Para la preparación de la muestra se tomaron 1.25g (fibra), la cual se trituró previamente para disminuir el tamaño de partícula y posteriormente aforar en un matraz de 50ml. Para la construcción de la curva de calibración por medio de la cual se determinarían las concentraciones desconocidas de azúcares presentes en las muestras hidrolizadas se debe preparar una solución patrón de glucosa cuya concentración sea de 5g/L, posteriormente se realizan diluciones, finalmente se realiza la medición de las absorbancias de cada una de estas muestras a una longitud de onda de 540nm, las cuales son graficadas versus la concentración conocida de glucosa y de esta forma poder realizar la alineación para obtener una ecuación en donde se reemplazara el valor de las absorbancias de las muestras hidrolizadas para obtener la concentración de azúcares en la muestra.

Tomar 0.5 ml de la muestra preparada para determinar. Se agregarán 0.5 ml de hidróxido de sodio al 0.2 N y 1 ml del reactivo DNS. Se homogenizan las muestras, se mantienen a baño maria en ebullición por 5 minutos y posteriormente se adicionan 5 ml de agua destilada fría. Se realiza la lectura a 540 nm. Se realizó la curva calibración para la verificación, es decir, que las lecturas obtenidas entran en los límites establecidos por la curva, mediante esto se realizó lo que es la validación de los datos obtenidos.

#### **7.4.- Elaboración de moldes biodegradables**

La elaboración de los moldes a base de agro residuos se realizó sin y con tratamiento de explosión de vapor de acuerdo a lo descrito a continuación: Una vez procesadas

las materias primas, se procedió a la elaboración de los contenedores. Para esto se considerará la siguiente formulación: 15, 20 y 25% de almidón de papa, almidón de plátano, y fibra de pseudotallo de platano respectivamente. Se incorporó además agua, glicerina y ácido acético en relación 1:2:1 como agentes de conformación. Una vez que se encontraron listos todos los constituyentes, se mezcló hasta homogeneizar totalmente la mezcla. Y por medio de un prensado manual se le aplicó presión sobre el contenedor biodegradable (plato) dispuesto sobre un molde de PTFE para su conformación. Una vez conformado el contenedor de manera homogénea se colocó en una estufa de secado a una temperatura de  $65^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  por un periodo de 4 horas.

### 7.5.- Formulación y aplicación del recubrimiento.

Se emplearon diferentes plastificantes para la elaboración de las formulaciones, los cuales fueron: glicerol, sorbitol, cera de candelilla, cera de abeja y cera comercial de grado alimentario, a diferentes concentraciones. Posteriormente se seleccionó un método de aplicación. Se aplicaron los recubrimientos por triplicado en los moldes por cada formulación.

#### 7.5.1.-Preparación y formulación del recubrimiento.

Se midió el glicerol y sorbitol una relación 100-0, 75-25, 50-50, 25-75 y 0-100 respectivamente. En el caso de la cera comercial de grado alimentario se utilizó al 100% de su formulación. En el caso de la cera de candelilla y cera de abeja se realizaron formulaciones a diferentes concentraciones señaladas en la Tabla 13 que se muestra continuación. Se utilizaron 3 disolventes, que fueron aceite de canola, aceite de aguacate y etanol. Cabe mencionar que estas formulaciones que se muestran se efectuaron para las 2 ceras a las mismas concentraciones señaladas en la tabla 5. Posteriormente se colocaron sobre el plato utilizando una brocha o aspersor. Se mezclan los componentes y se realiza por triplicado cada formulación.

#### 7.5.2.- Colocación del recubrimiento.

Las formulaciones fueron colocadas por 3 tratamientos o métodos de aplicación diferentes, los cuales consisten: 1.- el primero en la inmersión del molde en el recubrimiento, se debe dejar drenar para que el grosor del recubrimiento no sea tan gruesa, 2.- el segundo tratamiento consiste en la aspersion del recubrimiento sobre el molde, este método nos permite obtener un capa más fina y uniforme de recubrimiento y 3.- el tercer tratamiento es empleando una brocha y recubrir todo el molde con la formulación del recubrimiento. En el caso de la cera de candelilla se aplicó a una temperatura de  $70 \pm 2^{\circ}\text{C}$ , la cera de abeja a  $63 \pm 2^{\circ}\text{C}$ , sorbitol, glicerol y la cera comercial de grado alimentario fueron aplicados a temperatura

ambiente.

### 7.5.3.- Secado del recubrimiento.

Para el secado de los recubrimientos, una vez colocados sobre el plato se colocaron a secar en la estufa a una temperatura de  $65 \pm 2$  °C durante 35 minutos y  $28 \pm 2$  °C a temperatura ambiente. Se realizó una cinética previa para cada tratamiento de secado. En la figura 5 se presentan los procedimientos antes descritos del punto 7.5.3.

**Tabla 13.- Formulaciones empleadas con cera de candelilla y cera de abeja.**

Formulación	Concentraciones			
	Cera de abeja	Aceite de Canola	Etanol	Aceite de Aguacate
1	100	0	0	0
2	75	25	0	0
3	75	0	25	0
4	75	0	0	25
5	50	50	0	0
6	50	0	50	0
7	50	0	0	50
8	30	70	0	0
9	30	0	70	0
10	30	0	0	70
11	10	0	90	0
12	10	0	0	90
13	10	90	0	0





Figura 5.- Proceso General del secado en estufa y a temperatura ambiente del recubrimiento con el molde biodegradable. (Colorado, M. et al 2019).

## 7.6.- Propiedades de barrera en terminos de propiedades de superficie

### 7.6.1.- Determinación de ángulo de contacto y trabajo de adhesión.

Las pruebas de interacción soluto-superficie (ángulo de contacto) muestran el tipo de interacción y el carácter superficial de la membrana (hidrofílico-hidrofóbico). El ángulo de contacto ( $\theta$ ) es la medición más utilizada para definir el grado de hidrofobicidad en una superficie sólida. El método más utilizado en la medición del ángulo de contacto es a través del método de la gota depositada Método de la gota sésil o yacente: El método consiste en colocar una gota de líquido en una superficie sólida y observar cómo se comporta el líquido al entrar en contacto con el sólido (Figura 6) (Vargas, 2014).

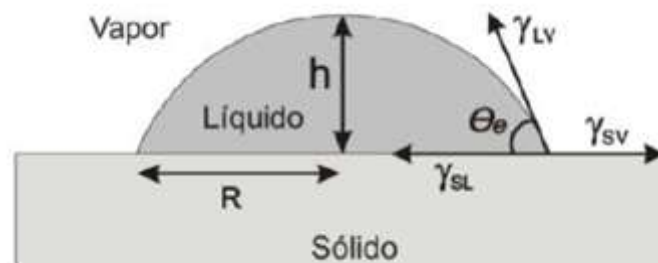


Figura 6.- Tensión interfacial en las tres fases de línea de contacto, donde R es el radio.

A través de este método, el ángulo de contacto es determinado directamente a partir de la tangente de la gota sobre la superficie indirectamente a través de la digitalización de una toma fotográfica. Una metodología más sofisticada a este método, propuesta por (Stalder *et al.*, 2006 y 2010) reconcilia el hecho de que la forma de una gota es global, mientras que sus ángulos de contacto son locales. Esta modificación es una combinación conocida como método Drop snake y LB-ADSA (Low Bond Axisymmetric Drope Shape Analysis), que permite obtener el ángulo de contacto aun cuando la gota no siga un modelo global (gotas asimétricas, gotas inclinadas, gotas proyectadas) sin que la forma de la gota lo limite. Esta metodología se ha reportado como una técnica eficaz en la medición de ángulos de contacto para la evaluación en el cambio de las propiedades de superficie (hidrofobicidad) de membranas cerámicas sometidas a modificación química (Vargas *et al.*, 2011).

El procedimiento desarrollado para medir el ángulo de contacto se realizó utilizando una cabina que emula un tensiometro acoplado y se describe a continuación:

1.- Considerando que la medición del ángulo de contacto se realizó por el método de la gota depositada, primero se tomo una imagen del momento de contacto de una gota de agua (u otro líquido de prueba) sobre la superficie sólida. La gota de agua (10  $\mu$ l) se deposito sobre la superficie del sólido con una pipeta volumétrica (Eppendoff). La imagen fotográfica se obtuvo del momento de contacto entre la gota y la superficie y posteriormente se analizo la imagen a través del programa Image J y con ayuda del software Drop analysis, como se describe en los siguientes pasos. Cada medición se realizó por triplicado y previo a las mediciones el equipo se calibra con agua, aceite mineral, glicerina, sorbitol y cera comercial de grado alimentario. A continuación, se presenta de manera ilustrativa en la figura 7 las mediciones de calibración del equipo.

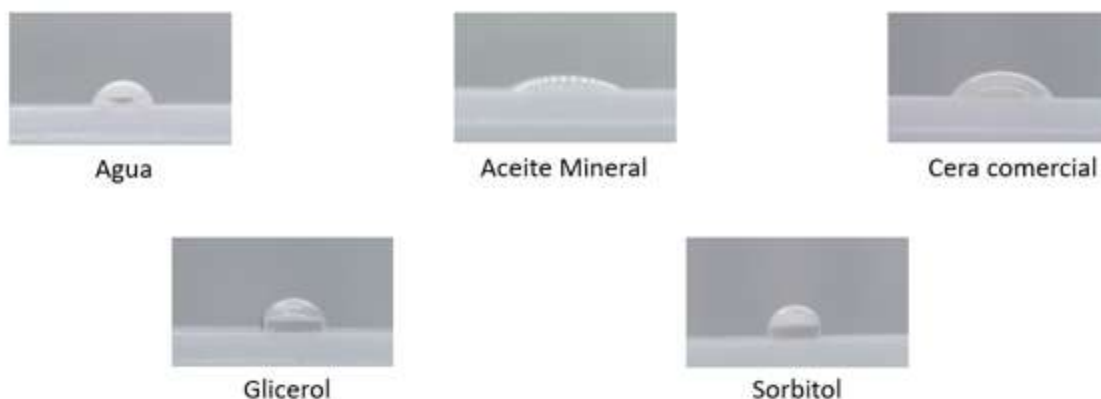


Figura 7.- Muestras líquidas empleadas para las pruebas de calibración.

2.- Una vez obtenida la imagen de la gota en contacto con la superficie sólida con ayuda del tensiómetro acoplado, se toma la fotografía como se muestra en la figura 8 y se guarda el archivo con un nombre que defina su origen.

3.-Posteriormente, se realiza el trabajo de edición de la imagen, para iniciar con la determinación del ángulo de contacto de la superficie, empezando por abrir la imagen desde el programa Image J. para el cálculo de ángulo de contacto es necesario tener la imagen en formato escala de grises, 8bit. Lo cual se puede modificar en la barra de herramientas, se selecciona la herramienta Image>Type>8-bit.

4.- Una vez editada la imagen se procede a determinar el ángulo de contacto. Para esto, a partir de la barra de herramientas, se selecciona la herramienta Plugins>drop\_analysis>El nombre del método a elegir (por ejemplo, LBADSA, que corresponde al método utilizado para gotas de forma simétrica).

5. El método permite entonces finalmente localizar el mejor ajuste para el contorno de la gota obtener a través de este los valores del ángulo de contacto arrojados como resultado del análisis del contorno.

Y lo que resta es realizar los cálculos necesarios para la determinación de la energía superficial y el trabajo de adhesión con las ecuaciones descritas previamente de acuerdo a la sección Propiedades de superficie.

$$\gamma_{LV} \cos \theta = (\gamma_{SV} - \gamma_{SL}) \quad \text{Ec.1}$$

$$W_{SL} = \gamma_{LV}(1 + \cos \theta) \quad \text{Ec.2}$$



Figura 8.- gota de agua sobre la muestra con FHEV

Las imágenes capturadas para el desarrollo de esta metodología fueron obtenidas con un Tensiómetro digital acoplado y puesto en marcha (Figura 9) (Vargas, 2014) en el Laboratorio de conservación y aprovechamiento de alimentos del Postgrado Maestría en ciencias de los alimentos y biotecnología (MCABI) del Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca. (Vargas, 2014).

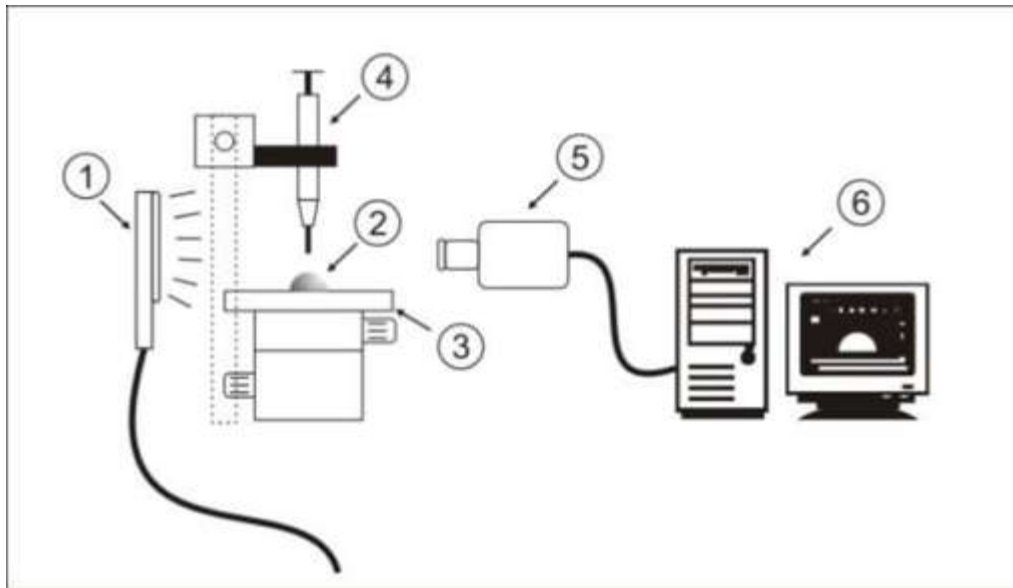


Figura 9.- Esquema general de los componentes del tensiómetro digital acoplado.

A continuación, se describen los componentes que forman el tensiómetro visualizado en la figura 9:

1. Lámpara extendida de luz.
2. Gota del líquido adyacente.
3. Superficie sólida
4. Micropipeta
5. Cámara fotográfica.
6. Sistema de adquisición y tratamiento de la imagen.

El equipo se calibró previo a las mediciones de ángulo de contacto del sistema a estudiar interés. Para realizar la calibración se realizan mediciones de ángulo de contacto utilizando tanto un líquido hidrofílico (agua) en contacto con una superficie con recubrimiento y una superficie de teflón.

### 7.7.- Determinación del color.

La determinación de color se realizó utilizando un colorímetro portable **modelo WR10QC, serie 10QC210079, marca FRU**, como se observa en la figura 10. Se calibro el colorímetro tomando como blanco al color negro. A continuación, se realizó la lectura del color referente para medir en esa escala de color por triplicado a los 4 platos con y sin recubrimiento, las lecturas se realizaron en la parte central de la superficie de cada plato. Los platos estuvieron a temperatura ambiente, transcurridos 72 horas después de su elaboración y 24 de haberles aplicado el recubrimiento. Como colores referentes se utilizaron 3 materiales diferentes, los cuales fueron: papel craft, papel de estraza y el molde control (fibra sin explosión por vapor). Todas las determinaciones se realizaron por triplicado



Figura 10.- Colorímetro portable FRU.

Se realizó la medición del color de los moldes obtenidos, en primera instancia se tenía el o los blancos con los cuales se midió el color a las muestras, cabe mencionar que estos blancos deben asemejarse al color de las muestras, en este caso los blancos fueron de gamas de color camel a café claro. Se usaron 3 blancos distintos, los cuales fueron: 1.- papel estraza claro, 2.- papel craft y 3.- muestra control.

El color de la superficie de las muestras (moldes) se determinó midiendo por triplicado los valores de color ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ). El valor  $L^*$  indica el índice de claridad en el rango de 0–100 que representa la oscuridad a la luz. El  $a^*$  indica el grado del coloración rojo-verde, con el incremento de  $a^*$  positivo se muestra mayor enrojecimiento. El valor  $b^*$  indica el grado del color amarillo-azul, si  $b^*$  positivo es un valor alto se revela más amarillez. El instrumento debe ser estandarizado contra un azulejo blanco antes de su uso.

### 7.8.- Prueba de evaluación sensorial por aceptación.

Se realizó una prueba de aceptación con jueces no entrenados, es decir, personas de la cabecera municipal, estudiantes y personal del Instituto tecnológico superior de tierra blanca. Para lo cual se tomó una referencia de muestra de 280 personas, entre un rango de edad de entre 20 a 60 años. El género de las personas fue femenino.

La prueba consiste evaluar aspectos físicos del plato, como: color, tamaño, peso, diseño, entre otros, utilizando una escala de Likert, la cual consiste en evaluar el nivel de aceptabilidad de un producto, mediante la respuesta de los estímulos de los sentidos. Se realiza un cuestionario diseñado para personas no entrenadas, dando como resultado valores cuantitativos y cualitativos. La prueba requiere una codificación de los moldes, la cual se muestra en la Tabla 14.

**Tabla 14.- Codificación de los platos**

<b>Nombre</b>	<b>Tratamiento</b>
Control	Sin Explosión por Vapor
FSEV	Explosión por Vapor
FHEV	Explosión por Vapor
FNEV	Explosión por Vapor

La aplicación de la encuesta es personal, para las reacciones de las personas, la cual se apoya de la escala de Likert empleando imágenes como se ve en la figura 11, en la cual se observa la aceptabilidad y desagrado del producto. (Severiano, 2018).

Se utiliza una escala de valores que va del 1 al 5 comprendiendo que 1 representa el no me gusta y el 5 representa me gusta, los resultados de dicha encuesta se analizan mediante esta escala de valores, para que al final se tenga un valor numérico que represente la aceptación del producto o el rechazo del mismo.



Figura 11.- Escala de Likert

## 8.- Resultados y discusión

### 8.1.- Caracterización de las materias primas.

Se emplearon papa, plátano y pseudotallo de plátano, los cuales se procesaron con el fin de lograr el objetivo de la investigación, en la figura 12 se muestran las materias primas ya procesadas, que fueron utilizadas y acondicionadas en este trabajo, lo cual permitió tener disponibilidad de estas materias primas para realización de las diferentes actividades experimentales planteadas en este trabajo.

Una vez acondicionadas, fueron caracterizadas en términos:

- a) Fisicoquímicos: humedad y sólidos
- b) Determinación de amilosa y amilopectina
- c) Fracción lignocelulósica: lignina, hemicelulosa y celulosa;
- d) Determinación de la Capacidad de Retención de Agua (CRA)

Teniendo los moldes conformados fueron evaluados al igual que también se evaluaron los moldes con los recubrimientos, se caracterizaron en términos de:

1. Propiedades superficiales
  - a. Angulo de contacto
  - b. Trabajo de adhesión
2. Su color
3. La aceptabilidad mediante una evaluación sensorial de los moldes por parte de los consumidores.

Los resultados pueden apreciarse a continuación en esta sección.



Figura 12.- Materias primas: a) Almidón de papa, b) Almidón de plátano, c) Pseudotallo de plátano.

