



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTILÁN

Aprovechamiento de residuos de piña para desarrollar un  
envase activo aplicado en la conservación de jitomate  
cherry (*Lycopersicum esculentum*).

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
**INGENIERA EN ALIMENTOS**

**P R E S E N T A:**

KAREN GABRIELA TORRES AVENDAÑO

**ASESORAS:**

Dra. Maria Andrea Trejo Márquez

M. en C. Selene Pascual Bustamante

CUAUTILÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO, 2018



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES**

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

**M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN  
PRESENTE**

**ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA  
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales  
de la FES Cuautitlán.**

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: Trabajo de Tesis

**Aprovechamiento de residuos de piña para desarrollar un envase activo aplicado en la conservación de jitomate cherry (*Lycopersicum esculentum*).**

Que presenta la pasante: **Karen Gabriela Torres Avendaño**  
Con número de cuenta: **413080916** para obtener el Título de la carrera: Ingeniería en Alimentos

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

**ATENTAMENTE**  
**"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"**  
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 07 de Mayo de 2018.

**PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO**

|                      | NOMBRE                               | FIRMA |
|----------------------|--------------------------------------|-------|
| <b>PRESIDENTE</b>    | I.A. Miriam Alvarez Velasco          |       |
| <b>VOCAL</b>         | M. en C. María Guadalupe Amaya León  |       |
| <b>SECRETARIO</b>    | Dra. María Andrea Trejo Márquez      |       |
| <b>1er. SUPLENTE</b> | Dra. María Guadalupe López Palacios  |       |
| <b>2do. SUPLENTE</b> | Q.F.B. Jonathan Pablo Paredes Juárez |       |

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

El presente trabajo fue financiado  
por el proyecto: Desarrollo  
tecnológico para el aprovechamiento  
integral de frutas y hortalizas  
(PAPIIT IT 201216) de la Dirección  
General de Asuntos del Personal  
Académico de la UNAM.



*Con mucho amor para Emmanuel.*

## Agradecimientos.

A **Dios** por darme la dicha de permitirme llegar hasta este punto de mi vida, por sus bendiciones, por todo lo bueno y todo lo malo.

A mis padres, **Agustina Avendaño J.**, por su inmenso amor, por ser una mujer de ejemplo y luchas incansables. A **Alejandro Torres A.**, por siempre estar con nosotras y procurarnos en todo momento.

Gracias, por inspirarme a dar siempre lo mejor de mí y por todo su apoyo incondicional.

Agradezco también a **Nancy**, gracias, porque con tu ejemplo me has demostrado que nunca es tarde para empezar de nuevo y que no hay imposibles para lograr nuestros propósitos. A **Paola**, por siempre estar para mí, escucharme y alentarme a continuar a pesar de todo.

De manera general agradezco a mi familia **Avendaño** y mi familia **Torres**, por todos sus buenos deseos y porque sé que a pesar de la distancia celebran conmigo este momento de mi vida.

Doy un agradecimiento muy especial para **David Alejandro Antonio B.**, gracias por tu cariño y motivación, por siempre estar sin importar cualquier circunstancia, por compartir conmigo lo más valioso... tiempo de tu vida.

**Gracias** por ser el pilar y el motor de mi vida, por ustedes y para ustedes dedico este logro.



## **Agradecimientos.**

Mi más grande reconocimiento a la **Universidad Nacional Autónoma de México** por haberme dado la oportunidad de pertenecer a su comunidad, por haber puesto los medios para poder realizar mi licenciatura, así como forjar mi camino para emprender la vida profesional.

Con mucho cariño agradezco a mi asesora, la **Dra. María Andrea Trejo Márquez**, por toda las vivencias, experiencia y conocimiento compartido, por su apoyo oportuno el cual fue cimiento para la realización de este trabajo. Gracias por tener esa gran pasión con la que desempeña su labor, por dar lo máximo y lo mejor de sí por sus alumnos. Siempre estaré en deuda con usted.

También agradezco profundamente a mi asesora la **M. en C. Selene Pascual Bustamante**. Gracias por el apoyo y tiempo brindado el cual fue esencial para poder llevar a cabo este trabajo.

Por otra parte, quiero agradecer a la **Dra. Alma Adela Lira Vargas**, por sus consejos y aportaciones a este trabajo.

Agradezco sinceramente a la **Dra. Carolina Moreno Ramos**, por su apoyo, dedicación y buenos consejos. Gracias por ser la persona que es.



## ■ Agradecimientos.

Reconozco gratamente la participación de mis sinodales, la **I. A Miriam Alvarez Velasco**, la **M. en C. María Guadalupe Amaya León**, la **Dra. María Guadalupe López Palacios** y al **Q. F. B Jonathan Pablo Paredes**. por su tiempo dedicado, así también por compartir sus conocimientos con los que contribuyeron para el enriquecimiento de este trabajo.

También quiero mencionar mi gratitud a la **Dra. Susana Mendoza E.**, al **Ing. Fernando Sotres C.** y a la **M. en C. Sofía González G.** por el apoyo brindado en la realización de pruebas técnicas de caracterización.

A **Jorge Luis Alfaro C.** por su tiempo, dedicación y conocimiento aportado a este trabajo.

A mi grupo de *postcosechos*: **Ale, Angélica, Aurora, Barbara, Jessica, Johana, Jossa, Mara, Mariely, Melina, Miriam y Wendy.** Por haber hecho más ameno mi estancia en el taller, por sus ocurrencias, ánimos y esas tardes interminables de experimentación y convivencia.

A mis compañeras y amigas de la carrera: **Bere, Bianca, Fer, Gaby, Helia, Iveth, Kelly, y Lau.** Por cada momento compartido, muchas gracias.

Por último, pero no menos importante, agradezco al **Ing. Eduardo Noe Reyes E.**, por sus consejos y enseñanzas; por su comprensión y apoyo, el cual fue pieza clave para finalizar esta etapa. Gracias por haberme brindado la oportunidad de pertenecer a su equipo.







## ÍNDICE

|   |     |
|---|-----|
| Índice de tablas .....                            | i   |
| Índice de figuras .....                           | ii  |
| Resumen .....                                     | iii |
| 1 Introducción .....                              | 1   |
| 2 Antecedentes .....                              | 3   |
| 2.1 La agroindustria .....                        | 3   |
| 2.1.1. Agroindustria en México .....              | 4   |
| 2.1.2. La agroindustria y el medio ambiente ..... | 5   |
| 2.1.3. Industrialización de la piña .....         | 5   |
| 2.1.4. Aprovechamiento de residuos de piña .....  | 6   |
| 2.2 Generalidades de la piña .....                | 6   |
| 2.2.1 Importancia económica .....                 | 7   |
| 2.2.2 Composición química .....                   | 8   |
| 2.2.2.1 Estructura Lignocelulósica .....          | 9   |
| 2.2.3 Envases .....                               | 14  |
| 2.2.3.1 Función y materiales .....                | 14  |
| 2.2.3.2 Sistema tradicional de envasado .....     | 18  |
| 2.2.4 Envases activos .....                       | 18  |
| 2.3 Aceite esencial de orégano .....              | 19  |
| 2.4 Jitomate .....                                | 20  |
| 2.4.1 Importancia económica .....                 | 22  |
| 2.4.2 Composición química .....                   | 24  |
| 2.4.3 Variedades .....                            | 25  |
| 2.5 Pérdidas postcosecha .....                    | 26  |
| 3 Objetivos .....                                 | 31  |
| 4 Materiales y métodos .....                      | 32  |
| 4.1 Cuadro metodológico .....                     | 32  |
| 4.2 Material Biológico .....                      | 33  |
| 4.3 Tratamiento de las muestras .....             | 33  |



|        |  |    |
|--------|--|----|
| 4.4    | Extracción de fibras lignocelulosicas.....   | 34 |
| 4.4.1  | Determinación de rendimiento .....   | 36 |
| 4.5    | Formulación del complejo aglutinante.....  | 36 |
| 4.6    | Elaboración del prototipo del envase activo .....  | 37 |
| 4.6.1. | Recuperación de aceite esencial de orégano .....   | 39 |
| 4.6.2. | Prueba <i>in vitro</i> de <i>Botrytis cinerea</i> .....  | 39 |
| 4.7    | Aplicación del prototipo de envase activo en la conservación de jitomate cherry .....  | 40 |
| 4.7.1  | Material biológico.....  | 40 |
| 4.7.2  | Prueba <i>in vivo</i> y preparación del inóculo.....   | 41 |
| 4.7.3  | Inoculación de jitomates cherry.....   | 41 |
| 4.8    | Técnicas analíticas .....  | 43 |
| 4.8.1  | Propiedades físicas, mecánicas y microbiológicos de fibras extraídas.....  | 43 |
| 4.8.2  | Parámetro de calidad de jitomates conservados en envase activo .....   | 47 |
| 4.8.3  | Caracterización del envase activo.....   | 47 |
| 4.9    | Análisis estadístico .....   | 49 |
| 5      | Resultados y discusión .....   | 50 |
| 5.1    | Rendimientos de fibras .....   | 50 |
| 5.2    | Parámetros de calidad de las fibras extraídas.....   | 52 |
| 5.3    | Propiedades funcionales de las fibras.....   | 56 |
| 5.3.1  | Capacidad de retención de agua .....   | 56 |
| 5.3.2  | Capacidad de retención de aceite.....  | 59 |
| 5.4    | Propiedades mecánicas.....   | 61 |
| 5.5    | Evaluación del efecto inhibitorio del aceite esencial de orégano sobre el crecimiento <i>in vitro</i> de <i>Botrytis cinerea</i> ..... | 63 |
| 5.6    | Caracterización del prototipo del envase activo .....  | 67 |
| 5.6.1  | Microscopia MEB.....   | 67 |
| 5.6.2  | Termogravimetría del prototipo de envase activo.....   | 69 |
| 5.7    | Aplicación del envase activo en la conservación de jitomate cherry.....  | 71 |
| 5.7.1  | Pérdida de peso.....   | 71 |
| 5.7.2  | Índice de decaimiento (IDC).....   | 73 |
| 6      | Conclusiones .....   | 78 |
| 7      | Recomendaciones .....  | 80 |
| 8      | Referencias.....   | 81 |



### ÍNDICE DE TABLAS

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Tabla 1.</b> Composición nutrimental de la piña por 100 g de porción comestible   | <b>8</b>  |
| <b>Tabla 2.</b> Composición química de la cáscara y corona de piña.  | <b>9</b>  |
| <b>Tabla 3.</b> Productos de valor agregado obtenidos a partir de desechos agroindustriales  | <b>14</b> |
| <b>Tabla 4.</b> Clasificación de envases por su relación con el producto   | <b>16</b> |
| <b>Tabla 5.</b> Clasificación de envases por su vida útil  | <b>17</b> |
| <b>Tabla 6.</b> Sistemas emisores presentes en envases activos   | <b>19</b> |
| <b>Tabla 7.</b> Principales compuestos con actividad antimicrobiana en el aceite esencial de orégano ( <i>Origanum vulgare</i> )   | <b>20</b> |
| <b>Tabla 8.</b> Composición química de jitomate  | <b>25</b> |
| <b>Tabla 9.</b> Principales tipos de tomate comercializado   | <b>26</b> |
| <b>Tabla 10.</b> Principales enfermedades del jitomate   | <b>27</b> |
| <b>Tabla 11.</b> Formulaciones de aglutinante  | <b>36</b> |
| <b>Tabla 12.</b> Resultados de cuenta en placa para las fibras obtenidas para cada una de las condiciones de hidrólisis  | <b>52</b> |
| <b>Tabla 13.</b> Evaluación <i>in vitro</i> del efecto antifúngico del aceite esencial de orégano sobre <i>Botrytis cinerea</i> , aplicado a la primera formulación de aglutinante | <b>64</b> |
| <b>Tabla 14.</b> Evaluación <i>in vitro</i> del efecto antifúngico del aceite esencial de orégano sobre <i>Botrytis cinerea</i> , aplicado a la segunda formulación de aglutinante | <b>65</b> |
| <b>Tabla 15.</b> Caracterización morfológica de las fibras de piña y envase prototipo en comparación con una muestra positiva (cartón de huevo) y una negativa (PET)               | <b>67</b> |
| <b>Tabla 16.</b> Análisis termogravimétrico de prototipo del envase activo   | <b>70</b> |
| <b>Tabla 17.</b> Porcentaje de índice de decaimiento durante el almacenamiento en frío (14°C) en un periodo de 12 días, y almacenamiento a temperatura ambiente por 6 días         | <b>74</b> |
| <b>Tabla 18.</b> Seguimiento fotográfico de los jitomates en condiciones de almacenamiento en refrigeración (14°C durante 12 días)   | <b>75</b> |
| <b>Tabla 19.</b> En condiciones de almacenamiento a temperatura ambiente   | <b>76</b> |



## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Figura 1.</b> Principales exportaciones de productos agroalimentarios  | <b>4</b>  |
| <b>Figura 2.</b> Infrutescencia de <i>Ananas comosus</i>  | <b>7</b>  |
| <b>Figura 3.</b> Principales estados productores de piña a nivel nacional   | <b>8</b>  |
| <b>Figura 4.</b> Composición de la pared celular  | <b>10</b> |
| <b>Figura 5.</b> Unidades de azúcares presentes en las hemicelulosas  | <b>12</b> |
| <b>Figura 6.</b> Estructura de la lignina   | <b>13</b> |
| <b>Figura 7.</b> Principales compuestos fenólicos del aceite esencial de orégano, timol y carvacrol   | <b>19</b> |
| <b>Figura 8.</b> Planta <i>Solanum lycopersicum</i>   | <b>21</b> |
| <b>Figura 9.</b> Fruto <i>Solanum lycopersicum</i> L.   | <b>22</b> |
| <b>Figura 10.</b> Principales estados productores de jitomate en México   | <b>23</b> |
| <b>Figura 11.</b> Participación porcentual de las exportaciones por principales productos agropecuarios Julio 2017  | <b>23</b> |
| <b>Figura 12.</b> Principales productores de tomate, 2013   | <b>24</b> |
| <b>Figura 13.</b> <i>Botrytis cinerea</i> a) esporas y conidios, b) vista macroscópica.   | <b>28</b> |
| <b>Figura 14.</b> Mecanismo de infección de <i>Botrytis cinerea</i>   | <b>29</b> |
| <b>Figura 15.</b> Material biológico (piña) variedad <i>Cayena Lisa</i>   | <b>33</b> |
| <b>Figura 16.</b> Diagrama de proceso de obtención de cáscara, corona y bagazo de piña  | <b>34</b> |
| <b>Figura 17.</b> Diagrama de proceso para la extracción de las fibras  | <b>35</b> |
| <b>Figura 18.</b> Diagrama de elaboración de aglutinante  | <b>37</b> |
| <b>Figura 19.</b> Proceso de elaboración de los prototipos de envases activos   | <b>38</b> |
| <b>Figura 20.</b> Equipo de hidrostilación  | <b>39</b> |
| <b>Figura 21.</b> Diagrama de la inoculación de <i>Botrytis cinerea</i> para pruebas <i>in vitro</i>  | <b>40</b> |
| <b>Figura 22.</b> Material biológico (jitomate y orégano deshidratado)  | <b>41</b> |
| <b>Figura 23.</b> Diagrama de la inoculación de <i>Botrytis cinerea</i> para la evaluación <i>in vivo</i> de jitomates cherry                                   | <b>42</b> |
| <b>Figura 24.</b> Lotes de envases empleados en el almacenamiento de jitomates inoculados con <i>Botrytis cinerea</i> .   | <b>43</b> |
| <b>Figura 25.</b> Determinación de capacidad de retención de agua/aceite. (A) Agitador vortex DLab MX-S, (B) Centrifuga Daigger 4350, (C) Balanza Ohaus Pioneer | <b>45</b> |
| <b>Figura 26.</b> Esfuerzo de cedencia superior e inferior  | <b>45</b> |
| <b>Figura 27.</b> (A) Especímenes de fibra. (B) Penetrómetro PCE-FM200 y envase prototipo   | <b>46</b> |



|   |           |
|---|-----------|
| <b>Figura 28.</b> Medición de jitomate en balanza analítica (Scout pro)   | <b>47</b> |
| <b>Figura 29.</b> Secado por liofilización de las muestras para la prueba MEB. a) Muestras en caja Petri. b) Equipo de liofilizado Stoppering Tray Dryer LABCONCO (Freeze Dry System)   | <b>48</b> |
| <b>Figura 30.</b> Prueba MEB. a) Cámara de vacío, b) Deposición al vacío Denton Vacuum Desk V, c) pantalla tecnológica de color Denton, d) MEB JEOL JSM-6010LA  | <b>49</b> |
| <b>Figura 31.</b> Rendimientos de fibras obtenidas para cada hidrólisis a partir de los residuos generados por pieza de piña ( <i>Ananas comosus</i> )  | <b>51</b> |
| <b>Figura 32.</b> Evaluación de luminosidad para las fibras obtenidas en cada tratamiento   | <b>55</b> |
| <b>Figura 33.</b> Evaluación de croma para las fibras obtenidas en cada tratamiento   | <b>55</b> |
| <b>Figura 34.</b> Fibras obtenidas para cada tratamiento químico  | <b>56</b> |
| <b>Figura 35.</b> Capacidad de retención de agua de las fibras resultantes de cada una de las condiciones de hidrólisis (A), Evaluación de las concentraciones de aglutinante (B).  | <b>58</b> |
| <b>Figura 36.</b> Capacidad de retención de aceite para las fibras resultantes de cada una de las condiciones de hidrólisis (A). Evaluación de la fibra 2 recubierta con las dos fórmulas de aglutinante (B)                                | <b>60</b> |
| <b>Figura 37.</b> Módulo de elasticidad evaluada para las tres fibras   | <b>62</b> |
| <b>Figura 38.</b> Resistencia a la presión ejercida sobre el envase prototipo recubierto con las dos formulaciones de aglutinante   | <b>63</b> |
| <b>Figura 39.</b> Termograma de envase activo b), usando como referencia la arcilla a).   | <b>69</b> |
| <b>Figura 40.</b> Efecto de los envases activos sobre el porcentaje de pérdida de peso de los jitomates durante el tiempo de almacenamiento en frío (14°C). EC: envase de cartón de huevo; EA: envase activo; Envase control de fibra (EF). | <b>72</b> |



### RESUMEN

El sector de la agroindustria representa una de las mayores áreas que ayuda a la economía de nuestro país debido a la geografía que México tiene, siendo un país rico tanto en ecosistemas como en variedad de cultivos de frutas y hortalizas. Contribuye en el desarrollo de actividades primarias durante la transformación de materia prima para obtener un producto final. Sin embargo, como resultado de esto se generan desechos orgánicos que en su mayoría son poco aprovechables, negando así la oportunidad de lograr un producto de valor agregado reduciendo también los problemas ambientales que pueden llegar a provocar.

Es por ello que el objetivo de este proyecto fue la extracción de fibras lignocelulósicas no maderables a partir del aprovechamiento integral de los residuos de la piña variedad *Cayena lisa*, la cual es ampliamente usada en la industria alimentaria, para desarrollar un envase activo adicionado con aceite esencial de orégano (*Lippia graveolens*) que contuviera jitomates *cherry* con finalidad de prolongar la conservación en fresco de los mismos ante una infección ocasionada por *Botrytis cinerea* enfermedad causante de la podredumbre gris, en comparación con un envase convencional.

El conjunto de residuos (corona, cáscara y bagazo) de la piña se dejaron secar para posteriormente ser tratadas químicamente, realizándose tres hidrólisis semicontinuas (NaOH 10%; H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.4%; NaOH 20%). Las fibras extraídas en cada hidrólisis fueron evaluadas mediante pruebas técnicas de rendimiento, microbiológicas (conteo en placa de bacterias coliformes, mohos y levaduras), determinación de color (croma y luminosidad), propiedades funcionales (retención de agua y de aceite) y propiedades mecánicas (módulo de elasticidad de las fibras y firmeza del envase). Los resultados obtenidos para la fibra de la segunda hidrólisis presentaron mayor capacidad de aprovechamiento en la elaboración del envase activo, debido a su punto intermedio del tratamiento químico presentando una carga microbiana baja comparado a los otros tratamientos y el rendimiento fue de un 6% menor a la primera fibra. Para asegurar la resistencia de la fibra aplicada en el envase se elaboró un aglutinante con almidón de yuca (11.5, 6.5%), vinagre (11.5, 6.5%) y agua (77, 87%), para el módulo de elasticidad la fibra con mayor porcentaje de almidón presentó mayor resistencia. En cuanto a propiedades funcionales la fibra con aglutinante tuvo un 23% menos capacidad de retención de agua y un 43.6% menos en aceite lo cual favorece el moldeo del envase, así como la adición del aceite esencial de orégano. Posteriormente, se determinó mediante prueba *in vitro* la capacidad antifúngica del aceite de orégano añadida a la fibra proponiendo tres diferentes concentraciones (1130, 2260, 3400) µg/mL, tomando como referencia resultados bibliográficos y la densidad del aceite empleado. Por último, se diseñó el prototipo de envase para jitomate *cherry* en donde las



tres concentraciones tuvieron el mismo efecto inhibitorio ante la presencia de *Botrytis cinerea*. Por lo que se concluye que el desarrollo de un envase activo elaborado a partir de desechos de la piña es una opción tecnológicamente viable.



## 1 INTRODUCCIÓN

---

El deficiente manejo y disposición que se hace de los desechos agroindustriales está conduciendo a tomar precauciones ante los problemas ambientales que va en aumento, debido a esta problemática de residuos generados al año se ha despertado cierto interés para el aprovechamiento de residuos para la obtención de nuevos productos de valor agregado (Saval, 2012).

En México los residuos orgánicos de frutas y vegetales provenientes de la industria alimentaria, agroindustria y doméstico, así como basura de comida y desechos de jardinería ocupan un 51% total de los residuos sólidos municipales generados anualmente (Araya, 1998; Semarnat, 2005). Los principales desechos agrícolas provienen de la industrialización de productos tradicionales como café y banano; y los no tradicionales como la piña y la naranja (Barquero, 2004). Por otra parte, en las industrias jugueras, en donde frutas como la naranja y la piña, tienen gran influencia en el mercado, se generan grandes cantidades de desechos, entre los que se encuentran las cáscaras, las cuales se desaprovechan sin darse cuenta del valor que éstas tienen y además que el uso de este subproducto agrícola se limita a la alimentación de ganado bovino, abonos, obtención de biogás, en la extracción de aceites esenciales, pectinas, flavonoides, entre otros (Yepes *et al.*, 2008).

De acuerdo a datos de SAGARPA (2017b) en 2016 México produjo 876 mil toneladas de piña teniendo una producción total con un valor comercial de alrededor de dos mil 899 millones de pesos y un consumo per cápita de 6.3 kilogramos. En cuanto a los desechos industrializados de la piña, estos constituyen hasta el 65% del fruto. Además de la corona, el bagazo y las cáscaras, se genera el rastrojo, el cual corresponde al material vegetal de la planta que se elimina después del ciclo comercial (Araya, 1998).

De estos residuos se pueden extraer fibras que están compuestas de lignina, hemicelulosa y celulosa. La lignocelulosa es el principal componente de la pared celular vegetal, esta biomasa producida por la fotosíntesis es la fuente de carbono renovable más prometedora para solucionar los problemas actuales de energía y materias primas (Álvarez *et al.*, 2012).

Una de las aplicaciones industriales de las fibras lignocelulósicas debido a sus propiedades mecánicas, es su empleo para reforzar materiales sintéticos de uso industrial (González *et al.*, 2015). Debido al potencial que presenta como refuerzo en el diseño, procesamiento y producción de biocompuestos, así como de papel, y desde luego por otra parte está el interés de los fabricantes de envases por reducir su huella ecológica en el procesamiento, lo cual ha guiado al uso de envases con materias primas renovables (Querol, 2015).





También, recientemente se ha generado una serie de cambios en la preferencia de los consumidores relacionado con la manera en que los alimentos son producidos y comercializados. Creando así la necesidad de desarrollar envases que brinden protección al alimento durante su transporte y almacenamiento, además de proporcionar funciones que contribuyan a prolongar la vida de anaquel. El envasado activo, es ejemplo de la técnica que pretende llevar a cabo interacciones favorables entre el envase y el producto, con la intención de mejorar su calidad y aceptabilidad (López *et al.*, 2010).

Por lo mencionado anteriormente, el objetivo de este trabajo es el aprovechamiento de los residuos de la piña para elaborar un envase activo a partir de las fibras lignocelulósicos de esta fruta, aplicándolo en la conservación de jitomate fresco.



## 2 ANTECEDENTES

---

### 2.1 LA AGROINDUSTRIA

El área de la agricultura, así como la de la industria han sido consideradas convencionalmente como sectores separados debido a sus características específicas como por su función en el crecimiento económico. Considerándose a la agricultura como el elemento característico de la primera etapa del desarrollo, por otro lado, se ha utilizado el grado de industrialización como el indicador más pertinente del avance de un país en la vía de desarrollo. Sin embargo, la industrialización de la agricultura y el desarrollo de agroindustrias son, en efecto, un proceso común que está generando un tipo completamente nuevo de sector industrial (FAO, 1997).

Por lo anterior, entre los diferentes enfoques que existen para definir a la “agroindustria”; se dice que es una “actividad que integra la producción primaria agrícola, pecuaria o forestal, el proceso de beneficio o transformación, así como la comercialización del producto, sin dejar de lado los aspectos administrativos, de mercado y finanzas” (Saval, 2012).

La agroindustria entonces, es la rama de la industria que se dedica a la transformación de las materias primas de origen agrícola, pecuario y forestal para dar un valor agregado a los productos, unos ejemplos son: los dulces, pan, cerveza, tequila, chocolate, lácteos, cereales, azúcar, atún, frutas y verduras en conserva, jugos de frutas y vegetales, carnes, entre muchos más (SAGARPA, 2016b).

Esta rama de industrias se clasifica en dos categorías, alimentaria y no alimentaria, en la primera tiene por objetivo la transformación de los productos de la agricultura, ganadera, riqueza forestal y pesca, en productos de elaboración para el consumo alimenticio. La rama no alimentaria es la encargada de la parte de transformación de estos productos que sirven como materias primas, utilizando sus recursos naturales para realizar diferentes productos industriales (FIRCO, 2017).

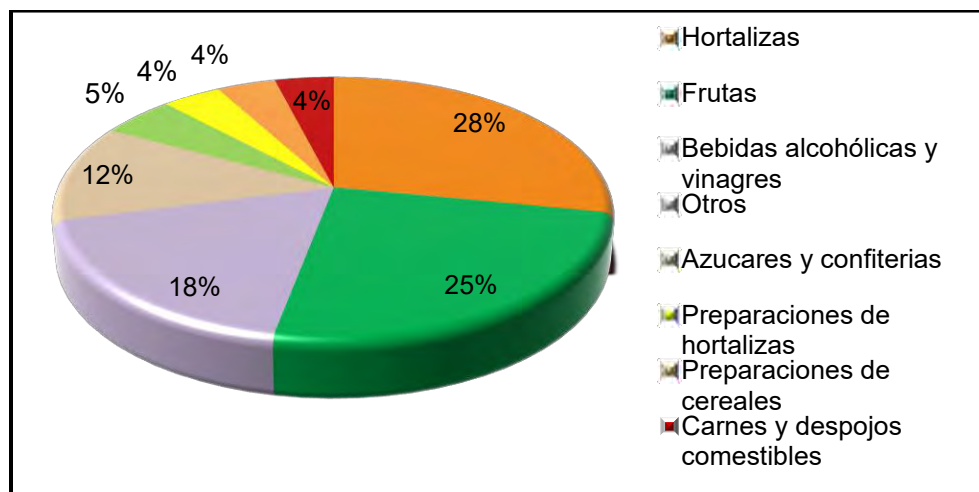
Dentro de muchos beneficios que brinda la agroindustria a los consumidores, destaca que prolonga la vida útil de los productos ya que facilita la durabilidad y disponibilidad del producto de una época a otra, sobre todo aquellos que son más perecederos, y les permite ser distribuidos y comercializados de una manera más adecuada a nivel nacional e internacional, genera nuevas fuentes de empleo y contribuye al desarrollo económico (SAGARPA, 2016b; FIRCO, 2017).



### 2.1.1. Agroindustria en México

La historia de la agroindustria en México se traslada hasta la época colonial, con la producción de harina de trigo, azúcar, vinos, cueros, colorantes y textiles. Actualmente, México se lidera en el sector agroindustrial por comprender la producción, industrialización y comercialización de productos agropecuarios, forestales y biológicos; aportando así a los productos agropecuarios generándoles durabilidad y disponibilidad principalmente para los que son más perecederos. Teniendo como resultado un proceso impecable en la selección de calidad y clasificación (FIRCO, 2017).

En la figura 1 se puede apreciar la participación porcentual de los diferentes grupos de productos agroalimentarios y pesqueros exportados durante el periodo que comprenden los meses de enero a junio del 2016 de México a los EE. UU. Los principales productos agroalimentarios exportados fueron las hortalizas, frutas y bebidas alcohólicas y vinagres, los cuales representaron el 28, 25 y 18%, respectivamente del valor total de las exportaciones (SAGARPA, 2016c).



**Figura 1.** Principales exportaciones de productos agroalimentarios y pesqueros de México a los EE. UU.

**Fuente:** SAGARPA (2016c).

La agroindustria, como eje que mueve las redes de valor, ha desempeñado un papel importante en la economía mexicana, pues en general es uno de los aspectos más importantes para el desarrollo del país (FIRCO, 2017). No obstante, como parte de este sector en México se generan anualmente cerca de 76 millones de toneladas de residuos orgánicos de frutas (limón, peras, manzana, papaya, piña, plátano, naranja) y vegetales (maíz, caña de azúcar, frijol, col, zanahoria, tomate, lechuga, papa) (González *et al.*, 2015).



### 2.1.2. La agroindustria y el medio ambiente

Pese a su importante contribución al desarrollo agrícola y general, esta rama de la industria puede tener varios efectos colaterales perjudiciales para el medio ambiente (FAO, 1997).

Como se mencionó anteriormente, existen varias actividades agroindustriales que generan residuos sólidos, líquidos y gaseosos; bien sea a nivel primario, la agricultura, o producción pecuaria o en procesos de transformación con materia prima de origen biológico. Esto ha motivado a diferentes instituciones a adelantar proyectos o investigaciones con tendencia a propiciar la utilización de los mismos generando diferentes alternativas de aprovechamiento que han sido ya estudiadas e implementadas (Cury *et al.*, 2017). Debido a la problemática ambiental por residuos generados al año se ha despertado cierto interés para el aprovechamiento de los desechos considerados como residuos para la obtención de productos de valor agregado (Saval, 2012).

