



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTILÁN**

**Biopelícula a base de almidón de tortilla de  
maíz utilizada como barrera protectora en  
frijol (*Phaseolus vulgaris*)**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO EN ALIMENTOS  
P R E S E N T A:**

**GLORIA FABIOLA GARCÍA PIÑA**

**ASESORES  
DRA. MARIA DEL CARMEN VALDERRAMA BRAVO  
DR. SERGIO JIMÉNEZ AMBRIZ**

**Cuautitlán Izcalli, Estado de México, 2021**



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.



VIVERIDAD NACIONAL  
AYUNTAMIENTO DE  
MEXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
SECRETARÍA GENERAL  
DEPARTAMENTO DE TITULACIÓN**

J.V.A.D.E.  
ACREDITACIÓN DE ESTUDIOS  
DE PROFESIONES REGULADAS

**ASUNTO: VOTO APROBATORIO**

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

**ATN: LA. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA  
Jefa del Departamento de Titulación  
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 la: **Tesis**

**Biopelícula a base de almidón de tortilla de maíz utilizada como barrera protectora en frijol (Phaseolus vulgaris)**

Que presenta la pasante: **Gloria Fabiola García Piña**

Con número de cuenta: **311607196** para obtener el Título de: **Ingeniera 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 25 de mayo de 2021.

**PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO**

	NOMBRE	FIRMA
<b>PRESIDENTE</b>	M. en C. Fernando Flores Benítez	
<b>VOCAL</b>	I.A. Laura Margarita Cortazar Figueroa	
<b>SECRETARIO</b>	Dra. María del Carmen Valderrama Bravo	
<b>1er. SUPLENTE</b>	Dra. María Eugenia Ramírez Ortiz	
<b>2do. SUPLENTE</b>	M. en C. María Guadalupe Araya León	

NOTA: los sindicales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional.

LMCF/jev



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
SECRETARÍA GENERAL  
DEPARTAMENTO DE TITULACIÓN

JIN.A.S.I.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLÁN  
ASUNTO: VOTO APROBATORIO

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

ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA  
Jefa del Departamento de Titulación  
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 la: **Tesis**

**Biopelícula a base de almidón de tortilla de maíz utilizada como barrera protectora en frijol (*Phaseolus vulgaris*)**

Que presenta la pasante: **Gloria Fabiola García Piña**  
Con número de cuenta: **311607196** para obtener el Título de: **Ingeniera 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 25 de mayo de 2021.

**PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO**

	NOMBRE	FIRMA
<b>PRESIDENTE</b>	M. en C. Fernando Flores Benítez	
<b>VOCAL</b>	I.A. Laura Margarita Cortazar Figueroa	
<b>SECRETARIO</b>	Dra. María del Carmen Valderrama Bravo	
<b>1er. SUPLENTE</b>	Dra. María Eugenia Ramírez Ortiz	
<b>2do. SUPLENTE</b>	M. en C. María Guadalupe Amaya León	

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

LMCF/javg



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
SECRETARÍA GENERAL  
DEPARTAMENTO DE TITULACIÓN**

SECRETARÍA GENERAL  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
**ASUNTO: VOTO APROBATORIO**

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

**ATN: LA. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA  
Jefa del Departamento de Titulación  
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 la: **Tesis**

**Biopelícula a base de almidón de tortilla de maíz utilizada como barrera protectora en frijol (*Phaseolus vulgaris*)**

Que presenta la pasante: **Gloria Fabiola García Piña**  
Con número de cuenta: **311607196** para obtener el Título de: **Ingeniera 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 25 de mayo de 2021.

**PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO**

	<b>NOMBRE</b>	<b>FIRMA</b>
<b>PRESIDENTE</b>	M. en C. Fernando Flores Benítez	_____
<b>VOCAL</b>	L.A. Laura Margarita Cortazar Figueroa	_____
<b>SECRETARIO</b>	Dra. María del Carmen Valderrama Bravo	_____ <i>dm</i>
<b>1er. SUPLENTE</b>	Dra. María Eugenia Ramírez Ortiz	_____
<b>2do. SUPLENTE</b>	M. en C. María Guadalupe Amaya León	_____

NOTA: los sindicales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional.