### 8.1.1.- Caracterización fisicoquímica

En la Tabla 15 se presentan los resultados obtenidos para la caracterización de la composición fisicoquímica de los sustratos evaluados en este trabajo, comparados con los resultados obtenidos con los investigados por (Vera *et al.*, 2020), (Contreras 2018) y (Vargas 2019) en el caso del almidón de papa, plátano y la fibra respectivamente. Todas las mediciones se realizaron por triplicado y los datos se expresaron como medias  $\pm$  desviaciones estándar. Es importante estudiar detalladamente la composición de la materia prima, para así determinar las mejores opciones de respuesta en cada una de las características fisicoquímicas. Ambos almidones presentan un valor aceptable dentro de la escala de Moorthy, (Salgado-Ordosgoitia *et al.*, 2019) donde establece que el contenido de humedad en los almidones debe variar en un rango de entre 6-16% dependiendo del proceso de secado utilizado. Los niveles más altos de humedad al rango indicado pueden conducir a daño microbiano y susceptible a deterioro de calidad

El componente con mayor presencia dentro de las muestras son los Sólidos. Puede observarse, que se obtuvieron respecto al almidón de papa en humedad valores mayores, esto comparado con lo reportado por (Vera *et al.*, 2020). En el almidón de plátano se obtuvo un valor similar en humedad al obtenido por (Contreras 2018) y por último en el caso de la fibra se obtuvo un valor menor de humedad en comparación a (Vargas 2019) y hablando de manera general la fibra es el componente evaluado que presenta la menor humedad. Los porcentajes presentes de humedad son menores a los de sólidos debido a que todas las muestras ya se les aplicó un método de secado previamente a su determinación. Por otro lado, se observó que en almidón de papa (Vera 2020) obtuvo mayores resultados a lo reportado en este trabajo para el contenido de sólidos, esto varía debido a la variedad de producto (papa) utilizado para el estudio. En el caso del almidón de plátano se obtuvieron valores similares entre los obtenidos y en comparación a los reportados por (Contreras 2018), debido a que el plátano tiene diferentes etapas de maduración, dentro de las cuales se encuentra en su estado verde y debido a sus características en esta etapa el plátano tiene una composición del 90% almidón en su estructura.

En la muestra de fibra se obtuvo en sólidos valores mayores a lo reportado por (Vargas 2019), la fibra fue evaluada deshidratada, por lo cual, debido a su composición que muestra que el mayor componente dentro de la fibra es el material lignocelulósico del cual se constituye. La fibra es clasificada como un tipo de madera blanda, lo cual permite acondicionarla para su aprovechamiento. Estos resultados se atribuyen a que, de los cuatro sustratos evaluados, el pseudotallo de plátano es el que posee una mayor estructura fibrosa característica, donde la principal fuente son



las glicoproteínas presentes en la pared celular formando una red de microfibrillas con la celulosa. (Vargas 2019).

**Tabla 15.-Caracterización fisicoquímica de las materias primas.**

<b>Muestra</b>	<b>Humedad (%)</b>	<b>Sólidos (%)</b>
Almidón de papa	13.433 ± 0.493	86.467 ± 0.416
Almidón de papa <sup>a</sup>	12.660 ± 0.001	87.340 ± 0.001
Almidón de plátano	9.233 ± 0.153	90.767 ± 0.153
Almidón de plátano <sup>b</sup>	9.280 ± 0.550	90.720 ± 0.550
Fibra	9.467 ± 0.115	90.733 ± 0.306
Fibra <sup>c</sup>	11.85 ± 0.290	88.15 ± 0.290

<sup>a</sup>Vera, Bravo, A., F. *et al.*, 2020

<sup>b</sup>Contreras, Pérez, R., K. *et al.*, 2018.

<sup>c</sup>Vargas, Hernández, N., 2020

Los resultados obtenidos en esta parte del trabajo indicaron que la composición fisicoquímica es dependiente de la naturaleza de sustrato. A las materias primas mencionadas anteriormente se les realizó la determinación fisicoquímica y posteriormente se dividieron para ser caracterizadas de acuerdo a composición, en el caso de los almidones debido a la naturaleza de su composición se les determinó amilosa y amilopectina y en las fibras se determinó la composición lignocelulósica comprendida por celulosa, hemicelulosa y lignina, la capacidad de retención de agua (CRA) y los Azúcares Reductores (A.R.).

#### 8.1.2.- Determinación de amilosa y amilopectina.

El contenido de amilosa en los almidones tiene un impacto significativo en las propiedades físicas, químicas y funcionales del almidón (Ai *et al.*, 2016), es por eso que los hace clasificables dependiendo de sus contenidos y cual sea su implementación.

Los valores obtenidos se muestran a continuación en la Tabla 16. Se determinó el contenido de amilosa y amilopectina al almidón de papa y plátano obtenidos en esta investigación, utilizando también un blanco (control) como referencia, el cual fue almidón de maíz de grado reactivo. Cada almidón analizado se comparó con valores reportados en la literatura.

**Tabla 16.- Contenido de amilosa y amilopectina.**

<b>ALMIDON</b>	<b>% AMILOSA</b>	<b>% AMILOPECTINA</b>
<b>Maíz</b>	29.456 ± 0.636	70.544 ± 0.636
<b>Maíz <sup>a</sup></b>	28.000 ± 0.500	72.000 ± 0.500
<b>Plátano</b>	29.714 ± 0.273	70.286 ± 0.273
<b>Plátano <sup>b</sup></b>	27.900 ± 0.340	70.100 ± 0.340
<b>Papa</b>	36.361 ± 0.172	63.639 ± 0.172
<b>Papa <sup>a</sup></b>	31.000 ± 0.500	69.000 ± 0.500

<sup>a</sup> Ojogbo, Ewomazino, *et al.*, 2020.

<sup>b</sup> Covarrubias, Aguilar, L., M. 2020.

Como podemos observar en el caso del almidón de plátano se obtuvo valores superiores a los reportados por (Covarrubias, Aguilar, L., M. 2020) para amilosa y amilopectina, pero fueron valores por debajo de los reportados por (Rivas-González *et al.*, 2008) y (Bello-Pérez *et al.*, 2006) con rango de valores de 36.39 a 44.20 de amilosa en plátano y muy similar al reportado en mango con 27% reportado por los investigadores antes mencionados donde dichas diferencias se atribuyen a ser frutos de distintas regiones y tener un manejo agronómico distinto. En el caso del almidón de papa, los valores de (Ojogbo, Ewomazino, *et al.*, 2020) fueron menores a los obtenidos en la presente investigación. La proporción de amilosa y amilopectina en los almidones varía según la fuente botánica, factores climáticos y geográficos. Con el almidón de maíz se obtuvo mayores valores en amilosa y menor en amilopectina en comparación con los de (Ojogbo, Ewomazino, *et al.*, 2020).

### 8.1.3.- Caracterización estructuralde las fibras.

A las 4 fibras obtenidas se les caracterizo y los resultados se muestran a continuación:

#### 8.1.3.1.- Caracterización fisicoquímica de las fibras.

Se realizó la caracterización en términos de humedad y solidos a todas las fibras, los resultados se muestran a continuación en la Tabla 17. Como se puede ver en la tabla, los mayores porcentajes de humedad están en la fibra sin tratamiento y el control, siendo los valores  $11.85 \pm 0.290$  de (Vargas, Hernández, N., 2019) superiores a los del control, las muestras FHEV y FNEV muestran valores similares entre sí, teniendo el menor porcentaje de humedad FSEV con  $5.533 \pm 0.115$ . En los sólidos el control tiene el menor porcentaje de sólidos y FSEV el mayor valor obtenido en esta investigación.

**Tabla 17.- Caracterización fisicoquímica de las fibras.**

<b>Muestra</b>	<b>Humedad (%)</b>	<b>Sólidos (%)</b>
<b>Control</b>	$9.467 \pm 0.115$	$88.15 \pm 0.290$
<b>Fibra sin tratamiento <sup>a</sup></b>	$11.85 \pm 0.290$	$90.533 \pm 0.115$
<b>FSEV</b>	$5.533 \pm 0.115$	$94.467 \pm 0.115$
<b>FHEV</b>	$6.200 \pm 0.600$	$93.800 \pm 0.600$
<b>FNEV</b>	$6.400 \pm 0.200$	$93.600 \pm 0.200$

<sup>a</sup> Vargas, Hernández, N., 2020

#### 8.1.3.2.- Caracterización estructural de las fibras

Los resultados obtenidos de las propiedades estructurales en terminos de la fracción lignocelulósica (celulosa, hemicelulosa y lignina), CRA y azucares reductores se muestra en la Tabla 18. Las fibras evaluadas tienen mayor porcentaje en su composición correspondiente a celulosa, seguido de hemicelulosa y lignina en menor cantidad, la que contiene el más alto porcentaje de celulosa fue la fibra CONTROL obteniendo  $50.29 \pm 0.79$  valor superior a lo reportado por (Vargas, Hernández, N., 2019), mientras que menores valores de celulosa se observan en FSEV y FHEV,  $32.70 \pm 1.27$  y  $34.30 \pm 0.77$  respectivamente, aquí se puede observar un decremento del 40% aproximadamente entre el CONTROL y FSEV. En lo que respecta con el

contenido de hemicelulosa, el mayor contenido fue observado en el reportado por (Vargas, Hernández, N., 2019), seguido del CONTROL. La FSEV, FHEV y FNEV obtuvieron los menores valores respectivamente, representando FNEV la mitad del valor reportado por (Vargas, Hernández, N., 2019). En el apartado de lignina, los valores más altos fueron los reportados por (Vargas, Hernández, N., 2019), seguido del control con valores similares, al igual que FHEV y FNEV las cuales no tienen diferencia significativa, el menor valor obtenido es de FSEV y este sí tiene diferencias significativas con el CONTROL, pues se observa que FHEV y FNEV representan la mitad del valor encontrado en comparación con este. Garay *et al.*, 2018 reportó que la cascara de piña contiene 14.56 de lignina, 40.35 de celulosa y 20.89 de hemicelulosa, siendo estos valores inferiores a los reportados por (Vargas, Hernández, N., 2019) y el CONTROL.

**Tabla 18.- Caracterización estructural de las fibras.**

Tratamiento	%	%	%	CRA	AR
	Celulosa	Hemicelulosa	Lignina		
<b>Control</b>	50.29 ± 0.79	26.18 ± 0.81	22.13 ± 0.92	8.42 ± 0.68	1.40 ± 0.49
<b>Natural<sup>a</sup></b>	50.20 ± 0.93	26.38 ± 3.71	23.33 ± 3.12	7.89 ± 0.33	N.D.
<b>FSEV</b>	32.70 ± 1.27	18.73 ± 1.10	8.70 ± 1.11	4.57 ± 0.76	39.87 ± 0.41
<b>FHEV</b>	34.30 ± 0.77	13.77 ± 1.07	11.57 ± 1.31	6.53 ± 0.96	40.36 ± 0.49
<b>FNEV</b>	46.14 ± 0.15	16.18 ± 1.71	11.30 ± 1.23	7.84 ± 0.67	26.4 ± 0.49

N.D. No determinado

<sup>a</sup> Vargas, Hernández, N., 2020

En lo que respecta a la CRA, se puede observar en la Tabla 18 que el CONTROL tiene  $8.42 \pm 0.68$  lo que lo convierte en valor más alto de CRA, cercano al valor referente reportado por (Vargas, Hernández, N., 2019), también podemos observar disminuciones de los demás tratamientos comparados con el CONTROL, los cuales son FSEV, FHEV y FNEV, debido a las condiciones a las que fue realizado el tratamiento se logró realizarles una modificación en su estructura molecular, provocando así la disminución de CRA y traducido en tener una menor interacción o captación de las moléculas de agua. Comparado con la CRA de fibras de piña, (Rasgado, *et al.*, 2016) obtuvo valores de 4.8 a 7.7.

Mientras que en lo que respecta a los azúcares reductores, se aprecia el incremento que se obtiene de en la fibra una vez aplicada el tratamiento de Explosión por Vapor, lo podemos observar en la figura 13. Se puede decir que este incremento es producto de las reducciones ocurridas en el material lignocelulósico (celulosa, lignina y hemicelulosa) de las muestras tratadas (fibras), esto es debido al rompimiento ocurrido en el proceso de explosión por vapor, como se puede observar en la figura 13, la mayor reducción obtenida mediante este proceso es de lignina, seguido de hemicelulosa y celulosa, estas estructuras sufren el rompimiento que se puede observar de manera ilustrativa en la Figura 14, así mismo mediante esta imagen se observa que la lignina es la primera estructura en romperse al exponerse al tratamiento. Se tiene que a temperaturas de 180°C y tiempos de 1 minuto se obtienen azúcares (Figuroa, 2018), así como el cambio o contraste en el color de las fibras explotadas contra la fibra control, lo cual es un indicador del oscurecimiento debido a la caramelización ocurrida durante la explosión por la temperatura del proceso. En un trabajo realizado por (Romero-García *et. al.*, 2016) se obtuvieron azúcares y antioxidantes naturales a partir de hojas de olivo mediante la aplicación de explosión por vapor, donde por medio del pre-tratamiento de explosión por vapor se logró la mayor obtención de azúcares de 19.5 g/ 100g de hojas de olivo encontrando las mejores condiciones de temperatura fueron de 180 °C y un tiempo de retención de 10 minutos, comprobando así que el proceso de explosión por vapor es un método de sacarificación que puede ser aplicado con éxito a materiales lignocelulósicos.

El efecto de la explosión por vapor aplicado a las fibras de pseudotallo consistió en el rompimiento del material lignocelulósico y el desdoblamiento de estas, como se observa en la figura 14, una vez ocurrido este rompimiento se genera lo que es la disminución de dicho material (Celulosa, Hemicelulosa y Lignina) pero debido a estas disminuciones ocurre un incremento en el área de los Azúcares reductores de las fibras, estos datos se reflejan en la figura 13. Adicionalmente se tiene también una reducción en la CRA (Capacidad de Retención de Agua) de las fibras, debido a que ya no son capaces de captar la misma cantidad de agua que antes del tratamiento, esto se muestra en la figura 15, en esta se puede observar un ejemplo de lo que ocurre, ya que vemos la interacción que tienen las moléculas del agua cuando estas fibras están sin tratamiento y también la interacción estando con el tratamiento de explosión por vapor. Para el objetivo de esta investigación esto beneficia en gran parte al trabajo porque las fibras se vuelven más hidrofóbicas con la ayuda de este proceso y más resistentes a los factores ambientales como la humedad. Asimismo, al momento de aplicarle un recubrimiento estas no tienden a adsorberlo en comparación con el control que contiene una fibra con menor hidrofobicidad.

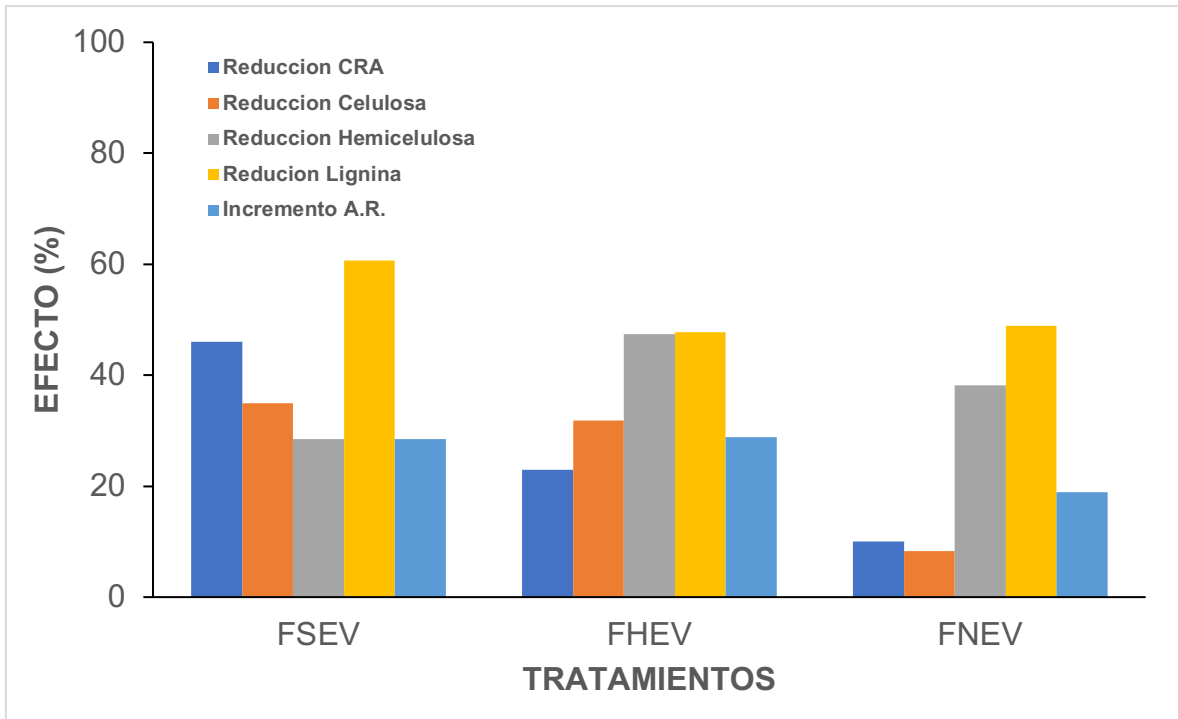


Figura 13.- Efecto de la Explosion por vapor en las fibras tratadas.

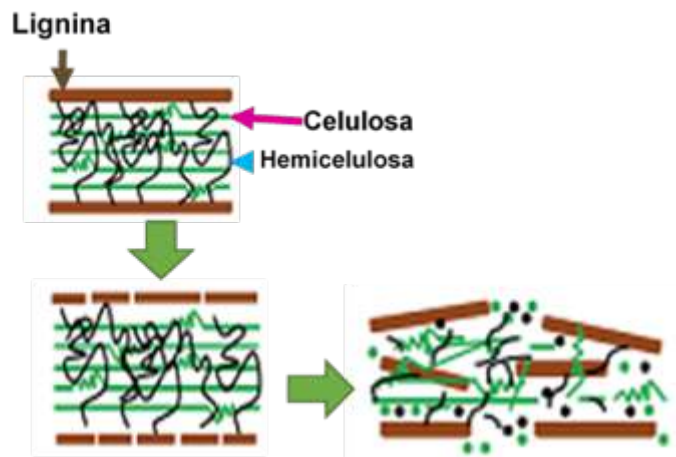


Figura 14.- Efecto de la explosión por vapor sobre el material lignocelulosico.



Figura 15.- Estructura de la pared celular del psudotallo de platano y su comportamiento con las moléculas del agua con y sin tratamiento.

## 8.2.- Evaluación de los recubrimientos.

Los recubrimientos evaluados fueron Cera de candelilla, cera de abeja, sorbitol, glicerol y cera comercial de grado alimentario. Los cuales presentaron diferentes características sobre los moldes, tal y como se observa en la figura 16, en la cual podemos apreciar que en el caso d) cera de candelilla: esta no mejoró las propiedades estructurales del molde ya que tiende a partirse, vuelve al molde frágil y cambia el color del molde debido a su color, así como tener una cobertura no uniforme en la superficie del molde puesto que seca rápido al bajar su temperatura de fusión. En el caso c) sorbitol: este tiende a ser adsorbido en su totalidad por el molde en lugar de adherirse a este y mejorar sus propiedades, por ende, al estar húmedo el molde tiende a romperse y perder su forma, así como tener un oscurecimiento de color debido a que el molde se satura de recubrimiento, se vuelve opaco y tiende a tornarse colores del café oscuro al negro, tarda en secarse en temperatura ambiente. Con e) cera de abeja: contribuyó a mejorar su apariencia, a una baja concentración no modificaba su color, pero debido a la naturaleza blanda de la cera esta tiende a agrietarse y lo cual genero el rompimiento del molde, también no tiene uniformidad en la superficie ya que seca de inmediato al disminuir su temperatura de fusión, por lo tanto, no se puede manejar muy bien. En b) cera comercial de grado alimentario: contribuyo a mejorar su apariencia, ya que el molde tiende a conservar su color y tener estabilidad en su forma, así como el adherirse al molde y no ser absorbida, tiende a secar en un periodo de tiempo de 15 a 25 minutos y permite aplicarla sin problemas uniformemente sobre el molde. Y en a) Glicerol: contribuye a mejorar su apariencia pues no presento cambios de color al aplicarlo en el molde, apporto luminosidad a las muestras y estabilidad a su forma. Tarda en secado a temperatura ambiente.