En conclusión, la incidencia de los residuos y contaminación agroindustrial depende de gran medida de la eficiencia del marco legislativo y de medidas reglamentarias que se adopten para proteger el medio ambiente (FAO, 1997).

Considerando también que los principales desechos agrícolas provienen de la industrialización de productos tradicionales como café y banano; y los no tradicionales como la naranja y la piña (Barquero, 2004).

### 2.1.3. Industrialización de la piña

La industrialización de la piña es la que mayor puede desarrollarse para ser transformada en un producto procesado. Para su consumo en fresco es considerada como una buena alternativa, por ofrecer un sabor exótico y aportar una cantidad considerable de nutrientes y fibra. Además de ser un cultivo con gran capacidad de adaptabilidad. Gracias a estas características la piña es una de las frutas tropicales más consumidas en distintas regiones. La principal variedad utilizada en el proceso productivo es *Cayena lisa*. Como se mencionó anteriormente, esta fruta se puede consumir fresca o en conserva y existe toda una agroindustria alrededor de ella elaborando diversos subproductos como jugos, néctares, vinagres, jaleas, licores, mermeladas, dulces, helados, piña en almíbar, en ensalada de fruta, etc. (Cerrato, 2013).



### 2.1.4. Aprovechamiento de residuos de piña

De los desechos vegetales como las hojas tallos y cáscaras de la fruta se pueden aprovechar para la alimentación animal o fabricación de abonos orgánicos (Cerrato, 2013).

Existen diversas investigaciones en las que se ha estudiado la obtención de celulosa y bioetanol a partir del bagazo de piña, en la cual presentan producciones de etanol del 35% con bagazo y del 57% con celulosa (Antonio *et al.*, 2011). También García *et al.*, (2013) presentaron la preparación de carbonos adicionados con nano partículas utilizando cascaras de piña tratadas con sales de hierro, obteniendo materiales carbonosos.

La cáscara y el corazón ha sido empleado para hacer vinagre, alcohol y alimento para mascotas (SAGARPA, 2016a). Por otro lado, estudios realizados por Quezada *et al.*, (2005) mencionan el aprovechamiento de fibras del rastrojo de piña para reforzar resinas poliéster, observando mejoras en la resistencia a la ruptura por tensión.

## 2.2 GENERALIDADES DE LA PIÑA

La piña es una fruta tropical de la familia de las *bromeliaceae*, de división *Magnoliophyta*, clase *Liliopsida*, de orden *Broneliales*, de género *Ananas Mill* de la especie *comosus (L)* (Conabio, 2017). La fruta proviene de América del sur principalmente de países como Brasil, Argentina y Paraguay, de donde se expandió a otros países como México, donde se cultiva principalmente para el consumo nacional y exportación (Hidroponía, 2017).

Esta fruta es la planta (Figura 2) más conocida de las 2 700 especies agrupadas en 56 géneros de la familia *Bromeliaceae*, es cultivada para alimento, no presenta semilla es una especie que se propaga vegetativamente por brotes laterales en el enraizado de las hojas que se encuentran por arriba del fruto. Su fruto es dulce y jugoso considerado como una infrutescencia estéril denominado baya la cual puede llegar a pesar hasta 2 kg. La piña produce *bromelina*, enzima proteolítica que es utilizada en la industria alimenticia y farmacéutica (García y Serrano, 2005).

La piña es un fruto no climatérico, es decir, no continúa madurando después de la cosecha, sin embargo, su color verde puede cambiar a un color más claro o amarillento debido a que la clorofila continúa degradándose (Arias y Toledo, 2000).

La variedad de piña más conocida es la *Smooth Cayenne*, pero también podemos encontrar: *Queen*, *Red Spanish*; *Pernambuco*, Enanas y Amazonas (SAGARPA, 2016a).

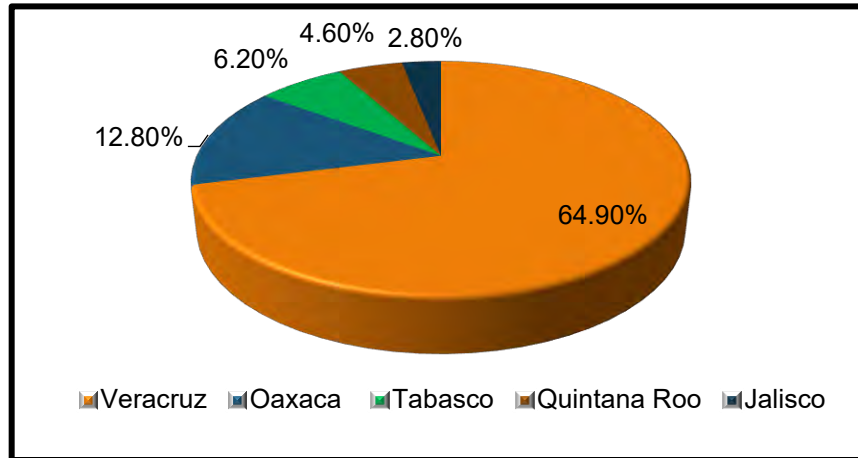


**Figura 2.** Infrutescencia de *Ananas comosus*  
**Fuente:** García y Serrano (2005).

### 2.2.1 Importancia económica

El mercado de la piña está experimentando una gran agitación. Debido a que la producción en Costa Rica es mucho menor, los precios en Europa y Estados Unidos se han disparado. En todos estos mercados, se han registrado precios notablemente más altos. En algunos casos, incluso se han duplicado. No obstante, el mercado sigue siendo bueno. La demanda es más que suficiente para el pequeño volumen de piñas disponibles. En Latinoamérica, muchos países ven potencial en esta buena situación del mercado. México, Panamá, Perú, República Dominicana o Colombia han invertido en el cultivo de piña y los productores actuales se están beneficiando de los altos precios (FreshPlaza, 2017).

En México, se cultiva principalmente para el consumo nacional y exportación con una producción anual de más de 875 mil toneladas anuales, cantidad que coloca al país entre los 10 primeros lugares de los productores más importantes a nivel mundial y en el noveno puesto como exportador. En la figura 3, se muestra los cinco estados principales de la República en los que se concentra el cultivo (SAGARPA, 2017b).



**Figura 3.** Principales estados productores de piña a nivel nacional  
**Fuente:** SAGARPA (2017b).

### 2.2.2 Composición química

El consumo de esta fruta es por demás benéfico pues apoya el sistema inmunológico, fortalece huesos, incluso ayuda a aliviar los síntomas del resfriado común. Además, contiene vitamina A, del complejo B (cantidades pequeñas) y C; minerales como hierro, magnesio, yodo, zinc y manganeso como se muestra en la Tabla1. Asimismo, contiene una enzima llamada bromelina, sustancia muy valorada por su acción digestiva, así como porque elimina parásitos intestinales (SAGARPA, 2016a). En la piña se puede distinguir tres partes. Una comestible, que sería lo que se denomina como pulpa, y dos no comestibles siendo la cascara y la corona.

**Tabla 1.** Composición nutrimental de la piña por 100 g de porción comestible

| Compuesto                  | Cantidad | Compuesto               | Cantidad  |
|----------------------------|----------|-------------------------|-----------|
| <b>Humedad (%)</b>         | 85.1-90  | <b>Fósforo (µg)</b>     | 7-12      |
| <b>Carbohidratos (%)</b>   | 8.4-14   | <b>Hierro (µg)</b>      | 0.4-0.5   |
| <b>Proteínas (%)</b>       | 0.4-0.6  | <b>Vitamina A (µg)</b>  | 0-12      |
| <b>Grasa (%)</b>           | 0.1-0.4  | <b>B- caroteno (µg)</b> | 0-60      |
| <b>Fibra dietética (%)</b> | 0.4-1.2  | <b>Tiamina (mg)</b>     | 0.04-0.10 |
| <b>Cenizas (%)</b>         | 0.3-0.5  | <b>Riboflavina (mg)</b> | 0.03-0.05 |
| <b>Potasio (µg)</b>        | 0-113    | <b>Niacina (mg)</b>     | 0.2-0.4   |
| <b>Calcio (µg)</b>         | 18-57    | <b>Vitamina C (mg)</b>  | 0-15      |

**Fuente:** Arias y Toledo (2000).



Por otra parte, la cáscara y la corona están constituidas principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina (Tabla 2), las cuales la hacen no comestibles para los humanos, pero potencialmente aprovechables para obtener otros productos de valor agregado.

**Tabla 2. Composición química de la cáscara y corona de piña.**

| Parámetro                   | Cáscara<br>% en base seca | Corona<br>% en base seca |
|-----------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Humedad                     | 6.5                       | NR                       |
| Celulosa                    | 71.5                      | 56-62                    |
| Hemicelulosa                | 14.24                     | 16-19                    |
| Pectina                     | NR                        | 2-3                      |
| Lignina                     | 7.2                       | 9-13                     |
| Materiales solubles en agua | 2.1                       | 1.2                      |
| Grasa y cera                | NR                        | 4-7                      |
| Cenizas                     | 0.3                       | 2-3                      |

NR: no reportado

Fuente: Hernández (2008).

A este conjunto de tres compuestos, se le atribuye el nombre de material lignocelulósico, la cual es la materia orgánica más abundante en la tierra. Sus fuentes son los bosques, cultivos agrícolas, residuos de cosechas y otros residuos industriales como residuos de la industria de la madera y los tableros, residuos de la industria del papel y el papel reciclado (Abril y Navarro, 2012).

### 2.2.2.1 Estructura Lignocelulósica

Las fibras vegetales pueden ser consideradas como los compuestos de origen natural, refiriéndose fundamentalmente a los compuestos fibrosos que se encuentran en la pared de la célula vegetal; tales como: la celulosa, la hemicelulosa y la lignina (López *et al.*, 2016).

La lignocelulosa es el principal componente de la pared celular de las plantas, esta biomasa producida por la fotosíntesis es la fuente de carbono renovable más prometedora para solucionar problemas de energía y materias primas (Álvarez *et al.*, 2012).

Los materiales lignocelulósicos tienen la ventaja de ser biodegradables, y renovables, siendo el resultado del proceso de fotosíntesis de los vegetales mediante la energía solar (Abril y Navarro, 2012).

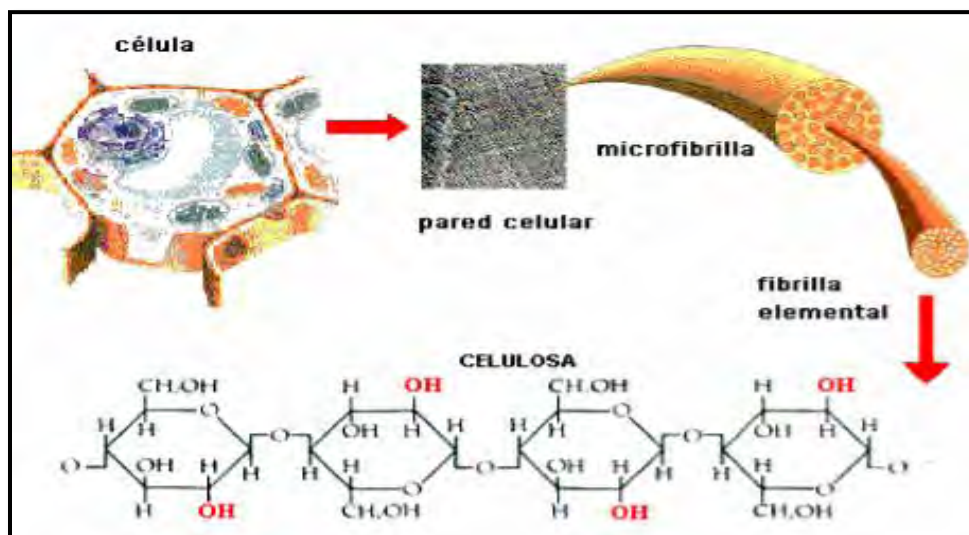




▪ **Celulosa**

La celulosa (Figura 4) es el compuesto orgánico más abundante en la Tierra, y por tanto el carbohidrato más abundante. La razón para ello es que es el componente mayoritario de las paredes celulares de las plantas superiores. Es un homopolímero de alto peso molecular, lineal e insoluble, formado por la unión de unidades anhidroglucosa, en cadenas de glucano de unidades β-D-glucopiranosas unidas por enlaces glicosídicos (Fennema, 1993; Dey y Brinson, 1984).

Debido a este tipo de unión se ha establecido a la celobiosa como la unidad repetida en las cadenas de celulosa. El grado de polimerización (GP) de la celulosa nativa está en el rango de 7,000-15,000 (Dey y Brinson, 1984).



**Figura 4.** Composición de la pared celular.  
**Fuente:** Moore *et al.* (1995).

La estereoquímica de las unidades de glucosa en las cadenas de celulosa, con cada unidad de glucosa forman un ángulo de 180° con la unidad vecina, permitiendo de esta manera la formación de enlaces de hidrógeno por residuo entre cada una de las cadenas adyacentes. Esta gran red de enlaces de hidrógeno, es la razón fundamental de la resistencia de la celulosa. Al asociarse las cadenas de celulosa, de forma paralela, le confieren una determinada cristalinidad (Cowling y Kirk, 1976).

Por la formación de enlaces de puentes de hidrógeno intermoleculares y extramoleculares entre los grupos OH<sup>-</sup> de una misma cadena y cadenas adyacentes, las cadenas de celulosa tienden a ordenarse en planos paralelos y formar una estructura cristalina supramolecular.



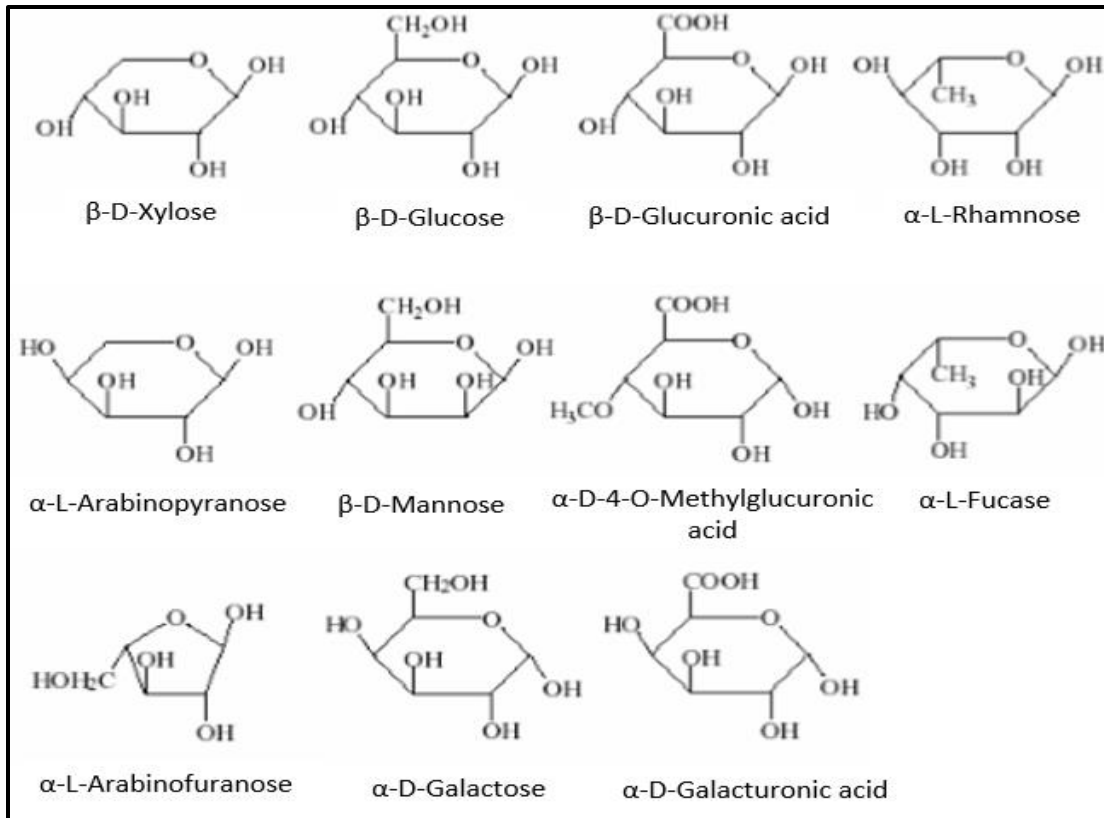
De esta manera se forman conjuntos de cadenas lineales en la dirección longitudinal, que tienden a formar microfibrillas, que se orientan dentro de la estructura de la pared celular (Dey y Brinson, 1984).

Por otro lado, la celulosa se encuentra presente en las frutas, las hortalizas y los cereales, como constituyente estructural de las paredes celulares. Además de que también la producen ciertos microorganismos (*Acetobacter xylinum*) que genera celulosa en condiciones de fermentación agitada. Este polisacárido y sus formas modificadas se identifican con la fibra dietética, puesto que no contribuyen energéticamente a su paso por el tubo digestivo humano. Comercialmente, este polisacárido se obtiene de la madera y del algodón, siendo esta última la fuente más pura (Badui, 2006).

### ■ Hemicelulosa

Las hemicelulosas son un polisacárido de origen vegetal el cual puede ser extraído a partir de soluciones ligeramente alcalinas; están constituidas por polímeros de unidades de anhidroazúcares unidas por enlaces glucosídicos, formadas por más de un tipo de azúcar (hexosas o pentosas), y además presentan ramificaciones y sustituciones. Su papel es brindar la unión entre la lignina y la celulosa. En cuanto a su estado natural existe de forma amorfa con un grado de polimerización (G. P) que no excede de 200 (Oliva, 2003).

Se conocen diferentes tipos de hemicelulosas en las plantas; xilanos, mananos, glucanos, galactanos y galacturanos como se muestra en la Figura 5 (Wilkie, 1979). Los xilanos y mananos, son los grupos de hemicelulosas con mayor importancia debido a su presencia en los materiales lignocelulósicos.



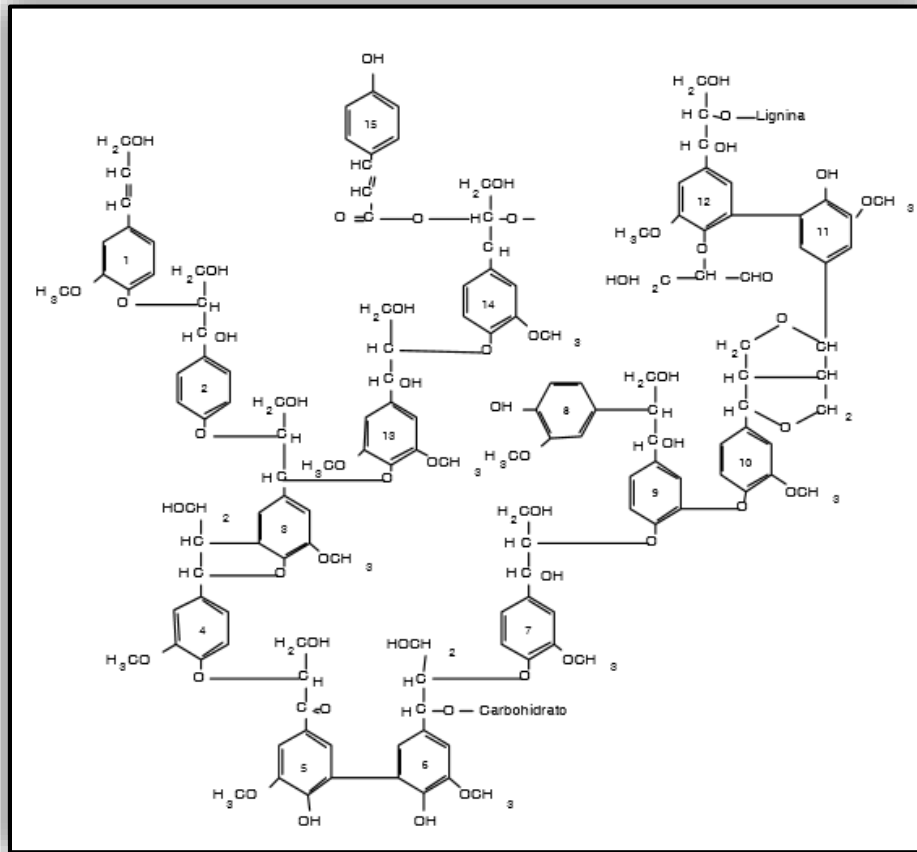
**Figura 5.** Unidades de azúcares presentes en las hemicelulosas  
**Fuente:** Abril y Navarro (2012).

▪ **Lignina**

La lignina (Figura 6) por su parte, se trata de la tercera fracción mayoritaria de la biomasa lignocelulósica, es un polímero tridimensional amorfo formado por la polimerización deshidrogenativa de unidades de fenilpropano ligadas por diferentes tipos de enlaces que se alternan de manera desordenada (Oliva, 2003).

Es entonces, la lignina el componente no carbohidrático más importante presente en la pared celular de la planta madura. Se considera que la lignina cumple dos funciones importantes en los vegetales: dar resistencia y servir de pegamento a la pared celular y aportar resistencia al ataque microbiano (Theander y Aman, 1984).

Las ligninas se clasifican de acuerdo a las unidades monoméricas que las constituyen en estructuras del tipo p-hidroxifenil, guayacil y siringil (Abril y Navarro, 2012).



**Figura 6.** Estructura de la lignina  
**Fuente:** Oliva (2003).

El grupo de ligninas con mayor complejo es la que se encuentra presente en las plantas anuales. Las mismas contienen los tres residuos aromáticos en cantidades significativas. Estos tipos de lignina son muy diferentes de las ligninas originarias de la madera, ya que poseen ácidos fenólicos, ácidos p-coumárico y ferúlico y amino ácidos estrechamente asociados con el núcleo de la matriz de lignina (Abril y Navarro, 2012).

### 2.2.2.1.1 Principales usos de materiales Lignocelulósicos

Actualmente se están buscando nuevas alternativas energéticas a partir de biomasa, recursos renovables y desechos agroindustriales los cuales contienen una cantidad considerable de celulosa que puede ser separada de otras sustancias, entre las cuales se encuentran principalmente la lignina y la hemicelulosa.



Representando una fuente de biomasa aprovechable, siendo una valiosa alternativa comercial para las agroindustrias, debido a las oportunidades de obtener varios productos de valor agregado, algunos de estos productos se muestran en la Tabla 3.

**Tabla 3. Productos de valor agregado obtenidos a partir de desechos agroindustriales**

| Desarrollo de producto   | Referencia                    |
|--|-------------------------------|
| Refuerzo en el diseño, procesamiento y producción de biocompuestos | López, <i>et al.</i> (2016)   |
| Elaboración de papel, cartón.                                      | López, <i>et al.</i> (2016)   |
| Obtención de celulosa.   | Antonio, <i>et al.</i> (2011) |
| Producción de bioetanol  | Antonio, <i>et al.</i> (2011) |
| Extracción de fibra dietética                                      | Rasgado (2015)                |

Como se muestra en la tabla 3, una de las aplicaciones industriales de las fibras lignocelulósicas debido a sus propiedades mecánicas, es su empleo para reforzar materiales sintéticos de uso industrial. Por otra parte, esta el interés de los fabricantes de envases por reducir su huella ecológica en el procesamiento, ha guiado al uso de envases con materias primas renovables (Querol, 2015).

### 2.2.3 Envases

De acuerdo a la NOM-051-SCFI/SSA1-2010, se entiende por envase a cualquier recipiente, o envoltura en el cual está contenido el producto para su venta al consumidor.

Mientras que el embalaje; es el material que envuelve, contiene y protege los productos preenvasados para efectos de su almacenamiento y transporte.

#### 2.2.3.1 Función y materiales

Los envases cumplen con dos funciones principalmente;

- Razón práctica: el producto debe protegerse en su recorrido desde el fabricante hasta el consumidor. El envasado asegura identificación, limpieza y, además, si es adecuado al producto, evita pérdidas por evaporación, derramamiento o deterioro. El envase es el único que asegura que el producto llegue con la calidad de origen ya que tiene como fin (INTI, 2012):



- ✓ Contener: Reduce al producto a un espacio determinado y a un volumen específico.
  - ✓ Preservar/Conservar: Otorga una barrera entre el producto y los agentes externos a él, logrando su permanencia por largo tiempo sin sufrir alteraciones en su composición química o estructura física.
  - ✓ Proteger: Cuida al consumidor y al medio ambiente del propio producto y, al mismo tiempo, aísla al producto de riesgos físicos y mecánicos durante el transporte.
  - ✓ Distribuir/Transportar: Permite que un producto sea trasladado fácilmente, impidiendo roturas y daños, y optimiza los volúmenes de carga y almacenamiento.
  - ✓ Dosificar: Da cuenta de las distintas presentaciones de comercialización ya que implica colocar un mismo producto en diferentes cantidades (INTI, 2012).
- b) Razón comunicativa: El envase puede convertirse en el único elemento diferenciador dentro de un conjunto de productos similares, ya que entra en contacto con el consumidor (antes que al propio producto). Es decir, el envase debe ser la mejor carta de presentación porque es el encargado de hablar de las cualidades del producto, de su elaboración y su fecha de vencimiento; se recomienda que tenga un logo que identifique el producto y al emprendedor. Esta razón se traduce en (INTI, 2012):
- ✓ Brindar información, sobre el contenido del envase antes de acceder al producto (tipo, cantidad, calidad, información nutricional, del establecimiento donde fue elaborado, entre otros).
  - ✓ Presentar los productos a su eventual consumidor bajo un aspecto lo más atractivo posible y en un volumen que sea conveniente para la unidad de consumo; se deben adecuar las dimensiones y formas para que el envase se adapte correctamente en los espacios de exposición.

Una de las maneras de clasificar a los envases puede ser por su relación con el producto (Tabla 4)



**Tabla 4. Clasificación de envases por su relación con el producto**




| Tipo de envase    | Características   | Ejemplo  |
|-------------------|---|--|
| Envase primario   | Es el que está en contacto directo con el producto, casi siempre permanece en él hasta su consumo. Las características del producto deben de aparecer en el envase  |   |
| Envase secundario | Contiene el o los envases primarios, más todos los accesorios de embalaje (ejemplo, separadores tales como cuadrículas de cartón, rejillas de plástico, etc.). En ocasiones es utilizado para exhibir el producto; juega un papel importante en la protección y formación de sus características. Normalmente es desechado después de adquirir el producto. |   |
| Envase terciario  | Es el utilizado para agrupar, manipular, almacenar y trasladar los productos. Contiene tanto envases primarios como secundarios.  |  |

**Fuente:** Elaborado a partir de información de INTI (2012).

También los envases se clasifican por el tiempo de vida útil (Tabla 5), uno de los factores de esta clasificación es la correcta selección de la barrera de los materiales de envase (AINIA, 2013).



**Tabla 5. Clasificación de envases por su vida útil**

| Tipo de envase | Características   | Imagen   |
|----------------|---|--|
| Retornables    | Son creados para ser devueltos al envasador, para que sean reacondicionados, limpiados adecuadamente y vueltos a llenar con el mismo producto.  |   |
| No retornables | Están pensados para un solo uso, y ser desechados luego de su utilización.  |   |
| Reciclables    | Son diseñados para ser reprocesados luego de su uso, obteniendo un producto similar o diferente al original. Hay una reutilización de los materiales que componen el envase. La lata, el papel, el plástico, son alguno de los materiales para la elaboración de envases, en los cuales aparecen los símbolos que identifican internacionalmente su proceso de reciclaje. |  |

**Fuente:** Elaborado a partir de información de INTI (2012).

En cuanto a materiales de envasado se refiere, se encuentran principalmente el papel y el cartón, son las mejores fuentes de rigidez. El vidrio tiene la ventaja de no alterar los alimentos, mientras que el metal aporta una mayor resistencia. Los plásticos proveen de formas rígidas y flexibles. El número de polímeros utilizados o utilizables para el envasado de los alimentos es ya muy importante y cada año que pasa aparecen nuevas moléculas que podrían ser utilizadas en este campo. Los plásticos más importantes empleados en el envasado de alimentos comprenden: celulosa regenerada, acetato de celulosa, poliamida, hidrocioruro de caucho, resina de poliéster, resina de polietileno, resina de polipropileno, resina de poliestireno, cloruro de polivinilideno y cloruro de vinilo (Potter, 1999).





### 2.2.3.2 Sistema tradicional de envasado

El envasado ha sido definido como un sistema coordinado de preparación de productos para el transporte, la distribución, el almacenaje, la venta al detalle y el uso oficial y como un medio que asegura el suministro hasta el último consumidor en condiciones adecuadas a un costo global mínimo (Paine y Paine, 1994).

En este tipo de envasado, hay una barrera pasiva frente al medio exterior para retrasar su efecto adverso: contener y proteger el alimento. Sin embargo, existen gran cantidad de factores internos y externos que alteran la calidad de los alimentos envasados (Fernández, 2012).

Los sistemas tradicionales de envasado están alcanzando su límite, y cada vez se demandan más y mejores envases de uso alimenticio. En las últimas décadas se han desarrollado numerosas innovaciones con el fin de conseguir formas más naturales de conservación de los alimentos y de controlar el propio envasado y el almacenamiento para asegurar una buena calidad del producto y la seguridad para el consumidor. Entre los desarrollos más importantes se encuentran las técnicas de envasado inteligente y activo (López *et al.*, 2010).

### 2.2.4 Envases activos

El envase activo está diseñado para interactuar de una forma activa con su contenido, y esta interacción implica una transferencia de masa, pudiendo incorporar sustancias al contenido del envase o absorbiendo componentes desde el contenido (López *et al.*, 2010).

Los materiales y objetos activos en los envases, están destinados a prolongar la vida útil o a mantener o mejorar el estado del alimento envasado. Diseñados para incorporar intencionadamente componentes que (Fernández, 2012):

- ✓ Liberan sustancias en el alimento envasado o en su entorno.
- ✓ Absorben sustancias del alimento o de su entorno.

Actúan para corregir los defectos propios de un envase pasivo (Fernández, 2012).

Los envases activos incluyen sistemas que absorben/eliminan o regulan compuestos como oxígeno, etileno, humedad o compuestos que pueden causar malos olores o sabores en los alimentos. Otros sistemas liberan agentes antimicrobianos, antioxidantes, saborizantes, aromatizantes o colorantes tal y como se muestra en la Tabla 6 (López *et al.*, 2010).