LMCF/jav



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
SECRETARÍA GENERAL  
DEPARTAMENTO DE TITULACIÓN**

J.E.A.S.G.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLÁN  
**ASUNTO: VOTO APROBATORIO**

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

**ATN: LA. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA  
Jefa del Departamento de Titulación  
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 la: **Tesis**

**Biopelícula a base de almidón de tortilla de maíz utilizada como barrera protectora en frijol (Phaseolus vulgaris)**

Que presenta la pasante: **Gloria Fabiola García Piña**  
Con número de cuenta: **311607196** para obtener el Título de: **Ingeniera 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 25 de mayo de 2021.

**PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO**

	NOMBRE	FIRMA
<b>PRESIDENTE</b>	M. en C. Fernando Flores Benitez	_____
<b>VOCAL</b>	I.A. Laura Margarita Cortazar Figueroa	_____
<b>SECRETARIO</b>	Dra. María del Carmen Valderrama Bravo	_____
<b>1er. SUPLENTE</b>	Dra. María Eugenia Ramírez Ortiz	
<b>2do. SUPLENTE</b>	M. en C. María Guadalupe Amaya León	_____

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

LMCF/javg



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
SECRETARÍA GENERAL  
DEPARTAMENTO DE TITULACIÓN**

J. M. A. B. L.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLÁN  
**ASUNTO: VOTO APROBATORIO**

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

**ATN: LA. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA  
Jefa del Departamento de Titulación  
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 la: **Tesis**

**Biopelícula a base de almidón de tortilla de maíz utilizada como barrera protectora en frijol (Phaseolus vulgaris)**

Que presenta la pasante: **Gloria Fabiola García Piña**  
Con número de cuenta: **311607196** para obtener el Título de: **Ingeniera 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 25 de mayo de 2021.

**PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO**

	<b>NOMBRE</b>	<b>FIRMA</b>
<b>PRESIDENTE</b>	M. en C. Fernando Flores Benítez	_____
<b>VOCAL</b>	I.A. Laura Margarita Cortazar Figueroa	_____
<b>SECRETARIO</b>	Dra. María del Carmen Valderrama Bravo	_____
<b>1er. SUPLENTE</b>	Dra. María Eugenia Ramírez Ortiz	_____
<b>2do. SUPLENTE</b>	M. en C. María Guadalupe Amaya León	_____

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

LMCF/javg

El presente proyecto se realizó con apoyo de los proyectos de investigación PIAPI 2055 y PAPIIT IT-202119 en la Unidad de Investigación de Granos y Semillas (UNIGRAS) de la FES-Cuautitlán.

## *Dedicatorias*

*Esta tesis la dedico a mi madre Gloria Piña Miramar y a mi novio Sergio Jiménez Márquez quienes me dieron su apoyo incondicional durante toda mi carrera universitaria en especial en este proceso para obtener mi título. Gracias.*

## *Agradecimientos*

*A mi mamá Gloria Piña Miramar que ha estado apoyándome toda mi vida y en todas mis decisiones tomadas, he llegado tan lejos gracias a tí y sin ese apoyo que me das no sería quien soy en estos momentos. Gracias por creer en mí y espero que estés orgullosa de mis logros.*

*A mi novio Sergio Jiménez Márquez por qué estar siempre has estado conmigo apoyándome y ayudándome. No tengo palabras para describir todo lo que siento por tí y lo agradecida que estoy contigo, eres el amor de mi vida, muchas gracias por quedarte a mi lado todo este tiempo a pesar de nuestras dificultades, cuando estoy contigo me siento feliz en todo momento, eres quien ilumina mi vida y la llena de felicidad. No sé qué pasaría si no estuvieras conmigo, estaría realmente perdida. Permaneceremos juntos y nos apoyaremos como hasta este momento lo hemos hecho.*

*A mis hermanos Oscar y Fabián que siempre estuvieron al pendiente de mí, por interesarse en mi futuro y por su apoyo brindado a lo largo de mi vida.*

*A VAV por demostrarme que no hay que rendirse ante nada, que no importa cuántas veces te digan no siempre llegara el momento que puedas brillar y demostrar de todo lo que eres capaz. Ellos han sido la mayor inspiración que tengo en mi vida para poder cumplir mis sueños.*

*A mis amigos por todas experiencias que vivimos juntos, las risas que compartimos y el apoyo que me brindaron. Quizá no siempre estemos juntos pero ustedes tienen un lugar muy especial en mi vida y siempre los recuerdo con cariño.*