Por lo tanto, en base a lo mencionado no pueden ser implementados los recubrimientos a base de cera de candelilla, de abeja y el de sorbitol. Los recubrimientos que mejores resultados obtuvieron en base al objetivo de la investigación son d) Cera comercial de grado alimentario y e) Glicerol. A continuación, se presenta la Tabla 19 en la cual se puede distinguir de una mejor manera los atributos que proporciona cada uno de los recubrimientos que fueron aplicados con la finalidad de mejorar las propiedades superficiales y de barrera del molde.

A continuación, en la figura 17 se ilustra el proceso de evaluación de los recubrimientos, el cual consiste en que el contenedor es fraccionado en cuartiles, cada cuartil es tomado como muestra para evaluar el recubrimiento correspondiente.



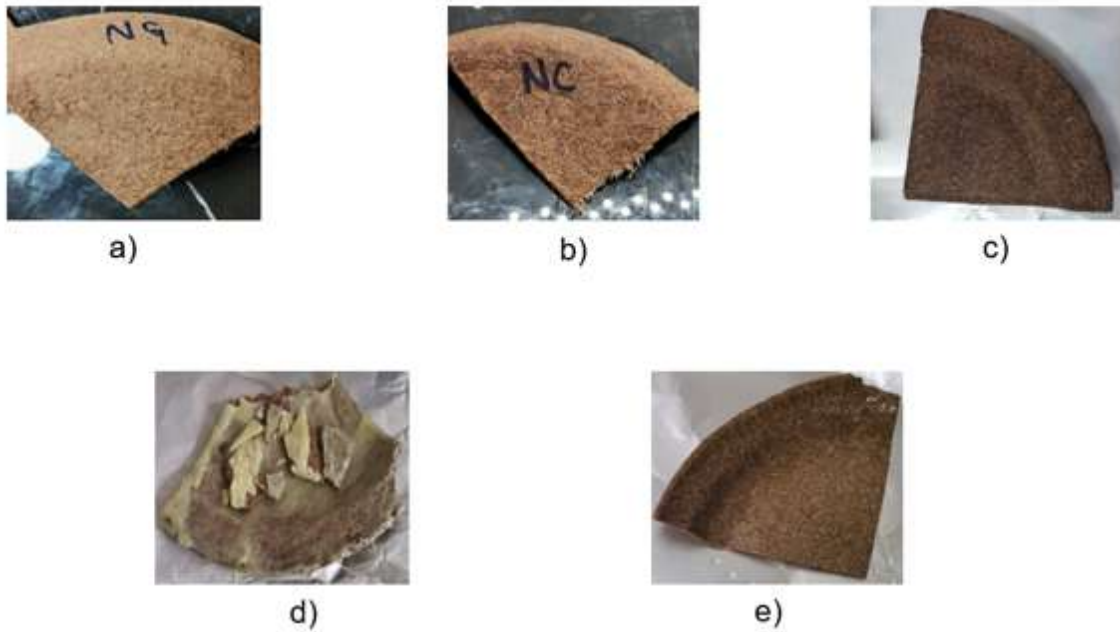


Figura 16.- Recubrimientos Evaluados en cuartiles de los moldes: a) Glicerol, b) Cera comercial de grado alimentario, c) Sorbitol, d) Cera de candelilla, y e) Cera de abeja.

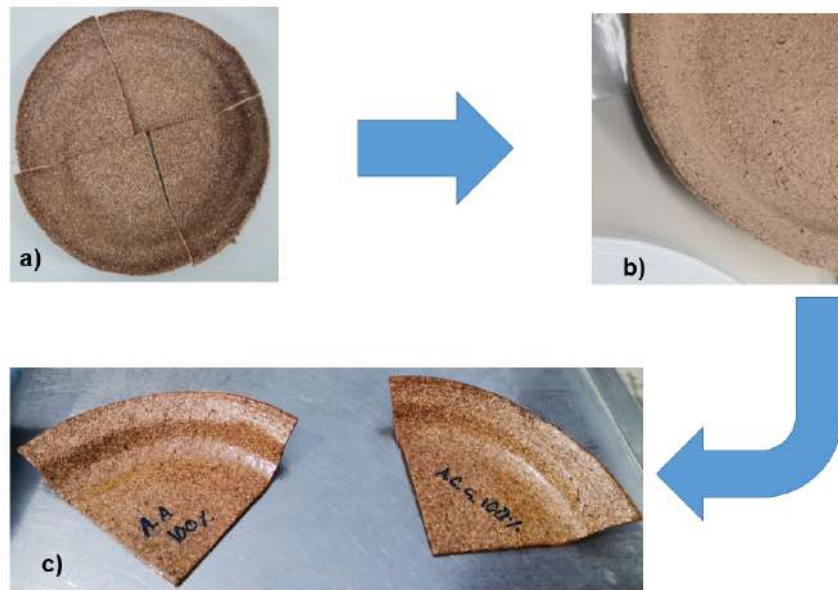


Figura 17.- Selección de la superficie para evaluar: a) Fraccionado del molde, b) cuartil seleccionado para evaluar un recubrimiento, y c) Cuartil con el recubrimiento aplicado.

*Tabla 19.- Efectos o Atributos ocasionados al aplicar el recubrimiento.*

<b>Contenedor /Molde</b>	<b>Recubrimiento aplicado</b>	<b>Adherencia</b>	<b>Absorción</b>	<b>Secado</b>	<b>Conformacion</b>	<b>Firmeza</b>
Control	Glicerol	+++	++	++	+++	+++
	Sorbitol	----	----	---	----	----
	Cera de Candelilla	+	+	+	+	+
	Cera de abeja	+	+	+	+	+
	Cera C.G.A.	++++	+++	+++	++++	+++++
FSEV	Sorbitol	----	---	--	--	----
	Cera C.G.A.	+++	+++	+++	+++	+++
	Glicerol	++	++	++	++	++
	Cera de Candelilla	+	+	+	+	+
	Cera de abeja	+	+	+	+	+
FHEV	Glicerol	+++	+++	++	+++	+++
	Sorbitol	----	----	---	----	----
	Cera C.G.A.	+++++	++++	+++	++++	+++++
	Cera de abeja	+	+	+	+	+
	Cera de candelilla	+	+	+	+	+
FNEV	Glicerol	+++	++	++	++	++
	Sorbitol	----	----	----	----	----
	Cera de candelilla	+	+	+	+	+
	Cera de abeja	+	+	+	+	+
	Cera C.G.A.	++++	+++	+++	++++	++++

\*Cera C. G. A.: Cera Comercial de Grado Alimentario.

En base a la Tabla 19 se puede decir que, en el atributo de adherencia el recubrimiento que mejoro esta propiedad fue la cera comercial de grado alimentario, debido a que esta al estar en contacto con la superficie se mantuvo unida, es decir, esta se adhirió por completo al molde. Mencionando a la cera de candelilla y cera de abeja se puede decir que, estas sustancias al entrar en contacto con el molde temporalmente se une, y posteriormente tiende a desprenderse de la superficie. En el caso del glicerol su adherencia es estable al contacto con la superficie y sorbitol no tiene una adherencia favorable para el molde.

En la absorción se puede decir que, en el caso de la cera comercial de grado alimentario no fue adsorbida por la superficie del molde, así como la cera de candelilla y cera de abeja no fueron absorbidos por el contenedor, con el glicerol tampoco se presentó la absorción que si se presentó en el recubrimiento que fue desfavorable para el molde con esta propiedad ya que era adsorbido por la superficie, fue el sorbitol.

En el secado, los secados más rápidos o eficientes fueron los de la cera de candelilla y cera de abeja ya que secan a los pocos segundos de su aplicación, sin embargo, esto no permite el poder trabajar con la cera de manera uniforme en toda la superficie del molde. Con el glicerol el secado permitía extender de manera uniforme el recubrimiento, aunque al momento del secado tarda en comparación con las ceras mencionadas previamente. Con la cera comercial de grado alimentario permite obtener una capa uniforme del recubrimiento sobre el molde, así como también obtener un secado completo en menor tiempo comparándolo con el glicerol y sorbitol, el sorbitol es muy tardado.

En cuanto a la conformación la cera comercial de grado alimentario es la que más aporte contribuyó a este atributo. Seguido del glicerol y terminando con la cera de candelilla y la cera de abeja. En el caso del glicerol este desfavoreció la conformación del molde.

En cuanto a la firmeza, la cera comercial de grado alimentario contribuye a mejorar e incrementar la firmeza del molde, seguido del glicerol. Las ceras al endurecerse mejoran la firmeza, pero también son vulnerables o frágiles. Con el sorbitol no se obtuvo mejoría en la firmeza, por lo tanto, este recubrimiento no es beneficioso para los moldes.

### 8.3.- Propiedades superficiales

Como se puede apreciar en la Tabla 20, de primera instancia se ve el incremento que existe en el ángulo de contacto del control con este mismo, pero utilizando los recubrimientos previamente seleccionados, lo cual refuerza y fundamenta su elección, de igual forma se perciben los incrementos que las fibras explotadas referente al control, esto muestra la modificación que se obtuvo en su estructura que se ve reflejada en sus propiedades de superficie. Reforzando esta modificación, el ángulo de contacto de los moldes continúa incrementando mediante la aplicación de los recubrimientos, hasta obtener el valor de hidrofobicidad cercano al doble del obtenido del control sin recubrimiento. La muestra FHEV obtuvo  $68.81 \pm 0.46$  de ángulo de contacto, teniendo las mayores propiedades superficiales de las muestras y recubrimientos evaluados. A su vez esto es confirmado con los valores mostrados del trabajo de adhesión, los cuales indican que, a mayor ángulo de contacto, menor será su valor. Los recubrimientos evaluados mostraron mejorar e incrementar las propiedades superficiales y de barrera del molde, obteniendo el mejor resultado el recubrimiento de cera comercial de grado alimentario. Este recubrimiento aplicado sobre las fibras FHEV obtuvo el valor más alto de la Tabla 20. Los moldes al ser comparados sus ángulos de contacto dieron como resultado que el molde con fibra FHEV es el que tiene mayor incremento de los 3 tratamientos implementados en las fibras al ser comparadas.

*Tabla 20.- Propiedades barrera en terminos de propiedades superficiales*

Fibra – Tratamientos	Angulo de contacto (°)			Trabajo de adhesión ( $W_{SL}$ (mJm <sup>-2</sup> ))		
	Sin Recubrimiento	Con Recubrimientos		Sin Recubrimiento	Con recubrimiento	
		Glicerol	Cera		Glicerol	Cera
<b>Control</b>	39.43 ± 0.08	50.35 ± 0.95	58.89 ± 0.47	143.35 ± 5.98	110.65 ± 16.10	106.70 ± 2.16
<b>FSEV</b>	46.61 ± 0.52	53.65 ± 0.60	60.68 ± 0.28	117.88 ± 14.50	112.25 ± 15.10	99.80 ± 1.73
<b>FHEV</b>	45.59 ± 0.19	58.46 ± 0.04	<b>68.81 ± 0.46</b>	142.49 ± 14.10	107.42 ± 2.86	<b>93.30 ± 13.41</b>
<b>FNEV</b>	45.06 ± 0.29	47.64 ± 0.47	57.23 ± 1.81	135.52 ± 17.80	115.31 ± 12.00	109.68 ± 7.85

#### 8.4.- Determinación de color

Se determinó el color en los moldes elaborados, debido a que las muestras explotadas al vapor visualmente presentan un oscurecimiento en comparación con el control, por lo tanto, para conocer el grado de oscurecimiento se presentan los valores obtenidos.

A continuación, se realizaron las mediciones del color, los resultados los podemos observar en la Tabla 21, en la cual nos indica los siguientes datos:

L= luminosidad, a=tonalidad y b=Pureza.

Se tomaron al papel Kraft, al papel de estraza y al control como referentes para calibración, obteniendo los siguientes valores:

Papel estraza:  $L= 76.59 \pm 0.241$ ,  $a= 3.4 \pm 0.52$  y  $b= 18.11 \pm 0.364$ .

Papel Kraft:  $L= 58.43 \pm 0.214$ ,  $a= 8.15 \pm 0.657$  y  $b= 16.81 \pm 0.358$ .

Control:  $L= 48.84 \pm 0.675$ ,  $a= 10.13 \pm 0.035$  y  $b= 20.3 \pm 0.387$ .

Estos valores fueron comparados con 4 moldes (muestras) diferentes, de los cuales 3 de estos fueron tratados con el proceso de explosión por vapor nombrados FSEV (fibra seca explotada al vapor), FHEV (fibra húmeda explotada al vapor) y FNEV (fibra natural explotada al vapor) y una muestra sin tratamiento de explosión por vapor llamado control, todo esto mencionado anteriormente en el trabajo.

Para la interpretación de los datos obtenidos en la medición del color de las muestras se debe considerar que estos son interpretados en un plano cartesiano ya que tenemos un resultado en el eje Z, tal y como se muestra en la figura 18.

Se observa en la Tabla 21 en la sección que usan a la muestra control como blanco que las muestras tratadas disminuyen la luminosidad (L), la pigmentación rojiza (a) y amarillenta (b).

**Tabla 21.- Resultados de las mediciones de color.**

BLANCO	L	a	b	-
Papel estraza	76.59 ±0.241	3.4 ± 0.52	18.11 ± 0.364	-
Muestra	ΔL	Δa	Δb	ΔE
FNEV	-27.590 ± 1.264	6.887 ± 0.240	0.517 ± 0.220	28.447 ± 1.255
FHEV	-34.887 ± 0.462	6.787 ± 0.095	-2.60 ± 0.142	35.543 ± 0.465
FSEV	-42.140 ± 0.357	6.307 ± .055	-0.957 ± 0.393	42.620 ± 0.344
Control (FST)	-32.083 ± 1.010	8.027 ± 0.259	2.56 ± 0.197	33.170 ± 1.011
BLANCO	L	A	b	-
Papel Kraft	58.43 ± 0.214	8.15 ± 0.657	16.81± 0.358	-
Muestra	ΔL	Δa	Δb	ΔE
FNEV	-10.047 ± 1.350	2.147 ± 0.091	1.907 ± 0.021	10.453 ± 1.311
FHEV	-16.453 ± 0.280	1.777 ± 0.145	0.667 ± 0.467	16.573 ± 0.264
FSEV	-23.987 ± 1.116	1.393 ± 0.681	0.320 ± 0.470	24.047 ± 1.074
Control (FST)	-13.183 ± 1.514	2.917 ± 0.309	3.927 ± 0.307	14.063 ± 1.550
BLANCO	L	A	b	-
Control (FST)	48.84 ± 0.675	10.13 ±0.035	20.3 ± 0.387	-
Muestra	ΔL	Δa	Δb	ΔE
FNEV	0.523 ± 0.842	-0.197 ± 0.085	-2.183 ± 0.211	2.363 ± 0.090
FHEV	-5.347 ± 0.822	-0.233 ± 0.176	-2.50 ± 0.151	5.917 ± 0.770
FSEV	-13.463 ± 1.013	-0.290 ± .351	-3.667 ± 0.021	13.960 ± 0.975

\*(FST)= Fibra sin tratamiento.

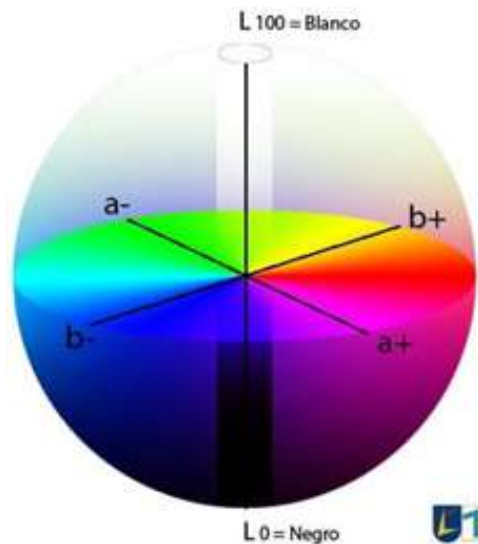


Figura 18.- Plano cartesiano del color.

Haciendo una comparación numérica de color de la muestra tratada con la muestra control se puede definir con la diferencia en las coordenadas con Delta ( $\Delta$ ) obteniendo resultados positivos o negativos, que indican  $\Delta L$  luminosidad (+ = más luminoso, - = más oscuro)  $\Delta a$  = diferencia en rojo y verde (+ = más rojo, - = más verde)  $\Delta b$  = diferencia en amarillo y azul (+ = más amarillo, - = más azul).

Los valores negativos obtenidos en la Tabla 21 muestran que en el caso de (L) los valores obtenidos carecen de luminosidad, con el recubrimiento aplicado en los moldes se disminuyó su luminosidad, es por eso que salen en rango negativo que significa más oscuro. En el caso de la (a) cuando los valores son negativos es porque tienden a ser de una tonalidad más verde oscureciendo al rango establecido. Con la (b) los valores negativos hacen referencia a que el color no tiene la pureza indicada por el blanco y se colocan en el rango que tiende al azul.

En base a la Tabla 21 se puede decir que la muestra que tiene el color más oscuro es FSEV, en sus 3 mediciones con todos los blancos, aunque el mayor valor de oscuridad lo obtuvo con el blanco de papel de estraza. La muestra FNEV es la que obtiene los menores valores en las 3 variables obtenidos con el colorímetro, por lo tanto, es la que tiene el color más claro de las 4 muestra con los blancos.

De los valores observados en la Tabla 21 se puede observar el decremento o incremento, los cuales se comparó, esto es debido al mayor oscurecimiento ocurrido por el proceso de explosión por vapor, ya que este ocurre a altas temperaturas y presión, lo cual ocasiona las reacciones de caramelización en las muestras, presentándose con mayor intensidad en la muestra FSEV.



Cuando se aplicó la explosión por vapor a las fibras, estas presentaron un oscurecimiento debido a la caramelización ocurrida durante este pre-tratamiento, lo anterior a consecuencia del contenido en azúcares reductores (A.R.) en dichas fibras en comparación con la fibra sin tratamiento (Control). Como se observa en la figura 19 de izquierda a derecha tiende en ir del más claro al oscuro.



Figura 19.- Contenedores o moldes biodegradables obtenidos

### 8.5.- Evaluación Sensorial.

Se realizó la medición de parámetros físicos de los moldes realizados con las fibras explotadas y el control, para determinar el grado de aceptación que tienen los moldes que se elaboraron por parte del consumidor.

Las variables de los moldes que se evaluaron fueron: color, diseño, tamaño y grosor. En esta prueba hedónica se reflejó las preferencias o la aceptación de los consumidores, indicaron sus observaciones en cuanto los aspectos físicos del producto, los cuales se muestran a continuación:

El producto tiene una agradable presentación y es práctico, ya que el 100% de los consumidores aceptaron que les gustaría consumir el producto. Asimismo en la variable de tamaño, indicaron que el producto puede cambiar para ser del tamaño de un plato normal de 10 a 12 pulgadas y no de un plato pastelero de 6 pulgadas, ya que podrían usarlo para servir y consumir sus alimentos.