**Tabla 6. Sistemas emisores presentes en envases activos**

| Sistemas emisores  | Ejemplo   |
|--------------------|---|
| Antioxidantes      | Flavonoides, tocoferoles  |
| Antimicrobianos    | Aceites esenciales, iones metálicos (plata)                                     |
| Dióxido de carbono | Carbonato de calcio, carbonato de hierro, bicarbonato sódico/ácido ascórbico... |
| Vapor              | Almohadillas, gel de superabsorbente hidratado                                  |
| Aditivos           | Ácidos orgánicos, enzimas, vitaminas, aromas, colorantes                        |

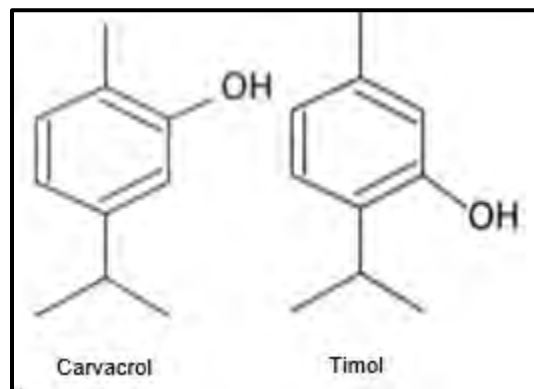
**Fuente:** Elaborado a partir de información de Fernández (2012).

La inocuidad que los alimentos requiere se puede incrementar de cierta manera con el uso de compuestos llamados antimicrobianos tales como los aceites esenciales y los iones metálicos, ya que estos compuestos al estar en contacto con los alimentos previenen el crecimiento de microorganismos patógenos (Davidson, 1997).

### 2.3 ACEITE ESENCIAL DE ORÉGANO

Recientemente el uso de aceites esenciales y extractos vegetales como bactericidas y fungicidas ha cobrado mayor importancia (Gamboa *et al.*, 2002). Paster *et al.* (1990, 1995) reportaron el efecto inhibitorio del aceite esencial de orégano (*Origanum vulgare L.*) sobre el desarrollo de *Aspergillus flavus*, *Aspergillus ochraceus* y *Aspergillus niger* en pruebas *in vitro*.

Como se puede observar en la Tabla 7, los componentes principales del aceite esencial de orégano son los fenoles carvacrol y timol (Figura 7) y los monoterpenos hidrocarburos  $\gamma$ -terpineno y p-cimeno, los cuales son precursores biológicos de los dos principales; estos cuatro compuestos constituyen entre el 80 y 90% de la composición total del aceite esencial (Kokkini *et al.*, 1997).



**Figura 7.** Principales compuestos fenólicos del aceite esencial de orégano, timol y carvacrol

**Fuente:** López-Maló (2000).



**Tabla 7. Principales compuestos con actividad antimicrobiana en el aceite esencial de orégano (*Origanum vulgare*)**

| Compuesto   | Concentración (%) | Referencia   |
|-------------|-------------------|--|
| Carvacrol   | 0 – 80            | Baratta <i>et al.</i> (1998)<br>Russo <i>et al.</i> (1998) |
| Timol       | 0 – 64            | Belitz <i>et al.</i> (2004)<br>Burt (2004)                 |
| Y-Terpineno | 2 – 52            | Sánchez y López (2009)                                     |
| p-Cimeno    | 0 – 52            | Sánchez y López (2009)                                     |

Es importante conocer los mecanismos de acción antimicrobiana de los aceites esenciales y sus componentes, ya que de ello depende su adecuada y correcta aplicación en los alimentos (Sánchez y López, 2009). A pesar de las investigaciones realizadas, poco es conocido acerca de estos mecanismos. Estructuras como, pared y membrana celular de los microorganismos, enzimas metabólicas, síntesis de proteínas y sistema genético son los puntos de ataque que tienen los agentes antimicrobianos en las células (Davidson y Branen, 1993). Afectando con ello su permeabilidad, favoreciendo el flujo de protones, la alteración de los sistemas enzimáticos y la producción de energía (Denyer y Hugo, 1991; Helander *et al.*, 1998; Ultee *et al.*, 1999; Tassou *et al.*, 2000).

El uso potencial de los aceites esenciales como antimicrobianos naturales, aunado a la aceptación organoléptica, ha sido reportado en quesos, productos de panadería, carnes, pescados y mariscos, frutas y verduras con la finalidad de prolongar la vida de anaquel de los productos, reduciendo pérdidas postcosechas y así mismo pérdidas económicas (Smith-Palmer *et al.*, 2001; Quintavalla y Vicini, 2002; Roller y Seedhar, 2002; Guynot *et al.*, 2003).

Estos aceites pueden ser utilizados como compuestos antifúngicos que permitan alargar la vida útil de productos frescos como el jitomate que tiene grandes pérdidas postcosecha durante su comercialización.

## 2.4 JITOMATE

El tomate pertenece a la familia *Solanaceae*, cuyo nombre científico es *Solanum lycopersicum*, en la división *Magnoliophyta* (plantas con flores), clase *Magnoliopsida*, en el orden de *Solanale*, género *Solanum*, especie *lycopersicum L.* (USDA, 2012).



La planta (Figura 8) es de tipo arbustivo que se cultiva anualmente. Puede desarrollarse de forma rastrera, semierecta o erecta. El sistema radicular está conformado por la raíz principal que es corta y débil, las raíces secundarias (numerosas y potentes) y raíces adventicias. El tallo principal es de eje con un grosor que oscila entre 2-4 cm. en base, sobre el que se van desarrollando hojas, tallos secundarios e inflorescencias (Agroproyectos, 2004).



**Figura 8.** Planta *Solanum lycopersicum*  
**Fuente:** Shéng Fán (2010).

Las hojas están compuestas con folíolos peciolados, lobulados y con borde dentado, en número de 7 a 9 y recubiertos de pelos glandulares. Las hojas se disponen de forma alternativa sobre el tallo. La flor es perfecta, regular e hipógina y consta de 5 ó más sépalos, de igual número de pétalos de color amarillo (Agroproyectos ,2004).

En cuanto al fruto es una baya ovalada, redonda o periforme. Su tamaño va desde pequeños frutos del tamaño de una cereza, hasta enormes frutos de 750 g (Figura 9).

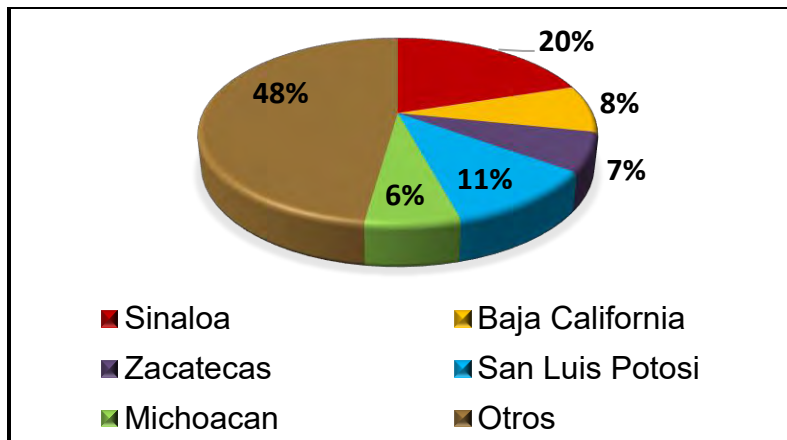
Por otra parte, el jitomate es originario de Sudamérica, de la región andina, particularmente de Perú, Ecuador, Bolivia y Chile. Sin embargo, su domesticación fue llevada a cabo en México. El nombre de jitomate procede del náhuatl *xictli*, ombligo y *tomatl*, tomate, que significa tomate de ombligo (SAGARPA, 2010).



**Figura 9.** Fruto *Solanum lycopersicum* L.  
**Fuente:** Agroproyectos (2004).

### 2.4.1 Importancia económica

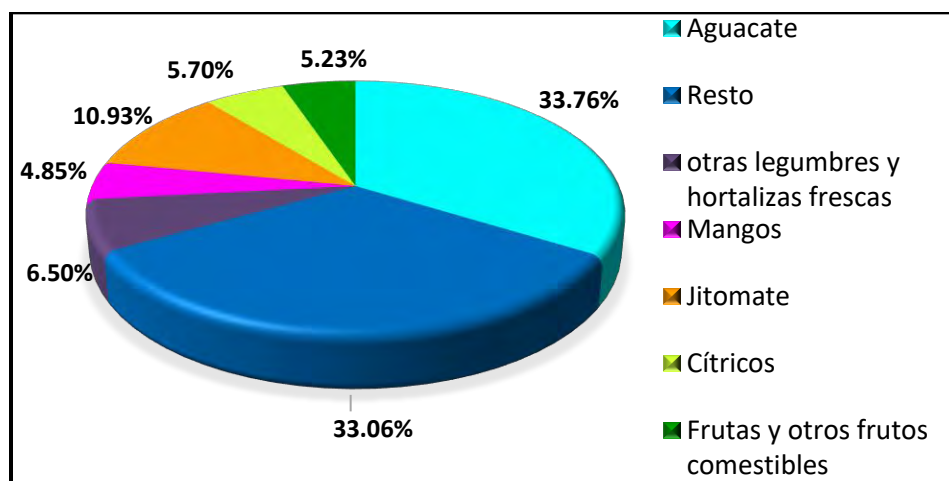
En cuanto a nivel nacional, el cultivo del jitomate es un rubro muy relevante para la economía de México, lo que significa que ha sido la especie con mayores cambios en la generación de nuevas variedades y métodos de cultivo, como solución la agricultura protegida reúne, las tecnologías de vanguardia entre las que destacan: invernaderos, hidroponía, control ambiental, y cultivo sin suelo. Entre 2015 y 2016 se reportó un crecimiento en la producción de jitomate cercano a las 200 mil toneladas lo que significa un aumento a tasa anual de 7.8 %. El jitomate es un cultivo que se desarrolla en todas las entidades de país; las cinco principales se muestran en la Figura 10, los cuales constituyen el 52 % del volumen nacional (SAGARPA, 2017a).



**Figura 10.** Principales estados productores de jitomate en México  
**Fuente:** SAGARPA (2017a).

El consumo per cápita nacional es de 13.8 kilogramos y en 2015 el valor de producción se estimó en 20 mil 640 millones de pesos (SAGARPA, 2017a).

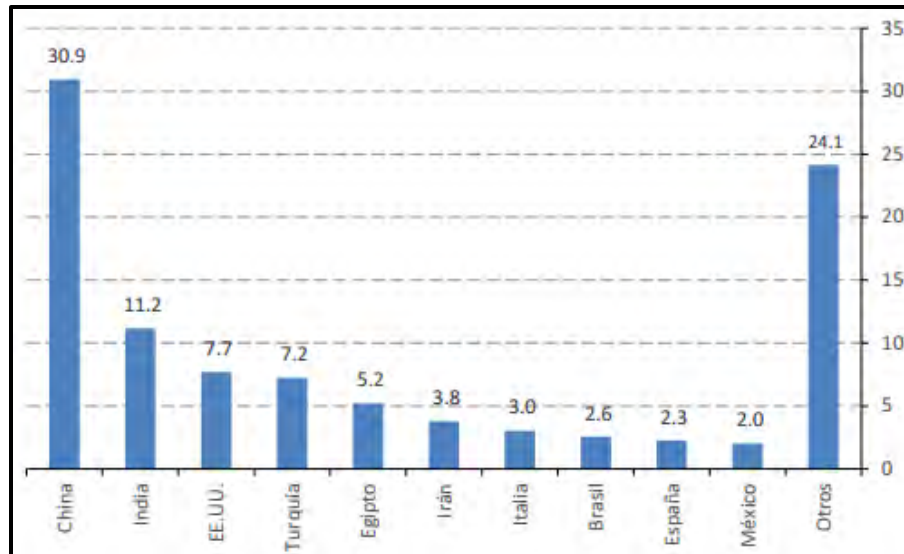
El jitomate mexicano es exportado principalmente a Estados Unidos, Canadá y Japón. Las exportaciones de tomate (jitomate) fresco o refrigerado producido en México aumentaron 22.7 % en los primeros cinco meses del año 2016 (Figura 11), en comparación con el mismo periodo del año previo, lo que convierte a este producto como el segundo de mayor importancia en términos de valor informó la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, 2016d).



**Figura 11.** Participación porcentual de las exportaciones por principales productos agropecuarios Julio 2017  
**Fuente:** INEGI (2017).



El jitomate (*Solanum lycopersicum L.*) es un producto agrícola con una alta importancia económica a nivel mundial (Figura 12) y tienen una gran popularidad por ser cultivado en todo el mundo (FAOSFAT, 2011).



**Figura 12.** Principales productores de tomate, 2013  
**Fuente:** FIRA (2016).

De acuerdo con la información disponible, la superficie cosechada de tomate a nivel mundial creció a una tasa promedio anual de 1.4% entre 2003 y 2013, para ubicarse en 4.69 millones de hectáreas. En tanto, en el mismo periodo los rendimientos promedio crecieron a un ritmo mayor, de 1.8 % anual, al ubicarse en 35 toneladas por hectárea (FIRA, 2016).

A nivel mundial, la mayor extensión dedicada a este cultivo se encuentra en China, país en el que un total de 1,005 millones de hectáreas se dedican a producir tomate, con una producción de 50,12 millones de toneladas. El segundo lugar por número de hectáreas es la India, donde este cultivo se dedican 870,000 hectáreas de las que obtienen 17,5 millones de toneladas. La tercera posición por la extensión dedicada a cultivar tomate es para Turquía, con 300, 000 hectáreas y una producción de 11, 35 millones de toneladas (Agriculturers, 2014).

### 2.4.2 Composición química

Los tomates son una buena fuente de moléculas bioactivas, especialmente carotenoides, de los cuales destaca el licopeno.



Esto les confiere no sólo un alto valor nutrimental, sino también propiedades benéficas para la salud por su gran actividad antioxidante, aportando un importante valor añadido desde el punto de vista del consumidor (Colle *et al.*, 2010).

El fruto con ombligo, como lo llamaban los antiguos tenochcas, es un alimento con pocas calorías; sus principales componentes son agua e hidratos de carbono (Tabla 8). Azúcares y ácidos orgánicos son causa del sabor característico y demandado por los consumidores mexicanos (SIAP, 2013).

**Tabla 8. Composición química de jitomate**

| Nutriente     | Porcentaje % |
|---------------|--------------|
| Agua          | 95           |
| Carbohidratos | 3.8          |
| Proteínas     | 1            |
| Grasas        | 0.2          |

**Fuente:** INFORURAL (2012).

Los tomates son una buena fuente de moléculas bioactivas, especialmente carotenoides, de los cuales destaca el licopeno, lo que les confiere no sólo un alto valor nutrimental, sino también propiedades benéficas para la salud por su gran actividad antioxidante, aportando un importante valor añadido desde el punto de vista del consumidor (Colle *et al.*, 2010).

Los minerales que contiene son calcio, fósforo. Potasio y sodio y las vitaminas que contiene son A, B1, B2, y C. La forma que debe consumirse de preferencia es sin cocción, porque conserva mejor sus propiedades, conservándose en condiciones de almacenamiento de 8-10°C, humedad relativa de 90-95%, durante lapso de tiempo de 8 a 10 días (SIAP, 2016; FAO, 2017b).





### 2.4.3 Variedades

Existen tres maneras de clasificar el tomate, según su forma, madurez y color. De acuerdo a su forma existen 5 tipos, del más pequeño al más grande: cherry, saladette, tipo pera, bola estándar y bola grande, tal como se muestra en la Tabla 9. Los tomates se clasifican por su grado de madurez, el número de días entre que es plantado y su cosecha. De madurez temprana se cosechan a los 55-65 días. De mediana maduración se consideran de 66 a 80 días, los de mayor maduración requieren más de 80 días. En cuanto a color, existen verde lima, rosa, amarillo, dorado, naranja y rojo (SAGARPA, 2010).





**Tabla 9. Principales tipos de tomate comercializado**

| Variedad         | Características   | Imagen  |
|------------------|---|---|
| Cherry (Cereza)  | Se produce en plantas de crecimiento indeterminado. Es pequeño y de piel delgada. Se agrupan en ramilletes de 15 a más de 50 frutos. Tiene sabor dulce. Existen de color rojo y amarillo. |  |
| Saladette (Roma) | Variedad italiana para conserva de tomate pelado, fruto pequeño bi o trilobular, forma de pera, tamaño homogéneo de los frutos.   |  |
| Pera             | Utilizado cada vez menos, en la industria conservera de tomate pelado.  |  |
| Beef             | Fruto de gran tamaño y baja consistencia. Producción precoz y agrupada.   |  |

**Fuente:** Elaborado a partir de información de SAGARPA (2010).

## 2.5 PÉRDIDAS POSTCOSECHA

Las pérdidas postcosecha en cultivos hortícolas están relacionadas principalmente con la manipulación desde la cosecha hasta el consumidor. Las pérdidas se originan por daños mecánicos, almacenamiento inadecuado, manipulación, transporte incorrecto y por el tiempo en vitrina, plagas y enfermedades (Ferreira *et al.*, 2005). En la Tabla 10, se muestran algunas patologías causantes de la pérdida postcosecha en hortalizas.



Tabla 10. Principales enfermedades del jitomate

| Enfermedad   | Daño al cultivo  | Método de control  |
|--|--|--|
| <p><b>Botrytis cinerea</b></p>      | <p>Produce lesiones pardas en hojas y flores. Los frutos se ponen blandos y grises.</p>  | <p>Aplicación de fungicidas, La enmienda de suelos ácidos para incrementar el contenido de calcio.</p>   |
| <p><b>Oidiopsis</b></p>             | <p>Manchas amarillas que secan las hojas y las desprenden.</p>   | <p>La solarización del suelo, así como su drenaje, evitando riegos pesados.</p>  |
| <p><b>Mildiu</b></p>               | <p>Aparecen manchas irregulares y aceitosas en las hojas, en el tallo son manchas pardas que lo circundan. También ataca los frutos inmaduros.</p>                                   | <p>Dar riegos ligeros para tener una humedad constante en el suelo, rotación de cultivos, esterilización de suelos.</p>  |
| <p><b>Fusarium oxysporum</b></p>  | <p>Comienza con la caída de las hojas superiores. Las inferiores amarillean y termina por morirse. En un corte transversal del tallo, se observa un oscurecimiento de los vasos.</p> | <p>Eliminación de las plantas enfermas y de los restos del cultivo; utilización de semillas certificadas y trasplantes sanos; utilización de variedades resistentes.</p> |

Fuente: SAGARPA (2010); INFOAGRO, (2017); INIFAP (2001).

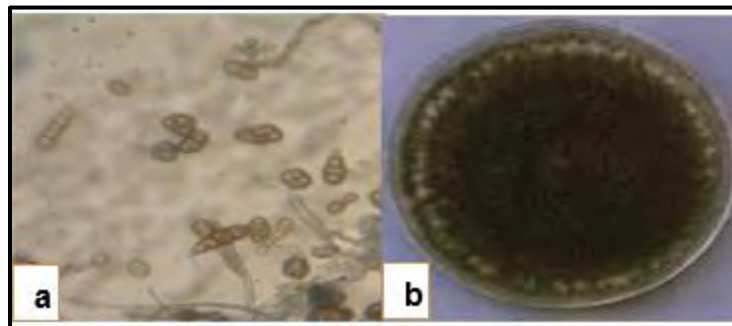
*Botrytis cinerea* es el agente causal de la “podredumbre gris”, infecta a más de 200 especies vegetales distintas, provocando serias pérdidas económicas antes y después de la recolección (Jarvis, 1977). El tomate, por ejemplo, es una de las hortalizas de más alto volumen de consumo en fresco; sus pérdidas en la comercialización suelen comenzar en la cosecha y van hasta la postcosecha a través del manejo (Casierra & Aguilar, 2008).



Dada la importancia económica de este cultivo, se hace más patente el esfuerzo tecnológico en cuanto a identificación y tratamiento de plagas y enfermedades, así como en la producción de semillas resistentes, nutrición y técnicas de cultivo adecuadas a la zona productora (Guía productores de hortalizas, 2006). Las modificaciones en la calidad de los tomates pueden ser de naturaleza mecánica, fisiológica o patológica (Mohsenin, 1986).

### ▪ *Botrytis cinerea*

Las estrategias de control utilizadas en su mayoría se han basado en el empleo de agentes químicos. Sin embargo, la utilización de fungicidas es menos recomendable y restringida debido a los problemas de contaminación ambiental que al aplicar se derivan además de la frecuente aparición de cepas del patógeno que se han vuelto resistentes a los fungicidas utilizados existen numerosos estudios realizados sobre la biología de *B. cinerea* (Figura 13) con respecto a las interacciones en que tiene participación, pero sobre todo en posibles métodos de control del patógeno (Coley *et al.*, 1980).



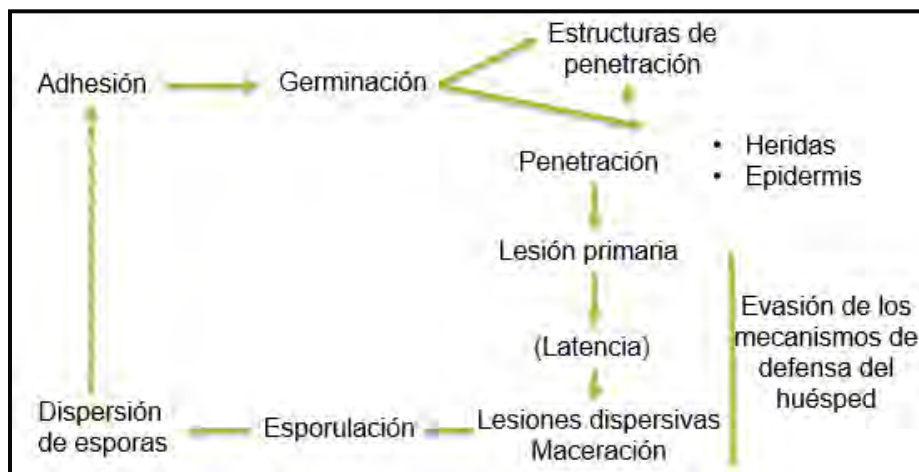
**Figura 13.** *Botrytis cinerea* a) esporas y conidios, b) vista macroscópica.

**Fuente:** Elaboración propia

En cuanto al mecanismo de infección de *B. cinerea* representada en la Figura 14., comienza con la producción de esporas sobre cualquier material vegetal las cuales pueden ser transportadas a grandes distancias por las corrientes de aire.



Cuando la espora está en la superficie del huésped da inicio el ciclo de infección comenzando con la adhesión y germinación. Su penetración en el tejido vegetal, puede ser directamente por la participación de actividades enzimáticas o mediante la intervención de diversos procesos mecánicos; el establecimiento del patógeno en la zona de penetración, determinando la muerte de las células adyacentes al punto de penetración y dando lugar a la formación de una lesión primaria como consecuencia de la expresión de los mecanismos de defensa de la planta; generalmente se da por inicio una fase de latencia en la cual el sistema de defensa de la planta parece tener bajo control al patógeno el cual está localizado en el área de necrosis correspondientes a las lesiones primarias; pasado un tiempo, en algunas de las lesiones primarias el patógeno puede vencer las barreras de defensivas de la planta e inicia su diseminación en el tejido vegetal circundante, determinando la colonización y maceración del tejido infectado en un lapso corto de tiempo. En la superficie del tejido infectado el patógeno produce una nueva generación de esporas que pueden dar inicio a un nuevo ciclo de infección (Benito *et al.*, 2000).



**Figura 14.** Mecanismo de infección de *Botrytis cinerea*.

**Fuente:** Benito *et al.* (2000).

Este patógeno puede atacar al cultivo en cualquier estado de desarrollo del mismo y también puede infectar cualquier parte de la planta. Considerando la alta incidencia del patógeno y las repercusiones económicas que ha tenido en varios cultivos de importancia tales como, vid, el tomate, la fresa, ornamentales, etc., (Coley *et al.*, 1980).



Debido a las grandes pérdidas postcosecha durante la comercialización de productos hortifrutícolas, y principalmente al desaprovechamiento de residuos vegetales después de su uso comercial, el presente trabajo intenta identificar alternativas tecnológicas para el aprovechamiento de residuos orgánicos aplicados en el control de enfermedades en el jitomate, producto altamente producido en México y muy susceptible al ataque de patógenos como *Botrytis cinerea*.



### 3 OBJETIVOS

---

#### Objetivo general

Desarrollar un envase activo a partir de fibras lignocelulosas presentes en los residuos de la piña, para la conservación de jitomate fresco variedad *cherry*.

#### Objetivos particulares

##### Objetivo particular 1.

Extraer fibras lignocelulósicas de los residuos de piña mediante un tratamiento alcalino/ácido (NaOH:10%, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.4%, NaOH:20%) determinando las propiedades físicas (color), funcionales (absorción de agua/aceite), mecánicas (dureza) y microbiológicas (coliformes totales, hongos y levaduras) para establecer las condiciones óptimas de proceso.

##### Objetivo particular 2.

Determinar la formulación del aglutinante a base de almidón de yuca, adicionado a la fibra obtenida de la piña mediante la evaluación de las propiedades funcionales (absorción de agua/aceite), y de dureza que permita establecer la que presente mayor rigidez para la formación del envase.

**Objetivo particular 3.** Evaluar el efecto antifúngico del prototipo de envase de celulosa adicionado con aceite esencial de orégano sobre la presencia de *Botrytis cinerea* mediante pruebas *in vitro* para determinar su potencial tecnológico.

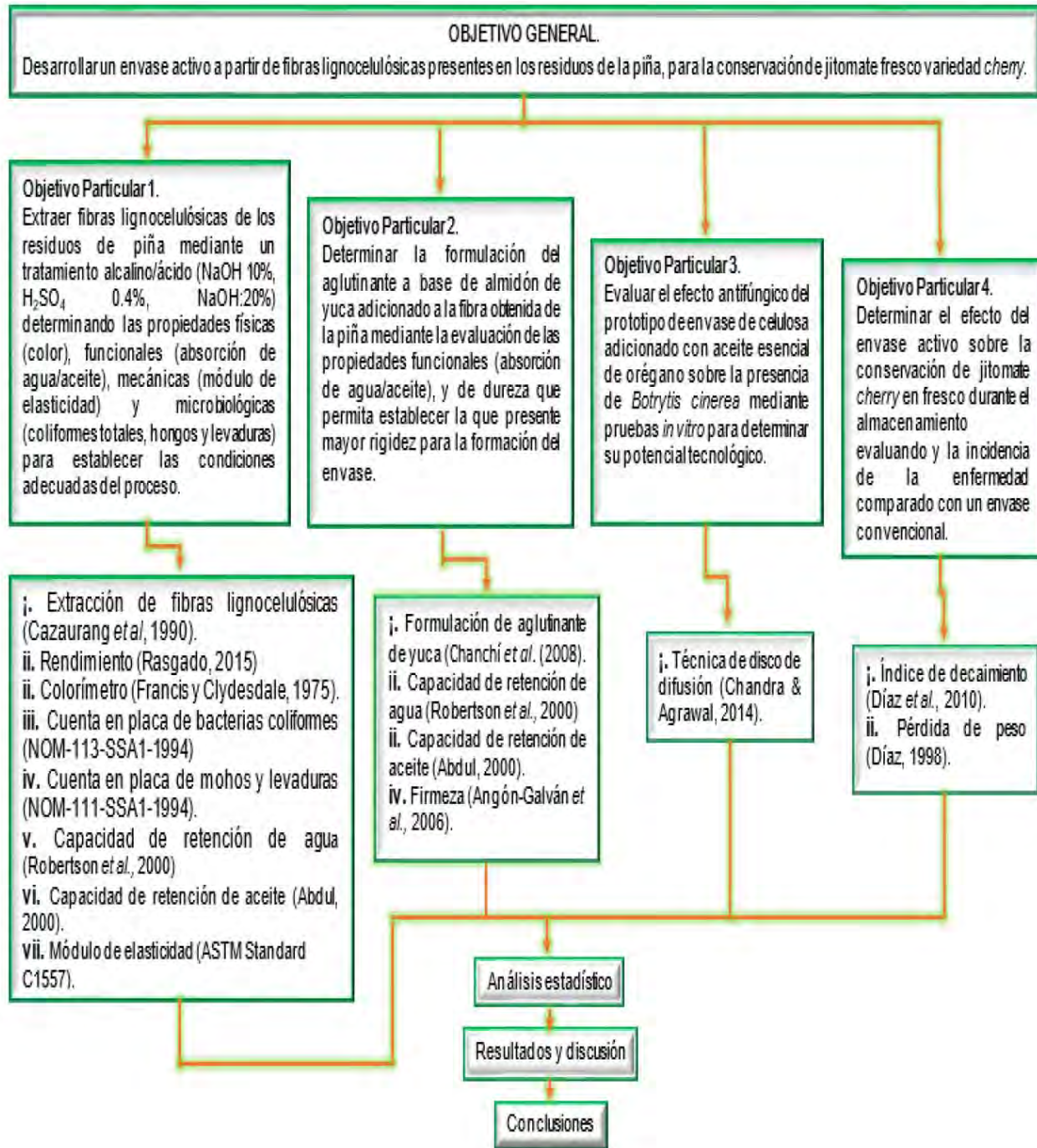
##### Objetivo particular 4.

Determinar el efecto del envase activo sobre la conservación de jitomate cherry en fresco durante el almacenamiento evaluando y la incidencia de la enfermedad comparado con un envase convencional.



## 4 MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1 CUADRO METODOLÓGICO





### 4.2 MATERIAL BIOLÓGICO

Las piñas (*Ananas comosus*) variedad *Cayena Lisa* (Figura 15) se obtuvieron en el mercado del Carmen ubicado en Cuautitlán Izcalli, Estado de México y fueron llevadas al Laboratorio de Post Cosecha de Productos Vegetales del Centro de Asimilación Tecnológica y Vinculación (CAT) de la FESC, UNAM.