*A mis asesores la Dra. María del Carmen Valderrama Bravo y el Dr. Sergio Jiménez Ambríz por sus enseñanzas, su apoyo, su paciencia y sus consejos brindados en este proyecto, a pesar de las dificultades que presento, sin ustedes este proyecto no se hubiera realizado.*

*A las Dras. Martha Yolanda Quezada Viay, María Cristina Julia Pérez Reyes, Gabriela Sánchez Hernández, María Elena Vargas Ugalde por el apoyo brindado en la realización de esta tesis y las recomendaciones que me brindaron.*

# Índice

Resumen.....	1
Introducción.....	2
1. Marco Teórico.....	4
1.1. Tortillas.....	4
1.1.1. Elaboración de Tortillas.....	5
1.1.2. Composición química de la tortilla.....	6
1.1.3. Almidón.....	7
1.1.3.1. Almidón Resistente.....	10
1.1.3.2. Gelatinización de almidón.....	11
1.1.3.2.1. Geles de almidón.....	12
1.2. Biopelículas.....	13
1.2.1. Composición.....	14
1.2.1.1. Almidón.....	15
1.2.1.2. Polisacáridos.....	15
1.2.1.3. Plastificantes.....	18
1.2.2. Elaboración.....	19
1.2.3. Sinergismo.....	20
1.3. Frijol.....	20
1.3.1. Morfología del frijol.....	22
1.3.2. Germinación.....	24
1.3.3. Composición química del frijol.....	27
1.3.4. Cocción.....	28
1.3.5. Almacenamiento del frijol.....	30
1.3.6. Plagas del frijol.....	31
1.3.6.1. Bruchidae.....	32
1.3.6.1.1. Gorgojo mexicano del frijol (Zabrotes subfasciatus)....	34
1.3.7. Hongos.....	37
1.3.7.1. Características de los hongos.....	37
1.3.7.2. Clasificación de hongos en granos y semillas.....	39

1.3.7.3. Factores que influyen en el desarrollo de hongos.....	39
1.3.7.4. Daños provocados por hongos.....	40
1.3.7.5. Micotoxinas.....	41
2. Metodología.....	43
2.1. Objetivos.....	43
2.2. Actividades preliminares.....	44
2.2.1. Extracción de almidón.....	44
2.2.2. Índice de absorción de agua (IAA) e Índice de solubilidad en agua (ISA).....	45
2.2.3. Elaboración de biopelículas.....	46
2.3. Prueba de grosor de las biopelículas.....	48
2.4. Permeabilidad al vapor de agua (WVP).....	49
2.5. Aplicación de las biopelículas al frijol.....	50
2.6. Prueba de cocción.....	51
2.7. Prueba de germinación.....	53
2.8. Oviposición del gorgojo.....	53
2.9. Microbiota presente en el frijol.....	54
3. Resultados.....	56
3.1. Índice de absorción de agua (IAA) e Índice de solubilidad en agua (ISA).....	56
3.2. Elaboración de las biopelículas.....	59
3.3. Grosor de las biopelículas.....	60
3.4. Permeabilidad al vapor de agua (WVP).....	62
3.5. Prueba de cocción.....	65
3.6. Prueba de germinación.....	68
3.7. Oviposición del gorgojo.....	70
3.8. Micobiota presente en el frijol.....	72
Conclusiones.....	77
Referencias citadas.....	79
Anexos.....	89

## **Resumen**

En el presente estudio se realizaron 10 formulaciones diferentes de biopelícula, en las cuales se utilizó como matriz base almidón de tortilla de maíz, se utilizaron como materiales de refuerzo las gomas: carboximetilcelulosa (CMC), goma Xantana y alginato de sodio y como plastificante se utilizó glicerol.

La utilidad de las biopelículas se evaluó utilizando parámetros y características que son importantes para la semilla de frijol, como lo es la determinación de ovoposición de gorgojo y la cantidad de micobiota presente, principales problemas que afectan a esta semilla durante su tiempo de vida en almacén. Además, se llevó a cabo la evaluación del principal uso de éstas semillas, consumo humano y siembra.