En cuanto a color, el producto mejor evaluado fue el molde (plato) con FHEV con recubrimiento y el producto con la menor aprobación fue el molde (plato) con FSEV con recubrimiento, esto debido a que el recubrimiento y la naturaleza del color de este material lo vuelven opaco y oscuro.

A continuación, se presentan las figuras 20 y 21 correspondientes a la evaluación del cambio de color de las muestras al aplicarles el recubrimiento de grado alimentario:

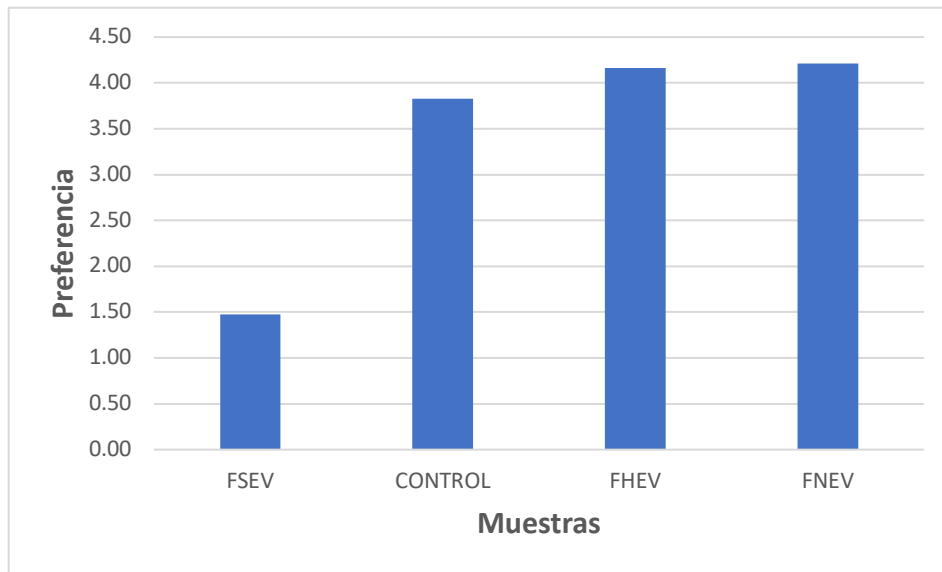


Figura 20.- Evaluación del molde con recubrimiento

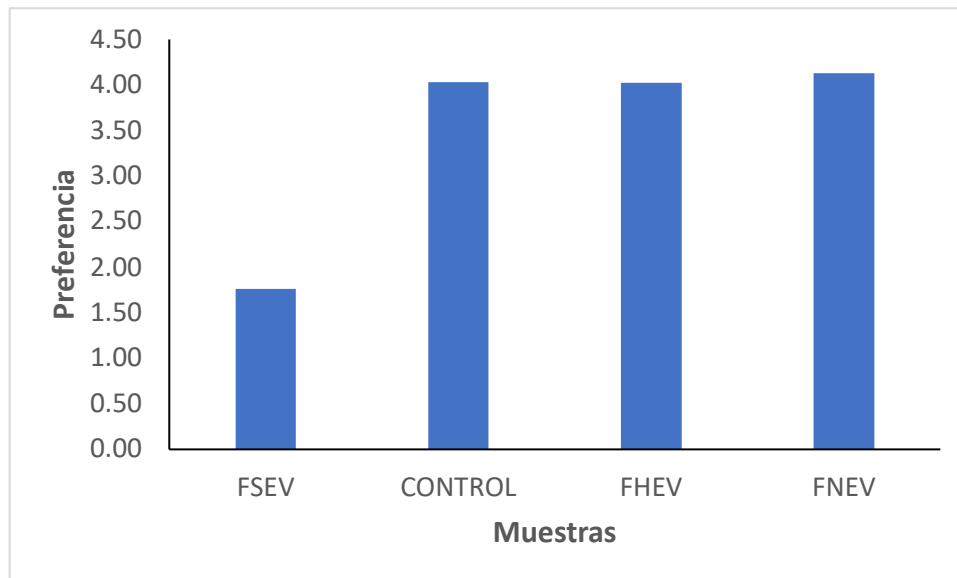


Figura 21.- Evaluación del molde sin recubrimiento

Como se puede observar en la figura 20, la muestra FNEV y FHEV presentan mayor aceptabilidad de color ya teniendo recubrimiento el molde (plato). Asimismo, la

muestra CONTROL obtiene una aceptabilidad media y la FSEV es la de menor aceptación en la encuesta. Esto es debido a que la muestra presenta un color oscuro y cuando se le aplica el recubrimiento la muestra se torna más opaca y oscura. Mientras que en la figura 21, las muestras evaluadas fueron sin aplicación del recubrimiento, estos mostrados resultados similares ya que como se observa en la gráfica la muestra CONTROL, FHEV y FNEV obtuvieron casi los mismos valores con una menor variación, incluso la muestra FSEV obtuvo un mayor valor al estar sin recubrimiento que al ser evaluada con el recubrimiento.

Al aplicarles recubrimiento a las muestras su color sufre una variación, debido a que la cera comercial de grado alimentario que fue aplicada tiene una tonalidad transparente-opaca lo cual torna a las muestras opacas, por lo tanto, su color natural tiende a oscurecerse o concentrarse oscureciéndose.

## 9.- Conclusiones

Se lograron obtener moldes biodegradables a partir del aprovechamiento de agroresiduos de la región de Tierra Blanca con dimensiones y características físicas similares a los contenedores comercialmente disponibles.

El uso del pre-tratamiento con explosión por vapor en las fibras de pseudotallo de plátano permitió el fraccionamiento del material lignocelulósico y con ello la aplicación de recubrimientos convencionales y de grado alimentario sobre los moldes.

La reducción tanto en la capacidad de retención de agua como en el trabajo de adhesión confirmó que la fuerza adhesiva de la superficie de los moldes disminuyó posterior al tratamiento con la explosión por vapor.

El desarrollo de este trabajo puntualizó además que el uso de tecnologías emergentes como la explosión por vapor permitió la modificación de propiedades estructurales, el mejoramiento de propiedades de barrera y la adición de recubrimientos de grado alimentario en contenedores elaborados a base de agroresiduos.

El aprovechamiento de residuos agroindustriales como bloque de construcción en el desarrollo de envases biodegradables de bajo costo y la intensificación de procesos como explosión de vapor son alternativas promisorias para el uso sostenible de estas materias primas renovables en contexto con los objetivos de la agenda 2030.

Los moldes biodegradables con tratamiento de explosión de vapor podrían superar el potencial de aplicación de envases comerciales de materiales plásticos; así como de los envases biodegradables comerciales actualmente; generando una propuesta de valor sostenible.

## 10.- Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por otorgarme la beca Nacional, registrándome con número 1021972, facilitándome la culminación de mis estudios de posgrado en Maestría en Ciencias de los alimentos y biotecnología (MCABI).

Al Tecnológico Nacional de México (TecNM) campus Tierra Blanca, Veracruz por su apoyo y accesibilidad a los equipos e instalaciones, y recursos para el desarrollo de este trabajo de Tesis, contribuyendo así el cumplimiento de los objetivos y la culminación de este trabajo.

A la Dra. Karen Aylin Vargas García por todo lo que me ha brindado, tanto al apoyo, el tiempo dedicado, sus consejos, su atención, su paciencia, pues no sólo contribuyo al desarrollo de este trabajo, sino también a mi crecimiento tanto personal como profesional y a sus comentarios y sugerencias que contribuyeron a enriquecer este trabajo y llevarlo más allá de lo planeado. Ha crecido aún más en mí la admiración que tengo hacia ella. Agradezco el transmitirme sus conocimientos y haberla tenido como mi directora y docente.

A las Dras. Elizabeth del Carmen Varela Santos y Karina Bustos Ramírez, por transmitirme sus conocimientos, agradezco haberlas tenido de docentes y como parte de mi comité tutorial, mi admiración y respeto a ustedes.

Al M.C. Ibis Rafael Huerta Mora por su acompañamiento en este posgrado, gracias por los conocimientos brindados, por siempre mi admiración y respeto.

## 11.- Referencias Bibliográficas

Aguirre, A.; Borneo, R.; León, A., E. (2013a). Properties of triticale protein films and their relation to plasticizing–antiplasticizing effects of glycerol and sorbitol. *Industrial Crops and Products*. 50, 297-303.

Aguirre, A.; Borneo, R.; León, A., E. (2013b). Antimicrobial, mechanical and barrier properties of triticale protein films incorporated with oregano essential oil. *Food Bioscience*, 1, 2-9.

Ai, Y., & Jane, J. (2016). Starch: Structure, Property, and Determination. En *Encyclopedia of Food and Health* (págs. 165-174). Elsevier.

Ajay Yadav, S Mangaraj. 2018. Biopolymers as packaging material in food and fruits.

Alba, M., N. 2016. Estudio del efecto del tiempo de almacenamiento sobre las propiedades de películas de harina de triticale.

Almeida, A.; Ruiz M.; & Pettinari. 2004. Bioplásticos una alternativa ecológica. 1-16.

Andrade, M, M., M.; Tapia, B., D., R.; Menegalli, F. C. 2012. Development and optimization of biodegradable films based on achira flour. *Carbohydrate. Polymers*. 88, 449-458.

Atarés, L.; Chiralt, A. 2016. Essential oils as additives in biodegradable films and coatings for active food packaging. *Trends in Food Science and Technology*, 48, 51-62.

Ballesteros, I., Negro, M. J., Oliva, J. M., Cabañas, A., Manzanares, P., & Ballesteros, M. (2006). Ethanol production from steam-explosion pretreated wheat straw. In *Twenty-seventh symposium on biotechnology for fuels and chemicals* (pp. 496-508). Humana Press.

Bandyopadhyay, J.; Sinha, R. S. 2019. ¿Are nanoclay-containing polymer composites safe for food packaging applications? -An overview. *Journal of Applied Polymer*, 136, 47214

Bello-Pérez Luis A; González-Soto Rosalía A; Sánchez-Rivero Mirna M; Gutiérrez-Meraz Felipe y Vargas-Torres Apolonio (2006). Extursión de almidones de fuentes no convencionales para la producción de almidón resistente.

Bilo, S.; Pandini, S.; Sartone, L.; Depero, L.; Gargiulo, G.; Bonassi, S., F.; Bontempi, E. 2018. A sustainable bioplastic obtained from rice straw. *Journal Cleaner Production*. 200, 357-368.

Binod, P.; Sindhu, R.; Singhanía, R. R.; Vikram, S.; Devi, L.; Nagalakshmi, S.; Kurien, N.; Sukumaran, R. K.; Pandey, A. 2010. Bioethanol production from rice straw: an overview., *Bioresource Technology*, V. 101, No. 13. 4767-4774.

Bohórquez, A., M., V. 2015. Estudio del efecto de las variables de formulación y del proceso de plastificación en las propiedades de barrera y mecánicas de películas a base de kefirán, y de su efectividad como recubrimientos protectores al ambiente para mango criollo colombiano.

Boluda-Aguilar, M., García-Vidal, L., González-Castañeda, F. d., & López-Gómez, A. (2010). Pretratamiento de residuos de cáscara de mandarina con explosión de vapor para la producción de bioetanol. *Tecnología Bioambiental*, 101(10), pp.3506-3513.

Borneo, R., Alba, N.; Aguirre, A. (2016). New films based on triticale flour: Properties and effects of storage time. *Journal of Cereal Science*, 68, 82-87.

Cabrera, E.; Muñoz, M., J.; Martín, R.; Caro, I.; Curbelo, C.; Díaz, A. B. 2014. Alkaline and alkaline peroxide pretreatments at mild temperature to enhance enzymatic hydrolysis of rice hulls and straw., *Bioresource Technology*, Vol. 167.1-7.

Castillo, R; Escobar, E; Fernández, D; Gutiérrez, R; Morcillo, J; L Núñez, N; & Peñaloza, S. 2015. BIOPLÁSTICO A BASE DE LA CÁSCARA DEL PLÁTANO. Revista de Iniciación Científica. 33-47.

Cazón, P.; Velazquez, G.; Ramírez, J., A.; Vázquez, M. 2017. Polysaccharide-based films and coatings for food packaging: A review. Food Hydrocolloids, 68, 136-148.

Chantawee, K.; Riyajan, S., A. 2018. Carboxylated styrene-butadiene rubber adhesion for biopolymer product based from cassava starch and sugarcane leaves fiber. Industrial Crops and Products, 125, 639-647

Chen G., C. H. (2011). Extraction and deglycosylation of flavonoids from sumac fruits using steam explosion. Food Chemistry.

Colorado, G., M.; Landeta, V., L., C; Huerta, M., I., R.; Dolores, R. E. 2019. Elaboración de un molde a base de residuos agroindustriales. 15-22.

Contreras-Pérez, R., K.; De la Torre-Gutiérrez, L.; González-Cortés, N.; Jiménez-Vera, R. 2018. Caracterización funcional de almidones de plátano cuadrado (*Musa balbisiana* Colla). European Scientific Journal October 2018. Vol.14, No.30. 1-16.

Covarrubias, A., L. M. 2020. Síntesis de recubrimientos comestibles en base a plátano macho (*Musa balbisiana*) enriquecido con extracto natural de moringa (*Moringa oleífera* Lam) y su evaluación en la calidad postcosecha de papaya maradol (*Carica papaya* L).25-33.

Deepa, B., Abraham, E., Cherian, B. M., Bismarck, A., Blaker, J. J., Pothan, L. A., Kottaisamy, M. (2011). Structure, morphology and thermal characteristics of banana nano fibers obtained by steam explosion. Bioresource Technology (102), pp. 1988-1997.



Díaz, C., P.; Quero, F.; MacNaughtan, B.; Rousenova, M.; Enrione, J. 2015. Efecto del sorbitol sobre la relajación estructural en películas de gelatina en estado vítreo. Revista ION. V.28, N.2.93-101.

Dominguez, M., I. 2014. Evaluación del Efecto de la concentración de glicerol, sorbitol y xilitol sobre las características ópticas y de barrera de películas a base de quitosano.

Do Val Siqueira, L.; Arias, C., I., L., F.; Maniglia, B., C.; Tadini, C., C. 2021. Starch-based biodegradable plastics: methods of production, challenges and future perspectives. Current Opinion in Food Science. 38, 122-130.

Ebnesajjad, S. 2012. Plastic Films in Food Packaging: Materials, Technology and Applications; Oxford, U.K.: Elsevier. 384.

Escobar, D.; Sala, A.; Silvera, C.; Harsipe, R.; Márquez, R. 2011. Películas biodegradables y comestibles desarrolladas en base ha aislado de proteínas de suero lácteo: estudio de dos métodos de elaboración y del uso de sorbato de potasio como conservador. INNOTECH, (4), 33-36.

Figuerola, T., L., A. 2018. "Sacarificación de lirio acuático por combinación de métodos para la producción de etanol". 20-30.

Garay, H., C., A.; Peña, P., N. 2018. Obtención de azúcares reductores por medio de fermentación sólida a partir de cáscaras de piña. 60-78.

Gerson, V., C., R.; Marinero, O., E., A.; Funes, G., C., R.; Toruño, P., J. 2021. Biopolímeros para uso agro industrial: Alternativa sostenible para la elaboración de una película biodegradable.

Huerta, Z. A. 2018. Uso del Proceso de Explosión por Vapor como pre-tratamiento para la extracción de aceite en semilla de Melón (Cucumis melo) comparándolo con un método convencional. 10-35.

Jabeen, N.; Majid, I.; Nayek, G., A. 2015. Bioplastics and food packaging: A review. *Cogent Food & Agriculture*, 1, 1117749

Jara, C., K., V. 2018. Elaboración de empaques secundarios para alimentos a partir del capuchón de uvilla (*Physalis peruviana*). Tesis para obtener grado de Ingeniero Agroindustrial y de Alimentos. Universidad de las Américas. Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. 1-69.

Kerch, G.; Korkhov, V. 2011. Effect of storage time and temperature on structure, mechanical and barrier properties of chitosan-based films. *European Food Research and Technology*, 232(1), 17-22.

Khaneghah, A., M.; Bagher, H., S., M.; Limbo, S. 2018. Antimicrobial agents and packaging systems in antimicrobial active food packaging: An overview of approaches and interactions. *Food and Bioproducts Processing*, 111, 1-19

Kurosumi A., S. C. (2007). Novel extraction method of antioxidant compounds from *Sasa palmata* (Bean) Nakai using steam explosion. *Process Biochemistry*., 42, pp.1449– 1453.

Lam, P. S., Sokhansanj, S., Bi, X., Lim, C. J., & Melin, S. (2011). Energy input and quality of pellets made from steam-exploded douglas fir (*Pseudotsuga menziesii*). *Energy Fuels* (25), pp.1521-1528.

Larrea, R., A., B. 2015. Estudio de la obtención de plásticos biodegradables a partir del almidón de la papa por adición de agentes plastificantes.

León, T., S.; Dopico, D.; Triana, O.; Medina, M. 2013. Paja de la caña de azúcar. Sus usos en la actualidad., *ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar*. V. 47, No. 2. 13-22.

Maite, N.; Konan, L., K.; Tognonvi, M., T.; Doubi, B., I., H., G.; Gomina, M.; Oyetola, S. 2021. Properties of hydric and biodegradability of cassava starch-based

bioplastics reinforced with thermally modified kaolin. *Carbohydrate Polymers*. 254, 177-322.

Mancini, H., L.; González, V., W. 2012. *Ciencias de los materiales*. V.1. Cap.4. 75-83.

McKeen, L. W. 2013. Introduction to use of plastics in food packaging. En *Plastics films in food packaging* (1-16). Ebnesjjad. Plastic design library, USA. eBook ISBN: 9781455731152

Mejías B., N.; Orozco G., E.; Galáan H., N. 2016. Aprovechamiento de los residuos agroindustriales y su contribución al desarrollo sostenible de México. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*. 2, N.6. 27-41.

Melo, A.; Villagomez, G. 2011. Estudio del efecto del glicerol y del aceite esencial de anís en un recubrimiento comestible, sobre el tiempo de vida útil del babaco (Carica Pentagona). 3-9.

Méndez, N., K., C.; Caicedo, P., M., L.; Bedoya, C., S., M.; Ríos, M., A.; Zulaga, G., R.; Giraldo, R., D., P. 2014. Tendencias investigativas de la nanotecnología en envases y envases para alimentos. *Revista Lasallista de Investigación*, 11(2), 18-28.

Muñiz, B., Márquez, D. 2017. Aplicación de recubrimientos comestibles a base de pectina, glicerol y cera de candelilla en frutos cultivados en la huasteca potosina. *Revista de ciencias naturales y agropecuarias*. 12-19.

Navia, D., P.; Villada, H., S.; Mosquera, S., A. 2014. Las biopelículas en la industria de alimentos biofilms in the food industry biofilmes indústria de alimentos. *Facultad de Ciencias Agropecuarias*. V.8, N.2. 118-128.

Navia, P., D., P.; Villada, C. H., S. 2014. Impacto de la investigación en empaques biodegradables en ciencia, tecnología e innovación. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 173-181.

Noda Y., A. C. (2013). Extraction method for increasing antioxidant activity of raw garlic using steam explosion. *Biochemical Engineering Journal*. Elsevier. (73), pp.1-4

Nurra C., T. C. (2014). Biorefinery concept in a microalgae pilot plant. Culturing, dynamic filtration and steam explosion fractionation. *Bioresource Technology*. (163 (2014) 136–142), pp.136–142.

Ojogbo, E., Ogunsona, E. O., & Mekonnen, T. H. (2020). Chemical and physical modifications of starch for renewable polymeric materials. *Materials Today Sustainability*, <https://doi.org/10.1016/j.mtsust.2019.100028>.