**Figura 15.** Material biológico (piña) variedad *Cayena Lisa*.

### 4.3 TRATAMIENTO DE LAS MUESTRAS

Para llevar a cabo la extracción de fibras (Figura 16) a partir de los residuos integrados de la piña (bagazo, cáscara y corona), el fruto se lavó para disminuir el exceso de tierra y polvo presente en la superficie de la corona y cáscara. La corona y cáscara fueron retiradas manualmente, la pulpa de la piña se troceó y molió para después obtener el bagazo mediante una filtración y prensado de jugo. Cuando se obtuvo el bagazo, la cáscara y la corona, éstos se pesaron para posteriormente llevarlos a un tratamiento de secado en una estufa a una temperatura de 50-60°C y un tiempo de 12 a 14 horas aproximadamente. El procedimiento de secado tuvo como objetivo lograr que los residuos duren más tiempo disminuyendo reacciones, enzimáticas, ataque de microorganismos o todo aquel proceso que pueda afectar el procedimiento de separación de fibras, produciendo problemas como más demora, rompimiento de las fibras y afectación de propiedades, entre otros (Rowell, 2008).



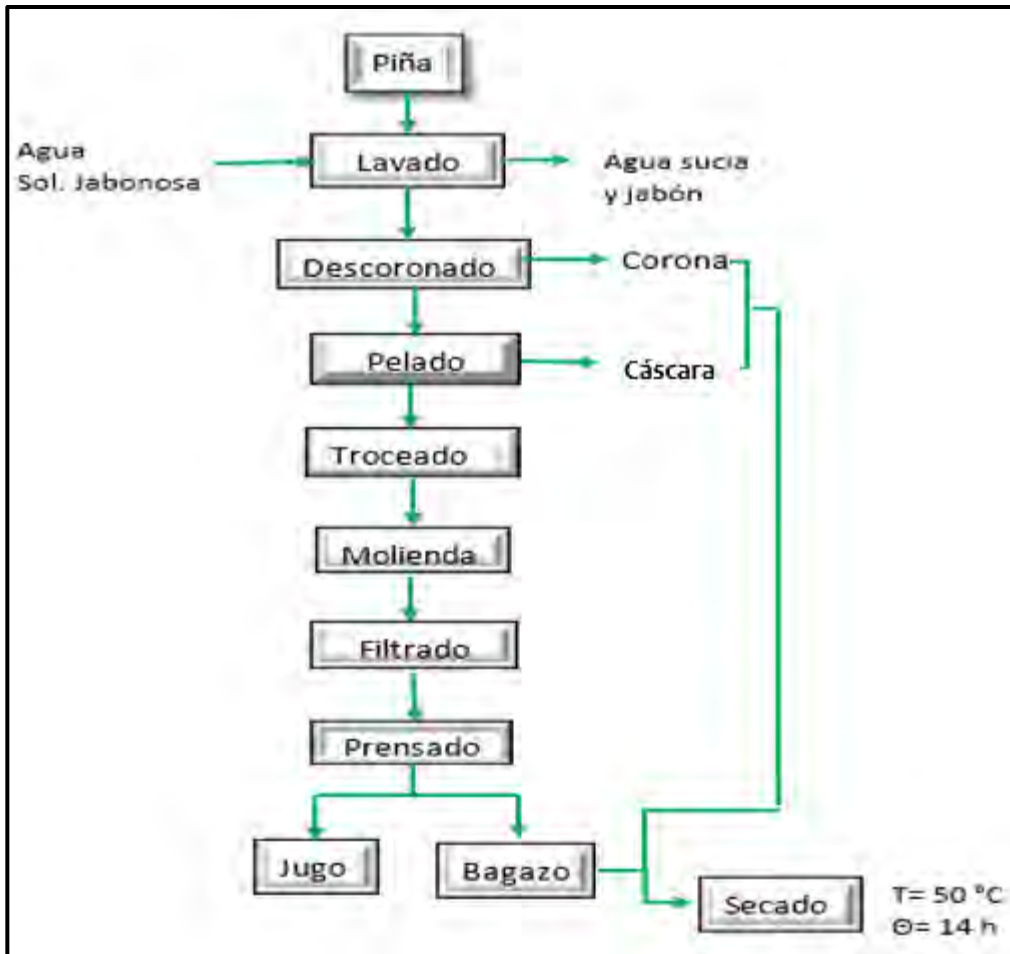


Figura 16. Diagrama de proceso de obtención de cáscara, corona y bagazo de piña

#### 4.4 EXTRACCIÓN DE FIBRAS LIGNOCELULOSICAS

El principio del hidrólisis químicas es separar los tres componentes principales de la materia prima vegetal, es decir, la celulosa, la hemicelulosa y la lignina. En la práctica, son efectivos para eliminar la mayor parte de la lignina, pero también degradan cierta cantidad de celulosa, de manera que las fibras resultantes del proceso de despulpeo no corresponden al total del material fibroso original de la planta (obteniéndose entre 40 y 50% del material fibrosos, aproximadamente) (Segurado, 2004).

Después del secado los residuos de la piña fueron tratados con una solución acuosa de NaOH al 10%, con el objetivo de eliminar ceras, pectinas y resinas. El procedimiento utilizado para la primera hidrólisis y como se muestra en la Figura 17 se describe a continuación: la cáscara, corona

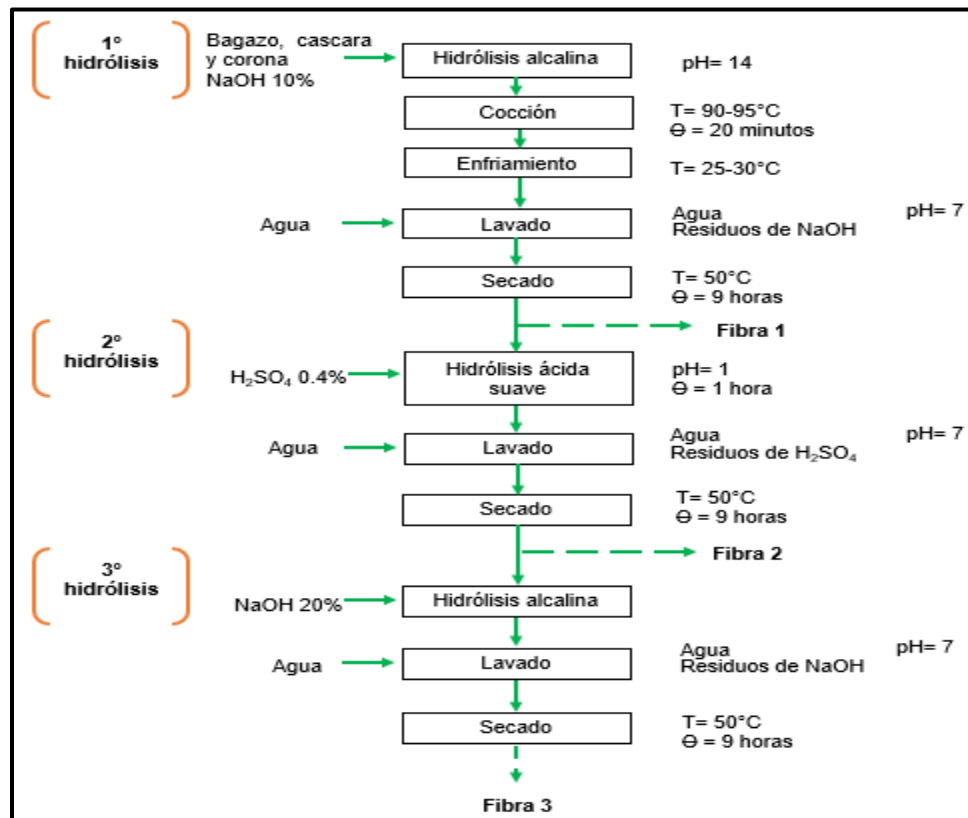


y bagazo se reducen de tamaño 3, 4-5 y 3 cm respectivamente; con la finalidad de que la solución de NaOH al 10% penetre mayormente en las muestras. Considerando que por cada pieza de piña (residuos secos integrados) se utilizó 1 litro de NaOH 10% reaccionando en una cocción durante 20 minutos, después de este tiempo se deja enfriar para realizar un lavado continuo y alcanzar pH neutro. Posteriormente se realiza un secado.

Para el segundo tratamiento, se realiza los mismos pasos mencionados para la primera hidrólisis, seguido por una hidrólisis ácida suave con  $H_2SO_4$  al 0.4%, a temperatura ambiente por un tiempo de 1 hora, seguido de un lavado hasta la neutralidad de la muestra.

La tercera hidrólisis consiste en las 2 primeras hidrólisis mencionadas anteriormente y una nueva hidrólisis con NaOH al 20% durante un tiempo de 1 hora, pero esta vez sin cocción. Concluido el tiempo de reacción se realiza un lavado continuo hasta bajar la basicidad de la muestra hasta alcanzar un pH neutro.

Al término de cada hidrólisis se calculó el rendimiento, pruebas microbiológicas (conteo en placa de bacterias coliformes, mohos y levaduras), propiedades ópticas (color), propiedades funcionales (capacidad de retención de agua y de aceite) y propiedades mecánicas (módulo de elasticidad), descritas en el apartado de técnicas analíticas 4.8.



**Figura 17.** Diagrama de proceso para la extracción de las fibras.

**Fuente:** Cazaurang *et al.* (1990).



### 4.4.1 Determinación de rendimiento

Para esta determinación y considerando las condiciones de concentración, es necesario tomar lectura del peso de la muestra inicial ( $P_i$ ) de la muestra y al final de cada tratamiento ( $P_f$ ). El rendimiento muestra la relación que hay entre el peso final y el inicial, se expresa en porcentaje (Rasgado, 2015).

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{P_f}{P_i} (100\%) \dots \text{Ecuación 1}$$

Con la finalidad de asegurar la calidad durante el procedimiento para la obtención de las fibras lignocelulósicas para el desarrollo del envase activo, se llevó a cabo un análisis microbiológico para determinar bacterias coliformes, aerobias, hongos y levaduras. También se realizaron determinación de color, pruebas funcionales (capacidad de retención de agua y aceite), y mecánicas (módulo de elasticidad y dureza) de acuerdo a las técnicas descritas en el apartado 4.8.

### 4.5 FORMULACIÓN DEL COMPLEJO AGLUTINANTE

Una vez obtenida la fibra, se procedió a formular un aglutinante, el cual tiene como finalidad proporcionar mayor rigidez a las fibras al momento de moldearse, la adición del aglutinante se evaluó con dos formulaciones que se muestran en la tabla 11.

**Tabla 11. Formulaciones de aglutinante.**

|                 | Formulación de aglutinantes |     |
|-----------------|-----------------------------|-----|
| [%]             | A1                          | A2  |
| Almidón de yuca | 11.5                        | 6.5 |
| Vinagre         | 11.5                        | 6.5 |
| Agua            | 77                          | 87  |

La preparación del aglutinante se explica en el diagrama de la Figura 18. en donde el porcentaje de almidón de yuca se mezcló en frío con un 75% del total del porcentaje del agua.



Dispersado el almidón se calentó a una temperatura de 60°C por un tiempo de 10 minutos, alcanzado el tiempo se añadió el 25% restante de agua, se mezcló y se dejó enfriar para posteriormente añadir el porcentaje de vinagre y se homogenizó. Ya mezclados los tres ingredientes, se obtiene el aglutinante el cual es de consistencia espesa, parecido a un engrudo de apariencia incolora y transparente. La incorporación del aglutinante al envase se hizo de manera superficial tanto en las paredes internas y externas del mismo, ya recubierto el envase por el aglutinante se dejó secar.



**Figura 18.** Diagrama de elaboración de aglutinante.  
**Fuente:** Chanchí *et al.* (2008).

### 4.6 ELABORACIÓN DEL PROTOTIPO DEL ENVASE ACTIVO

Para la formación de los envases activos con la fibra de los residuos de la piña y como se muestra en la Figura 19, se redujo el tamaño de partícula en un molino, posteriormente se colocó en una tina con agua en relación 1:4 en donde se homogenizó la fibra en agua para que esta se hidratara y pudiesen extraerse las hojas de fibra con ayuda de bastidores circulares y manta de cielo. Se dejaron secar las hojas de fibra en las cuales se diseñó la forma del envase a manera de formar un cubo con medidas de 5x5 cm por cara. Con el diseño ya marcado sobre la hoja se recortó y se cubrió ambos lados del envase con el aglutinante al igual se fueron pegando las pestañas del cubo hasta lograr formarlo, dejándolo secar en una estufa.



Figura 19. Proceso de elaboración de los prototipos de envases activos

Una vez secado el aglutinante de las paredes del envase, se añadió a éstas el aceite esencial de orégano, con la concentración elegida por  $\text{cm}^2$  de cada cara.



### 4.6.1. Recuperación de aceite esencial de orégano

El aceite esencial de orégano se obtuvo a partir del método conocido como hidrodestilación (Figura 20) el cual consiste en la vaporización del aceite esencial “libre” en la superficie de las hojas o flores, cuando una corriente de vapor saturado atraviesa un lecho conformado por este material vegetal (Günther, 1948).

El tamaño de partícula de la hoja deshidratada de orégano se redujo hasta obtener 100 gramos se vertió en un matraz bola al cual también se le añadió 600 mililitros de agua y se inició la destilación por un tiempo de 4 horas.



**Figura 20.** Equipo de hidrodestilación

El aceite de orégano fue incorporado en el envase desarrollado en la concentración que se estableció de acuerdo a las pruebas *in vitro* que se describen a continuación.

### 4.6.2. Prueba *in vitro* de *Botrytis cinerea*

El hongo *Botrytis cinerea* fue previamente aislado de una muestra de material vegetal (jitomate) e identificado en el Laboratorio de Postcosecha del Centro de Asimilación y Vinculación Tecnológica de la FESC UNAM. Reconocido el hongo de *B. cinerea* se sembró en cajas Petri con medio Agar Papa Dextrosa (PDA) y luego se incubó durante cinco días a  $25\pm 2^\circ\text{C}$ . Para la evaluación del envase activo, se elaboraron hojas de  $1\text{ cm}^2$  de la fibra que fue elegida en el primer objetivo, evaluando las dos formulaciones de aglutinante y tres concentraciones de aceite esencial de orégano [1130, 2260, 3400]  $\mu\text{g/mL}$  por duplicado (Flores, 2016), (Figura 21) . Siguiendo la técnica de discos de difusión Chandra & Agrawal (2014).



**Figura 21.** Diagrama de la inoculación de *Botrytis cinerea* para pruebas *in vitro*.

Se realizó un seguimiento fotográfico para evidenciar el efecto inhibitorio del aceite esencial de orégano durante 10 días a 25±2°C.

## 4.7 APLICACIÓN DEL PROTOTIPO DE ENVASE ACTIVO EN LA CONSERVACIÓN DE JITOMATE CHERRY

### 4.7.1 Material biológico

El jitomate (*Lycopersicon esculentum*) fue adquirido en el Walmart Cuautitlán Izcalli-San Marcos. El orégano (*Lippia graveolens*) deshidratado se obtuvo del Mercado del Carmen, Cuautitlán Izcalli Estado de México. Ambos fueron llevados al Centro de Asimilación Tecnológica y Vinculación (CAT), Laboratorio de Post Cosecha de Productos Vegetales de la FESC, UNAM (Figura 22).



**Figura 22.** Material biológico (jitomate y orégano deshidratado)

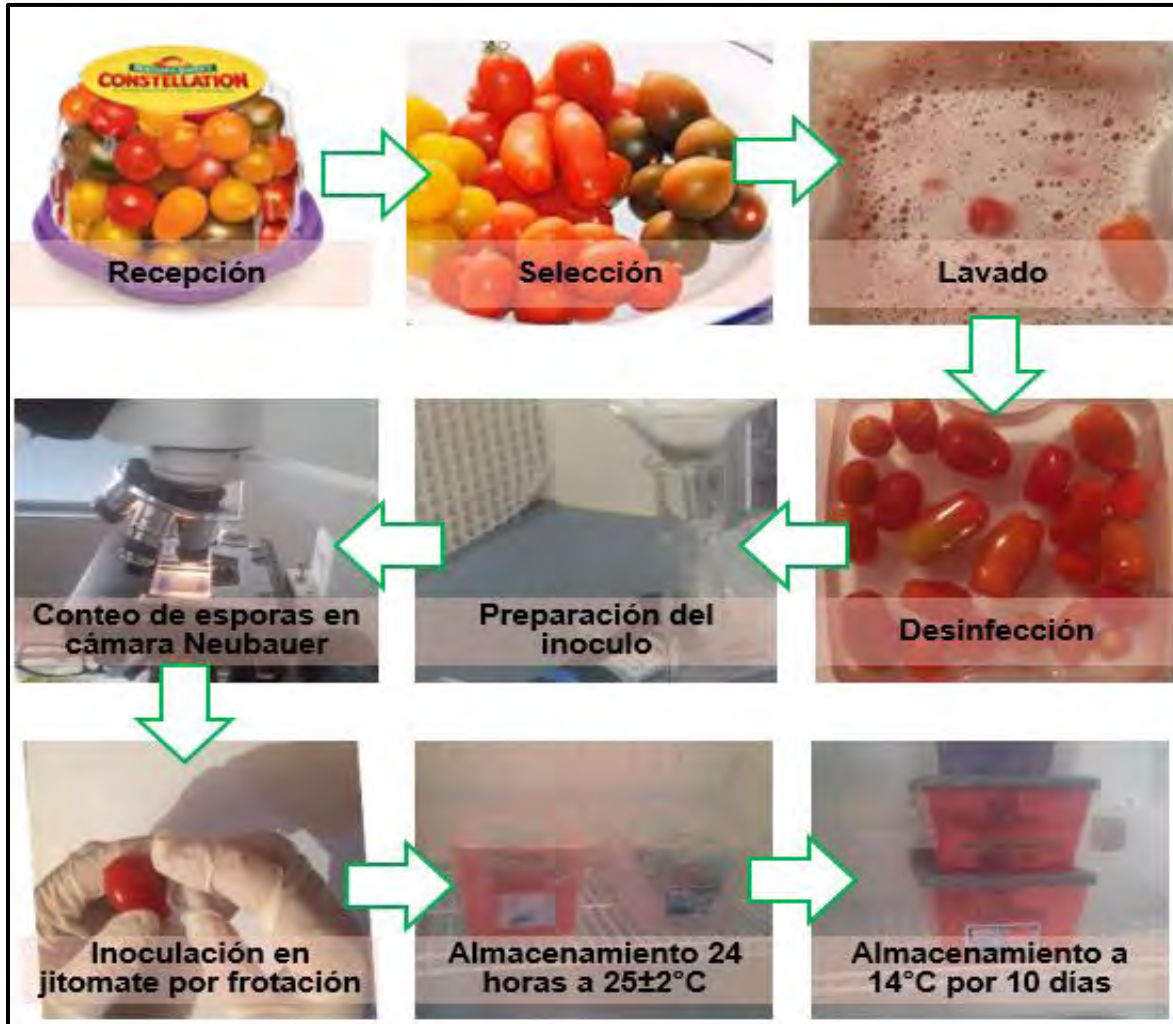
### 4.7.2 Prueba *in vivo* y preparación del inóculo

Para la elaboración del inóculo se emplearon cajas Petri con sembrado de *Botrytis cinerea* cultivado en medio agar papa dextrosa durante 10 días a  $25\pm 2^\circ\text{C}$  previo a la inoculación. El arrastre de las esporas se realizó mediante la preparación de una solución de Tween 80 al 5% preparada con agua estéril haciéndose un raspado con una espátula estéril, de este se añadió 1 mL a cada caja con finalidad de romper la tensión superficial y obtener el inóculo el cual se filtró con ayuda de una gasa estéril. Obtenido el inóculo total de las cajas, se prosiguió a hacer el conteo de esporas utilizando una cámara de Neubauer en la cual se colocó una gota del inoculo, la cámara fue colocada bajo el lente del microscopio. La concentración mínima para inocular frutos es de  $1 \times 10^4$  conidios/mL, la concentración obtenida fue de  $5.31 \times 10^5$  conidios/mL.

### 4.7.3 Inoculación de jitomates cherry

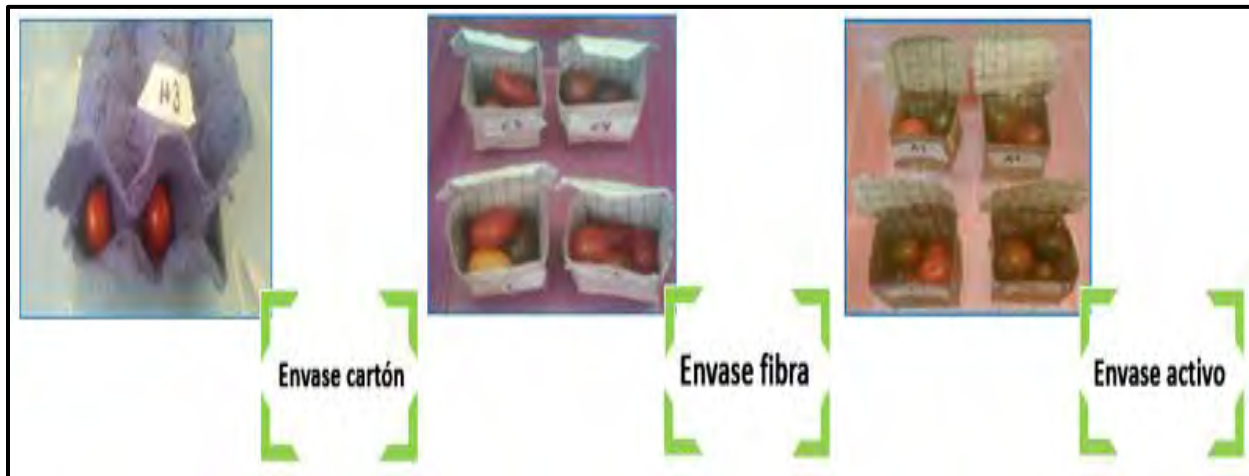
Se llevó a cabo la recepción de los jitomates, se seleccionaron en base a su madurez y textura firme. Posteriormente fueron lavados con solución jabonosa, enjuagados y desinfectados con una solución de hipoclorito de sodio [200 ppm] y un enjuague con agua estéril. La inoculación del material vegetal y como se muestra en la Figura 23, se llevó a cabo por el método de frotación con el inoculo de  $5.31 \times 10^5$  conidios/mL en un lote de 48 jitomates en una cámara de flujo laminar y se incubo por 24 horas a  $25\pm 2^\circ\text{C}$  para la fijación del hongo. Finalmente, se almacenaron a una temperatura de  $14^\circ\text{C}$  durante 10 días, pasado ese tiempo 5 días se dejaron a temperatura ambiente con el objetivo de simular un almacenamiento comercial y poder detectar mediante las pruebas *in vivo* la presencia de *B. cinerea* en el jitomate.





**Figura 23.** Diagrama de la inoculación de *Botrytis cinerea* para la evaluación in vivo de jitomates cherry

Para la elaboración de envases (Figura 24) de cartón (EC), se realizó utilizando contenedores de huevos formando una base y una tapa, colocando dentro de estos los jitomates inoculados. Para los envases activos (EA), estos fueron elaborados tal y como se muestra en el apartado 4.6, ocupándose el mismo procedimiento de elaboración de los envases de fibra (EF) a diferencia de que estos no contenían aceite esencial de orégano. Una vez colocados los jitomates con inoculo de *Botrytis cinerea* dentro de cada lote de tipo de envase, se llevaron a almacenamiento y se realizaron las pruebas correspondientes, pérdida de peso e índice de decaimiento mencionadas en el apartado 4.8.2.



**Figura 24.** Lotes de envases empleados en el almacenamiento de jitomates inoculados con *Botrytis cinerea*.

### 4.8 TÉCNICAS ANALÍTICAS

#### 4.8.1 Propiedades físicas, mecánicas y microbiológicas de fibras extraídas

##### Análisis microbiológico

El conteo para la cuenta de microorganismos coliformes totales en placa permite determinar el número de estos microorganismos presentes en una muestra, utilizando el medio de agar rojo bilis en el cual se desarrollan este tipo de bacterias en condiciones de temperatura de  $35\pm 2^{\circ}\text{C}$ ; en 24 horas aproximadamente (NOM-113-SSA1-1994). Para la cuenta de mohos y levaduras el método se basa en inocular una cantidad de muestra prueba en agar papa dextrosa, incubando a una temperatura de  $25\pm 1^{\circ}\text{C}$  por un tiempo de 3 a 5 días dando como resultado el crecimiento de colonias características para este tipo de microorganismos (NOM-111-SSA1-1994).

##### Color

El índice de color describe la coloración de la epidermis de los frutos, para ello devuelve tres parámetros  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , siguiendo el estándar de iluminación de la escala espectral, donde  $L^*$  describe la luminosidad y  $a^*$ ,  $b^*$ , evalúan la saturación que nos da la pureza del color y el tono es el color propiamente (Francis y Clydesdale, 1975).

Para esta determinación se empleó un colorímetro CM-600D, el cual se calibro colocando el cabezal en una placa de porcelana blanca.



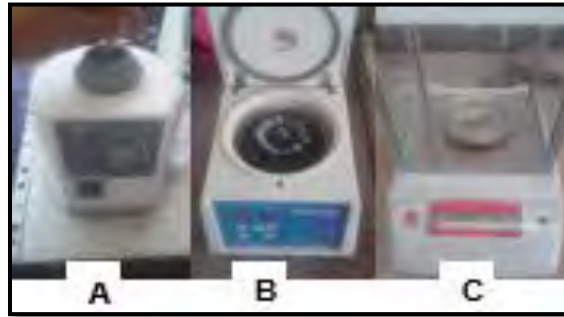
Se prosiguió con la medición del color en las fibras obtenidas en cada hidrólisis, colocando el cabezal del colorímetro en diferentes zonas de las fibras, tomando 10 lecturas para cada una. Obteniendo así el registro de los valores cromáticos en el espacio CIE  $L^*a^*b^*$ .

### **Capacidad de retención de agua**

La capacidad de absorción de agua es expresa como la máxima cantidad de agua que puede ser retenida por gramo de muestra seca al estar en contacto con un exceso de agua bajo la acción de una fuerza externa como la centrifugación. Para esta determinación se pesó 0.1 g de cada fibra seca en tubos eppendorf, adicionándole 1.5 mL de agua, se agitó en un agitador vortex DLab MX-S. Posteriormente se dejó reposar por un tiempo de 18 horas a 25°C para después centrifugarlos a 3000 rpm por 20 minutos en una centrifuga (Marca Daigger 4350). Terminado el tiempo de centrifugación, se separó el sobrenadante de las muestras, y se pesó el residuo fresco, se secó a 120°C por 2 horas y se pesó. Los resultados obtenidos se reportaron como los gramos de agua retenida por gramo de residuo seco (Robertson *et al.*, 2000).

### **Capacidad de retención de aceite**

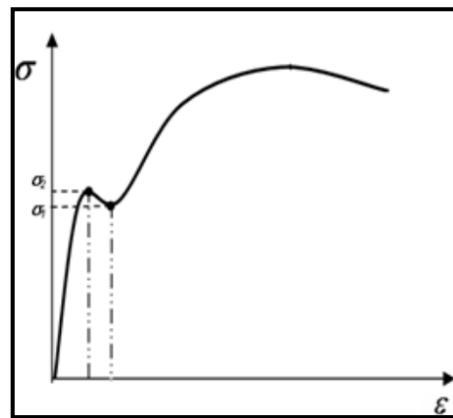
La capacidad de absorción de aceite es una propiedad cuya función indica la máxima cantidad que puede ser retenida por gramos de muestra en presencia de un exceso de aceite, después de ser sometida a una fuerza externa que es la centrifugación. El aceite absorbido de las muestras se determinó por diferencia de peso. Para esta prueba se pesó 0.1 g de cada fibra en tubos eppendorf en donde se le adiciono 1.5 mL de aceite vegetal, se agito en el agitador vortex (Marca DLab MX-S) por un tiempo de 30 minutos (30 segundos por cada 5 minutos), posterior a esto se centrifugo en una centrifuga (Marca Daigger 4350) a 2000 rpm durante 25 minutos, después se eliminó el sobrenadante y se pesó en una balanza de precisión (Marca Ohaus Pioneer) la muestra con aceite absorbido (Figura 25). La capacidad de absorción de aceite se expresó como gramos de aceite absorbidos por gramo de muestra seca (Abdul, 2000).



**Figura 25.** Determinación de capacidad de retención de agua/aceite. (A) Agitador vortex DLab MX-S, (B) Centrifuga Daigger 4350, (C) Balanza Ohaus Pioneer

 **Propiedades mecánicas**

El módulo de elasticidad, también llamado módulo de Young, es un parámetro característico de cada material que indica la relación existente (en la zona de comportamiento elástico de dicho material) entre los incrementos de tensión aplicados ( $d\sigma$ ) en el ensayo de tracción y los incrementos de deformación longitudinal unitaria ( $d\varepsilon$ ) producidos (Pérez, 2014). La porción inicial lineal de la gráfica esfuerzo deformación, como se aprecia en la figura 26. representa lo que se llama el Módulo de elasticidad (E), de los materiales (Garavito, 2011).



**Figura 26.** Esfuerzo de cedencia superior e inferior  
**Fuente:** Garavito (2011).

Este se calcula según la ley de Hooke, mediante la fórmula:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{N}{\text{cm}^2} \dots \text{Ecuación 2}$$

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \dots \text{Ecuación 3}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \dots \text{Ecuación 4}$$

Donde:

E = módulo de elasticidad  $\left[ \frac{\text{Newton}}{\text{cm}^2} \right]$

$\sigma$  = esfuerzo  $\left[ \frac{\text{Newton}}{\text{cm}^2} \right]$



$\epsilon$  = deformación

P= carga aplicada [Newton]

$A_0$ = área transversal [ $\text{cm}^2$ ]

l = longitud correspondiente a una carga determinada [ $\text{cm}^2$ ]

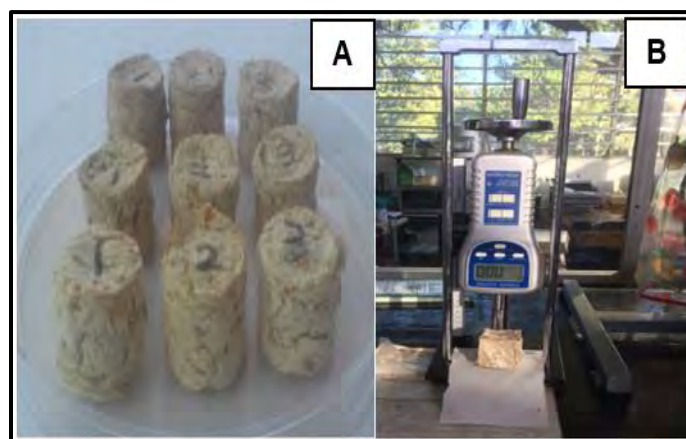
$l_0$ = longitud inicial sin carga [ $\text{cm}^2$ ]

$\Delta l$  = diferencia de longitudes [ $\text{cm}^2$ ]

Se realizaron ensayos a tensión para encontrar sus propiedades mecánicas para lo cual se empleó un penetrómetro (Marca Force Gauge PCE-FM200) utilizando una punta de cilindro de 8 mm, como se puede ver en la figura 27 A, ya que este instrumento se basa en la fuerza necesaria para penetrar expresada en giga pascales [GP]. Con este valor se siguió una secuencia de cálculo con las ecuaciones (2,3,4) para determinar en el módulo de elasticidad en tensión (E); para lo cual se elaboraron especímenes en forma cilíndrica de cada una de las fibras obtenidas para cada tratamiento por triplicado, con dimensiones de 2.3 cm de diámetro y 2.4 de alto en promedio).

### Firmeza del envase

En cuanto a la prueba mecánica para el envase se evaluaron las dos formulaciones de aglutinante, se prosigió a realizar la misma prueba con el penetrómetro PCE-FM200, reemplazando los especímenes de fibra por el envase prototipo ( $5 \times 5 \text{ cm}^3$ ) (Figura 27 B). En esta prueba se determinó solo la firmeza debido a las características morfológicas del envase, con finalidad de determinar la formulación de aglutinante que proporcionara mayor resistencia a la penetración.



**Figura 27.** (A) Especímenes de fibra. (B) Penetrómetro PCE-FM200 y envase prototipo.



### 4.8.2 Parámetro de calidad de jitomates conservados en envase activo

#### 🍅 Pérdida de peso

Para la determinación de la pérdida de peso, se registró diariamente el peso del fruto desde el inicio hasta el final del estudio en una balanza analítica (Scout pro) (Figura 28). Determinándose la relación en porcentaje de pérdida de peso en función del peso inicial de los jitomates menos el peso registrado por día (Díaz, 1998).



Figura 28. Medición de jitomate en balanza analítica (Scout pro)

#### 🍅 Índice de decaimiento

La presencia de *Botrytis cinerea* en la superficie de los jitomates, se evaluó visualmente considerando la siguiente escala: 1= no hay presencia de daños; 2= daño ligero en la superficie (<25%); 3= daño moderado (>25% y <50%); 4= daño severo (>50% y <75%) y 5= completamente dañado (75% a 100%). Calculándose entonces el índice de decaimiento con la siguiente ecuación (Díaz *et al*, 2010);

$$IDC = \frac{\Sigma(\text{nivel de daño}) * (\text{No. de frutos de este nivel})}{\text{No. de frutos totales}} \dots \text{Ecuación 5}$$

### 4.8.3 Caracterización del envase activo

#### 🍅 Termogravimetría [TGA]

La termogravimetría es un método basado en los cambios de masa como resultado de una variación de temperatura o por someter a un material a una temperatura establecida durante un lapso de tiempo establecido. Los cambios de masa identificados permiten determinar bajo qué condiciones los materiales se descomponen. Los resultados se expresan gráficamente en termogramas (Rodríguez y Villegas, 2012).

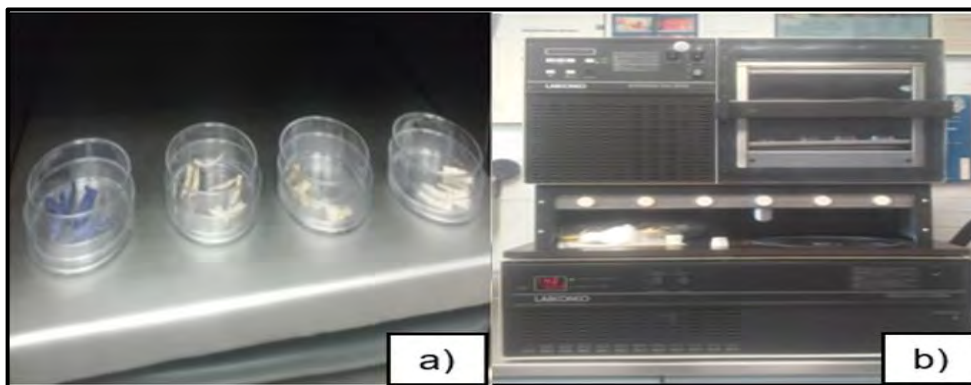
Las muestras del prototipo de envase activo fueron analizadas en el Instituto de Investigaciones en Materiales de la UNAM en un equipo TGA Q5000.



### Microscopia electrónica de barrido (MEB)

El microscopio electrónico de barrido (MEB) tiene componentes comunes tales como el cañón de electrones, sistema de vacío, lentes condensadora y objetivo. En este equipo, el haz electrónico, atraviesa una columna y llega a la muestra. Un generador de barrido es el responsable de producir el movimiento de haz, de manera que barra la muestra punto a punto. Como resultado de la interacción entre los electrones incidentes con los átomos que componen la muestra se generan señales, las cuales pueden ser captadas con detectores específicos para cada una de ellas. El detector capta una señal convirtiéndola en una señal electrónica que es proyectada en una pantalla (De Lozano *et al.*, 2014).

Para esta prueba, se trabajó con tres muestras; la muestra de estudio, en este caso la fibra que conforma el material del envase activo (fibra con aglutinante y aceite esencial de orégano), una muestra positiva, es decir, que se asimile a la muestra estudio (cartón de contenedor de blanquillos) y una muestra negativa, diferente a las dos anteriores (PET). Las tres muestras en estado sólido y secas superficialmente se aislaron por separado en cajas Petri y se sellaron con para film con finalidad de evitar la incorporación de humedad del medio a estas. Posteriormente fueron guardadas en una cámara frigorífica por 12 horas (Figura 29). Pasado este tiempo se prosiguió a realizar un secado por liofilización a las muestras el cual fue llevado a cabo en el Laboratorio 3 de Virología de la Unidad de Posgrado de la FESC UNAM Campo 1, empleándose un equipo de liofilizado Stoppering Tray Dryer LABCONCO (Freeze Dry System) a  $-17^{\circ}\text{C}$  y presión de vacío de  $1179 \times 10^{-3}$  M Bar en un tiempo de 6 horas.

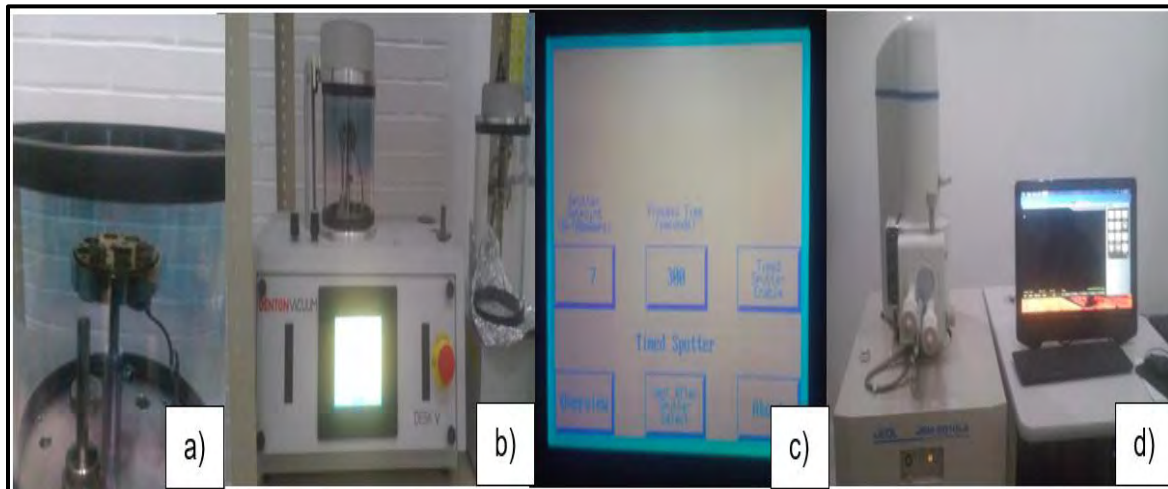


**Figura 29.** Secado por liofilización de las muestras para la prueba MEB. a) Muestras en caja Petri. b) Equipo de liofilizado Stoppering Tray Dryer LABCONCO (Freeze Dry System)



Después de liofilizar las muestras, estas fueron nuevamente guardadas en cajas Petri cubiertas con para film para proseguir con el análisis de Microscopia Electrónica de Barrido (MEB), el cual fue realizado en el cubículo de microscopia de la Unidad de Investigación Multidisciplinaria (UIM) de la FESC UNAM campo 4.

El análisis consistió en someter las tres muestras a un equipo de deposición al vacío Denton Vacuum Desk V, en el cual fueron recubiertas por una fina capa de oro a 7 miliamperios durante 300 segundos. Las imágenes de las fibras del envase activo, así como de la muestra negativa y positiva se obtuvieron en un microscopio JEOL JSM-6010LA (Figura 30).



**Figura 30.** Prueba MEB. a) Cámara de vacío, b) Deposición al vacío Denton Vacuum Desk V, c) pantalla tecnológica de color Denton, d) MEB JEOL JSM-6010LA

### 4.9 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el análisis estadístico de resultados se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y comparación de medias con la prueba de rango múltiple (DUNCAN y TUKEY) con un valor de significancia de  $\alpha = 0.05\%$ . El análisis se llevó a cabo en el programa estadístico SPSS Statistic versión 22.





## 5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

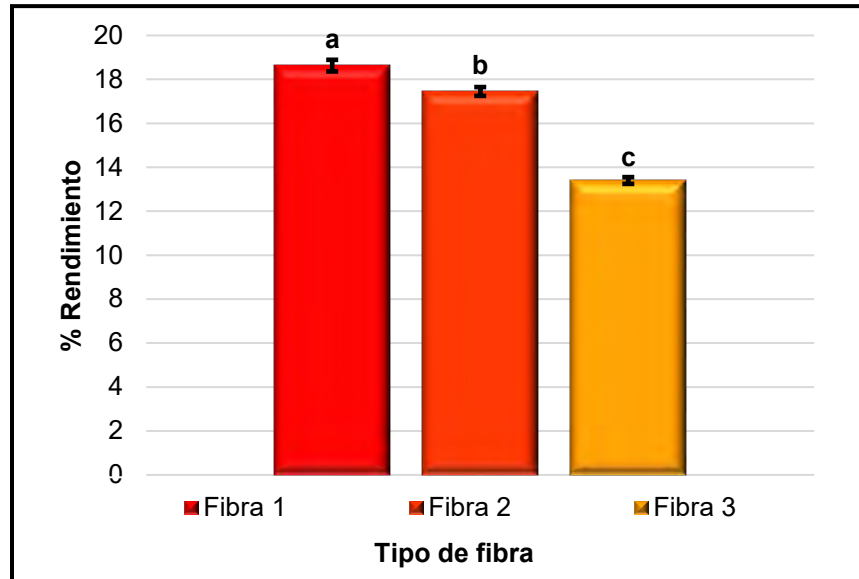
---

### 5.1 RENDIMIENTOS DE FIBRAS

Considerando el estudio de varios trabajos en los que destaca el aprovechamiento de las propiedades estructurales de las fibras presentes en los tejidos vegetales y la diversidad de plantas no leñosas disponibles como subproducto en la agroindustria de nuestro país, las cuales representan una fuente importante de extracción de fibras mediante métodos que permitan tener un proceso con condiciones favorables.

Las fibras obtenidas a partir de los residuos integrados de la piña (corona, cascara y bagazo) fueron extraídas mediante un tratamiento químico alcalino/ácido semicontinuo tal y como se muestra en el diagrama de la Figura 16.

Al término de cada tratamiento se obtuvieron rendimientos (Figura 31) con diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) para las tres fibras resultantes, ya que conforme avanzó el tratamiento químico hubo disminución en el rendimiento. Obteniéndose el mayor rendimiento para la primera hidrólisis que fue de 18.62% con NaOH al 10% con una cocción (90-95°C) durante 20 minutos con agitación continua, mientras que las condiciones de la tercera hidrólisis obtuvieron el menor rendimiento con 13.39% para esta última se añadió además del NaOH al 10%, una hidrólisis con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 0.4% durante 1 hora a temperatura ambiente, neutralizado, y tratamiento básico con NaOH al 20% por 1 hora, representando así que por ser la última fibra en obtener, el proceso de extracción requirió de más reactivos químicos, variaciones en concentración, temperatura así como en pH; lo cual provoca de cierta manera la degradación de la estructura lignocelulosa, mayor pérdida de la lignina y hemicelulosa, quedando en su mayoría solo la celulosa. Por otra parte, el segundo tratamiento en la cual después de la cocción con NaOH 10% se siguió una hidrólisis ácida suave como se mencionó anteriormente, representando una disminución de 6.28% menor a la primera hidrólisis y 23.26% de rendimiento superior al tercer tratamiento.



**Figura 31.** Rendimientos de fibras obtenidas para cada hidrólisis a partir de los residuos generados por pieza de piña (*Ananas comosus*). Las líneas verticales sobre las barras es un indicativo de la  $\pm$  desviación estándar del tratamiento. Las letras en cada barra indica diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ), entre las diferentes condiciones de hidrólisis.

La finalidad del hidrólisis es el desdoblamiento de la molécula de ciertos compuestos orgánicos por la acción del agua (Real Academia Española, 2001). El tratamiento alcalino es capaz de separar tanto la hemicelulosa como la lignina, provocando una pérdida de la cristalinidad de la celulosa y solvatación parcial de la hemicelulosa. Por su parte en la hidrólisis ácida de material lignocelulósico, se puede obtener una fracción líquida, rica en azúcares fermentables y una fracción sólida compuesta principalmente de celulosa y lignina (Morales, 2015).

En la conversión de material lignocelulósico el proceso consta de etapas dentro de las cuales es necesario la reducción de tamaño del subproducto para el posterior hidrólisis. El tratamiento debe de ser el más adecuado dependiendo de la materia prima que se elija para así obtener rendimientos altos.



### 5.2 PARÁMETROS DE CALIDAD DE LAS FIBRAS EXTRAÍDAS

#### ■ Análisis microbiológico

El envase es un elemento clave en la vida de un producto. Estos juegan múltiples roles respecto del producto que contiene: los protege de roturas, derrames, contaminación con microorganismos, permite su transporte, distribución y una fácil manipulación. La industria de los alimentos utiliza una gran variedad de materiales para empaquetar los productos. Los materiales que entran en contacto con los alimentos están sujetos a la oportuna legislación, que se refiere a la fabricación, tratamiento, distribución y consumo de los alimentos envasados. De tal manera, establece normas y controles para la protección de la salud, con mención del posible paso de sustancias a los alimentos (Querol, 2015).

En el análisis microbiológico realizado a las fibras con las que se pretende diseñar el envase activo, los resultados de conteo en placa se muestran en la Tabla 12, en la cual se puede observar que para la presencia de bacterias coliformes hubo ausencia de crecimiento para las tres fibras obtenidas a partir de los procesos de extracción. El resultado fue lo contrario para el conteo en placa de mohos y levaduras en donde si hubo presencia de estos microorganismos para las tres fibras.

**Tabla 12. Resultados de cuenta en placa para las fibras obtenidas para cada una de las condiciones de hidrólisis**

| Fibra | Coliformes (UFC/g) | Mohos y levaduras (UFC/g) |
|-------|--------------------|---------------------------|
| 1     | Ausencia           | $1.5 \times 10^3$         |
| 2     | Ausencia           | $1.1 \times 10^2$         |
| 3     | Ausencia           | $2.4 \times 10^2$         |

La fibra con mayor presencia de UFC/g de mohos y levaduras fue para la primera, la cual se extrajo mediante la acción de NaOH al 10% con una cocción durante 20 minutos a temperatura de ebullición (90-95°C). La fibra que presentó menor presencia de UFC/g de mohos y levaduras fue la fibra 2 obtenida a partir del hidrólisis de NaOH 10% seguida por un secado con aire caliente (55°C), hidrólisis ácida suave con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.4%.



Debido a que la acción para inhibir el crecimiento de hongos y levaduras depende en gran medida del pH. Cuanto más ácido es un alimento, en este caso la fibra, más activo es en contra de los microorganismos (Ismail y Pierson, 1990). Como puede observarse en la Tabla 12, las fibras en condiciones alcalinas tuvieron mayor resultado de crecimiento microbiológico. En algunos casos, para reducir el crecimiento bacteriano, se emplean valores de pH bajos ( $\approx 4$ ), o se utiliza la adición de antibióticos como la penicilina (ISO 7954, 1987). En cuanto al resultado obtenido para la fibra 3, la presencia de estos microorganismos fue intermedio en comparación con la primera y segunda fibra, para la obtención de esta fibra se siguió el proceso mencionado para la fibra 1 y 2, en donde además se hidrolizó con NaOH al 20%, las condiciones alcalinas.

Es importante considerar que, los microorganismos, para su crecimiento necesitan condiciones propicias de pH, de nutrimentos, de oxígeno, de presión, de temperatura y de actividad de agua, esta última tendrá que ser mayor a medida que los otros parámetros se vuelvan menos favorables. Las bacterias requieren una actividad de agua mayor ( $>0.91$ ), seguidas por las levaduras ( $>0.88$ ), y luego los hongos ( $>0.80$ ) (Badui, 2006).

Cabe mencionar que los residuos de la piña sometidos al tratamiento químico, así como al término de cada hidrólisis se siguió un proceso de secado de la fibra resultante tal y como se muestra en el diagrama de la figura 16. lo cual influyó en la reducción de la actividad de agua, aun así, el agua libre aun disponible en la muestra de las fibras, intervino en el crecimiento de los microorganismos (hongos y levaduras) (Badui, 2006).

Las condiciones en las que fueron sometidos los residuos de la piña para la obtención de las fibras pudieron favorecer de cierta manera la presencia de mohos y levaduras.

Las características que hacen susceptibles a las fibras obtenidas a partir de la pared celular de los residuos de la piña es que está compuesta principalmente por polisacáridos de composición y estructura variable (entre los que se destacan la celulosa y hemicelulosa), lignina, ácidos fenólicos, proteínas, iones y agua (Valenciaga y Chongo, 2004).

Los mohos y levaduras están ampliamente distribuidos en la naturaleza y se pueden encontrar formando parte de la flora normal de un alimento, o como agentes contaminantes, provocando el deterioro fisicoquímico de éstos, debido a la utilización en su metabolismo de los carbohidratos, ácidos orgánicos, proteínas y lípidos (NOM-111-SSA1-1994).



### ▪ Determinación de color

El color es una percepción humana de la luz reflejada por un objeto. Es un atributo de apariencia de los productos, el color depende de varios factores y tiene extrema importancia desde el punto de vista comercial (Delmoro *et al.*, 2010).

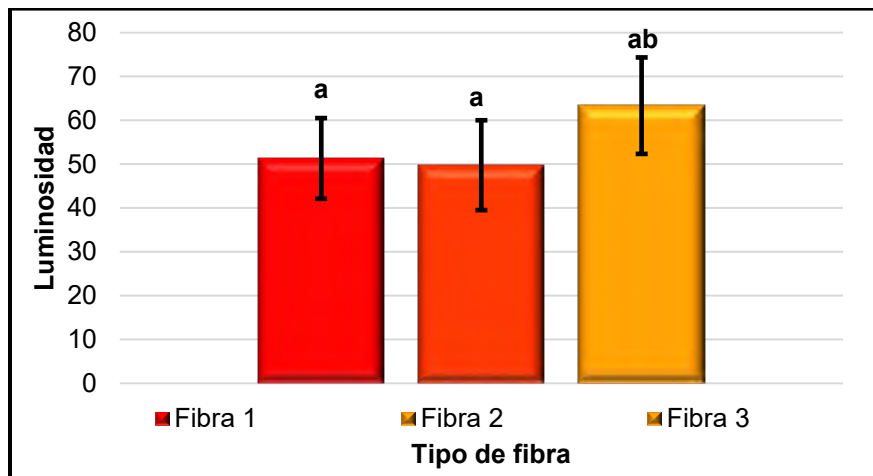
En el proceso de extracción de las fibras, mediante la cocción con NaOH (10, 20) % así como con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.4%, se obtienen dos productos como resultado, el primero un licor negro, que es el residuo que se genera por la utilización de sustancias alcalinas en el digestor mezcladas con la lignina disuelta, y el segundo una pasta de celulosa, la que pasa posteriormente por la fase de lavado y filtrado, obteniendo finalmente una celulosa cruda color marrón. Es por ello que la evaluación de color en esta experimentación en una manera de medir con las propiedades colorimétricas el rompimiento de la estructura lignocelulósica y definir de cierta manera la disolución de componentes como la lignina y la hemicelulosa en los residuos de la piña tratados químicamente. Los parámetros ópticos evaluados fueron luminosidad y croma.

La luminosidad representa la cantidad de luz reflejada por una superficie en comparación con la reflejada por una superficie blanca en iguales condiciones de iluminación; también, se llama valor a la intensidad lumínica, es decir su grado de claridad. Los colores pueden ser clasificados en tenues u oscuros al comparar sus valores (Fotonostra, 2017; X-Rite, 2002).

En la figura 32, se muestran los resultados de luminosidad para las tres fibras, en dónde la mayor luminosidad la obtuvo la fibra 3 presentando un valor de L= 63.33, el valor más bajo es para la segunda hidrólisis con un valor de L= 21.43 % menor a la tercera fibra que en promedio fue de L= 49.8, seguido por la primera fibra que obtuvo un valor promedio de L= 51.30, siendo L= 19 % menor con respecto a la tercer fibra, no habiendo diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) para los resultados obtenidos para cada fibra.

Los valores de luminosidad ubicados en el diagrama CIELAB, el valor de L\* se representa por el eje central, donde, L=0 (negro o absorción total) en el fondo, en el centro de este plano es neutral o gris, y L=100 (blanco). La celulosa pura es de color absolutamente blanco, siendo el algodón la fuente de celulosa más pura (Núñez, 2008),

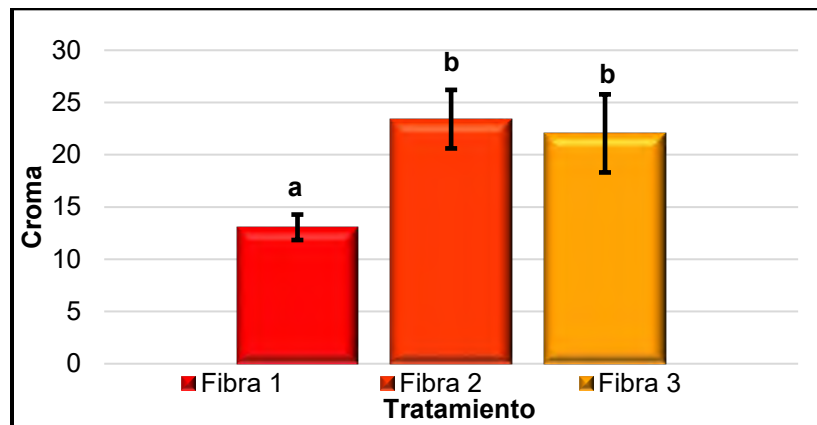
De acuerdo a lo anterior, la tercera fibra con el mayor valor de luminosidad L= 63.33, por este parámetro de luminosidad se estimó la pureza de la fibra obtenida después del último tratamiento químico. Aunque para la primera y segunda fibra teniendo una diferencia de L= 3% entre ambas, colocándose en promedio al centro del eje L\* indicando aun presencia de lignina y hemicelulosa en su estructura.



**Figura 32.** Evaluación de luminosidad para las fibras obtenidas en cada tratamiento. Las líneas verticales sobre las barras es un indicativo de la  $\pm$  desviación estándar del tratamiento. Las letras en cada barra indican diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ), entre las diferentes condiciones de hidrólisis.

En cuanto al croma, esta propiedad describe lo llamativo o lo apagado de un color, en otras palabras, qué tan cerca está el color ya sea del gris o del matiz puro. El croma también se conoce como saturación (X-Rite, 2002).

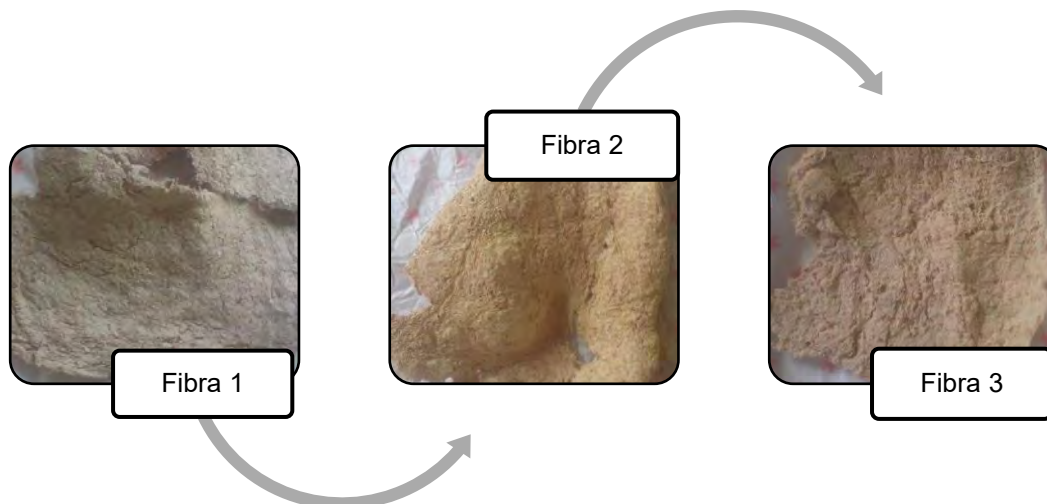
En la figura 33, se pueden apreciar los resultados obtenidos para esta propiedad óptica en las tres fibras resultantes de los tratamientos químicos.



**Figura 33.** Evaluación de croma para las fibras obtenidas en cada tratamiento. Las líneas verticales sobre las barras es un indicativo de la  $\pm$  desviación estándar del tratamiento. Las letras en cada barra indican diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ), entre las diferentes condiciones de hidrólisis.



El valor de cromaticidad para la primera fibra fue el más bajo  $C = 13.06$  teniendo diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) para las dos posteriores fibras. La fibra 2 resultó con el mayor valor de croma que fue de  $C = 23.40$ , siendo superior por  $C = 44.21\%$  con respecto a la primera fibra, y no presentó diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) con el valor de la tercera fibra, la cual fue de  $C = 22.04$ , por lo tanto, la fibra 2 y 3 presentaron colores similares ante la percepción visual. En la figura 34, se pueden apreciar las tres fibras obtenidas para cada hidrólisis.



**Figura 34.** Fibras obtenidas para cada tratamiento químico.

Las hemicelulosas, cuando se pueden aislar, por ejemplo, de la madera son de color blanco amarillento. La lignina, como muchas sustancias aromáticas de alto peso molecular es entre ocre y marrón oscureciéndose mucho en las designificaciones de los procesos de pulpado, y los extractivos, entre los que abundan las resinas y los taninos suelen ser de tono rojizo más o menos notorio (Núñez, 2008).

### 5.3 PROPIEDADES FUNCIONALES DE LAS FIBRAS

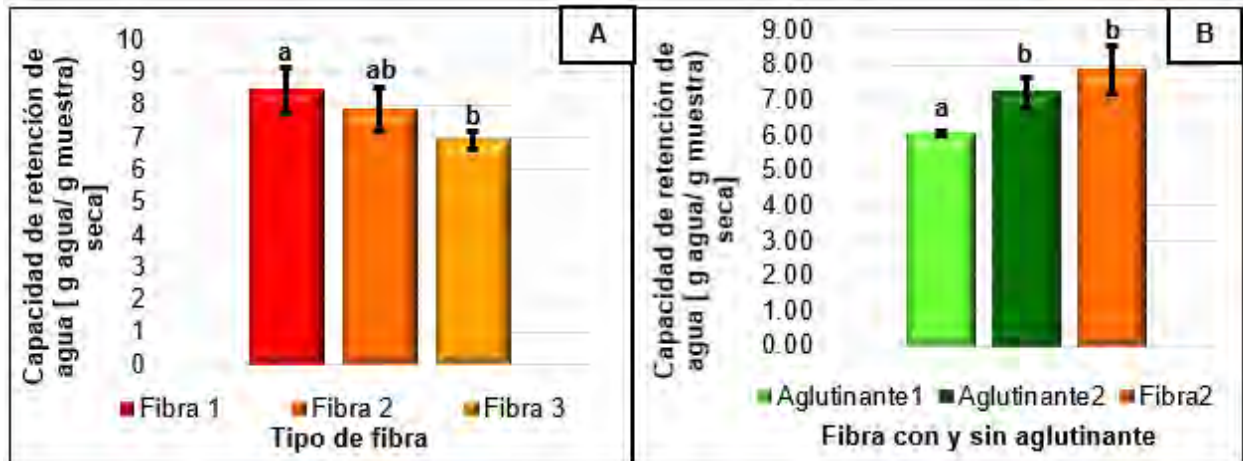
#### 5.3.1 Capacidad de retención de agua

La capacidad de retención de agua generalmente hace referencia a la cantidad de agua que una macromolécula en general puede retener sin que haya liberación del líquido, esto depende de factores extrínsecos (tipo de polímero, peso molecular, linealidad, etc.) e intrínsecos (pH, fuerza iónica, temperatura, presencia de cationes, etc.) (Badui, 2006).



Para la capacidad de retención de agua, en la Figura 35 (A) se presentan los resultados en donde la fibra 1 registró mayor capacidad de retención de agua con un promedio de  $8.45 \left[ \frac{g_{agua}}{g_{muestra\ seca}} \right]$ , la fibra 2 presentó un promedio de  $7.86 \left[ \frac{g_{agua}}{g_{muestra\ seca}} \right]$  y conforme avanzó el tratamiento químico para los residuos de piña, la fibra 3 presentó menor capacidad de retención de agua con un valor de  $6.91 \left[ \frac{g_{agua}}{g_{muestra\ seca}} \right]$ . Con los resultados anteriores existe diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre la fibra 1 y fibra 3, sin embargo, ambas no tienen diferencia significativa con la fibra 2. Leterme *et al.*, (1998) señalaron que una alta capacidad de retención de agua oscila entre 10 y 12  $\left[ \frac{g_{agua}}{g_{muestra\ seca}} \right]$ ; la cual se reportó en torta de maíz y cáscara de maracuyá con tamaño de partícula entre 595 y 425  $\mu\text{m}$  (Baquero y Bermudez, 1998), en cuanto a los resultados obtenidos para cada uno de los tratamientos se observa un intervalo inferior en comparación al rango que menciona Leterme y colaboradores. Como se mencionó anteriormente la fibra 3 fue la más baja en capacidad de retención de agua debido a la cristalinidad específica de la celulosa, la cual hace que la misma sea insoluble en agua, aunque tenga un alto contenido de grupos hidroxilo ( $\text{OH}^-$ ) y tiene implicaciones importantes en los procesos a los cuales son sometidos los materiales lignocelulósicos, esta estructura cristalina, limita el ataque de diferentes reactivos químicos y enzimáticos (Abril y Navarro, 2012). Por lo anterior se seleccionó la fibra 2 debido a que no tiene diferencia significativa con la fibra de la primera y la fibra de la tercera hidrólisis, el resultado de la retención de agua para la fibra 2 facilita la hidratación de esta para el moldeo de hojas y la posterior formación de envases. Además de que esta fibra presentó una carga microbiana de mohos y levaduras y coliformes totales muy baja en UFC/g en comparación a la fibra 1 y 3.