Pacheco, G., Flores, N., C., Rodríguez-Sanoja Romina. 2014. *Bioplásticos*. 26-37.

Parzanese, M. Consultado en febrero 2014. Películas y recubrimientos comestibles. *Tecnologías para la Industria Alimentaria. Alimentos argentinos*. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Presidencia de la Nación. Republica argentina. 1-13.

Piñeros-Castro, Y., Velasco, G. A., Proaños, J., Cortes, W., & Ballesteros, I. (2011). Production of fermentable sugars by enzymatic hydrolysis of steam-exploded rice husks. *Revista ION*, 24(2), pp. 23-28

Pluas-Mora., Ronald, J. 2020. *Los bioplásticos para una alternativa ecológica*.

Rasgado, V., S., M.; Trejo, M., M., A.; Pascual, B., S. 2016. Extracción de fibra en residuos agroindustriales de piña para su aplicación en alimentos funcionales. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*. Vol. 1, No.1. 448-453.

Ribotta, P., D.; Tadini, C., C. 2009. Alternativas tecnológicas para la elaboración y conservación de productos panificados. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.1-22

Riera, M., A.; Palma, R., R. 2018. Obtención de bioplásticos a partir de desechos agrícolas. Avances en Química, 13(3), 69 - 78.

Rivas, C., S. C. H.; Bautista, B., S.; Correa P., Z. N.; Ventura, A., R. I. 2020. Situación actual de los envases utilizados para la conservación postcosecha de productos hortofrutícolas. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, V. 21, N. 1, 1-18.

Rivas, G., M; Guadalupe, M; Méndez M., Sánchez, R., M; Núñez, S., M.C; y Bello, P., L.A; (2008). Caracterización morfológica, molecular y fisicoquímica del almidón de plátano oxidado y linternizado.

Rivera, S. I. (2016). Elaboracion y caracterizacion de peliculas comestibles elaboradas con Hidroxipropilmetilcelulosa - HPMC. *Elaboracion y caracterizacion de peliculas comestibles elaboradas con Hidroxipropilmetilcelulosa - HPMC.*

Robertson, G., L. 2008. State of the art biobased food packaging materials. En E. Chiellini (Ed.), Environmentally compatible food packaging Woodhead Publishing Limited. 3-28.

Romero Garcia, J. M., Lama Muñoz, A., Rodriguez Gutierrez, G., Moya, M., Ruiz, E., Fernandez Bolaños, J., & Castro, E. (2016). Obtaining sugars and natural antioxidants from olive leaves by steam-explosion. Food Chemistry (210), pp. 457-465.

Rukhsana, R. 2019. Bioplastico para envasado de alimentos.

Sahu, Mamata. 2017. Bio Polymers: Sustainable Alternative for Food Packaging.

Salgado-Ordosgoitia, R. D., Paternina-Contreras, A. L., Cohen-Manrique, C. S., & Rodríguez-Manrique, J. A. (2019). Análisis de las Curvas de Gelatinización de Almidones Nativos de tres Especies de Ñame: Criollo (*Dioscorea alata*), Espino (*Dioscorea*) and Diamond 22. *Información tecnológica*, 718-764.

Santiago, C., F. 2018. "Caracterización de la Maltodextrina Obtenida a Partir de Plátano Macho (*Musa balbisiana*) de Desecho Mediante Explosión por Vapor". 29-42.

Sarastry, M., O., S. 2017. Aprovechamiento de las propiedades aglutinantes del arrozillo (*Oryza sativa*) y fibras vegetales en la elaboración de empaques alimentarios ecológicos. Tesis para obtener grado de Ingeniero Agroindustrial y de Alimentos. Universidad de las Américas. Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. 1-81.

Sarkar, N.; Ghosh, S. K.; Bannerjee, S.; Aikat, K. 2012. Bioethanol production from agricultural wastes: an overview., *Renewable Energy*, Vol. 37, No. 1, 19-27

Scaffaro, R.; Maio, A.; Gulino, E., F.; Megna, B. 2019. Structure-property relationship of PLA-Opuntia Ficus Indica biocomposites. *Composites Part B: Engineering*, 167, 199-206.

Severiano-Pérez, Patricia. ¿Qué es y cómo se utiliza la evaluación sensorial? *Interdisciplina*. 7, N° 19. 2019. 47-68.

Siracusa, V.; Rocculi, P.; Romani, S.; Dalla, R., M. 2008. Biodegradable polymers for food packaging. *Trends in Food Science and Technology*, 19, 634-643.

Stalder, A., F., Kulik, G., Sage, D., Barbieri, L., Hoffmann, P. (2006) "A Snake-Based Approach to Accurate Determination of Both Contact Points and Contact Angles," *Colloids And Surfaces A: Physicochemical And Engineering Aspects*, vol. 286, no. 1-3, pp. 92-103.

Stalder, A., F., Melchior, T., Müller, M., Sage, D., Blu, T., Unser, M. (2010) "Low-Bond Axisymmetric Drop Shape Analysis for Surface Tension and Contact Angle Measurements of Sessile Drops," *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, vol. 364, no. 1-3, pp. 72- 81.

Sun, Y., & Cheng, J. (2002). Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. *Bioreour Technol* (83), pp.1-11.

Tarango, R., J., A. 2011. *Manual de Ingenieria y Diseño en Envase y Embalaje*. 9. Cap.6-7, 13.

Tavassoli-Kafrani, E., Shekarchizadeh, H. y Masoudpour-Behabadi, M., 2016. Development of edible films and coatings from alginate and carrageenans. *Carbohydrate Polymers*, 137, p. 360-374.

Thanapimmentha, A.; Luadsongkram, A.; Titapiwatanakun, B.; Srinophakun, P. 2012. Value added waste of *Jatropha curcas* residue: Optimization of protease production in solid state fermentation by Taguchi DOE methodology. *Ind. Crops Prods*. 37(1): 1-5.

Tintaya, F.; Chuta, M. 2017. Optimizacion del proceso de secado de peliculas biodegradables formuladas a partir de suero de leche y goma tara (*Caesalpinia spinosa*).

Vargas, H., N. 2020. "evaluación del efecto del sustrato y las condiciones de secado sobre el contenido de proteína y las propiedades funcionales en la obtención de un polvo proteico a partir de *Pleurotus ostreatus*". 25-47

Vargas-Garcia, A., Torrestiana-Sanchez, B., Garcia-Borquez, A., Aguilar-Uscanga, G. (2011) "Effect of grafting on microstructure, composition and surface and transport properties of ceramic membranes for osmotic evaporation" *Separation and Purification Technology*, vol. 80, no. 1-3, pp. 473-481.

Vargas, G., K. A.; 2014. Manual para la determinación de ángulo de contacto. 1-20.

Vázquez, M., A.; Espinosa V., R. M.; Villavicencio, B., M.; Velasco P., M. 2016. Bioplásticos y plásticos degradables. Metropolitan Autonomous University. 1-12

Vázquez-Morilla, A.; Espinosa, V., R., M.; Beltrán, V., M.; Velasco, P., M. 2018. El origen de los plásticos y su impacto en el ambiente. Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco. Editorial. ANIPAC (Asociación Nacional de Industrial de Plástico A. C.). 1-14.

Vera, B., A., F.; Chavarría, C., M., A. 2020. Extracción y caracterización del almidón de papa (*Solanum tuberosum*) variedad leona blanca. El Higo Revista Científica. Volumen 10. No. 02, pp. 26-34.

Villada, H., S. 2007. BIOPOLÍMEROS NATURALES USADOS EN EMPAQUES. 2-12.

Virtamen, S.; Chowreddy, R.; Irmak, S.; Honkapää, K.; Isom, L. 2017. Food industry co-streams: Potential raw materials for biodegradable mulch film applications. *Journal of Polymers and the Environment*, 25(4), 1110-1130.

Wang, K., Chen, J., Sun, S.-N., & Sun, R.-C. (2015). Steam Explosion. En *Pretreatment of Biomass. Processes and Technologies* (págs. pp.75-104).

Zhang, Y., Yang, R., Zhao, W., Hua, X., & Zhang, W. (2014). Propiedades fisicoquímicas y emulsionantes de la proteína extraída de la harina de soja asistida por explosión de vapor. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 23, pp.131-137.



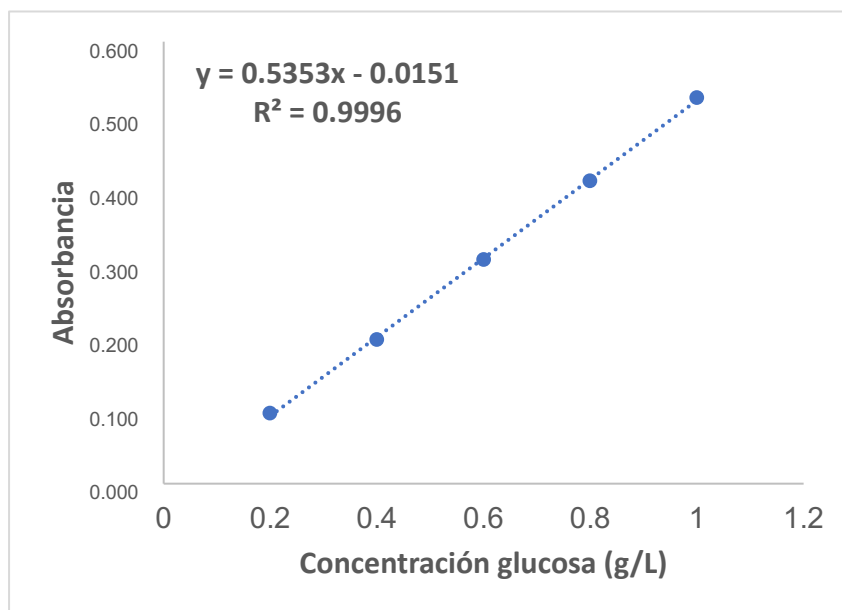
## 12.- Anexos

### 12.1 Curvas Calibración

#### 12.1.1 Curva calibración azúcares reductores

Se realizó una curva de calibración de glucosa a una concentración de 5 g/L (solución madre), de la cual se toman alícuotas preparando un set de soluciones que va de 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 y 1 g/L (todas las diluciones se llevan a aforo hasta 100 mL). Teniendo el set de soluciones se preparan para leer mediante espectrofotometría.

Durante la preparación de las muestras se toman 0.5 mL de muestra a las cuales se agregan 0.5 mL de NaOH al 0.2 N y 1 mL de DNS; realizado esto, las muestras se homogenizan y son llevadas a baño maría en ebullición durante 5 minutos; posteriormente se 5 mL de agua fría para leer la absorbancia a 540 nm. Graficar la absorbancia contra la concentración de glucosa como azúcar reductor.



Concentración (g/L)	R1	R2	R3	Promedio
0.2	0.094	0.096	0.098	0.096
0.4	0.193	0.199	0.195	0.196
0.6	0.305	0.299	0.308	0.304
0.8	0.405	0.416	0.412	0.411
1	0.521	0.523	0.527	0.524

### 12.1.2 Curva calibración amilosa-amilopectina

Método ISO 6647.

Pesar 100 mg de muestra bien molida en un frasco volumétrico de 100 ml. Agregar 1ml de etanol al 95 % y 9 ml de Hidróxido de sodio 1N, tapar y dejar a temperatura ambiente entre 18 a 24 horas. Completar a 100 ml con agua destilada.

En un frasco volumétrico de 100 ml que contenga 50 ml de agua doblemente deionizada agregar una alícuota de 5 ml de la solución anterior, 1 ml de ácido acético 1N y 2 ml de solución de yodo al 2 %, mezclar bien y completar a volumen con agua doblemente deionizada. Almacenar los frascos bajo oscuridad durante 20 minutos y leer la densidad óptica a 620nm.

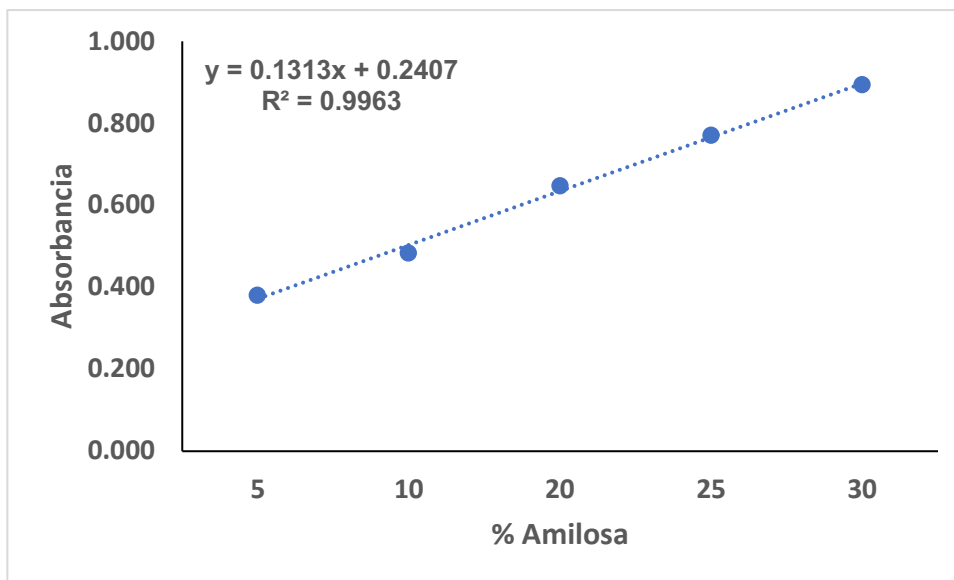
BLANCO.

En un frasco volumétrico de 100 ml que contenga 50 ml de agua doblemente deionizada agregar 5 ml de hidróxido de sodio 0.09N, 1 ml de ácido acético 1N y 2 ml de solución de yodo al 2 %, mezclar bien y completar a volumen con agua doblemente deionizada.

<b>% AMILOSA</b>	<b>AMILOSA (ml)</b>	<b>AMILOPECTINA (ml)</b>	<b>NaOH 0.09N (ml)</b>
<b>0</b>	0	18	2
<b>10</b>	2	16	2
<b>20</b>	4	14	2
<b>25</b>	5	13	2
<b>30</b>	6	12	2

En un frasco volumétrico de 100 ml que contenga 50 ml de agua doblemente deionizada agregar 5 ml de cada punto de la curva estándar, 1 ml de ácido acético 1N y 2 ml de solución de yodo al 2%, mezclar bien y completar a volumen con agua doblemente deionizada. Almacenar los frascos bajo oscuridad durante 20 minutos y leer la densidad óptica a 620 nm.

A continuación se presenta por medio de una grafica y una tabla los valores obtenidos mediante las lecturas realizadas, utilizando el metodo descrito anteriormente.



Concentración (g/L)	A R1	A R2	A R3	A Promedio
0.05	0.38	0.37	0.39	0.380
0.1	0.48	0.5	0.47	0.483
0.2	0.65	0.65	0.64	0.647
0.25	0.78	0.76	0.77	0.770
0.3	0.89	0.88	0.91	0.893

## 12.2. Cuestionario empleado en la evaluación sensorial de los moldes.

Encuesta de aceptación social de moldes biodegradables.

Instrucciones: A continuación, en este cuestionario realice el llenado de esta encuesta con las opciones que sean de su agrado. En una escala donde el no me gusta representa 1 y me gusta 5, indica como calificarías a los moldes de acuerdo a tus preferencias.

1.- ¿Conoces los platos biodegradables?

- a) Sí
- b) No

2.- ¿Con que frecuencia usas plásticos desechables?

- a) Una vez por semana
- b) Todos los días
- c) Fines de semana
- d) Más de 3 veces por semana
- e) 2 veces a la semana

### **Moldes sin Recubrimiento**

3.- ¿Te gusta el color del plato FSEV?

No me gusta      Me gusta

4.- ¿Te gusta el color del plato Control?

No me gusta      Me gusta

5.- ¿Te gusta el color del plato FHEV?

No me gusta      Me gusta

6.- ¿Te gusta el color del plato FNEV?

No me gusta      Me gusta

## Moldes con Recubrimiento

7.- ¿Te gusta el color del plato FSEV?

No me gusta      Me gusta

8.- ¿Te gusta el color del plato Control?

No me gusta      Me gusta

9.- ¿Te gusta el color del plato FHEV?

No me gusta      Me gusta

10.- ¿Te gusta el color del plato FNEV?

No me gusta      Me gusta

11.- ¿Utilizarías este plato?

- a) Si
- b) No

12.- ¿Qué le cambiarías a este producto?

- a) Color
- b) Tamaño
- c) Diseño
- d) Grosor

13.- ¿Tienes alguna sugerencia?

---

### 12.3.- Cronograma De Actividades

<b>Cronograma de Actividades de Febrero – Julio 2021</b>						
Actividad	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
Búsqueda bibliográfica	X	X	X	X	X	X
Redacción del protocolo				X	X	X
Presentación de evaluación tutorial						X
Correcciones del protocolo de acuerdo al seminario y evaluación tutorial.						X

<b>Cronograma de Actividades de Agosto 2021 – Enero 2022</b>						
Actividad	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene
Búsqueda bibliográfica	X	X	X	X	X	X
Correcciones del protocolo de acuerdo al seminario y evaluación tutorial.	X	X				
Análisis de resultados y redacción de reporte o avance de tesis.		X	X	X	X	X
Producción de los moldes		X	X			
Selección de las formulaciones a evaluar			X	X	X	
Aplicación del recubrimiento.			X	X	X	X
Evaluar las formulaciones del recubrimiento.					X	X
Experimentación y selección del método de aplicación.					X	X

<b>Cronograma de Actividades de Febrero – Julio 2022</b>						
Actividad	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
Revisión bibliográfica	X	X	X	X	X	X
Redacción de tesis	X	X	X	X	X	X
Obtención de pseudotallo de plátano y sus tratamientos con explosión por vapor.	X	X	X			
Caracterización de las fibras obtenidas de pseudotallo de plátano y el control.			X	X		
Fabricación de los moldes y evaluar el recubrimiento sobre los moldes				X	X	
Análisis de los resultados obtenidos.					X	X

<b>Cronograma de Actividades de Agosto 2022 – Enero 2023</b>						
Actividad	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.
Revisión bibliográfica	X	X	X	X	X	X
Caracterizar las propiedades estructurales y en el molde con y sin recubrimiento.	X	X				
Análisis de las propiedades de barrera: determinación del ángulo de contacto y trabajo de adhesión. En el molde con y sin recubrimiento.		X	X	X		
Análisis de los resultados obtenidos.	X					
Presentación de congreso y obtención de producto académico		X	X	X	X	
Redacción de tesis	X	X	X	X	X	
Obtención de grado						X

12.4 Actividades de retribución social.  
12.4.1 Jornada de Divulgación



The certificate features a decorative background with green and yellow geometric shapes. At the top left, there are logos for SEV (Secretaría de Educación Veracruzana) and the Government of Veracruz. The text is centered and reads: 'La Dirección de la Escuela primaria Libertad', 'Clave: 30EPR2379N Zona Escolar 025 de Tierra Blanca, Veracruz.', and 'Otorga el Presente:'. The recipient's name, 'Marina Colorado Guzmán', is underlined. Below this, it states: 'Por su notable participación en la jornada de divulgación de la ciencia para niños.' To the right, there is a circular seal of the school and a quote: 'LA CIENCIA DE HOY ES LA TECNOLOGÍA DEL MAÑANA.' At the bottom right, there is a cartoon character and the text 'Experimenta Y Aprende'. The date 'Tierra Blanca, Ver. A 04 de Mayo de 2022' is at the bottom.