**Figura 35.** Capacidad de retención de agua de las fibras resultantes de cada una de las condiciones de hidrólisis (A), Evaluación de las concentraciones de aglutinante (B). Las líneas verticales sobre las barras es un indicativo de la  $\pm$  desviación estándar del tratamiento. Las letras en cada barra indica diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ), entre las diferentes condiciones de hidrólisis.

Por otra parte, también se evaluaron las dos formulaciones del aglutinante de almidón de yuca que recubre la fibra del envase en comparación con la fibra 2, la cual fue seleccionada para el desarrollo del prototipo de envase (Figura 35 B). El aglutinante 1 con mayor porcentaje de almidón de yuca (11.5%) presentó menor capacidad de retención de agua de  $6.05 \left[ \frac{g_{agua}}{g_{muestra\ seca}} \right]$  teniendo diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) con el aglutinante 2 que presentó un valor de 16% mayor en esta propiedad.

Se considera esta disminución de retención de agua en la fibra con el aglutinante 1 debido a que, los gránulos de almidón son insolubles en agua fría, debido a que su estructura está altamente organizada y a que presenta una gran estabilidad por las múltiples interacciones que existen con sus dos polisacáridos constituyentes (amilosa y amilopectina); sin embargo cuando hay un incremento en la temperatura comienza un proceso lento de absorción de agua en las zonas intermicelares amorfas, que son las menos organizadas y las más accesibles, ya que los puentes de hidrógeno no son tan numerosos ni rígidos como en las áreas cristalinas (Badui, 2006).

En base a los resultados anteriores, se elige la fibra 2 con recubrimiento de la formulación 1 de aglutinante.



Debido a la reducción en la capacidad de absorción de agua la cual aumenta su resistencia a la degradación cuando son expuestos a condiciones ambientales como humedad, luz solar, cambios de temperatura o microorganismos, preservando sus propiedades mecánicas y su estabilidad dimensional (Rodríguez *et al.*, 2014).

### 5.3.2 Capacidad de retención de aceite

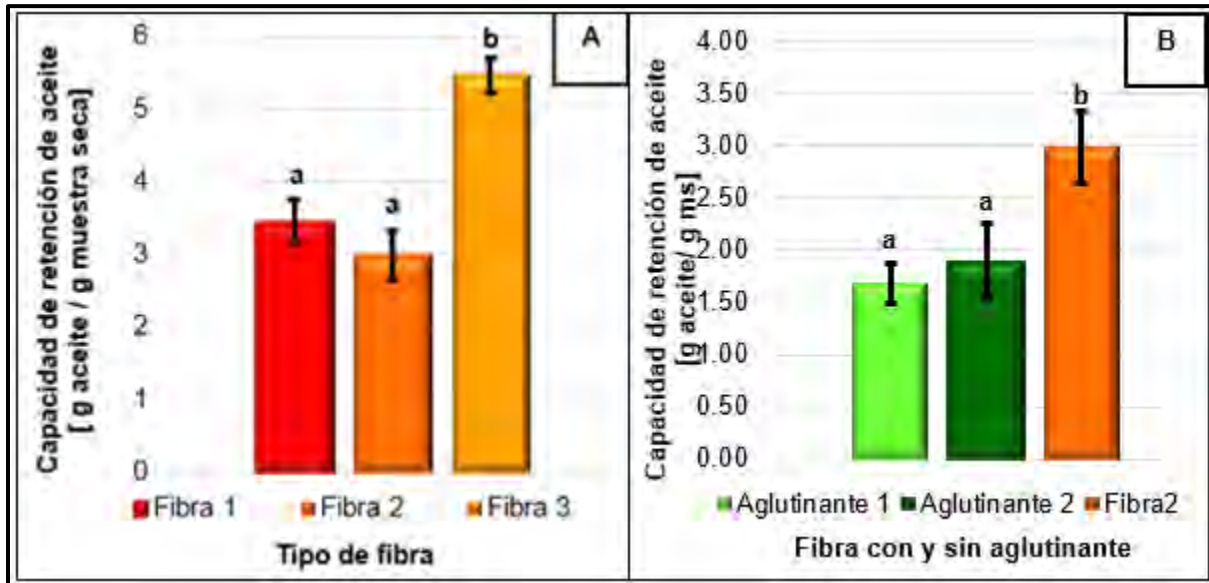
El parámetro de capacidad de retención de aceite determina el grado en que una fibra se puede incorporar a un sistema alimenticio para no deteriorar la viscosidad ni la apariencia del producto final (Sánchez, 2005). La determinación de este factor es importante debido a la adición del aceite esencial de orégano. La capacidad de retención de aceite evaluado en las fibras obtenidas en cada tratamiento químico (Figura 36 A) presentan los siguientes resultados en donde la fibra 2 tiene la menor capacidad de absorción de aceite con un promedio de 2.98 (g aceite/ g muestra seca), seguido por la fibra 1 con un valor de 3.45 (g aceite/ g muestra seca) no presentando diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) entre ambas fibras. En cuanto a la fibra 3 que fue obtenida en la última hidrólisis con NaOH 10%, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.4% y NaOH 20%, esta presentó mayor capacidad de retención de aceite con un resultado de 5.46  $\left[ \frac{g_{aceite}}{g_{muestra\ seca}} \right]$  y diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) con respecto a la fibra 1 y 2.

La capacidad de retención de aceite incrementa cuando hay mayor presencia de fibra dietética insoluble presente en la muestra, otros factores que pueden influir sobre la capacidad de retención de aceite son el tamaño, forma y área superficial de las partículas de fibra, así como su composición química (López *et al.*, 1997), este comportamiento se observa para la tercera fibra debido al tratamiento por el que paso, en donde hubo mayor empleo de reactivos, los cuales desintegraban la estructura lignocelulósica, dejando más expuesta la estructura de la celulosa, la cual forma parte de la fibra dietética, la cual se considera como no nutriente, ya que no participa directamente en procesos metabólicos del organismo. No obstante, desempeña funciones fisiológicas de suma importancia como estimular la peristalsis intestinal (Trigolimpio, 2012).

En cuanto a la capacidad de retención de aceite sobre la fibra 2 evaluando las dos formulaciones de aglutinante, presentó menor valor de este parámetro el aglutinante 1 (almidón de yuca 11.5%, vinagre 11.5%, agua 77%) de 1.686  $\left[ \frac{g_{aceite}}{g_{muestra\ seca}} \right]$ , no teniendo diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) con el aglutinante 2 (almidón de yuca 6.5%, vinagre 6.5% y agua 87%) la cual obtuvo un valor promedio de 1.898  $\left[ \frac{g_{aceite}}{g_{muestra\ seca}} \right]$ .



El resultado de la capacidad de retención de aceite para el aglutinante 1, el cual contiene en su formulación un porcentaje mayor de almidón de yuca comparado con el aglutinante 2, es cercano al resultado reportado por Granados *et al.*, (2014) para almidón de yuca el cual es de  $1.284 \left[ \frac{g_{aceite}}{g_{muestra\ seca}} \right]$ .



**Figura 36.** Capacidad de retención de aceite para las fibras resultantes de cada una de las condiciones de hidrólisis (A). Evaluación de la fibra 2 recubierta con las dos fórmulas de aglutinante (B). Las líneas verticales sobre las barras es un indicativo de la  $\pm$  desviación estándar del tratamiento. Las letras en cada barra indica diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ), entre las diferentes condiciones de hidrólisis.

Es importante considerar también que las partículas con gran superficie presentan mayor capacidad para absorber y atrapar componentes de naturaleza aceitosa; la grasa es atrapada en la superficie de la fibra principalmente por medios mecánicos. Se ha observado que las fibras insolubles (que contienen celulosa y lignina) presentan mayores valores de absorción de grasa que las fibras solubles (que contienen en su mayoría hemicelulosas y pectinas). A esta propiedad se le relaciona con la composición química, el tamaño y el área de las partículas de la fibra (Matos y Chambilla, 2010).

La fibra 2 recubierta con el aglutinante formulado con almidón de yuca, el cual es de origen nativo tuvo una capacidad de retención de aceite baja para ambas formulaciones, en comparación que, si se hubiese usado un almidón modificado, ya que estos al ser sometidos a un proceso de acetilación altera significativamente las propiedades físicas y químicas del almidón nativo.



Este proceso es llevado a cabo con la finalidad de mejorar la funcionalidad de estos; y al contener el grupo función que es introducido al almidón que le confiere un carácter hidrofóbico, causando de tal manera un impedimento estérico facilitando el paso del aceite dentro del granulo del almidón (Singh *et al.*, 2007; Torres *et al.*, 2015). No obstante, para términos de esta experimentación, la capacidad de retención de aceite con el Aglutinante 1 en la Fibra 2 fue la suficiente, para que el aceite lograra absorberse bien en el envase prototipo, evitando el contacto directo entre éste con el producto a envasar (jitomates *cherry*).

### 5.4 PROPIEDADES MECÁNICAS

Las propiedades mecánicas de las fibras resultan bastante diversas y dependen mucho de las condiciones en las que se encuentra la fibra, principalmente en cuanto a su grado de humedad. Las fibras presentan diferentes composiciones y propiedades físicas que presentan una elevada influencia en las propiedades finales del compuesto (Salvador, 2008).

Así también, las propiedades mecánicas de los materiales; son las características inherentes que permiten diferenciar un material de otros; el comportamiento mecánico de un material, es el reflejo de la relación de su respuesta o deformación ante una fuerza o carga aplicada. Entre estas características mecánicas, se destacan, la resistencia al impacto, resistencia a esfuerzos de tracción, compresión y torsión, entre otras (Espitia, 2010).

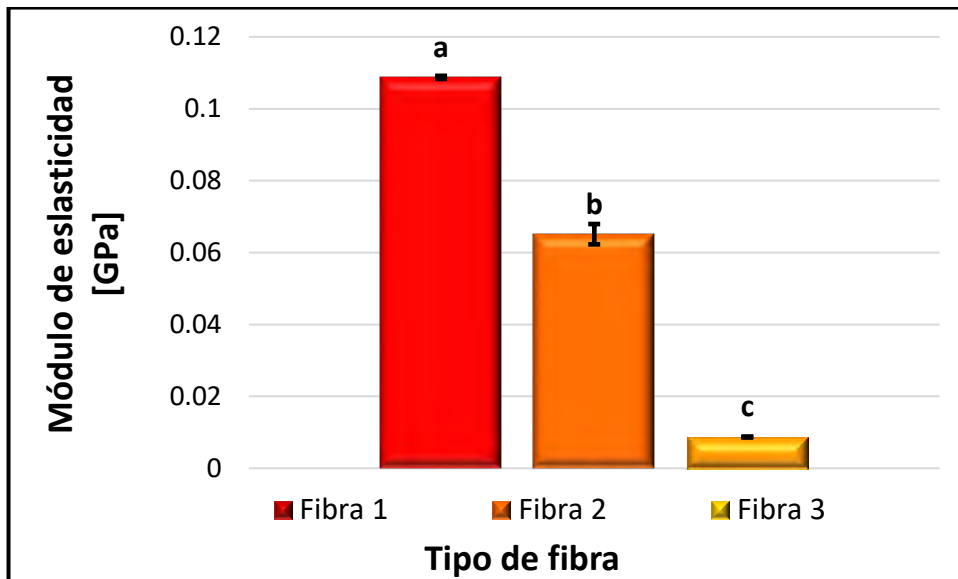
En la figura 37 se puede observar los resultados obtenidos para la determinación de ensayo a tensión, módulo de elasticidad para cada una de las fibras resultantes de cada tratamiento de hidrólisis, presentando diferencia significativa para las tres fibras ( $p \leq 0.05$ ). Obteniéndose resultados muy distintos para cada fibra, la primera hidrólisis resultó presentar mayor resistencia a la fuerza ejercida con un valor de 0.1087 GPa, la F2 está por debajo de la F1 con un 40% de valor que fue de 0.0651 GPa, y la Fibra 3 manteniéndose muy por debajo de F1 con un 92% y de F2 con un 87% con un resultado de 0.0087 GPa.

Los resultados obtenidos en esta experimentación no coinciden con los resultados de módulo de elasticidad para la fibra de piña empleada en la modificación de termoplásticos que presentó un valor de 4.2 GPa según Idicula *et al.*, (2006), citado por Salvador, (2008) quien utilizó un MTEST2000 de Gatan Inc para esta determinación, lo que implica una diferencia en el tipo de técnica utilizada para evaluar esta propiedad.



Por otra parte, un estudio realizado por Espitia (2010) con nanocompuestos de fibras de celulosa obtenidas a partir de bagazo de caña de azúcar y polipropileno aplicado en el reforzamiento de polímeros termoplásticos, evaluó el módulo de elasticidad obteniendo un resultado de 1.33 GPa, empleándose para ello una máquina universal marca HP.

La F1 como se muestra en la figura 37, evidentemente fue la de mayor resistencia seguido por la F2, y la F3 tuvo una resistencia muy baja, comparado con las dos anteriores, es necesario mencionar que las condiciones en la que se realizaron los ensayos no fue la misma, ya que en laboratorio de postcosecha se empleó el penetrómetro para posteriormente calcular el módulo de elasticidad (E) con los datos de presión ejercida sobre el área. Y considerando que las fibras que evaluaron Idicula *et al.*, (2006) y Espitia (2010) son fibras mezcladas con polímeros sintéticos, lo que dio como resultado una mayor resistencia a la presión.

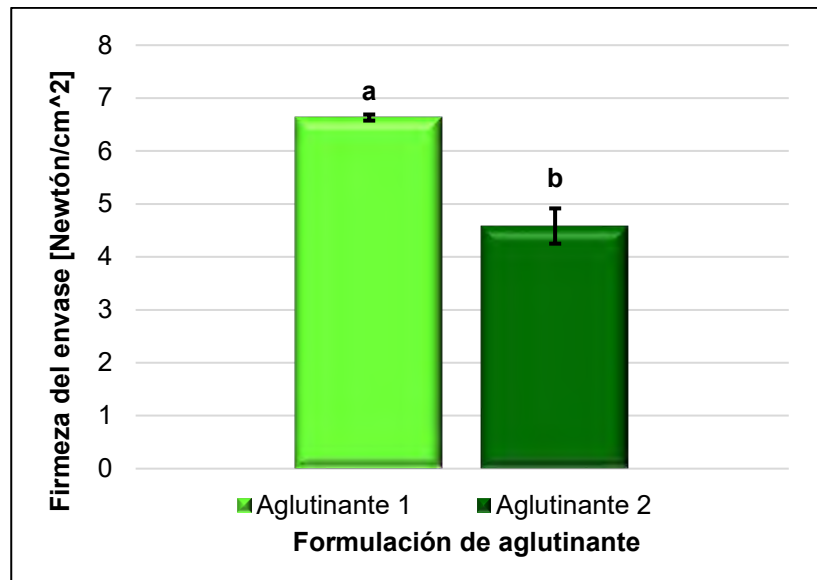


**Figura 37.** Módulo de elasticidad evaluada para las tres fibras. Las líneas verticales sobre las barras es un indicativo de la  $\pm$  desviación estándar del tratamiento. Las letras en cada barra indica diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ), entre las diferentes condiciones de hidrólisis.

Una de las características más importantes de los materiales en general, son aquellas relacionadas con su uso final. En este sentido el estudio de las propiedades mecánicas es una de las más interesantes, pues restringe la aplicación específica de un material (Espitia, 2010). Por lo anterior se evaluó las formulaciones del aglutinante que se adicionó como recubrimiento en el envase prototipo ( $5 \times 5 \text{ cm}^3$ ) que fue elaborado con la fibra 2. Debido a la geometría y dimensiones de dicho envase se evaluó solo la firmeza y no el módulo de elasticidad como fue con las fibras (especímenes).



En la figura 38 se muestran los resultados del envase recubierto con las dos formulaciones de aglutinante en donde el Aglutinante 1 que contiene mayor porcentaje de almidón de yuca en su formulación (11.5%), dió un resultado de  $6.63 \text{ N/cm}^2$  y siendo superior por 31% en comparación con el Aglutinante 2 que contiene solo 6.5 % de almidón, el cual obtuvo en promedio un valor de  $4.58 \text{ N/cm}^2$ , existiendo diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre ambos aglutinantes.



**Figura 38.** Resistencia a la presión ejercida sobre el envase prototipo recubierto con las dos formulaciones de aglutinante. Las líneas verticales sobre las barras es un indicativo de la  $\pm$  desviación estándar del tratamiento. Las letras en cada barra indica diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ), entre los diferentes aglutinantes.

La utilización de almidones complejos de valor agregado destaca en los productos de papel. Los almidones sirven para dar mayor fuerza a los pañuelos y toallas de papel, y permiten aprovechar más el papel reciclado en cartón macizo y cartón. La exigencia cada vez mayor de que los productos sean biodegradables aumentará el volumen, ya que el almidón se utiliza en las películas y hojas de plástico, así como en las formulaciones de fibras naturales que irán reemplazando a las espumas de plástico (FAO, 1998).

### 5.5 EVALUACIÓN DEL EFECTO INHIBITORIO DEL ACEITE ESENCIAL DE ORÉGANO SOBRE EL CRECIMIENTO *IN VITRO* DE *BOTRYTIS CINEREA*

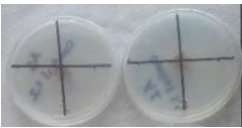

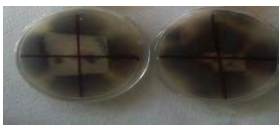









El efecto inhibitorio del aceite esencial de orégano evaluado en tres concentraciones (1130, 2260, 3400  $\mu\text{g/mL}$ ) añadido en la fibra recubierta con las dos diferentes formulaciones de aglutinante



mostraron los siguientes resultados los cuales se muestran a continuación, así como el seguimiento fotográfico.

Para el aglutinante 1 (almidón de yuca 11.5%, vinagre 11.5%, agua 77%) en la tabla 13, se aprecia que hubo una inhibición total de *Botrytis cinerea* en las cajas Petri para cada una de las concentraciones de aceite. En cuanto a las muestras controles se manifestó el crecimiento micelial del hongo con sus respectivas características morfológicas constituido por sus conidióforos ramificados que se originan principalmente de la masa hifal propio de este hongo ascomiceto responsable del crecimiento del comúnmente conocido como moho gris. Las cuales alcanzaron un diámetro promedio de micelio de 2.3 cm para el quinto día y un diámetro final para el día 10 de 2.5 cm.

**Tabla 13. Evaluación *in vitro* del efecto antifúngico del aceite esencial de orégano sobre *Botrytis cinerea*, aplicado a la primera formulación de aglutinante.**

| CONCENTRACIÓN<br>[µg/mL] | Día 0   | Día 5  | Día 10  |
|--------------------------|---|--|---|
| Control                  |  |  |  |
| 1,130                    |  |  |  |
| 2,260                    |  |  |  |
| 3,400                    |  |  |  |

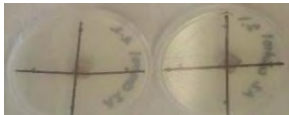




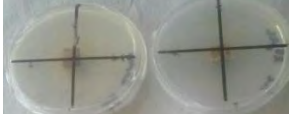
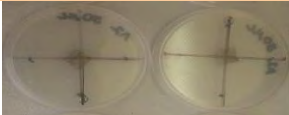





En cuanto a los resultados para el aglutinante 2 (almidón de yuca 6.5%, vinagre 6.5%, agua 87%) adicionado con las tres concentraciones de aceite de orégano la presencia de este hongo fitopatógeno fue nulo durante toda la prueba (Tabla 14) al igual que para la fibra recubierta con el aglutinante 1.



En los controles, para esta formulación de aglutinante *Botrytis cinerea* tuvo un crecimiento de diámetro micelial de 2.5 cm al día 5, el mismo crecimiento que presentó la fibra con aglutinante 1 pero al día 10. En cuanto al final del periodo de incubación, décimo día presentó un diámetro de 2.8 cm.

Los resultados obtenidos para ambos aglutinantes con la variación de las tres concentraciones de aceite esencial de orégano coinciden con los obtenidos por Daferera *et al.*, (2003), quien lo evaluó para conocer la eficiencia de control contra varios hongos fitopatógenos entre ellos *Botrytis cinerea*, sin embargo, el crecimiento fue inhibido totalmente a concentraciones bajas (85-300 µg/mL) en comparación con las empleadas en este trabajo. Por otra parte, la inhibición del crecimiento micelial del aceite esencial del orégano se debe a la concentración de metabolitos complementarios con actividad biológica inhibitoria (Taborda *et al.*, 2014). Los compuestos fenólicos constituyen una de las principales clases de metabolitos secundarios de las plantas, en las cuales desempeñan diversas funciones fisiológicas (Amadio *et al.*, 2011).

**Tabla 14.** Evaluación *in vitro* del efecto antifúngico del aceite esencial de orégano sobre *Botrytis cinerea*, aplicado a la segunda formulación de aglutinante.

| CONCENTRACIÓN<br>[µg/mL] | Día 0   | Día 5  | Día 10  |
|--------------------------|---|--|---|
| Control                  |  |  |  |
| 1,130                    |  |  |  |
| 2,260                    |  |  |  |
| 3,400                    |  |  |  |

Carvacrol y timol fueron los compuestos más efectivos a las tres concentraciones evaluadas (30, 40 y 50 ppm) según un estudio realizado por Velásquez *et al.* (2014). Probado sobre el crecimiento de *Penicillium sp.* Experimentos realizados por Hernández *et al.* (2007) y Plotto *et al.*





(2003) mostraron inhibición del crecimiento de hongos como *Botrytis cinerea*, *Alternaria arborescens* y *Rhizopus stolonifer*.

Son varios los estudios realizados sobre la actividad antimicrobiana de los extractos de diferentes tipos de orégano. Se ha encontrado que los aceites esenciales de las especies del género *Origanum* presentan actividad contra bacterias gram negativas como *Salmonella typhimurium*, *Escherichia coli*; y las gram positivas como *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes* (Aligiannis, 2001). Además de tener también capacidad antifúngica contra *Candida albicans*, *Aspergillus Niger*, *Botrytis cinerea*, entre otros. La actividad antimicrobiana de los componentes aislados, así como el del aceite esencial han sido evaluados demostrándose que los fenoles carvacrol y timol poseen los niveles más altos de actividad contra microorganismos gram negativos, siendo el timol más activo (Rodríguez, 2011).

Los valores de la concentración mínima inhibitoria para los aceites esenciales se han establecido entre 0.28-1.27 mg/mL para bacterias, y de 0.65-1.27 mg/mL para hongos (Aligiannis, 2001).

Los aceites esenciales afectan etapas del desarrollo de los hongos como la germinación de esporas, formación de estructuras de penetración, desarrollo de micelio y esporulación. Por lo general, la germinación de esporas y el desarrollo micelial son utilizados en estudios como este (*in vitro*) para subsecuentes aplicaciones (Montes *et al.*, 2000).

Una característica importante de los componentes de los aceites esenciales es su hidrofobicidad, la cual permite la separación de los lípidos de la membrana celular y la mitocondria, desordenando la estructura y haciéndola más permeable, lo que permite la filtración de iones y otros contenidos celulares (Oosterhaven *et al.*, 1995).

El prototipo del envase activo elaborado a partir de la fibra 2, que como se menciono en los apartados anteriores fue la fibra que presento la concentración más baja de UFC/g de mohos y levaduras, reduciendo de esta manera la posible contaminación del envase hacía el producto a contener (jitomates cherry), así como el aglutinante 1 que en su formulación contiene un mayor porcentaje de almidón de yuca, incrementando así la resistencia del material del envase como tal, y su disminución en la absorción de agua la cuál favorece y protege de cierta forma el envase bajo condiciones de almacenamiento. La concentración de aceite elegida debido a que está fue la concentración más baja de [1,130 µg/mL] por cm<sup>2</sup> del envase, en comparación con las tres concentraciones evaluadas, ya que a partir de esta concentración no hubo crecimiento *in vitro* de *Botrytis cinerea*.



La fibra 2, el aglutinante 1 y el aceite esencial de orégano a [1,130 µg/mL], en conjunto fueron las condiciones de material de elección para desarrollar dicho envase y realizar su caracterización.

### 5.6 CARACTERIZACIÓN DEL PROTOTIPO DEL ENVASE ACTIVO

#### 5.6.1 Microscopía MEB

La caracterización con el microscopio electrónico de barrido (MEB) permite que por medio de este instrumento se tenga la observación superficial de materiales inorgánicos y orgánicos, ya que se puede obtener información morfológica del material analizado. A partir de él se producen distintos tipos de señales que se generan desde la muestra y se utilizan para ser examinados algunas de sus características (Díaz, 2013).

En la tabla 15, se muestran las micrografías obtenidas de la fibra de residuos integrales de la piña (fibra 2), del envase prototipo desarrollado a partir de este recubierto con aglutinante (A2) de almidón de yuca y adicionado con el aceite esencial de orégano [1,130 µg/mL], así como también una muestra positiva (cartón de huevo) y una negativa (PET).

**Tabla 15. Caracterización morfológica de las fibras de piña y envase prototipo en comparación con una muestra positiva (cartón de huevo) y una negativa (PET)**

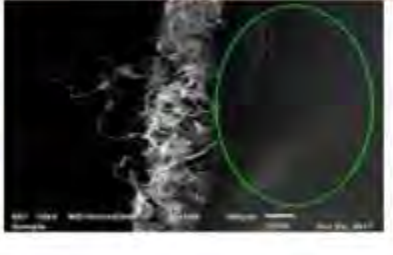
| Magnificación de las micrografías   |  |  |
|---|--|--|
| x500  | x100   | Descripción  |
|  |  | Fibra de residuos de piña:<br>En las imágenes se muestra la fibra 2, en x500 las fibras se observan separadas, con huecos entre ellas. En x100 la fibra se observa en forma más entrelazada.   |
|  |  | Fibra con aglutinante de almidón: El círculo señala el aglutinante de almidón de yuca que recubre a la fibra de la piña, se puede observar por abajo del aglutinante las fibras y la rotura de este cuando se hizo el corte longitudinal para realizar esta prueba |



Tabla 15. Caracterización morfológica de las fibras de piña y envase prototipo en comparación con una muestra positiva (cartón de huevo) y una negativa (PET). (Continuación).

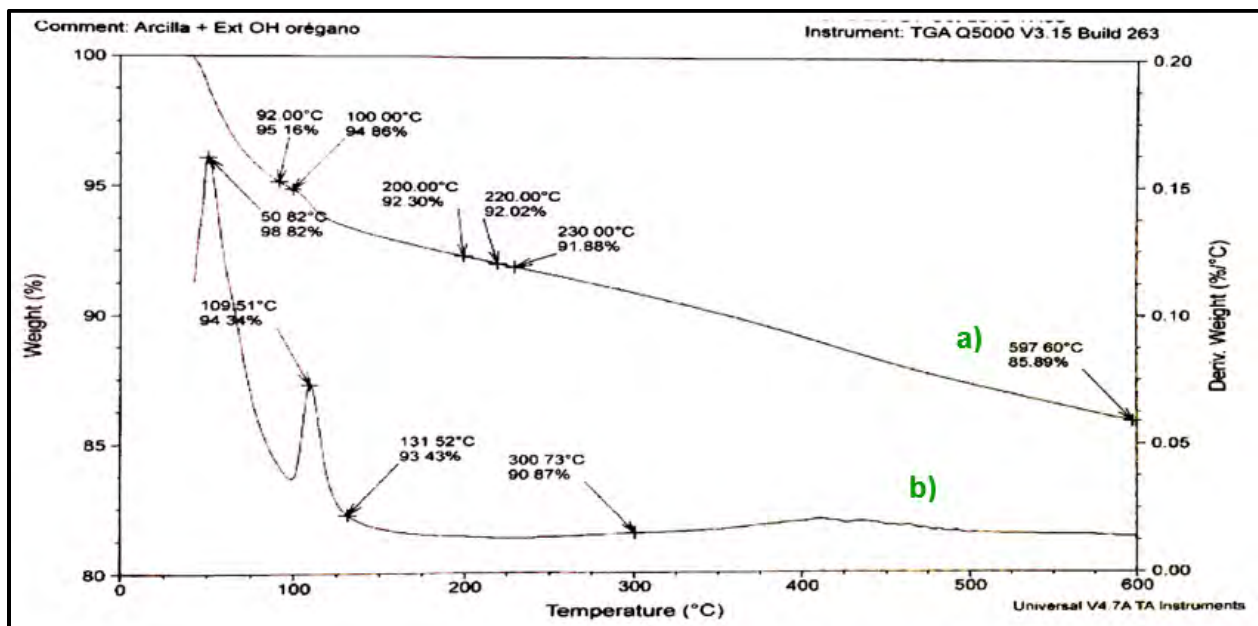
| Magnificación de las micrografías |       |  |
|-----------------------------------|-------|--|
| X 500                             | X 100 |  |
|                                   |       | <p>Fibra con aglutinante de almidón: El círculo señala el aglutinante de almidón de yuca que recubre a la fibra de la piña, se puede observar por abajo del aglutinante las fibras y la rotura de este cuando se hizo el corte longitudinal para realizar esta prueba</p>  |
|                                   |       | <p>Fibra de piña con almidón y aceite de orégano: El aglutinante al igual que la imagen anterior, recubre las fibras de piña. La adición del aceite esencial se observa en las áreas más claras debido a su volatilidad tiende a quemarse bajo el haz del microscopio.</p>   |
|                                   |       | <p>Cartón-envase de huevos (muestra positiva: El cartón proveniente de material orgánico y en su mayoría de celulosa maderable, en esta imagen en comparación con la de fibra de piña se muestra mayormente compactada debido a su proceso de prensado y moldeo como también la adición de resinas colofónicas y otros aditivos para reforzar la unión entre fibras.</p> |



### 5.6.2 Termogravimetría del prototipo de envase activo

El análisis termogravimétrico está basado en la medida de la variación de la masa de una muestra en condiciones de cambio de temperatura en una atmósfera controlada. Esta variación puede ser una pérdida o una ganancia de masa. El registro de estos cambios proporciona información sobre la descomposición o reacción de la muestra con otros componentes (Wielage, 1999).