 **SEV**  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN VERACRUZANA

 **VERACRUZ**  
GOBIERNO DEL ESTADO

**La Dirección de la Escuela primaria Libertad**  
**Clave: 30EPR2379N Zona Escolar 025 de Tierra Blanca, Veracruz.**  
**Otorga el Presente:**

**Reconocimiento**

**A: Marina Colorado Guzmán**

**Por su notable participación en la jornada de divulgación de la ciencia para niños.**

  
DIRECCIÓN DE LA ESCUELA PRIMARIA  
LIBERTAD  
CALLE 1000  
ZONA ESCOLAR 025  
TIERRA BLANCA  
VERACRUZ

**"LA CIENCIA DE HOY  
ES LA TECNOLOGÍA DEL MAÑANA".**

  
**Experimenta  
Y Aprende**

**Tierra Blanca, Ver. A 04 de Mayo de 2022**



12.4.2 Participación modalidad Oral en el XLIII encuentro nacional de la AMIDIQ 2022-1.

**AMIDIQ**  
Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química A.C.



XLIII Encuentro Nacional de La AMIDIQ  
"La Ingeniería Química,  
la Sostenibilidad y la Economía Circular"

La Academia Mexicana de Investigación y Docencia  
en Ingeniería Química A.C.

otorga el presente

**RECONOCIMIENTO**

a:

**MARINA COLORADO GUZMAN, KAREN AYLIN VARGAS GARCIA, KARINA BUSTOS RAMIREZ, ELIZABETH VARELA SANTOS, IBIS RAFAEL HUERTA MORA**

**Por la presentación del trabajo en modalidad oral:**

**Análisis del impacto del proceso de explosión por vapor en la fibra de pseudotallo de plátano de un molde elaborado a base de Agroresiduos**

ID: 642

XLIII Encuentro Nacional de la AMIDIQ  
Puerto Vallarta, Jal., México. 23 al 26 de agosto de 2022

  
Dr. Jorge Ramón Robledo Ortiz  
PRESIDENTE DE LA AMIDIQ Y DEL COMITÉ ORGANIZADOR

  
Dr. Tomás Viveros García  
PRESIDENTE DEL COMITÉ TÉCNICO

## **Análisis del impacto del proceso de explosión por vapor en la fibra de pseudotallo de plátano de un molde elaborado a base de Agroresiduos**

*Colorado-Guzmán, M.<sup>a</sup>, Vargas-García, K. A.<sup>a</sup>, Bustos-Ramírez, K.<sup>a</sup>, Varela- Santos, E.<sup>a</sup>, Huerta- Mora, I. R.<sup>a</sup>*

*marinitha\_sofia@hotmail.com*

<sup>a</sup> Maestría en Ciencias en Alimentos y Biotecnología, Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca, Av. Veracruz s/n, Tierra Blanca, Veracruz, 95180, México.

### **Resumen**

La contaminación ambiental causada por el uso desmedido del plásticos y desechables es una problemática actual. Esto ha conducido a un incremento en la demanda de biomateriales en la última década. Este tipo de materiales están orientados a preservar la calidad de los alimentos y garantizar su inocuidad, con propiedades similares a los materiales convencionales, pero sin impacto ambiental negativo. Su obtención se conduce a través del aprovechamiento de residuos agroindustriales, que ya no son útiles para el proceso que los genero. Representa una alternativa tecnológica de aprovechamiento integral de recursos naturales con fracciones lignocelulósicas (celulosa, hemicelulosa y lignina) de la región de Tierra Blanca, Veracruz; que permite minimizar el impacto ambiental y obtener productos y/o subproductos de aplicación alimentaria, industrial y biotecnológica de valor agregado. Tal es el caso del Pseudotallo de plátano, sin embargo su capacidad de retención de agua limita su aplicación. En este trabajo se presenta la aplicación de un pre-tratamiento en pseudotallo de plátano para la elaboración de un molde a base de agroresiduos. Se realizó la explosión de vapor, a  $T= 180^{\circ}\text{C}$  y  $P=10$  psi durante 30 segundos. Se utilizaron tres tipos de fibra de pseudotallo de plátano: natural sin secar, secada y secada-humedecida (relación 1:10 sólido -liquido). El efecto del pre-tratamiento de explosión se evaluó en términos de capacidad de retención de agua [1]. El pre-tratamiento de explosión por vapor permite reducir la capacidad de retención de agua alrededor del 35%, lo cual podría traducirse en una mejora en las propiedades mecánicas del molde elaborado de agroresiduos.

### **Introducción**

El uso de empaques biodegradables ha cobrado auge ha promovido el estudio de fuentes renovables y naturales para la creación de biomateriales alternativos, que permitan minimizar el impacto ambiental. Estos estudios se han enfocado al desarrollo de películas, y de recubrimientos, contenedores o empaques biodegradables con función similar a los materiales sintéticos convencionales y

características como: alta fuerza mecánica, suavidad, luminosidad, resistencia al agua, entre otras [2]. Entre los materiales prospectivos para estos fines están los residuos agroindustriales, los cuales están disponibles en una amplia diversidad alrededor del mundo, ya que son generados a partir de la cosecha y procesamiento de diferentes productos agrícolas de alta demanda social. [3]. Los residuos agroindustriales se presentan como una alternativa a estos fines debido a que pueden ser componentes estructurales para la generación de productos con valor agregado, para reducir el impacto ambiental que ocasionan los residuos plásticos desechables [4]. Adicionalmente a partir del año 2018 en el estado de Veracruz se aprobó una ley de prohibición de los plásticos.

### *Metodología*

Se elaboró un molde a partir de agroresiduos de la región: papa, platano y pseudotallo de platano. Los almidones de papa y de plátano se obtuvieron a partir de materias de tercera calidad.

Con el fin de minimizar el valor de CRA que tiene el pseudotallo, se determinó realizar 3 modificaciones a la fibra para llevar a proceso de explosión por vapor: 1.- explotar la fibra seca, 2.- explotar la fibra húmeda y 3.- explotar la fibra seca humedecida artificialmente, lo cual consiste en humedecer la fibra 24 horas en una relación 1:10 y escurrirla durante 8 horas antes de llevarla a explotar. Cada una de estas fibras se llevó a explosión a una presión de 10 psi y una temperatura de 180°C durante 30 segundos. Una vez realizado lo anterior se llevara a secar la fibra, continuara con el proceso de molienda de la fibra para usarla en la elaboración de los moldes y una vez obtenida la fibra triturada se le determina la capacidad de retención de agua de la fibra que tiene con este pre-tratamiento., el cual consiste en colocar 10 gr en un vaso de precipitado de 500 ml, agregarle 150 ml de agua, se dejara reposar durante 24 horas, posteriormente se colocara a escurrir durante 8 horas usando un embudo y papel filtro, cada medición se realizó por duplicado, una vez transcurrido el tiempo se pesara y se realizara el cálculo mediante la siguiente formula:

$$\text{CRA} = (P2 - P1) / P1$$

Expresada en g de agua / g sustrato

Y donde

**P1**= Pesos inicial del sustrato

**P2**= Pesos final del sustrato

## Resultados

Al realizarle la explosión por vapor la fibra mostro diferencias en resultados de la CRA respecto a cada modificación de la fibra se muestras a continuación:

<b>Tipo de fibra</b>	<b>CRA</b>
<b>Secada- sin pre-tratamiento.</b>	7.357 ± 0.064
<b>Secada -con pre-tratamiento.</b>	5.520 ± 1.478
<b>Natural -con pre-tratamiento.</b>	9.176 ± 2.086
<b>Secada-humedecida-con pre-tratamiento.</b>	7.799 ± 1.153

Además se presentaron diferencias en cuanto a la textura pues la fibra con pre-tratamiento es más rígida en cambio la fibra húmeda es muy suave como la fibra sin pre-tratamiento, en color ya que la fibra seca sin pre-tratamiento es de color beige, en cambio la fibra seca con pre-tratamiento es de color café.

## Conclusiones

El estudio de la aplicación de un pre-tratamiento a la fibra de pseudotallo permitió observar que los valores de CRA de la fibra disminuyen, esto en diferentes condiciones pero con el pre-tratamiento de explosión por vapor. Al analizar estos resultados se confirma que mediante un pre-tratamiento la fibra seca de pseudotallo tendrá una menor CRA, esto debido a que la explosión por vapor promueve lo que es la ruptura de los enlaces en lignina, celulosa y hemicelulosa componentes de la fibra de pseudotallo, esto deriva en una menor captación de agua, lo cual es una alternativa prometedor para la aplicación de fibras naturales en la elaboración de empaques biodegradables. Los resultados de este trabajo permiten sugerir la aplica de la explosión por vapor a la fibra seca empleada para la fabricación de moldes a base de agro residuos ya que tiene una disminución de un 35% aproximadamente en comparación a la fibra sin explotar, así como también se destaca de las otras 2 fibras que fueron explotadas pero que no dieron el mejor resultado, como es el ejemplo de la fibra natural que tiene un valor superior a todas las fibras analizadas, seguida de la fibra humedecida artificialmente que presenta un valor por encima de la fibra sin tratamiento.

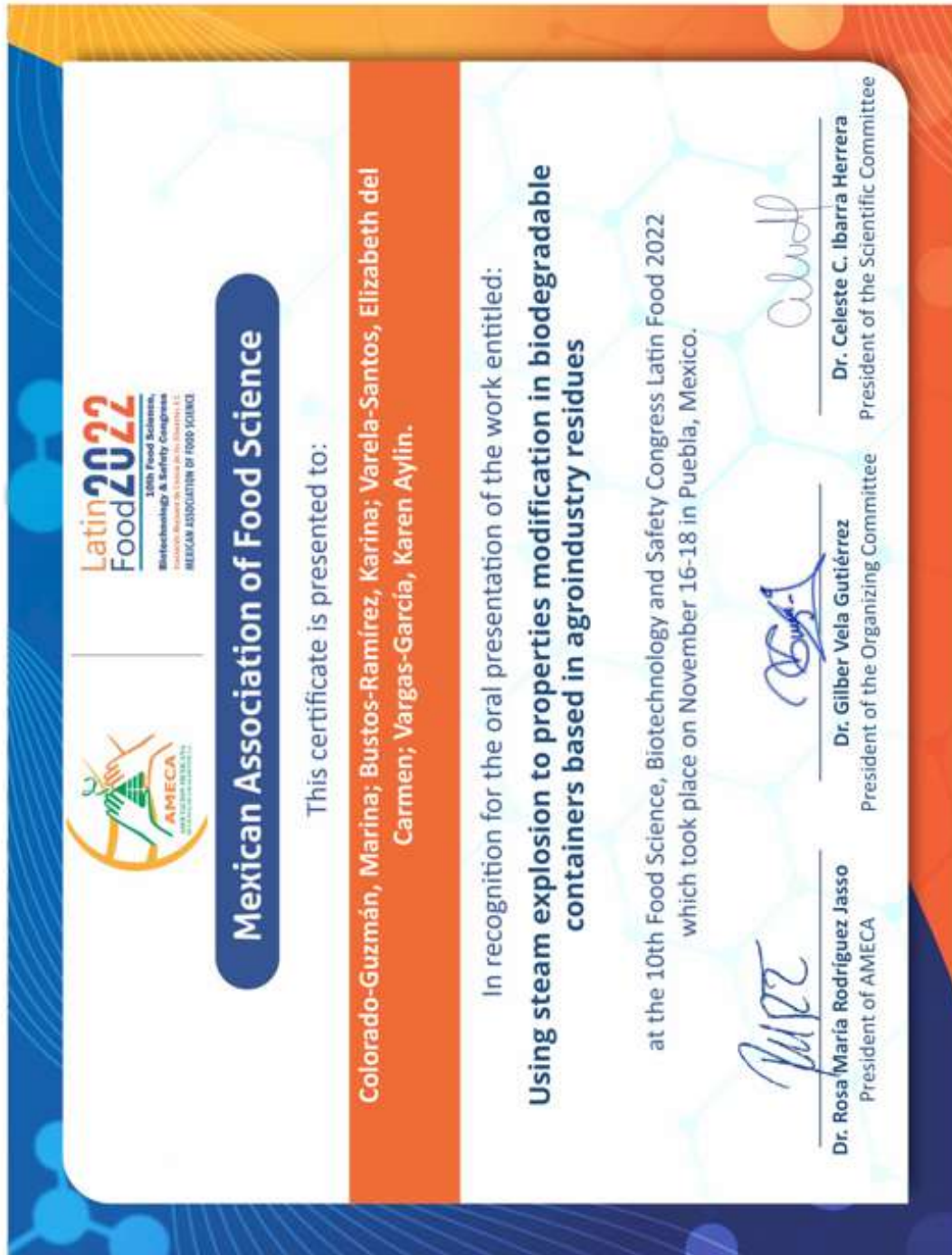
## Referencias

1. Vargas Hernández, N. 2019. Evaluación Del Efecto Del Sustrato Y Las Condiciones De Secado Sobre El Contenido De Proteína Y Las Propiedades Funcionales En La Obtención De Un Polvo Proteico A Partir De Pleurotus Ostreatus. 19-88.

2. Andrade-Mahecha, M. M., Tapia-Blácido, D. R., & Menegalli, F. C. (2012). Development and optimization of biodegradable films based on achira flour. *Carbohydrate Polymers*, 88, 449-458.
3. Sarkar, N., Ghosh, S. K., Bannerjee, S., Aikat, K. 2012. Bioethanol production from agricultural wastes: an overview, *Renewable Energy*, Vol. 37, No. 1, 19-27
4. Mejías B., N.; Orozco G., E.; Galáan H., N. 2016. Aprovechamiento de los residuos agroindustriales y su contribución al desarrollo sostenible de México. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*. 2, N.6. 27-41.

## 12.5. Producto Académicos

### 12.5.1 Participación modalidad Oral congreso internacional Latin Food 2022







Latin2022  
Food2022

### Using steam explosion to properties modification in biodegradable containers based in agroindustry residues

Colorado-Guzmán, M.<sup>1</sup>; Bustos-Ramírez, K.<sup>1</sup>; Varela-Santos, E. C.<sup>1</sup>; Vargas-García, K. A.<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>TecNM campus Tierra Blanca, Maestría en Ciencias de los Alimentos y Biotecnología, Prol. Av. Veracruz S/N Esq. Héroes de Puebla, Col. PEMEX, C.P.95180, Tierra Blanca, Veracruz. México

\*Presenting author: k.vargas@itstb.edu.mx

#### Abstract

The immoderate use of disposable packaging has promoted the study of renewable sources for the development of sustainable materials with competitive mechanical and barrier properties, but also environmentally friendly in accordance with the 2030 agenda [1,2]. The agroindustry residues has a high water retaining capacity (WRC) as consequence of lignocellulosic material contents, due to which treatments seems to steam explosion (SE) are used to modify this property [3,4]. In this work, the use of steam explosion to the modification of properties of a biodegradable container based on agroindustry residues was analyzed. The containers were made from agroindustry residues from the Basin of Papaloapan: 25, 20 and 15% pseudo stem of banana (SP), banana starch (BS) and potato starch (PS) respectively. Using glycerin (5%) and commercial vinegar (5%) as conformation and stabilization agents. After mixing, the molding and drying was carried out at 85 °C for 4 hours. The SP was pretreated with EPV at a pressure of 10 psi for a time of 30 seconds previously to the production of the container. The results indicated that the SE promoted a reduction of WRC in the SP fiber near to 30%. The SE decreased too the presence of cellulose, hemicellulose and lignin. The SE treatment allowed an adequate conformation between the components and fractures no were observed in the containers with a diameter of 15 cm and thickness of 1 mm similar to available commercial containers. In addition the SE produced a SP that could significantly improve the mechanical and barrier properties of the biodegradable container making easier the use of these renewable sources to the production of sustainable materials. These results point out it as an economic and sustainable alternative for reducing environmental impact according to the 2030 agenda.

*Keywords: Agroindustry residues, biodegradable containers, sustainable development*

1] Mejías, B. N. *et al.*, 2016. Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales, 2, 27-41. [2] Naciones Unidas, 2018. La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe (LC/G.2681-P/Rev.3), Santiago. [3] Méité, N. *et al.*, 2021. Carbohydrate Polymers, 254, 177322. [4] Zygler, A. *et al.*, 2012. Técnicas analíticas para Científicos, 2, 65-82.

**10th Food Science,  
Biotechnology & Safety Congress**  
Asociación Mexicana de Ciencia de los Alimentos A.C.  
MEXICAN ASSOCIATION OF FOOD SCIENCE

**PUEBLA**  
MÉXICO 16-18 NOVIEMBRE 2022



### 13.5.2 Capitulo de libro publicado 2022-1





*Vocaciones Científicas y los Retos de la Industria 4.0*

©Instituto Tecnológico Superior de Naranjos

C. Priv. Guanajuato S/N, Manuel Avila Camacho, Naranjos, Ver.

C.P. 92370

1a Edición, 2022

ISBN 978-607-98376-3-1

*La edición de este libro se realizó con el financiamiento del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) con recursos Presupuestario F003 "Programas Nacionales Estratégicos de Ciencia, Tecnología y Vinculación con los Sectores Social, Público y Privado", como parte del proyecto número 1570 denominado "Fomento y fortalecimiento de las vocaciones científicas y humanistas en la juventud a través de la Industria 4.0 para una sociedad culturalmente y ambientalmente sostenible"*

*Vocaciones Científicas y los Retos de la Industria 4.0 fue editado por el Instituto Tecnológico Superior de Naranjos, el contenido es responsabilidad de las y los autores, se autoriza la reproducción parcial o total de la obra siempre y cuando se cite la fuente. Toda correspondencia dirigirse a direccion@itsna.edu.mx del Instituto Tecnológico Superior de Naranjos, C. Priv. Guanajuato S/N, Manuel Avila Camacho, Naranjos, Ver.*

C.P. 92370 telefono (768) 855 51 34

COMITÉ EDITOR

---

Dr. Heriberto Esteban Benito  
Dra. Susana Astrid López  
García Dra. Luz Arcelia  
García Serrano  
Dr. Juan Antonio Carmona García

COMITÉ REVISOR

---

M.I.I Gabriel Grosskelwing Nuñez  
Dra. Graciela Guadalupe López  
Guzmán Dr. Israel Hernández Romero  
Dr. José Orlando Jiménez  
Zurita Dra. Paloma Patricia  
Casas Junco Dr. Pedro Ulises  
Bautista Rosales Dr. Rosendo  
Balois Morales  
Dra. Selene García Nieves  
Dr. Sergio Natán González  
Rocha Dra. Susana Astrid  
López García Dr. Ulises  
Páramo García  
Dra. Verónica Alhelí Ochoa Jiménez

Capítulo 15  
Residuos de la Agroindustria de la Cuenca del Papaloapan: Fuentes Renovables con Alto Potencial de Aplicación en la Industria Alimentaria, Energética y Ambiental. 231

Capítulo 16  
Producción de Salchichas a Través de Oleogeles. Una Visión Global. 245

Capítulo 17  
Caracterización de residuos agroindustriales como uso potencial para alimento de aves de granja 253

#### SECCIÓN 5 INNOVACIÓN

Capítulo 18  
Análisis multivariado para evaluar el uso de fitohormonas y peróxido de hidrógeno en el cultivo de maíz (zea mays) 263

Capítulo 19  
Economía Circular: Innovación y Consumo con Conciencia Ambiental. 275

Capítulo 20  
Diseño de Prótesis de Tipo M-B-AB. Utilizando Aplicación Cad-Solidworks. 283



# RESIDUOS DE LA AGROINDUSTRIA DE LA CUENCA DEL PAPALOAPAN: FUENTES RENOVABLES CON ALTO POTENCIAL DE APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA, ENERGÉTICA Y AMBIENTAL

Marina Colorado Guzman<sup>1</sup>, Karina Bustos Ramírez<sup>1</sup>, Gilda  
Avendaño Vazquez<sup>1</sup>, Karen Aylin VargasGarcía<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior  
de Tierra Blanca, Maestría en Ciencias de los Alimentos y  
Biotecnología. Calle Prol. Av. Veracruz S/N Esq. Héroes de Puebla,  
Col. PEMEX. C.P. 95180, Tierra Blanca, Ver.

\*Autor de correspondencia: k.vargas@itstb.edu.mx

## INTRODUCCIÓN

Entre los retos a nivel nacional referentes al sector energético, alimentario y ambiental se encuentra el aprovechamiento integral de los recursos naturales para la obtención de productos y subproductos de aplicación alimentaria, energética, biotecnológica y

*ISBN 978-607-98376-3-1*

231

ambiental. En este sentido, la región de la Cuenca del Papaloapan, es una zona altamente productora de cultivos como son caña de azúcar, piña, sorgo, maíz, arroz, plátano, mango entre otros; que generan una gran cantidad de residuos agroindustriales posterior a su cosecha y/o procesamiento, los cuales en la mayoría de los casos no son reutilizados, sino simplemente son utilizados como abono, o composta, o bien quemados o arrojados a los basureros, quebradas y ríos sin ningún tratamiento previo lo que contribuye al daño de los ecosistemas; y en el caso específico del bagazo de caña; el residuo generado en los ingenios azucareros es aplicado como fuente de energía en calderas. De igual forma existen cultivos silvestres en modo de ambientación natural en campos y zonas de carreteras cuya prevalencia y reproducción ocurre de manera natural sin ninguna aplicación, por lo cual su aprovechamiento sería de interés tecnológico.

Adicionalmente se generan también residuos de la agroindustria como el pseudotallo de plátano, las hojas de maíz y algunas hojarascas como son hojas de almendros entre otras, que contienen entre sus componentes lignina, hemicelulosa y celulosa, siendo candidatos en diferentes sectores como lo es el alimentario. Tomando en cuenta todo lo anterior se visualiza una alternativa tecnológica para el aprovechamiento integral de recursos naturales de la Cuenca del Papaloapan; con bloques de construcción polimérica (proteínas, polisacaridos) que permitan minimizar el impacto ambiental y obtener productos y/o subproductos del área alimentaria, energética o para el tratamiento de efluentes. Es por lo anterior, que en los últimos años en este grupo de trabajo se han dirigido esfuerzos para el estudio de estos casos,



los cuales se resumen a continuación.

### **Producción de alimentos ricos en proteínas (*Pleurotus ostreatus*)**

La producción de hongos comestibles como *Pleurotus ostreatus* ha sido objeto de interés en los últimos años por su contenido nutricional (Kalac P., 2009; 113 (1), Deepalakshmi K. & Mirunalini S. 2014). Representa una alternativa de aprovechamiento de recursos naturales con fracciones lignocelulósicas de la región de la Cuenca del Papaloapan para obtener productos con alto valor proteico; ya que contienen una composición similar a los materiales en los que crece en su ambiente natural, donde el uso de estos sustratos renovables. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue analizar el efecto de sustratos renovables sobre el desarrollo micelial de *Pleurotus ostreatus* en medios de cultivo suplementados y evaluar su aplicación para la producción de cuerpos fructíferos. Los sustratos renovables: hojas de maíz, de almendroy bagazo de caña (HM, HA y BC) se obtuvieron del ingenio La Margarita, de productores y biomasa herbácea de la región de Tierra Blanca, Veracruz. Posteriormente se seleccionaron y acondicionaron. La caracterización fisicoquímica de los sustratos se realizó en términos de carbono, nitrógeno y fracciones lignocelulosicas (NMX-AA-67-1985, Kjeldahl y ANSI/ASTM-1977). La evaluación de los sustratos a nivel microbiológico se realizó con cinéticas de crecimiento radial en medio PDA y en medios suplementados con los sustratos renovables al 1.1% (p/v). En la tabla 1 pueden verse los resultados de caracterización. Estos indicaron que el sustrato con mayor concentración de celulosa y lignina fue BC (62.156 y 32.703%), mientras que para proteína y C/N fueron HM (8.75%)

y HA (80.63%) respectivamente, todos en el rango delo reportado para otros sustratos (Prasad S. Singh A.& Joshi H. C. , 2007; Castañeda-Sánchez, A., 2011). Los resultados de desarrollo micelial pueden verse en la Figura 1. Las curvas de crecimiento radial indicaron un mayor desarrollo micelial de *Pleurotus ostreatus* en los 3 medios suplementados en comparación con PDA: siendo de 3287 mm<sup>2</sup> en HM, seguido por HA, BC, y PDA (1811, 1418 y 890 mm<sup>2</sup> respectivamente).

Tabla 1. Caracterización de sustratos

Parámetros (%)	HM	HA	BC
Humedad	30.56	9.32	31.47
Proteína	8.75	2.78	7.02
Celulosa	34.30	32.70	62.16
Hemicelulosa	53.01	38.57	4.07
Lignina	12.70	28.73	33.77

HM= Hoja de maíz

HA= Hoja de almendro

BC= Bagazo de caña

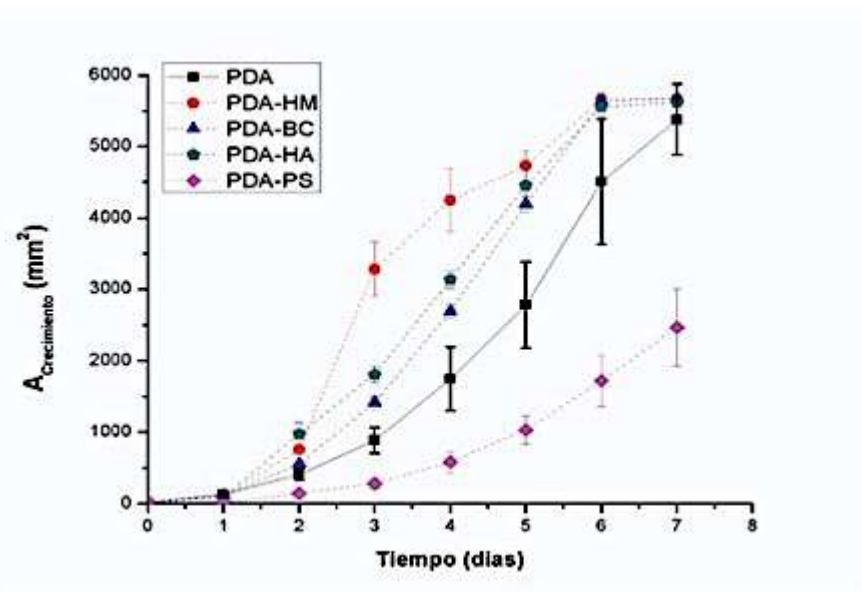


Figura 1. Crecimiento radial de *Pleurotus ostreatus*.





Los resultados de este trabajo confirmaron que los sustratos evaluados promovieron un mayor crecimiento de *Pleurotus ostreatus*, y sugieren su aplicación en la producción de cuerpos fructíferos a mayor escala.

### **Elaboración de empaques biodegradables**

Actualmente el uso de empaques biodegradables ha cobrado auge debido a la situación de contaminación ambiental en los últimos años por el uso inmoderado de plásticos y empaques desechables. Esto ha promovido el estudio de fuentes renovables para la creación de biomateriales alternativos a materiales convencionales, que minimicen el impacto ambiental. Estos estudios se han enfocado no sólo al desarrollo de recubrimientos y películas, también a contenedores con función similar a los sintéticos convencionales y a las características como: alta fuerza mecánica, suavidad, luminosidad, resistencia al agua, entre otras (Escobar et al., 2009; Andrade-Mahecha et al., 2012). No obstante la mayoría de estos últimos requieren su vez el uso de una película o recubrimiento que permita cumplir las propiedades barreras y mecánicas para su uso en el área alimentaria. En este sentido el glicerol y el sorbitol son materiales ampliamente utilizados en el área alimentaria con gran aceptación que podrían ser utilizados para este fin y además son de fácil acceso y de bajo costo (Do Val Siqueira et al., 2021; Méité, et al., 2020). Por lo que el objetivo del trabajo es la evaluación del efecto de la adición de un recubrimiento de grado alimentario sobre las propiedades termo mecánicas en un molde elaborado a base de agro-residuos. Se plantea la siguiente



metodología: obtener nuestro objeto de estudio, que en este caso es el molde a partir de residuos de la agroindustria de la Cuenca del Papaloapan: plátano, pseudotallo de plátano y papa; y evaluar sus características como son, forma y resistencia. Mientras que la formulación del recubrimiento se realizará a base de glicerol y sorbitol a diferentes proporciones. En la tabla 2 se muestra la caracterización preliminar de los componentes y el molde elaborado. Mientras que en la Figura 2 se puede observar la apariencia física de los componentes y del molde elaborado.

Tabla 2. Caracterización preliminar de constituyentes y molde

Constituyente	%Humedad B.S	% Solidos
Almidón de papa	14	86
Fibra	9.6	90.4
Almidón de plátano	9.4	90.6
Molde	3.6	96.4



Figura 2. Moldes elaborados a base de residuos de la agroindustria

## **Producción de bioetanol: Parte 1 fuentes de azúcares fermentables**

El uso de bagazo de caña es una alternativa del sector energético para producir bioetanol y minimizar el impacto ambiental (Walker G., 2010; Nigam P. S. & Singh A., 2011; Dias M. O. S., et al; 2011). No obstante, su aplicación está condicionada a la remoción de agentes inhibitorios (furanos, fenoles y ácido acético) producto de la hidrólisis química, y a la concentración de los azúcares fermentables presentes (Ortiz-Muñiz B., 2014). En este trabajo se evaluó la clarificación de hidrolizados de bagazo de caña por ultrafiltración con membranas poliméricas y cerámicas. El desempeño de estas se evaluó en términos de la calidad del clarificado (reducción de color, concentración de azúcares y reducción de agentes inhibitorios). Los resultados de la Tabla 3 muestran una reducción de color y de los agentes inhibitorios mayor al 90% (97.16, 91.46, 98.5 y 99.0% para color, ácido acético, fenoles y furanos respectivamente) y con una mínima pérdida de azúcares (3.9%) con membranas de Polietersulfona (PES). Mientras que, la aplicación de membranas cerámicas mejoró los resultados: reducción de color y de agentes inhibitorios mayor al 95% (99.54, 95.07, 99.25 y 99.35% para color, ácido acético, fenoles y furanos respectivamente) y con una mínima pérdida de azúcares (3.05%).



Tabla 3. Efecto del pretratamiento sobre la calidad del clarificado con las membranas

Corriente	% Red. Color	Agentes inhibidores (g.L <sup>-1</sup> )		
		Ac. Acetico	Fens	Furs
BH	NO	5.34	1.92	0.510
BHN	33.23	2.45	0.17	0.16
BHN-CA	94.68	0.83	0.08	0.009
BHNCA-UF/TiO <sub>2</sub>	99.54	0.26	0.014	0.003
BHNCA-UF/PES	97.16	0.49	0.03	0.004

Fens= Fenoles  
Furs= Furanos

### Producción de bioetanol: Parte 2 soportes de inmovilización

Las tendencias actuales en el campo energético demandan el mejoramiento de procesos biotecnológicos para la producción de etanol. En este sentido, los sistemas de células inmovilizadas muestran ventajas sobre los sistemas con células libres como son una mayor densidad celular, estabilidad del proceso y productividad con menores costos de producción. El objetivo de este trabajo fue evaluar la inmovilización de *S. cerevisiae* ITV-01 DR en tres residuos de la agroindustria (bagazo de sorgo, arroz y paja de maíz) sobre la producción de etanol. Se evaluó la funcionalidad de la célula inmovilizada en la producción de etanol bajo diferentes relaciones sólido-líquido (1:25, 1:50, 1:75, 1:100) usando un medio sintético. En la tabla 4 puede verse que

la funcionalidad de las células inmovilizadas en la producción de etanol fue mayor en todos los experimentos comparados con células libres. La inmovilización de *S. cerevisiae* ITV-01 DR con residuos agroindustriales es una alternativa prometedora para la producción de etanol biotecnológico.



Tabla 4. Resumen de evaluación de la relación sólido-liquido de células inmovilizadas

Soporte	Rel S-L	Etanol (g/L)	Y (g/L)	P (gL-1h-1)
Bagazo de sorgo	25	44.65	0.32	1.86
	50	48.4	0.33	2.02
	75	43.5	0.28	1.81
	100	47.86	0.24	2.70
Ratrojo de maíz	25	40.65	0.32	1.69
	50	61.34	0.5	2.56
	75	51.16	0.32	2.13
	100	53.32	0.33	2.22
Cascarilla de arroz	25	43.83	0.30	1.83
	50	52.965	0.33	2.21
	75	44.85	0.29	1.87
	100	48.43	0.29	2.02
Celulas libres		34.86	0.21	1.45

### Obtención de agentes de biosorción y floculante en el tratamiento de efluentes

La contaminación del agua es uno de los principales factores que afecta el entorno natural de ecosistemas, un claro ejemplo es la descarga de aguas



residuales que son vertidos a los cuerpos de agua, que afectan la biodiversidad y las actividades de la vida cotidiana. Es por ello que se buscan alternativas necesarias que contribuyan a la remediación de las aguas que no son tratadas de manera adecuada que en su caso son vertidas directamente al ecosistema. Por lo que en este trabajo se propone evaluar agroresiduos de la Cuenca del Papaloapan como agentes de biosorción y biofloculantes en el tratamiento de efluentes. Al evaluar la reducción de turbidez en una solución modelo de 1000 NTU se observó que de los dos biofloculantes, el mucilago de sábila fue el que dio mejores resultados como se puede observar en la tabla. Los resultados de este trabajo se muestran en la Tabla 5 y permiten sugerir que recursos naturales como el nopal y la sábila son fuentes susceptibles de agentes floculantes para su uso en la remoción de agentes contaminantes para el tratamiento de efluentes de la región de la Cuenca del Papaloapan.

Tabla 5. Reducción de turbidez en solución modelo (1000 NTU)

<b>pH</b>	<b>% RED NTU (NOPAL)</b>	<b>% DE RED NTU (SABILA)</b>
5.5	77.53	87.22
6	55.42	76.36
6.5	53.76	63.76
7	74.53	79.27
7.5	78.31	86.45
8.0	68.76	46.56



## CONCLUSIONES

Los residuos de cáscara de piña sin tratamientos de desmetoxilación y reticulación no mostraron remoción de metales pesados en las soluciones modelos. En las cinéticas de remoción con soluciones modelo de sulfato de cobre el valor más alto de remoción fue de 65.76% con PH de 4. El estudio indicó que los residuos de cáscara de piña son una excelente alternativa para la separación de iones de metales y adsorción de los mismos. La evaluación tanto de agentes de bioadsorción como biofloculantes a mayor escala es una alternativa prometedora.

## REFERENCIAS

- Andrade-Mahecha, M. M., Tapia-Blácido, D. R., & Menegalli, F. C. (2012).. Carbohydrate Polymers, 88, 449-458.
- Castañeda-Sánchez, A. (2011), Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos,5(2), pp. 75-83
- Deepalakshmi K., Mirunalini S. Journal of Biochemical Technology, (2014), 5(2), pp. 718-726.
- Dias M. O. S., Cunha M. P., Jesus C. D. F., Rocha G. J. M., Pradella J. G. C., Rossell C. E. V., Filho R. M., Bonomi A., Second generation ethanol in Brazil: Can it compete with electricity production, Bioresource Technology, 102 (2011), 8964-8971.
- Do Val Siqueira, L.; Arias, C. I. L.F., Maniglia, B.C.; Tadini, C.C. (2021). Current Opinion in Food Science. 38, 122-130.
- Escobar, D.; Sala, A.; Silvera, C.; Harsipe, R. Márquez, R. (2009). INNOTEC, (4), 33-36.
- Kalac P. Food Chemistry, (2009), 113 (1), pp. 9–16.
- Méité, N.; Konan, L. K.; Tognonvi, M. T.; Doubi, B. I. H. G.; Gomina, M.; Oyetola, S. (2020).



Carbohydrate Polymers. 254. 177-322.

Nigam P. S., Singh A., (2011). Progress in Energy and Combustion Science, 37, 52-68.

Ortiz-Muñiz B., Rasgado-Mellado J., Solis-Pacheco J., Nolasco-Hipolito C., • J. M. Dominguez-González J. M., Aguilar- Uscanga G., ( 2014 ). Bioprocess. Biosyst. Eng. DOI 10.1007/s00449-014-1183-8.

Prasad S., Singh A., Joshi H. C. (2007). Resources, Conservation and Recycling, (, 50(1), pp. 139.

Walker G., (2010), Bioethanol: Science and Technology of fuel alcohol, Ventus Publishing Aps







12.5.1.3.- Artículo de Congreso arbitrado con ISSN 2022-2



# AVANCES EN INGENIERÍA QUÍMICA

Vol. 1, No. 4

Memorias del XLIII Encuentro Nacional de  
la AMIDIQ

“La Ingeniería Química, la Sostenibilidad y la  
Economía Circular”

AVANCES EN INGENIERÍA QUÍMICA, Vol. 2. No. 1, septiembre 2022, es una publicación anual de la Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química A.C. Canarias 704, Col. Portales, Delegación Benito Juárez, C.P. 03300, Ciudad de México, México. Tel. 3338464060. Página electrónica de la publicación: <https://amidiq.com/avances-en-ingenieria-quimica/> y dirección electrónica: avancesiq@amidiq.com. Editor responsable: Dr. Jorge Ramón Robledo Ortiz. Certificado de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo de Título 04- 2021-080511192500-102, ISSN 2683-2925, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsables de la última actualización de este número: Dr. Jorge Ramón Robledo Ortiz, Dra. Nelly Ramírez Corona, Dr. Fernando Israel Gómez Castro, Dra. Sara Núñez Correa, Dra. Aida Alejandra Pérez Fonseca, Dra. Adela Irmene Ortiz López Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química A.C. Canarias 704, Col. Portales, Delegación Benito Juárez, C.P. 03300, Ciudad de México, México. Fecha de última actualización: 22 de septiembre del 2022. Tamaño del archivo: 203 MB

## CONSEJO DIRECTIVO 2021 – 2023

**Dr. Jorge Ramón Robledo Ortiz**

Universidad de Guadalajara

Presidente

jorge.robledo@academicos.udg.mx

**Dra. Nelly Ramírez Corona**

Universidad de las Américas Puebla

Vicepresidenta

nelly.ramirez@udlap.mx

**Dr. Fernando Israel Gómez Castro**

Universidad de Guanajuato

Secretario

fgomez@ugto.mx

**Dra. Sara Núñez Correa**

Universidad Veracruzana

Tesorera

sarnunez@uv.mx

**Dra. Aida Alejandra Pérez Fonseca**

Vocal de Investigación

aida.perez@academicos.udg.mx

**Dra. Adela Irmene Ortíz López**

Universidad Autónoma Metropolitana

Vocal de Docencia

irmene@cua.uam.mx

# **XLIII ENCUENTRO NACIONAL DELA AMIDIQ**

## COMITÉ ORGANIZADOR

Jorge Ramón Robledo Ortiz Nelly Ramírez Corona Fernando Israel

Gómez Castro Sara Núñez Correa

Aida Alejandra Pérez Fonseca Adela Irmene Ortiz López

# **Ingeniería Ambiental**

## ANÁLISIS DEL IMPACTO DEL PROCESO DE EXPLOSIÓN POR VAPOR EN LA FIBRA DE PSEUDOTALLO DE PLÁTANO DE UN MOLDE ELABORADO A BASE DE AGRORESIDUOS

*Marina Colorado Guzmán<sup>a</sup>, Karen Aylin Vargas García<sup>a</sup>, Karina Bustos Ramírez<sup>a</sup>, Elizabeth del Carmen Varela Santos<sup>a</sup>, Ibis Rafael Huerta Mora<sup>a</sup>*

<sup>a</sup> Maestría en Ciencias en Alimentos y Biotecnología, Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca, Av. Veracruz s/n, Tierra Blanca, Veracruz, 95180, México. mcabi@itstb.edu.mx

### Resumen

La contaminación ambiental causada por el uso desmedido de los plásticos y desechables es una problemática actual. Esto ha conducido a un incremento en la demanda de biomateriales en la última década. Este tipo de materiales están orientados a preservar la calidad de los alimentos y garantizar su inocuidad, con propiedades similares a los materiales convencionales, pero sin impacto ambiental negativo. Su obtención se conduce a través del aprovechamiento de residuos agroindustriales, que ya no son útiles para el proceso que los generó. Representa una alternativa tecnológica de aprovechamiento integral de recursos naturales con fracciones lignocelulósicas (celulosa, hemicelulosa y lignina) de la región de Tierra Blanca, Veracruz, que permite minimizar el impacto ambiental y obtener productos y/o subproductos de aplicación alimentaria, industrial y biotecnológica de valor agregado. Tal es el caso del Pseudotallo de plátano, sin embargo su capacidad de retención de agua limita su aplicación. En este trabajo se presenta la aplicación de un pre-tratamiento en pseudotallo de plátano para la elaboración de un molde a base de agroresiduos. Se realizó la explosión de vapor, a  $T = 180^{\circ}\text{C}$  y  $P = 10$  psi durante 30 segundos. Se utilizaron tres tipos de fibra de pseudotallo de plátano: natural sin secar, secada y secada-humedecida (relación 1:10 sólido - líquido). El efecto del pre-tratamiento de explosión se evaluó en términos de capacidad de retención de agua [1]. El pre-tratamiento de explosión por vapor permite reducir la capacidad de retención de agua alrededor del 35%, lo cual podría traducirse en una mejora en las propiedades mecánicas del molde elaborado de agroresiduos.