Se realizó un análisis termogravimétrico (TGA) de la pérdida de peso (Figura 39) del envase activo, es decir, de la fibra 2 recubierta con el aglutinante 1 elaborado con almidón de yuca y adicionado con aceite esencial de orégano [1,130 µg/mL].



**Figura 39.** Termograma de envase activo b), usando como referencia la arcilla a).

La estabilidad térmica es la habilidad de una sustancia para mantener sus propiedades tan cercanamente incambiables como sea posible durante el calentamiento. En la figura 39 se pueden observar dos curvas termogravimétricas; la curva a) es la muestra del material del envase activo recubierta con material de arcilla, ya que este es un mineral polimérico estable que proporcionan los silicatos (Chiné, 2007).

Debido a que el envase activo contiene un compuesto fungistático (aceite esencial de orégano), esto representa considerar solamente el efecto de la temperatura sobre la estabilidad del aceite.



Con base a la temperatura se pueden registrar diferentes pérdidas de masa y humedad, los datos obtenidos para cada una de estas transiciones para el material con el cual se elaboró el prototipo del envase activo (fibra 2, aglutinante 1 y aceite esencial de orégano) se pueden apreciar en la tabla 16.

**Tabla 16. Análisis termogravimétrico de prototipo del envase activo.**

| Temperaturas (°C) | Pérdida de peso (%)<br>Envase fibra + aceite de<br>orégano recubierto con arcilla.<br>(a) | Pérdida de peso (%)<br>Envase fibra + aceite de orégano<br>sin recubrimiento de arcilla. (b) |
|-------------------|---|--|
| 50                | -   | 1  |
| 100               | 5   | 6  |
| 200               | 7   | 19   |
| 300               | 8   | 10   |
| 600               | 14  | -  |

Para la curva del material recubierto con arcilla a), se tuvo un máximo de pérdida de peso del 16% del material a una temperatura de 600 °C. La temperatura inicial de descomposición fue a 50 °C en la curva b) teniéndose una pérdida del 10% del peso total de la muestra. Apartir de allí se inició una rápida descomposición del aceite al incrementarse la temperatura, completandose así a esta temperatura (300°C) su descomposición total. El efecto de la temperatura sobre el aceite esencial de orégano da como resultado la formación de un 10% en peso de volátiles y un 90% de compuestos no volátiles, estos compuestos lo conforman la fibra y el aglutinante de almidón de yuca.

Un estudio termogravimétrico realizado por Solís *et al.*, 2010 en aceite de huso de guanábana tuvo como resultado un valor de 99% de compuestos volátiles, esto debido a que solo se realizó al aceite esencial sin añadir a ningún otro polímero como lo fue en este proyecto.

En cuanto a fibras naturales se trata, el efecto de este análisis sobre la hemicelulosa hace que se desintegre primero, seguido por la celulosa y la lignina. La cantidad de impurezas presentes en las fibras también acelera el proceso de degradación, adquiridos en los procesos de extracción o pre-tratamientos (Wielage, 1999).

La desintegración de la estructura celulósica sigue dos comportamientos: a bajas temperaturas en las que se presenta una descomposición del enlace glucosídico para formar residuos carbonosos y a altas temperaturas en las que se presenta una despolimerización lo que provoca el desprendimiento de compuestos volátiles (Bolio *et al.*, 2011).



### 5.7 APLICACIÓN DEL ENVASE ACTIVO EN LA CONSERVACIÓN DE JITOMATE CHERRY

#### 5.7.1 Pérdida de peso

Las frutas y las hortalizas frescas se componen principalmente de agua (80% o más) y en la etapa de crecimiento tienen un abastecimiento abundante de este líquido vital a través del sistema radicular de las plantas. Cuando las frutas y hortalizas son cosechados, este abastecimiento de agua se detiene y el producto debe sobrevivir de sus propias reservas. Al mismo tiempo que acontece la respiración, el producto cosechado sigue perdiendo agua hacia la atmosfera, tal como lo hacía antes de la cosecha, por un proceso conocido como transpiración. La actividad metabólica en frutas y vegetales en estado de fresca continua por un periodo corto después de la cosecha, la energía requerida para sostener esta actividad viene de la respiración, que implica la oxidación de azúcares fermentables para producir bióxido de carbono, agua y calor. La atmosfera interna de frutas y hortalizas está saturada con vapor de agua, pero a la misma temperatura el aire circundante esta menos saturado. Existe pues un gradiente a lo largo del cual el vapor de agua se mueve desde el producto al aire que lo rodea (FAO, 2017c).

En la figura 40 se muestran los resultados de la medida en porcentaje de la pérdida de peso de los jitomates *cherry* durante un tiempo de almacenamiento de 12 días a 14°C, en donde se aprecia que los jitomates en envases de cartón de huevo (EC) fueron los que presentaron menor porcentaje de pérdida de peso, alcanzando un máximo de 8.58% para el último día, entre los días 6 y 9 hubo una pérdida drástica de peso del 38.16%, permaneciendo la pérdida de peso casi invariable los días 9 y 11. La curva de EC se mantuvo para el día 12 por debajo de los jitomates envasados con el envase control de fibra (EF) con un 37.14% y de los jitomates en envase de fibra activa (EA) en un 26.66%.

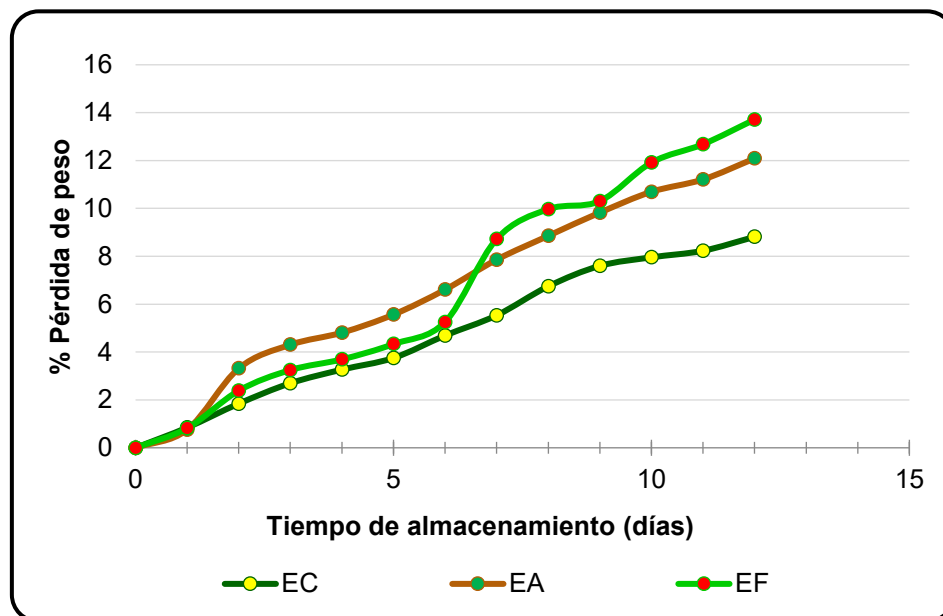
En cuanto a los jitomates en envases de control de fibra (EF) presentaron el mayor porcentaje de pérdida de peso obteniendo para el doceavo día un valor de 14%, entre los días 1 a 6 se mantuvo casi con los mismos resultados para el mismo tiempo que con los jitomates de envase de cartón de huevo (EC) y al día 7 tuvo una pérdida drástica del 7.9% en peso.

Para el lote de jitomates en envases de fibra activa (EA) tuvo una pérdida de 14.28% menos en comparación con el lote de jitomates en los envases control de fibra (EF) con un valor promedio de 12% para el último día de almacenamiento, hubo una pérdida de peso considerable entre el primer y tercer día con un porcentaje de 75.8%.



Comparando el lote de jitomates en envases activos (EA) con respecto a los jitomates de los envases control de fibra (EF), los primeros presentaron resultados favorables en cuanto a una disminución en la pérdida de peso, ya que los envases al contener aceite esencial de orégano el cual está compuesto químicamente por carvacrol y éste al tener en su estructura química un grupo fenólico le confiere así un alto poder hidrofóbico (García y Palou, 2008).

El efecto neto de la transpiración es una pérdida de agua del producto cosechado, que no puede ser reemplazada. La velocidad con que se pierde esta será un factor determinante en la vida postcosecha del producto. La pérdida de agua causa una disminución significativa del peso y a medida que avanza, disminuye la apariencia y elasticidad del producto perdiendo su turgencia, volviéndose blando y marchito (FAO, 2017b).



**Figura 40.** Efecto de los envases activos sobre el porcentaje de pérdida de peso de los jitomates durante el tiempo de almacenamiento en frío (14°C). EC: envase de cartón de huevo; EA: envase activo; Envase control de fibra (EF).

Según datos de Javanmardi y Kubota (2006), reportan que durante 16 días de almacenamiento de tomate a 5°C se redujo la pérdida de peso comparado con una prueba a 12°C. El límite para el tomate en pérdida de peso para su comercialización, no debe de exceder del 7% de su peso original (Riquelme, 1999).

Los resultados obtenidos para este trabajo muestran que el almacenamiento a 14°C tuvo un efecto negativo relacionada con el cumplimiento del máximo porcentaje recomendable en pérdida de peso que deben de tener los jitomates para su posterior comercialización según lo



mencionado por Riquelme (1999), ya que los tres lotes de envases diferentes (EC, EA, EF) presentaron pérdidas de peso superiores al 7%.

Es por lo anterior, que para alargar la vida postcosecha de cualquier producto fresco se deduce que es necesario controlar los procesos de respiración y transpiración, ya que dicho proceso consiste en el movimiento de vapor de agua a través de un gradiente (de mayor a menor) (FAO, 2017a).

### 5.7.2 Índice de decaimiento (IDC)

El hongo fitopatógeno *Botrytis cinerea* está catalogado como uno de los principales causantes de las alteraciones más frecuentes en frutas y hortalizas, especialmente las referidas al aspecto físico, valor nutricional, características organolépticas y dificultad de conservación, así como de las alergias e intoxicaciones en los consumidores, debido a que producen estructuras especializadas que se depositan en el producto, penetran, invaden y eventualmente colonizan masivamente el tejido para causar daño y posteriormente segregar sustancias, como consecuencia de su metabolismo secundario (Fitenborg *et al.*, 1996).

El deterioro decaimiento o marchitez es probablemente la fuente más grande de desperdicios durante la comercialización, cuando lesiones mecánicas rompen la piel del producto, los microorganismos entran, si se expone al calor (húmedo), la infección aumenta generalmente. La refrigeración adecuada es el mejor método para controlar el decaimiento con bajas temperaturas, con estas se controla el crecimiento de la mayoría de microorganismos (Umaña, 2011).

Se evaluó el índice de decaimiento (IDC) mediante una simulación de almacenaje comercial para los jitomates *cherry* en envases activos, envase control, y envase de cartón de huevo durante un tiempo de 12 días en temperatura de refrigeración (14°C). En la Tabla 17 se puede apreciar los resultados de índice de decaimiento que presentaron los jitomates de cada uno de los lotes de los tres envases distintos. Primero se evaluó la temperatura de refrigeración (14°C) durante 12 días, se monitorio la presencia de *Botrytis cinerea* (podredumbre gris) sobre la superficie de la corteza del jitomate, teniendo resultados favorables para los tres lotes de envases diferentes en donde no hubo manifestación del crecimiento del hongo. Sin embargo, para seguir el estudio y continuando la simulación de almacenamiento comercial, los envases fueron puesto en condiciones normales de ambiente.





Durante 6 días más, en donde a partir del día 16 hubo manifestación de crecimiento de esporas en la superficie vegetal de los jitomates envasados en los contenedores de cartón de huevo (EC) y en los de control de fibra (EF) alcanzado este último un valor de IDC de 0.4% y para el primero de 0.6% en el día final de almacenamiento (día 18), es decir, al día 6 en condiciones de temperatura ambiente (25°C). Caso totalmente contrario para los jitomates del envase activo (EA) en donde no hubo presencia alguna de *Botrytis cinerea* para las dos condiciones de almacenamiento, sin embargo, la textura del jitomate se vio afectado de manera similar como ocurrió con los jitomates en envase de cartón de huevo (EC) y de control de fibra (EF).

**Tabla 17. Porcentaje de índice de decaimiento durante el almacenamiento en frío (14°C) en un periodo de 12 días, y almacenamiento a temperatura ambiente por 6 días.**

| % Índice de decaimiento     |                |               |              |
|-----------------------------|----------------|---------------|--------------|
| Día                         | Control Cartón | Control fibra | Fibra activa |
| 0                           | 0              | 0             | 0            |
| 3                           | 0              | 0             | 0            |
| 6                           | 0              | 0             | 0            |
| 9                           | 0              | 0             | 0            |
| 12                          | 0              | 0             | 0            |
| Temperatura ambiente (25°C) |                |               |              |
| 15                          | 0              | 0             | 0            |
| 18                          | 0.6            | 0.4           | 0            |

Los jitomates contenidos en los envases de la fibra control si presentaron síntomas de presencia de *B. cinerea*, sin embargo, estos manifestaron el IDC más bajo de 0.4% en comparación con los del envase de cartón de huevo que obtuvo 0.6%, es decir, los jitomates contenidos en estos dos envases, el hongo *B. cinerea* ocasiono un daño ligero que de acuerdo a la escala empleada para determinar el IDC representaba menos del 25% del daño total que pudiese haber ocasionado, permaneciendo así en un 49.2% por debajo de este en el día 18 de almacenamiento ya en condiciones de temperatura ambiente.



En la tabla 18, se muestra el efecto de los envases con los jitomates durante el periodo de almacenamiento en frío.

**Tabla 18. Seguimiento fotográfico de los jitomates en condiciones de almacenamiento en refrigeración (14°C durante 12 días)**

| Día | Tipo de envase |              |               |
|-----|----------------|--------------|---------------|
|     | Envase cartón  | Envase Fibra | Envase activo |
| 0   |                |              |               |
| 3   |                |              |               |
| 6   |                |              |               |
| 9   |                |              |               |
| 12  |                |              |               |

Los jitomates después de ser cosechados tienen una vida limitada, ya que no captan agua dando paso así a la etapa de senescencia.

En tomate rojo, el daño por frío es un desorden que se presenta a temperaturas menores a 13°C (Lurie y Klein, 1991).









Los síntomas característicos son maduración anormal (Morris, 1982) o falta de maduración, manchado, decoloración, manchas hundidas y húmedas, ablandamiento interno, pérdida de sabor, aroma y decaimiento (Wang, 1994; Couey, 1982).

La secuencia fotográfica para el almacenamiento de los jitomates en los tres envases se muestra en la tabla 19. Las condiciones de almacenamiento fueron a temperatura ambiente las cuales favorecen el crecimiento de hongos y la detección del crecimiento de *B. cinerea* sobre la superficie de los jitomates..

Los jitomates envasados en los envases de fibra control (EF) y los de cartón de huevo (EC) tuvieron presencia de este hongo característico de la podredumbre gris, pudiendo este hongo permanecer en la fase de latencia durante el almacenamiento en frío después de la inoculación y al haber sido colocados en condiciones óptimas donde este pudiera crecer hubo manifestación de esporas sobre el tejido del jitomate.

**Tabla 19. En condiciones de almacenamiento a temperatura ambiente**

| Día | Tipo de envase  |  |   |
|-----|---|--|---|
|     | Envase cartón   | Envase fibra   | Envase activo   |
| 15  |   |   |   |
| 18  |  |  |  |

Por otra parte, los jitomates sufrieron daños en la textura ya que como se muestran en las figuras de la Tabla 19, la apariencia de la firmeza se ve disminuida como consecuencia de las actividades metabólicas (respiración/transpiración) que continúan realizando los frutos después de la cosecha.



Es importante también mencionar que otra de las causas por la cual el tejido de los jitomates contenidos en el envase activo (EA) sufrieron daños texturales en su tejido vegetal a partir del día 12 en condiciones de almacenamiento en frío y hasta el día 18 en condiciones ambiente de almacenamiento, es debido a que, químicamente los aceites esenciales en general están formados por terpenos, monoterpenos y sesquiterpenos (hidrocarburos, alcoholes y cetonas, que pueden ser acíclicos, monocíclicos, bicíclicos a tricíclicos), y sustancias azufradas y nitrogenadas (Govindarajan *et al.*, 2016). Para el aceite esencial de orégano los compuestos principales son el carvacrol y el timol. Es por lo anterior que los aceites esenciales al estar compuestos por diferentes moléculas activas y concentración de las mismas, estos pueden afectar de diferente forma a las células (Carson y Hammer, 2011). Habitualmente, su diana es la membrana citoplasmática, provocando su interrupción y permeabilidad, mermando así funciones celulares, tales como las homeostasis y la actividad de la cadena de transporte electrónico (Bakkali *et al.*, 2008), En consecuencia, los aceites esenciales pueden ejercer efectos citotóxicos sobre las células eucariotas (célula vegetal y animal), debido a la permeabilización de las membranas mitocondriales, tanto externa como interna, provocando la muerte celular por necrosis y apoptosis (Armstrong, 2006).

Los efectos tóxicos que provocan los aceites esenciales en las células eucariotas pueden dañar también al huésped (en este caso el jitomate cherry inoculado con *Botrytis cinerea*). Así, pueden provocar irritación, sensibilización, absorción percutánea, toxicidad aguda en órganos y sistemas, teratogenicidad entre otros, limitando por ello su empleo en medicina (Raut y Karuppayil, 2014).

El proceso de eliminar estos compuestos recibe el nombre de desterpenización, de esta manera se mejora la estabilidad durante su almacenamiento e intensifica el aroma del aceite esencial. Un aceite esencial se considera desterpenado cuando se ha eliminado como mínimo, un 90% de los monoterpenos contenidos originalmente en el aceite esencial (Natural Cosmetics Lab, 2015).



## 6 CONCLUSIONES

---

Con base en los resultados obtenidos en el presente trabajo, se concluye lo siguiente:

1. El rendimiento de las fibras obtenidas por procesos químicos va disminuyendo conforme avanza el número de tratamientos de hidrólisis, ya que por acción alcalina se va degradando la estructura lignocelulósica teniéndose así diferencia significativa entre las tres hidrólisis.
2. En pruebas de calidad, en las determinaciones microbiológicas, se obtuvo un menor resultado de UFC/g presentes en las fibras para la segunda hidrólisis, ya que ésta por llevarse al término en condiciones ácidas ( $H_2SO_4$  0.4%) en la etapa final, reduce el crecimiento y/o proliferación de mohos y levaduras lo que se considera como punto de partida en la elección de la fibra para la aplicación del envase activo para conservar jitomate fresco, también las tres fibras obtenidas tuvieron ausencia de bacterias coliformes.
3. La determinación de color, con los resultados de la escala cromática es solo una muestra del avance del hidrólisis en los residuos de la piña y de cómo estos se van degradando según continúa la reacción.
4. Las propiedades funcionales, como la retención de agua y de aceite son parámetros fundamentales en el desarrollo del envase activo dado que las fibras deben de presentar una retención de estos líquidos medianamente aceptable, ya que en el moldeado del envase las fibras se hidratan para homogenizarse y para su posterior retención de agua en el medio cuando este se almacene; así como la adición del agente antimicrobiano (aceite esencial de orégano). El recubrimiento de la fibra 2 con el aglutinante 1 disminuyó la capacidad de absorción de agua protegiéndolo de cierta manera en cuestiones de almacenamiento y absorción de humedad del medio. En cuanto a la absorción de aceite, la fibra del envase retuvo la concentración seleccionada [1,133  $\mu\text{g/mL}$ ] de manera que no hubo contacto directo entre el aceite y los jitomates contenidos en los envases.



5. En cuanto las pruebas mecánicas, las fibras obtenidas en las hidrólisis 1 y 2, presentaron mayor resistencia a la penetración dado que la estructura lignocelulósica, hasta esa parte del proceso químico se encuentra aún más completa. Para la tercera hidrólisis, las uniones entre la lignina, celulosa y hemicelulosa se han degradado, quedando disponible en su mayor parte la celulosa lo que la hace menos resistente a la fuerza de penetración. Por otra parte, la aplicación de los aglutinantes elaborados a partir de almidón de yuca en la fibra obtenida de la segunda hidrólisis, tuvo resultados favorables en específico la formulación de aglutinante con mayor porcentaje de almidón de yuca debido a que este aditivo aumento la resistencia a la ruptura del envase.

6. Las tres concentraciones evaluadas mediante prueba *in vitro* del aceite esencial de orégano [1133, 2266, 3399  $\mu\text{g/mL}$ ] presentaron una inhibición total ante la presencia de *Botrytis cinerea*. Dado que las tres concentraciones tuvieron los mismos resultados se eligió la de menor cantidad por criterio de costo-beneficio.

7. Las determinaciones realizadas mediante la prueba *in vivo* mostraron la inhibición total del crecimiento de *B. cinerea* sobre los jitomates inoculados con este hongo que estaban envasados en el prototipo de envase activo (EA), y hubo un daño ligero menor de 25% sobre los jitomates inoculados que fueron almacenados en los envases de cartón de huevo (EC) y de los envases de fibra (EF). Hubo una disminución en la pérdida de peso durante el tiempo de almacenamiento de 12 días a 14° en donde los jitomates del envase de cartón tuvieron el menor resultado de este parámetro. Y los de mayor pérdida de peso fueron los del envase de fibra, Los jitomates del envase activo tuvo un máximo de pérdida de peso del 12 % para el día 12 siendo este el resultado intermedio con respecto a los otros jitomates de los envases de cartón y de fibra.

8. El aprovechamiento de residuos generados por la agroindustria puede ser una buena alternativa tecnológicamente viable en la elaboración de envases activos aplicados en la conservación de productos frescos perecederos como es el caso de productos frutícolas los cuales comúnmente son blancos fáciles de infecciones ocasionadas por diferentes hongos fitopatógenos como *Botrytis cinerea*.



### 7 RECOMENDACIONES

---

Para fines posteriores de investigación relacionadas a este trabajo, se recomienda lo siguiente:

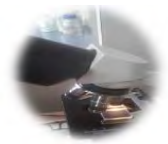
🍅 Considerar la elaboración del envase activo mediante la técnica de prensado, con finalidad de proveer una mayor resistencia a este y que se de un mayor entrecruzamiento de las fibras entre sí. Ya que la fuerza aplicada durante el prensado implica la presión hidráulica, debido a la resistencia al movimiento del agua hacia afuera de la fibra vegetal y brinda la presión mecánica necesaria para comprimir el envase.

🍅 Evaluar el efecto fungiestatico del aceite esencial de orégano desterpenado, para evitar que los componentes terpenicos de este dañen la epidermis del fruto (jitomate cherry).

🍅 Análizar otros aceites esenciales aplicados a la matriz polimerica de fibras vegetales extraídas de desechos de piña, aplicado en la prevención de otras enfermedades fitopatogenas comunes en productos postcosecha.

🍅 Evaluar el efecto de humedad relativa y condiciones de temperatura de almacenamiento en frio del envase prototipo para determinar la absorción de humedad de las fibras que componen el envase bajo estas condiciones.

🍅 Estudiar otras alternativas de elaboración de envase a partir de otros residuos agroindustriales, tales como: cáscara de platano, cáscara de coco, fibras de agave, entre otros.



## 8 REFERENCIAS

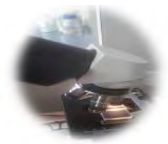
---

- 🌱 Abdul, A. (2000). Funtional properties of dietary fibre prepared from deffated rice barn. *Food Chemistry*, 68(1): 15-19.
- 🌱 Abril, A. y Navarro, E. (2012). Etanol a partir de biomasa lignocelulósica. Valencia, España: Aleta Ediciones.
- 🌱 Agricultureros. (2014). El tomate ocupa en el mundo casi cinco millones de hectáreas. Consultado el 22 de mayo de 2017. Disponible en: <http://agricultureros.com/el-tomate-ocupa-en-el-mundo-casi-cinco-millones-de-hectareas/>
- 🌱 Agroproyectos. (2004). El cultivo del tomate a cielo abierto. Consultado el 22 de mayo de 2017. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/0B37hUU0ZxXAbZ2FJLUZreHVJa3c/view>
- 🌱 AINIA. (2013). ¿Por qué la vida útil de un producto depende del material de envase? Consultado el: 5 de marzo de 2018. Disponible en: <http://www.ainia.es/tecnoalimentalia/tecnologia/por-que-la-vida-util-de-un-producto-depende-del-material-de-envase/>
- 🌱 Álvarez, A., García, E., Domínguez, E., Granados, J., Aguirre, A., Carmona, R., Morales, A., Herrera, P., Licea, A., Mendoza, A. (2012). Aprovechamiento integral de los materiales lignocelulósicos. *Revista Iberoamericana de Polímeros*. 13 (4):140-150.
- 🌱 Aligiannis, N., Kalpoutzakis, E., Mitaku, S., Chinou, B. (2001). Composition and antimicrobial activity of the essential oils of two *Origanum* species. *J. Agric. Food Chem.* 49:4168-4170.
- 🌱 Amadio, C., Medina R., Dediol, C., Zimmermann, M., Miralles, S. (2011). Aceite esencial de orégano: un potencial aditivo alimentario. *Revista de la Faculta de Ciencias Agrarias*. 43 (1):237-245.
- 🌱 Antonio, R., Mendoza, A., Chávez, M., Rivera J., Cruz, M. 2011. Aprovechamiento del bagazo de piña para obtener celulosa y bioetanol. *Afinidad LXVLLL*, 551. 38-43
- 🌱 Araya, R. (1998). Utilización del rastrojo de piña (*Ananas comusus*) para la obtención de pulpa para la producción de papel. Tesis de Licenciatura. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.





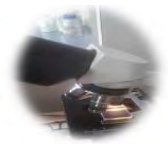
- 🍌 Arias, C. y Toledo, J: (2000). Manual de manejo postcosecha de frutas tropicales (papaya, piña, plátano, cítricos). Proyecto FAO, consultado el 30 de abril de 2017. Disponible en: [http://www.fao.org/inpho\\_archive/content/documents/vlibrary/ac304s/ac304s00.htm#toc](http://www.fao.org/inpho_archive/content/documents/vlibrary/ac304s/ac304s00.htm#toc)
- 🍌 Armstrong, S. (2006). Mitochondrial membrane permeabilization: the sine qua non for cell death. *Bioessays*. 28:253-260.
- 🍌 ASTM C 1557-03. Standard Test Method for Tensile Strength and Young's Modulus of fibers
- 🍌 Badui, S. (2006). Química de los alimentos. 4ed. México, Pearson.
- 🍌 Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., Idaomar, M. (2008). Biological effects of essential oils-a review. *Food and chemical toxicology*. 46 (2):446-475.
- 🍌 Baquero C, Bermúdez A. (1998). Los residuos vegetales de la Industria de jugo de maracuyá como fuente de fibra dietética. En: Autor. temas de Tecnología de Alimentos. Vol. 2.
- 🍌 Baratta, T., Dorman, D., Deans, G., Biondi, D., Ruberto, G. (1998). Chemical composition, antimicrobial and antioxidative activity of laurel, sage, Rosemary, oregano and coriander essential oils. *Journal of essential oil research*. 10: 618-627.
- 🍌 Barquero, M. (2004). Producción de la piña no se detiene. Periódico La Nación, sección de economía. pp3
- 🍌 Belitz, H., Grosch, W. y Schieberle, P. (2004). Química de los alimentos. 3ed. Alemania, Springer.
- 🍌 Benito, E., Arranz, M, Eslava, A. (2000). Factores de patogenicidad de *Botrytis cinerea*. *Rev Iberoam Micol*. 17: S43-S46.
- 🍌 Bolio, G., Valadez, A., Veleza, L., Andreeva A. (2011). Whiskers de celulosa a partir de residuos agroindustriales de banano: obtención y caracterización. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 10 (2): 291-299.
- 🍌 Burt, S. (2004). Essential oils: Their antibacterial properties and potencial applications in foods: a review. *International journal of food Microbiology*. 36:162-167.
- 🍌 Carson, F. Hammer, A. (2011). Chemistry and bioactivity of essential oils. *Lipids and Essential Oils as Antimicrobial Agents*. 203-238.
- 🍌 Casierra, F. y Aguilar O. (2008). Calidad en frutos de tomate (*Solanum lycopersicum L.*) cosechados en diferentes estados de madurez. *Revista de Agronomía colombiana*. 26 (2), 300-307



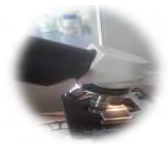
- 🐜 Cazaurang. M., Peraza, S., Cruz, A. (1990). Dissolving grade pulps from henequén fiber. *Cellulose Chemistry and Technology*. 24:629-638.
- 🐜 Cerrato, I. (2013). Estudio de mercado para la comercialización de la piña MD2. Consultado el: 19 de marzo 2018. Disponible en: <https://issuu.com/alexcaja5/docs/estudio-de-mercado-para-la-comercia>.
- 🐜 Chanchí, G., Bonilla, D., Gaviria, J., Giraldo, J. (2008). Ensayos a compresión y tensión diagonal sobre muretes hechos a base de papel periódico reciclado y engrudo de almidón de yuca. *Revista de Ingeniería de Construcción*. 23 (3): 145-154.
- 🐜 Chandra, S., Agrawal, S. (2014). Spectroscopic characterization of Lanthanoid derived from a hexadentate macrocyclic ligand: Study on antifungal capacity of complex. *SpectrochimicaActa Part A: Mol. Biomol. Spectroscopy*, 124:564-570.
- 🐜 Chiné, B. (2007). Desarrollo de materiales poliméricos nanocompuestos para aplicaciones eléctricas y electrónicas. *Tecnología en marcha*. 20(2):49-57.
- 🐜 Coley, R., Verhoeff, K., Jarvis, R. (1980). The biology of Botrytis. Academic Press, London.
- 🐜 Colle, I., Lemmens, L., Tolesa, G., Van-Buggenhout, S., De-Vleeschouwer, K., Van-Loey, A. & Hendrickx, M. (2010). Lycopene degradation and isomerization kinetics during thermal processing of an olive oil/tomato emulsion. *Journal of Agricultural and food chemistry*, 58, 12784-12789.
- 🐜 Conabio. (2017). Piña, información taxonómica. Consultado el 18 de mayo de 2017. Disponible en [http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/bioseguridad/pdf/21273\\_sg7.pdf](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/bioseguridad/pdf/21273_sg7.pdf)
- 🐜 Couey, M. (1982). Chilling injury of crops of tropical and subtropical origin. *HortScience*. 17: 162-165.
- 🐜 Cowling, B. and Kirk, K. (1976). Properties of cellulose and lignocellulosic materials as substrates for enzymatic conversion processes. *Biotechnol. Bioeng. Symp.* 6, 95-123.
- 🐜 Cury, K., Aguas, Y., Martinez, A., Olivero, R. y Chams, L. (2017). Residuos agroindustriales su impacto, manejo y aprovechamiento. *Revista Colombiana de Animal*. 9: 122-132.
- 🐜 Daferera, J., Ziogas, N., Polissiou, G. (2003). The effectiveness of plant essential oils in the growth of *Botrytis cinerea* *Fusarium sp.* and *Clavibacter michiganensis* subsp. *Michiganensis*. *Crop Protection*. 22:39-44.
- 🐜 Das, E., Guaraka, G., Bayindirli, (2006). Effect of controlled atmosphere storage, modified atmosphere packing and gaseous ozone treatment on eh survival of *Salmonella* E. on cherry tomatoes. *Food Microbiology*. 23:430-438.