### Introducción

El uso de empaques biodegradables ha cobrado auge promoviendo el estudio de fuentes renovables y naturales para la creación de biomateriales alternativos, que permitan minimizar el impacto ambiental. Estos estudios se han enfocado al desarrollo de películas, y de recubrimientos, contenedores o empaques biodegradables con función similar a los materiales sintéticos convencionales y características como: alta fuerza mecánica, suavidad, luminosidad, resistencia al agua, entre otras [2]. Entre los materiales prospectivos para estos fines están los residuos agroindustriales, los cuales tienen amplia disponibilidad, ya que son generados a partir de la cosecha y procesamiento de diferentes productos agrícolas de alta demanda social [3]. Los residuos agroindustriales entonces se presentan como una alternativa a estos fines debido a que pueden ser componentes estructurales para la generación de productos con valor agregado de aplicación alimentaria, industrial, biotecnológica y ambiental [4]. En este sentido, la región de Tierra Blanca Veracruz, es una zona altamente productora de cultivos y por tanto de una gran cantidad de residuos agroindustriales, los cuales en su mayoría no son reutilizados y su aprovechamiento resulta de interés tecnológico. Por lo que en este trabajo se propuso evaluar el efecto de la explosión por vapor en las fibras de pseudotallo de plátano de un molde elaborado a base de agroresiduos. Esta alternativa permitirá reducir el impacto ambiental que ocasionan los residuos plásticos desechables y potenciar la aplicación de recursos renovables como una alternativa sustentable, lo anterior en concordancia con la ley de prohibición de los plásticos a partir del año 2018 en el estado de Veracruz y la agenda 2030.



## Metodología

Para la elaboración del molde se emplearon los siguientes agro residuos: papa y plátano macho verde (ambos de tercera calidad); así como pseudotallo de plátano macho; provenientes de la zona de Tierra Blanca, Veracruz. La papa y el plátano fueron procesados para obtener almidones. La papa fue molida y mezclada con todo y cáscara en relación 1:4 (papa:agua), y colocada a sedimentación durante 12 horas. Entonces se separó el sedimento, y este fue secado a 65°C por 5 horas (ECOSHEL 9053 A). Posteriormente fue conducido a un molino de bolas por 30 min. Mientras que para obtener el almidón del plátano, este se cortó en rodajas con todo y cascara, y se llevó a secado a 75°C por 5 horas (ECOSHEL 9053 A), posteriormente fue colocado en un molino de cuchillas para tritarlo. Por otro lado para la obtención de las fibras, el pseudotallo de plátano se cortó en rodajas, y fue secado durante 12 horas a 70°C (ECOSHEL 9053 A). La fibra se colocó entonces en un molino de martillos (Fibra Seca Control, FSC).

. Sin embargo, considerando que la capacidad de retención de agua (CRA) en las fibras de pseudotallo de plátano limita su aplicación se empleó el método de explosión por vapor con el fin de minimizar esta característica. Este tratamiento termo mecánico y emergente permite romper las fibras internamente (matriz), y modificar sus propiedades de absorción de agua como una consecuencia de la fragmentación de material lignocelulósico: celulosa, hemicelulosa y lignina. La explosión por vapor fue conducida a 10 psi y una temperatura de 180°C durante 30 segundos. Esto se realizó en tres muestras de fibra: fibra seca (Fibra Seca Explotada, FSE), fibra seca y humedecida (Fibra Seca Humedecida Explotada, FSHE) y fibra natural (Fibra Natural Explotada, FNE). Para la obtención de estas fibras, el pseudotallo de plátano se cortó en rodajas (FN), y fue secado en una estufa durante 12 horas a 70°C en una estufa (FS). Esta fue posteriormente humedecida 24 horas en una relación 1:10 y escurrida durante 8 horas (FSH). Una vez realizado el proceso de explosión todas las fibras fueron secadas a 70°C por 12 horas en una estufa de secado. Adicionalmente se realizó la caracterización de los constituyentes del molde y de todas fibras en términos de: humedad, sólidos, contenido de amilosa y de amilopectina, CRA; contenido de Celulosa, Hemicelulosa y Lignina (Vargas Hernández, N. 2019, NMX-AA-67-1985, y ANSI/ASTM-1977). Así como azúcares reductores (Miller, 1959) como un indicador indirecto del fraccionamiento de la matriz lignocelulósica con un Espectrofotómetro UV-VIS (Thermo Scientific Genesys 10s). La elaboración de los moldes a base de agro residuos se realizó sin y con tratamiento de explosión de vapor (15, 20 y 25% con almidón de papa y plátano, y fibras respectivamente). Se incorporó agua, glicerina y ácido acético en relación 1:2:1, se mezcló hasta homogeneizar. Y por medio de un prensado manual se le aplicó presión sobre el molde (plato) para darle la forma de este. Una vez conformado el molde (plato) de manera homogénea fue colocado en una estufa de secado (ECOSHEL 9053 A) a una temperatura de 65°C ± 2°C por un periodo de 4 horas. De igual manera se aplicó recubrimiento a base de glicerol, y sorbitol para evaluar el efecto de la explosión de vapor en las fibras sobre el molde elaborado.

## Resultados

### Fibra de pseudotallo de plátano en molde sin tratamiento de Explosión por Vapor

En la figura 1 se puede observar la apariencia física de los constituyentes, así como del molde elaborado sin el tratamiento de explosión por vapor. Mientras que en la tabla 1 se muestra la caracterización de los componentes y el molde elaborado. Los mayores valores de amilosa y amilopectina se encontraron en el almidón de plátano indicando a este como el constituyente que confiere maleabilidad y textura en el molde para su conformación, y esto es consistente con la proporción empleada en su elaboración (20%). Sin embargo los valores de retención de agua de las fibras indicaron que el molde elaborado sin tratamiento con explosión por vapor no es apto para la aplicación de recubrimientos como glicerol y sorbitol, ya que podría ser susceptible a deformación, pérdida de su rigidez, así como humedecimiento.



Tabla 1. Caracterización de constituyentes y molde sin tratamiento por explosión de vapor

Propiedad	Constituyentes			
	Almidón de papa	Almidón de plátano	Fibra	Molde
% Humedad	14± 0.49	9.4± 0.15	9.6± 0.15	3.6±0.15
% Solidos	86± 0.41	90.6± 0.15	90.4± 0.15	96.4±0.15
% Amilosa	36.4± 0.49	61.32± 0.15	N.A.	N.A.
% Amilopectina	29.71± 0.49	68.14± 0.15	N.A.	N.A.
CRA	N.A.	N.A.	7.36± 0.06	7.61± 0.14

Figura 1.- Moldes elaborados a base de residuos de la agroindustria sin tratamiento por explosión de vapor.

% = g/ 100 g de sustrato  
CRA= Capacidad de retención de agua (g agua/ gramo de sustrato)  
N.A. = No Aplica

### Fibras de pseudotallo de platano en moldes con tratamiento de Explosión por Vapor

En la figura 2 se puede observar el quipo de explosión de vapor POLINOX utilizado en el tratamiento de las fibras, así como la apariencia física de las fibras antes y posterior al tratamiento de explosión de vapor; y de los moldes elaborados con las fibras posterior al tratamiento. Puede verse en la figura que los moldes realizados con las fibras con tratamiento presentan conformación sin fracturas formación de fracturas y una apariencia física adecuada para la aplicación de los recubrimientos propuestos.



Figura 2.- Equipo de explosión de vapor, fibras antes y posterior al tratamiento y moldes elaborados a base de residuos de la agroindustria con tratamiento por explosión de vapor.

Por otro lado en la Tabla 2 se muestra el efecto de la explosión de vapor sobre las fibras en términos de celulosa, hemicelulosa, lignina, azúcares reductores y CRA.

Tabla 2. Efecto de la explosión de vapor sobre las fibras

Tratamientos	CRA	% Celulosa	% Hemicelulosa	% Lignina	% Azúcares Reductores
FSC	8.425 ± 0.689	50.29 ± 0.79	26.18 ± 0.81	22.13 ± 0.92	1.4 ± 0.49
FSE	4.577 ± 0.764	32.70 ± 1.27	18.73 ± 1.10	8.70 ± 1.11	39.87 ± 0.41
FSHE	6.535 ± 0.962	34.30 ± 0.77	13.77 ± 1.07	11.57 ± 1.31	40.36 ± 0.49
FNE	7.841 ± 0.677	46.14 ± 0.15	16.18 ± 1.71	11.30 ± 1.23	26.4 ± 0.49

Los resultados del análisis del fraccionamiento del material lignocelulósico como una consecuencia del tratamiento de la explosión por vapor indicaron que la composición en términos de celulosa, hemicelulosa y lignina fue dependiente del tratamiento, y que este efecto pudo deberse principalmente al contenido de agua, lo cual pudo corroborarse con el análisis de azúcares reductores como una medición indirecta de la fragmentación de la matriz lignocelulósica. Siendo más pronunciada en la fibra seca humedecida, que consecuentemente en términos de color muestra una coloración oscura atribuida a pardeamiento no enzimático. Estos resultados son consistentes de acuerdo a lo reportado por Anwar *et al.*, 2014 quien indica el perfil de degradación en el sentido lignina, seguido de hemicelulosa y finalmente celulosa. Aunado a lo anterior la reducción del CRA fue alrededor del 35 % a excepción de la fibra sometida al tratamiento en su forma natural (10 %), que nuevamente confirma el perfil de degradación mencionado.

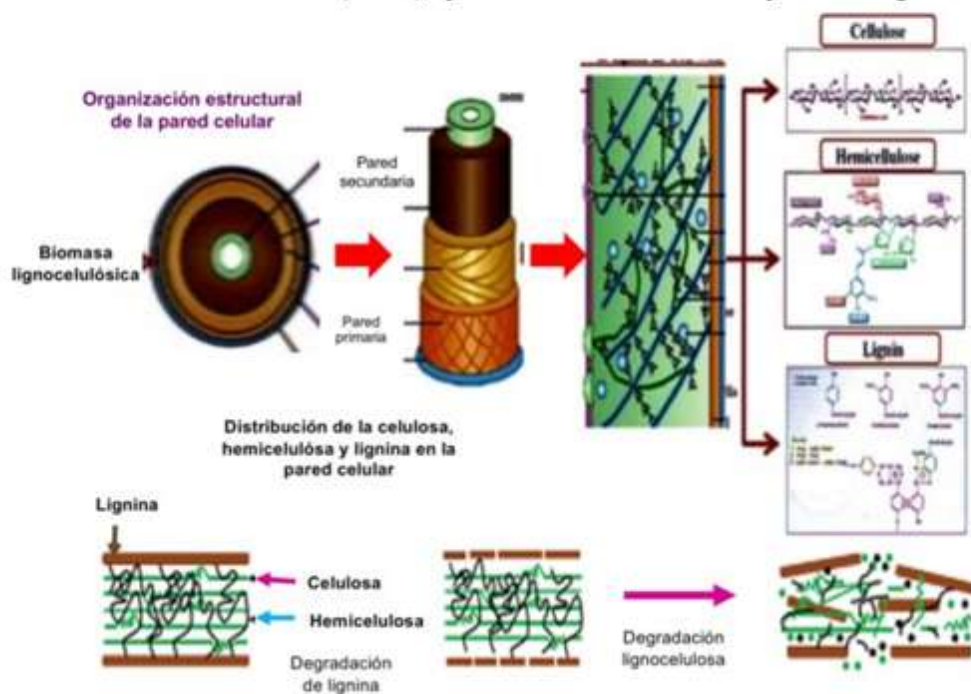


Figura 3.- Degradación de la pared lignocelulósica (Anwar *et al.*, 2014)

### Efecto de explosión de vapor en las fibras sobre los moldes elaborados

En la tabla 3 pueden verse las características de los moldes elaborados con y sin tratamiento de explosión de vapor, así como los moldes comparables (biodegradable y cartón). Puede verse que el tratamiento permitió reducir aproximadamente el 10 % de peso en comparación a los moldes sin tratamiento, y aunque tienen aun desventaja en el espesor y el peso, no solo son comparables en el diámetro sino en la firmeza y textura. Además los moldes con fibras explotadas presentan mejor firmeza y conformación en comparación con el control. Y representan una excelente alternativa tecnológica de aplicación para los residuos agroindustriales en la obtención de un producto de valor agregado y sostenible en concordancia con la agenda 2030. En cuanto observado en la primera sección, lo referente al efecto de la capacidad de retención de agua de las fibras sin explotar, este se confirmó con formulaciones de recubrimientos a base de glicerol y sorbitol (50, 75 y 100%) por aspersión e impregnación; y con secado a temperatura ambiente y estufa (a 60°C por 60 min (Figura 4 y 5).

Tabla 3. Característica de los moldes elaborados con fibras explotadas y molde sin tratamiento por explosión de vapor

Unidad	Molde Sin tratamiento	Molde Con tratamiento	Plato Biodegradable Comercial (ecoshell)	Plato de Cartón Comercial
				
Peso (g)	28.50 ± 0.200	26.00 ± 0.00	10.00 ± 0.000	8.56 ± 0.404
Diámetro (cm)	15.00 ± 0.000	15.00 ± 0.000	15.24 ± 0.000	13.20 ± 0.000
Espesor (mm)	1.80 ± 0.000	1.80 ± 2.000	0.050 ± 0.000	1.00 ± 0.000



Figura 4.- Moldes sin tratamiento por explosión de vapor con recubrimiento de glicerol y sorbitol.



Figura 5.- Moldes con tratamiento por explosión de vapor con recubrimiento de glicerol, sorbitol y comercial.

Los resultados mostraron que el molde sin tratamiento con explosión por vapor perdió firmeza, resistencia y se deformó independientemente de la formulación evaluada. Mientras que en los moldes elaborados con las fibras explotadas esto no se presentó. Lo anterior se atribuye en que el fraccionamiento del material lignocelulósico mejoró la textura, rigidez y conformación en el molde, permitiendo una estructura adecuada para el uso de recubrimientos convencionales y de aplicación en alimentos como son el glicerol, sorbitol y comerciales.

### **Conclusiones**

El estudio de la aplicación de un pre-tratamiento a la fibra de pseudotallo permitió observar que los valores de CRA de la fibra disminuyen, esto en diferentes condiciones con el pre-tratamiento de explosión por vapor. Al analizar estos resultados se confirma que mediante un pre-tratamiento la fibra seca de pseudotallo tendrá una menor porcentaje de CRA, esto debido a que la explosión por vapor promueve lo que es la ruptura de los enlaces en lignina, celulosa y hemicelulosa componentes de la fibra de pseudotallo, esto deriva en una menor captación de agua, lo cual es una alternativa prometedora para la aplicación de fibras naturales en la elaboración de empaques biodegradables. Los resultados de este trabajo permiten sugerir la aplica de la explosión por vapor a la fibra seca empleada para la fabricación de moldes a base de agro residuos ya que tiene una disminución de un 35% aproximadamente en comparación a la fibra sin explotar, así como también se destaca de las otras 2 fibras que fueron explotadas pero que no dieron el mejor resultado, como es el ejemplo de la fibra natural que tiene un valor superior a todas las fibras analizadas, seguida de la fibra humedecida artificialmente que presenta un valor por encima de la fibra sin tratamiento. El método de explosión por vapor es funcional para romper las fibras y con ello no solo se reduce la CRA, sino que además mejora las propiedades de las fibras para su uso en la elaboración de moldes. El fraccionamiento del material lignocelulósico mejoró propiedades en las fibras que se tradujeron en mejoras de textura, rigidez y conformación en los moldes, permitiendo el uso de recubrimientos convencionales y de aplicación en alimentos como son el glicerol, sorbitol y ceras comerciales. El proceso de explosión por vapor promueve el fraccionamiento del material lignocelulósico en términos de celulosa, hemicelulosa y lignina. Sin embargo este fue dependiente del contenido de agua, y puede evidenciarse físicamente por el oscurecimiento en las fibras debido al pardeamiento no enzimático e indirectamente por la determinación de azúcares reductores.

### **Agradecimientos**

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México (TecNM) campus Tierra Blanca por el apoyo otorgado para la realización del proyecto. Marina Colorado Guzmán agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por la beca para sus estudios de Maestría en Ciencias de los Alimentos y Biotecnología en el ITSTB.

### **Referencias**

1. Vargas Hernández, N. 2019. Evaluación Del Efecto Del Sustrato Y Las Condiciones De Secado Sobre El Contenido De Proteína Y Las Propiedades Funcionales En La Obtención De Un Polvo Proteico A Partir De *Pleurotus Ostreatus*. 19-88.
2. Andrade-Mahecha, M. M., Tapia-Blácido, D. R., & Menegalli, F. C. (2012). Development and optimization of biodegradable films based on achira flour. *Carbohydrate Polymers*, 88, 449-458.
3. Sarkar, N., Ghosh, S. K., Bannerjee, S., Aikat, K. 2012. Bioethanol production from agricultural wastes: an overview, *Renewable Energy*, Vol. 37, No. 1, 19-27
4. Mejías B., N.; Orozco G., E.; Galáan H., N. 2016. Aprovechamiento de los residuos agroindustriales y su contribución al desarrollo sostenible de México. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*. 2, N.6. 27-41.
5. Naciones Unidas (2018), *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe (LC/G.2681-P/Rev.3)*, Santiago, 7-14.



XLI  
Encuentro  
Nacional

La Ingeniería Química, el Desarrollo Nacional  
y la Responsabilidad Social