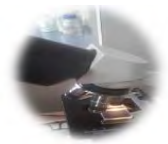
- Davidson, M., Branen, L. (1993). Antimicrobials in foods. New York. Marcel Dekker, Inc.
- Davidson, M. (1997). Foods Microbiology-fundamentals and Frontiers. Washington D.C. Montville (Eds).
- Delmoro, J., Muñoz, D., Nadal, V., Clementz, A., Pranzetti, V. (2010). El color en los alimentos: determinación de color en mieles. *Invenio*. 13 (25):145-152.
- De Lozano, V., Yañez, M., Morales, A. (2014). Principios y práctica de la microscopía electrónica. Buenos Aires, Argentina. UAT-CONICET-BAHIA BLANCA.
- Denyer, P., Stanich, K., Girard, B. y Mazza, G. (2002). Antimicrobial activity of individual and mixed fractions of dill, cilantro, coriander, and eucalyptus essential oils. *International Journal of Food Microbiology*. 74:101-109.
- Denyer, P., Hugo, B. (1991). Mechanisms of antibacterial action. *Mechanisms of action of chemical biocides*. 331-334.
- Dey, E. and Brinson, K. (1984). Plant cell walls. *Adv. Arb. Chem. Biochem.* 42:265-282
- Díaz, J. (1998). Transpiration rates in eggplant fruit as affected by fruit and calyx size. *Postharvest Biology and Technology* 13: 45-49.
- Díaz, G., Pérez, L., Hernández, L., Ramírez, M. (2010). Desarrollo de un recubrimiento comestible a base de mucílago de linaza y quitosano y su aplicación para extender la vida útil de fresas. XII Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Guanajuato, Gto.: 1341-1346.
- Díaz, M. (2013). Obtención de nanopartículas de plata por ablación láser soportadas en hilo de sutura de seda. (Tesis de licenciatura). Universidad Autónoma del Estado de México. México.
- Espitia, H. (2010). Aislamiento de nanofibras de celulosa a partir de residuos agroindustriales de fique y caña de azúcar, con potencial aplicación en reforzamiento de polímeros termoplásticos. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia.
- FAO. (1997). El estado mundial de la agricultura y la alimentación 1997. Consultado el: 26 de septiembre de 2017. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/w5800s/w5800s12.htm>
- FAO. (1998). Los almidones tropicales no llegan al mercado. Consultado el: 20 de enero de 2018. Disponible en: <http://www.fao.org/ag/esp/revista/9809/spot3.htm>



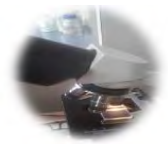
- 🌱 FAO. (2017a). Mercadeo de productos frescos y pérdidas postcosecha. Consultado el: 12 de agosto de 2017. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/x5056s/x5056S07.htm>
- 🌱 FAO. (2017b). Capítulo 3: Almacenamiento. Consultado el: 3 de diciembre de 2017. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/006/Y4893S/y4893s06.htm>.
- 🌱 FAO. (2017c). Las frutas y hortalizas frescas como productos perecibles. Consultado el: 30 de diciembre de 2017. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/x5055s/x5055s02.htm>
- 🌱 FAOSFAT. (2011). Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura. *Food and Agricultural commodities production*. Consultada el: 22 de mayo de 2017. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/en/#search/Tomatoes>
- 🌱 Fennema. (1993). Química de los alimentos. Editorial Acribia. Segunda edición
- 🌱 Fernández, C. (2012). Envases activos e inteligentes: control de la calidad y seguridad del producto. Consultado el 13 de abril de 2017. Disponible en: <http://www.Itene.com>
- 🌱 Ferreira, M. D., T. O. A. Franco, R. f. Kasper, A. C. O. Ferraz, S. L., Honório y m. Tavares. 2005. Post-harvest quality of fresh marketed tomatoes as a function of harvest periods. *Scientia Agricola (Piracicaba)* 62 (5), 446-451.
- 🌱 FIRA. (2016). Panorama agroalimentario. Tomate rojo 2016. Consultado el 22 de mayo de 2017. Disponible en: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200635/Panorama\\_Agroalimentario\\_Tomate\\_Rojo\\_2016.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200635/Panorama_Agroalimentario_Tomate_Rojo_2016.pdf)
- 🌱 FIRCO. (2017). Agroindustria en México. Consultado el: 26 de septiembre de 2017. Disponible en: <https://www.gob.mx/firco/articulos/agroindustria-en-mexico?idiom=es>
- 🌱 Fitenborg, O., Frisvad, C., Thrane, U. (1996). Moulds in food spoilage. *International Journal of Food Microbiology*. 33:85-102.
- 🌱 Flores, A. (2016). Aplicación de extractos naturales de eucalipto y orégano como antifúngicos en el desarrollo de un envase para productos vegetales. (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- 🌱 Fotonostra. (2017). Teoría del color. Consultado el: 12 de mayo de 2017. Disponible en: <http://www.fotonostra.com/grafico/teoriacolor.htm>
- 🌱 Francis, J. y Clydesdale F. *Food colorimetry: Theory and applications*, Westport, Conn, The AVI Pub. Co. USA, 1975.
- 🌱 FreshPlaza. (2017). Resumen del mercado global de la piña. Consultado el 29 de mayo de 2017. Disponible en: <http://www.freshplaza.es/article/100241/Resumen-del-mercado-global-de-la-piña>



- 🌱 Gamboa, R., Hernández, F., Guerrero, E. Sánchez, A. y Lira, R. (2002). Inhibición del crecimiento micelial de *Rhizoctonia solani* Kuhn y *Phytophthora infestans* Mont. (De Bary) con extractos vegetales metanólicos de hojasén (*Flourensia cernua* D. C.), mejorana (*Origanum majorana* L.) y trompetilla [*Bouvardia ternifolia* (Ca) Schlecht]. *Revista Mexicana de Fitopatología* 21:13-18.
- 🌱 Garavito J. (2011). Ensayo de tensión. Protocolo. Curso de materiales. Consultado el: 4 de marzo de 2018. Disponible en: [http://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/9026\\_tension.pdf](http://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/9026_tension.pdf)
- 🌱 García, M. y Serrano, H. (2005). La piña, *Ananas comosus* (L) Merr. (*Bromeliaceae*), algo más que un fruto dulce y jugoso. *ContactoS*. 56: 55-61.
- 🌱 García, R., Palou, E. (2008). Mecanismos de acción antimicrobiana de timol y carvacrol sobre microorganismos de interés en alimentos. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*. 2 (2):41-51.
- 🌱 García, G., Longoria, L., Martínez, S., González, J. (2013). Synthesis and Caracterización of carbón conditioned with Iron Nanoparticles using pineapple-peel. *Scientific Research, advances in Nanoparticles*. 2:384-390.
- 🌱 Govindarajan, M., Rajeswarya, M., Hotib, L., Benellic, G. (2016). Larvicidal Potencial of Carvacrol and Terpinen-4-O1 from the Essential Oil of *Origanum vulgare* (Lamiaceae) Against *Anopheles stephensi*, *Anopheles subpictus*, *Culex quinquefasciatus* and *Culex tritaeniorhynchus* (Diptera: Culicidae). *Research in Veterinary Science*. (104):77-82
- 🌱 González, M., Pérez, S. Wong, A., Bello, R., Yáñez, G. (2015). Residuos agroindustriales con potencial para la producción de metano mediante la digestión anaerobia. *Revista Argentina de microbiología*. 47 (3): 229-235.
- 🌱 Granados, C., Guzman, L., Acevedo, D., Díaz, M., Herrera, A. (2014). Propiedades funcionales del almidón de sagu (*Maranta arundinacea*). *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 12 (2): 90-96.
- 🌱 Guía productores de hortalizas, (2006). Plagas y enfermedades del tomate. Consultado el: 1 de mayo de 2017. Disponible en: [http://vegetablemndonline.ppath.cornell.edu/NewsArticles/Tomato\\_Spanish.pdf](http://vegetablemndonline.ppath.cornell.edu/NewsArticles/Tomato_Spanish.pdf)
- 🌱 Günther, E. (1948). The essential oils. History and origin in plants production analysis. Krieger Publishing. New York, USA.
- 🌱 Guynot, M. E., ramos, A. J., Setó, L., Purroy, P., Sanchis, v. y Marín, s. (2003). Antifungal activity of volatile compounds generated by essential oils against fungi commonly causing deterioration of bakery products. *Journal of Applied Microbiology*. 94:893-899.

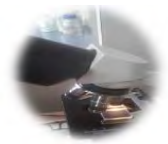


- 🐼 Helander, I., Alakomi, H., Latva-Kala, K., Mattila-Sandholm, t., Pol, I., Smid, E., Gorris, I. y Von Wrigth, A. (1998). Characterization of the action of selected essential oil components on Gram-negative bacteria. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 46:3590-3595
- 🐼 Hernández, N., Bautista, S., Velázquez, G. (2007). Prospectiva de extractos vegetales para controlar enfermedades postcosecha hortofrutícolas. *Revista Fitotecnica Mexicana*. 30 (2):119-123.
- 🐼 Hernández, M. (2008). Elaboración y caracterización del papel artesanal de la corona del fruto de dos variedades de piña *Ananas comosus (L). Merr.* (Tesis profesional) Universidad Autónoma de Chapingo, Texcoco, México.
- 🐼 Hidroponía. (2017). Producción de piña en México. Consultado el: 1 de junio de 2017. Disponible en: <http://hidroponia.mx/produccion-de-pina-en-mexico/>
- 🐼 Idicula, M., Boudenne, A., Umadevi, L., Ibos, L., Candau., Y., Thomas, S. (2006). Thermophysical properties of natural fiber reinforced polyester composites. *Composites Science and Thecnology*. 66:2719-2725.
- 🐼 INEGI, (2017). Balanza comercial de mercancías de México. Consultado el: 23 de noviembre de 2017. Disponible en: [http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/registros/economicas/comercio/default\\_t.aspx](http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/registros/economicas/comercio/default_t.aspx)
- 🐼 INFOAGRO (2017). La polilla del tomate (*Tuta absoluta*). Consultado el: 1 de mayo de 2017. Disponible en: [http://www.infoagro.com/hortalizas/polilla\\_tomate\\_tuta\\_absoluta.htm](http://www.infoagro.com/hortalizas/polilla_tomate_tuta_absoluta.htm)
- 🐼 INFORURAL. (2012). Jitomate o tomate rojo, usos y propiedades. Consultado el: 4 de marzo de 2018. Disponible en: <https://www.inforural.com.mx/jitomate-o-tomate-rojo-usos-y-propiedades/>
- 🐼 INIFAP, 2001. El minador de la hoja *Liriomyza spp.* Y su manejo en la planicie huasteca. Consultado el: 1 de mayo de 2017. Disponible en: <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/833/750.pdf?se>
- 🐼 INTI, (2012). Envases y embalajes. Buenos aires, Argentina. 1 ed. Mathon, Yamila, coord.
- 🐼 Ismaiel, A. y Pierson, D. (1990). Inhibitory of growth and germination of *C. Botulinum* 33A, 40B Y 1623E by essential oil of apices. *Journal Food Science*. 55(6):1676.
- 🐼 ISO 7954, 1987. Microbiology. General guidance for enumeration of yeasts and moulds. Consultado el: 13 de mayo de 2017. Disponible en: <https://www.iso.org/standard/14931.html>.



- 🌱 Jarvis, W. (1977). Botryotinia and Botrytis species. Taxonomy and pathogenicit. Can Dep Agric. Monogr 15, Harrow, Ontario, Canada.
- 🌱 Javanmardi, J., Kubota, Ch. (2006). Variation of lycopene, antioxidant activity, total soluble solids and weight loss of tomato during Postharvest storage. *Postharvest biology and technology*. 41 (2): 151-155.
- 🌱 Kokkini, S., Karousou, R., Dardioti, a., Krigas, N. y Lanaras, t. (1997). Autumn essential oils of Greek orenado. *Phytochemistry*. 44:883-886.
- 🌱 López, G., Ros, G., Rincón, F., Periago, M., Martínez, M., Ortuño, J. (1997). Propiedades funcionales de la fibra dietética. Mecanismo de acción en el tracto gastrointestinal. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 47 (3):203-207.
- 🌱 López- Malo. (2000). La preservación multiobjetivo de alimentos: Efectos de factores tradicionales y emergentes en la respuesta de *Aspergillus flavus*. (Tesis de doctorado). Universidad de buenos Aires. Argentina.
- 🌱 López, J., Sanchez, D. y Buen, C. (2010). Envases activos e inteligentes con bioproductos de los residuos de camarón. *Ide@s CONCYTEG 5* (60). 590-597.
- 🌱 López, M., Bolio, G., Veleva, L., López, A., Salgado, S., Córdova, S. (2016). Obtención de celulosa a partir de residuos agroindustriales de caña de azúcar (*Saccharumofficinarum L.*). *Agroproductividad*. 9 (7): 41-45.
- 🌱 Lurie, S., Klein, D. (1991). Acquisition of low-temperature tolerance in tomatoes by exposure to hight-temperature stress. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 116:1007-1012.
- 🌱 Matos, A., Chambilla, E. (2010). Importancia de la fibra dietética, sus propiedades funcionales en la alimentación humana y en la industria alimentaria. *Rev. Investig. Cienc. Tecnol. Aliment.* 1(1): 4-17.
- 🌱 Mohsenin, N. N. 1986. Physical properties of plant and animal materials. Gordon and Breach Science Publishers, Nueva York. 841 p.
- 🌱 Montes, R., Cruz, V., Martínez, G., Sandoval, G., García, R., Zilch, S., Bravo, L., Bermúdez, K., Flores, E., Carvajal, M. (2000). Propiedades antifúngicas de plantas superiores. Análisis retrospectivo de investigaciones. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 18:125-131.
- 🌱 Moore, R.; W. Dennis Clark & K.R. Stern. 1995. Botany. Wm. C. Brown Publishers. Consultado el: 13 de abril de 2017. Disponible en: <https://www.textoscientificos.com/polimeros/polimeros-celulosicos>



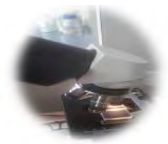


- 🌱 Morales, S. (2015). Hidrólisis ácida de celulosa y biomasa lignocelulósica asistida con líquidos iónicos. (Memoria de doctorado). Universidad Autónoma de Madrid. Madrid, España.
- 🌱 Morris, L. (1982). Chilling injury of horticultural crops: an over-view. *HortScience*. 17: 23-250.
- 🌱 Natural Cosmetics Lab. 2015. Proceso de eliminación en aceites naturales. Consultado el: 5 de marzo de 2018. Disponible en: <https://naturalcosmeticslab.wordpress.com/2015/10/03/proceso-de-eliminacion-en-aceites-esenciales/>
- 🌱 NOM-051-SCFI/SSA1-2010. Especificaciones generales de etiquetado para alimentos y bebidas no alcohólicas preenvasado- Información comercial y sanitaria. Consultado el: 12 de abril de 2017. Disponible en: [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5137518&fecha=05/04/2010](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5137518&fecha=05/04/2010)
- 🌱 NOM-111-SSA1-1994, Bienes y servicios, Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos. Consultado el: 12 de mayo de 2017. Disponible en: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/111ssa14.html>
- 🌱 NOM-113-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método para la cuenta de microorganismos coliformes totales en placa. Consultado el: 12 de mayo de 2017. Disponible en: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/113ssa14.html>
- 🌱 Nuñez, C. (2008). Pulpa y Papel I. Consultado el: 19 de marzo 2018. Disponible en: <http://www.cenunez.com.ar/archivos/72-pulpaypapeliterceraparte.pdf>
- 🌱 Oliva, J. (2003). Efecto de los productos de degradación originados en la explosión por vapor de biomasa de chopo sobre *Kluyveromyces marxianus*. (Tesis de doctorado). Universidad Complutense de Madrid. Madrid, España.
- 🌱 Oosterhaven, K., Poolman, B., Smid, J. (1995). S-carvone as a natural potato sprout inhibiting, fungistatic and bacteristatic compound. *Industrial Crops and Products*. 4:23-31.
- 🌱 Paine, F. y Paine, H. (1994). Manual de envasado de alimentos. Madrid, España: A. Madrid Vicente, Ediciones.
- 🌱 Paster, N., Juven, b., Shaaya, E., Menansherov, M., Nitzan, R., Weisslowicz, H., and Ravid, U. (1990). Inhibition effect of oregano and thyme essential oils on moulds and foodborne bacteria. *Letters in applied Microbiology* 11:33-37.
- 🌱 Paster, N., Menansherov, M., Ravid, U., and Juven, B. (1995). Antifungal activity of oregano and thyme essential oils applied as fumigants against fungi attacking stored grain. *Journal of Food Protection* 58:81-85.

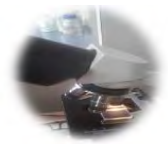




- 🐼 Pérez, A. (2014). Módulo de elasticidad. Consultado el: 11 de marzo de 2018. Disponible en: [http://www.mecapedia.uji.es/modulo\\_de\\_elasticidad.htm](http://www.mecapedia.uji.es/modulo_de_elasticidad.htm).
- 🐼 Plotto, D., Roberts, D., Roberts, G. (2003). Evaluation of plant essential oils as natural Postharvest disease control of tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Acta Horticulturae*. 628:59-62.
- 🐼 Potter, N. N. (1999). Envasado de los alimentos. En la ciencia de los alimentos. España: Acribia, S.A.
- 🐼 Quezada, K., Alvarado, P., Sibaja, R. y Vega, J. (2005). Utilización de las fibras de rastrojo de piña (*Ananas comusus*, variedad *Champaka*) como material de refuerzo en resinas de poliéster. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 6 (2), 157-179.
- 🐼 Querol, E. (2015). Protocolo de validación de materiales a base de papel y cartón de usos alimentario. (Tesis de licenciatura). Universidad Politécnica de Catalunya Barcelonatch. Barcelona, España.
- 🐼 Quintavalla, S. y Vicini, L. (2002). Antimicrobial food packaging in meat industry. *Meat Science*. 62. 373-380.
- 🐼 Rasgado, S. (2015). Extracción de fibra dietética de residuos agroindustriales para su aplicación en alimentos funcionales. (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- 🐼 Raut, S., Karuppayil, M. (2014). A status review on the medicinal properties of essential oils. *Industrial Crops and Products*. 62:250-264.
- 🐼 Real Academia Española. (2001). Diccionario de la lengua española. 22 ed. Madrid, España.
- 🐼 Riquelme, F. (1999). Poscosecha del tomate para consumo fresco. Madrid, España. Ediciones Mundi- Prensa
- 🐼 Robertson J. A, Modredon F. D, Dysseler P, Guillon t. (2000). Hidration properties of dietary fiber and resistant starch: a European Collaborative Study. *IWT*, 33(1): 73-79.
- 🐼 Rodríguez, E. (2011). Uso de agentes antimicrobianos naturales en la conservación de frutas y hortalizas. *Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable*. 7(1):153-170.
- 🐼 Rodríguez, E., Villegas, E. (2012). Caracterización de polímeros aplicando el método termogravimétrico. *Métodos y materiales*. 2: 25-32.
- 🐼 Rodríguez, L., Sarache, W., Orrego, C. (2014). Compuestos de poliéster reforzados con fibra de plátano/banano (*Musa paradisiaca*) modificada químicamente. Comparación con fibra de vidrio y fique (*Furcraea andina*). *Información Tecnológica*. 25 (5): 27-34.
- 🐼



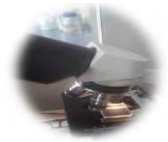
- 🌱 Roller, S. y Seedhar, P. (2002). Carvacrol and cinnamic acid inhibit microbial growth in fresh-cut melón and kiwifruit at 4°C and 8°C. *Letters in Applied Microbiology*. 35:390-394.
- 🌱 Rowell, M. (2008). Natural fibres: types and properties and performance of natural-fiber composites. Woodhead Publishing in Materials. Editorial Cambridge.
- 🌱 Russo, M., Galletti, G., Bocchini, P., Carnacini, A. (1998). Essential oil chemical composition of wild populations of Italian oregano spice (*Origanum vulgare* ssp. *Hirtum* (Link) Letswaart): A preliminary evaluation of their use in chemotaxonomy by cluster analysis, 1. Inflorescences. *Journal of agricultural and food chemistry*. 46:3741-3746.
- 🌱 SAGARPA. (2010). Monografía de cultivos, jitomate. Consultado el: Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/pablo/Documentos/Monografias/Jitomate.pdf>
- 🌱 SAGARPA. (2016a). La piña una fruta de excelencia. Consultado el: 25 de mayo de 2017. Disponible en: <http://www.gob.mx/sagarpa/articulos/la-pina-una-fruta-de-excelencia>
- 🌱 SAGARPA. (2016b). Agroindustria, transformación sin límites. Consultado el 1 de mayo de 2017. Disponible en: <http://www.gob.mx/sagarpa/articulos/agroindustria-transformacion-sin-limites/>
- 🌱 SAGARPA. (2016c). Balanza comercial agroalimentaria enero-junio 2016. Consultado el: 27 de septiembre de 2017. Disponible en: [http://www.sagarpa.gob.mx/quienesomos/datosabiertos/sagarpa/Documents/2016\\_08\\_18\\_Balanza\\_Agroalimentaria\\_enero\\_junio\\_EU.pdf](http://www.sagarpa.gob.mx/quienesomos/datosabiertos/sagarpa/Documents/2016_08_18_Balanza_Agroalimentaria_enero_junio_EU.pdf)
- 🌱 SAGARPA, (2016d). Exportaciones de tomate aumentan 22.7 por ciento en cinco meses. Consultado el: 1 de mayo de 2017. Disponible en: <http://www.gob.mx/sagarpa/prensa/exportaciones-de-tomate-aumentan-22-7-por-ciento-en-cinco-meses>
- 🌱 SAGARPA. (2017a). Aumenta 35 por ciento producción de jitomate hecho en México. Consultado el: 23 de mayo de 2017. Disponible en: [http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/distritofederal/boletines/Paginas/JAC\\_0055\\_1\\_0.aspx](http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/distritofederal/boletines/Paginas/JAC_0055_1_0.aspx)
- 🌱 SAGARPA. (2017b). Se afianza México dentro de los 10 productores mundiales de piña. Consultado el: 23 de febrero de 2017. Disponible en: <http://www.gob.mx/sagarpa/es/prensa/se-afianza-mexico-dentro-de-los-10-productores-mundiales-de-pina>
- 🌱



- 🐼 Salvador, M., Amigó, V., Nuez, A. Sauquillo, O., Llorens, R., Martí, F. (2008). Caracterización de fibras vegetales utilizadas como refuerzos en matrices termoplásticas. *X Congreso nacional de materiales*. 1-4.
- 🐼 Sanchez, B. (2005) Caracterización fisicoquímica y funcional de la fibra dietética del fruto del Níspero (*Eriobotrya japonica*) y de la cascara de mango obo (*Mangifera inidica L.*) (Tesis de Licenciatura). Universidad Tecnológica de la mixteca. Oaxaca, México.
- 🐼 Sánchez, A. y López, A. (2009). Potencial antimicrobiano de los aceites esenciales de orégano (*Origanum vulgare*) y canela (*Cinnamomum zeylanicum*). *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*. 3(1): 33-45.
- 🐼 Saval, S. (2012). Aprovechamiento de residuos agroindustriales: pasado, presente y futuro. *Biotecnología*. 16 (2): 14-46.
- 🐼 Segurado, J. (2004). Micromecánica computacional de materiales compuestos reforzados con partículas. (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.
- 🐼 Semarnat. (2005). Generación de residuos sólidos municipales. Consultado el: 30 de julio de 2017. Disponible en: [http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe\\_resumen/08\\_residuos/cap8.htm](http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_resumen/08_residuos/cap8.htm)
- 🐼 Shéng Fán. (2010). Tomate-Solanum lycopersicum. Consultado el: 21 de mayo de 2017. Disponible en: <https://shengfan.wordpress.com/2010/09/15/tomate/>
- 🐼 SIAP. (2013). Produce México 39.5 toneladas de jitomate por cada hectárea. Consultado el: 12 de abril de 2017. Disponible en: <http://www.gob.mx/siap/prensa/produce-mexico-39-5-toneladas-de-jitomates-por-cada-hectareas-38657>
- 🐼 SIAP. (2016). Jitomate (tomate rojo), es una hortaliza y sus propiedades son un medicamento natural. Consultado el: 12 de abril de 2017. Disponible en: <https://www.gob.mx/siap/articulos/jitomate-tomate-rojo-es-una-hortaliza-y-sus-propiedades-son-un-medicamento-natural?idiom=es>
- 🐼 Singh, J., Lovedeep, K., Mccarthy, J. (2007). Factors influencing the physico-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications-a review. *Food Hydrocol.* 21: 1-22.
- 🐼 Smith-Palmer, a., Stewart, J. y Fyfe, L. (2001). The potential application of plant esencial oils as natural food preservaties in soft cheese. *Food Microbiology*. 18:463-470



- 🌿 Solís, J., Amador, C., Hernández, M., Durán, M. (2010). Caracterización fisicoquímica y comportamiento térmico del aceite de “almendra” de guanábana (*Annona muricata*, L). *Grasas y aceites*. 61 (1):58-66.
- 🌿 Taborda, L., Sánchez, M., Bonilla, C., Huertas, C. (2014). Efecto fungistático de extractos y aceites esenciales de *Lippia origanoides* HBK y *Thymus vulgaris* L. como alternativas de manejo de *Botrytis cinerea* en fresa. *Acta Agronómica*. 64(1):93-99.
- 🌿 Tassou, C., Koutsoumanis, K. y Nychas, G. (2000). Inhibition of *Salmonella enteritidis* and *Staphylococcus aureus* in nutrient broth by mint essential oil. *Food Research International*. 33:273-280.
- 🌿 Theander, O, Aman, P. (1984). Anatomical and chemical characteristics. In: Straw and other fibrous by- products as feed. Sundstol and Owen ed. Elsevier Science Publishers. Amsterdam. 45-78.
- 🌿 Torres, M., Carmona, R., Aguirre, A. (2015). Obtención y caracterización estructural y funcional de almidón acetilado de malanga (*Colocasia esculenta* Schott). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 6 (4): 905-912.
- 🌿 Trigolimpio. (2012). Fibra dietética. Consultado el: 19 de enero de 2018. Disponible en: [http://www.trigolimpio.com.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=117:fibra-dietetica&catid=42:articulos-de-interes&Itemid=129](http://www.trigolimpio.com.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=117:fibra-dietetica&catid=42:articulos-de-interes&Itemid=129)
- 🌿 Ultee, A., Kets, E. y Smid, E. 1999. Mechanisms of action of carvacrol on the food-borne pathogen *Bacillus cereus*. *Applied Environmental Microbiology*. 65(10): 4606-4610.
- 🌿 Umaña, E. (2011). Conservación de alimentos por frío. Consultado el: 17 de enero 2018. Disponible en: [http://fusades.org/sites/default/files/investigaciones/manual\\_manejo\\_de\\_frio\\_para\\_la\\_conservacion\\_de\\_alimentos.pdf](http://fusades.org/sites/default/files/investigaciones/manual_manejo_de_frio_para_la_conservacion_de_alimentos.pdf)
- 🌿 USDA (2012). Natural Resources Conservation Service. Consultado el: 21 de mayo de 2017. Disponible en: <https://plants.usda.gov/core/profile?symbol=SOLY2>
- 🌿 Valenciaga, D. y Chongo, B. (2004). La pared celular: Influencia de su naturaleza en la degradación microbiana ruminal de los forrajes. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 38 (4): 343-350.
- 🌿 Velásquez, M., Álvarez, R., Tamayo, P., Carvalho, P. (2014). Evaluación in vitro de la actividad fungistática del aceite esencial de mandarina sobre el crecimiento de *Penicillium sp.* *Corpoica Cienc. Tecnol. Agropecu.* 15(1):7-14.



- 🌱 Wang, Y. (1994). Chilling injury of tropical horticultural commodities. *HortScience*. 29: 986-988.
- 🌱 Wielage, B. (1999). Thermogravimetric and differential scanning calorimetric analysis of natural fibres and polypropylene. *Thermochimica Acta*. 337 (1-2): 169-177.
- 🌱 Wilkie, B. (1979). The hemicelluloses of grasses and cereals. *Adv. Carb. Chem. Biochem.* 36, 215-264.
- 🌱 X-Rite. (2002). Guía para entender la comunicación del color. Consultado el: 7 de mayo de 2017. Disponible en: [http://www.mcolorcontrol.com/archivos/L10-001\\_Understand\\_Color\\_es.pdf](http://www.mcolorcontrol.com/archivos/L10-001_Understand_Color_es.pdf)
- 🌱 Yepes, S., Montoya, L., Orozco, F. (2008). Valorización de residuos agroindustriales-frutas – en Medellín y el Sur del Valle de Aburrá, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Universidad Nacional*. 61 (1): 4422-4433.