Para la evaluación de la utilidad de las semillas en cuanto a germinación se realizó un ensayo para determinar el porcentaje de germinación con respecto a una muestra testigo bajo las mismas condiciones. Así mismo, para el ensayo de la utilidad para consumo humano, se realizó la determinación del tiempo de cocción de las semillas cubiertas con biopelícula en comparación con el tiempo de cocción de la muestra testigo, bajo las mismas condiciones.

Para evaluar el efecto de la biopelícula sobre la proliferación de la micobiota en el frijol, se realizó el método de placa agar y se realizó un conteo de las unidades formadoras de colonia (UFC). Mientras que para evaluar la oviposición del gorgojo se infestó el frijol recubierto y la muestra testigo con esta plaga y así observar la cantidad de huevecillos ovipositados.

Con el estudio realizado se pudo comprobar que las biopelículas son una alternativa para prolongar el tiempo de vida del frijol en almacén, ya que se obtuvieron resultados en los cuales el uso de la biopelícula sobre las semillas mejora algunas características del frijol durante su almacenaje.

La biopelícula con formulación F7 obtuvo los mejores resultados de todas las formulaciones para todas las características evaluadas. Siendo esta biopelícula la más adecuada para aumentar la vida de almacén de las semillas de frijol, además de que puede ser utilizada en otras semillas.

## **Introducción**

Las biopelículas funcionan como barreras selectivas para la transferencia de gases, humedad y nutrientes; son utilizadas para ayudar a disminuir el deterioro de los productos alimenticios causados por factores ambientales, de igual manera son utilizadas para evitar la oxidación y pérdida de compuestos químicos de los alimentos (Domínguez y Jiménez, 2012).

Las biopelículas son formadas mediante la combinación de diversos compuestos, por ejemplo: polisacáridos, proteínas, lípidos y polímeros; esto es para aprovechar las propiedades de cada compuesto y la sinergia entre los componentes utilizados, ya que las propiedades mecánicas y de barrera dependen de los compuestos que integran la biopelícula y su compatibilidad (Quintero *et al.*, 2010).

Las biopelículas formadas con polisacáridos ofrecen buena barrera a los gases y se adhieren bien a las superficies de los alimentos, la mayoría de estas biopelículas también tienen propiedades mecánicas y estructurales deseables que las hacen más útiles. Existe una gran disponibilidad de estas, generalmente son de bajo costo y no son tóxicos (Donhowe y Fennema, 1994).

El almidón es uno de los polímeros más utilizados en la elaboración de biopelículas, este puede provenir del maíz, papa, trigo, sorgo, yuca, caña, entre otros y puede encontrarse en concentraciones entre el 30 y el 70 % de la composición, esto puede variar según el estado de madurez de la fuente de la que proviene (Tomka, 2000).

Los almidones contienen alrededor del 25% de amilosa y 75% de amilopectina. Tanto la amilosa como la amilopectina influyen de manera determinante en las propiedades sensoriales y reológicas de los alimentos, principalmente mediante su capacidad de hidratación y gelatinización (Badui, 2006).

Los almidones resistentes suelen otorgar propiedades deseables para las biopelículas como la optimización en la retención de agua, aumento de la estabilidad, gelificación, mayor dispersión, conferir opacidad o pueden mostrar mejor claridad (Bello, *et al.*, 2002). El almidón resistente más común se puede encontrar en la tortilla de maíz, por esta razón el almidón modificado de la tortilla de

maíz puede ser utilizado como matriz base en las biopelículas, además de ser un material es de fácil obtención, y que representa un uso alternativo para el almidón de tortilla que no se aprovecha para alimentación

El tiempo de vida en almacén de la mayoría de las semillas se ve afectado por diferentes factores, como lo son las plagas y la infestación por hongos, además de factores naturales como el deterioro de la semilla.

Existen diferentes métodos para extender el tiempo de vida útil de las semillas en almacén, entre las cuales destacan como las más eficientes el uso de métodos químicos. Sin embargo, este tipo de métodos presentan desventajas ambientales y de riesgo para el consumidor final.

La aplicación de las biopelículas sobre las semillas en almacén generaría una opción alternativa para aumentar el tiempo de vida útil de éstas, ya que se utilizaría como un método de barrera físico, además de tener algunas ventajas económicas y ambientales con respecto a los métodos químicos, ya que pueden elaborarse a partir de materiales biológicos, de fácil obtención, bajo costo y rápida producción.

Para ejemplificar el uso y funcionalidad de este recubrimiento natural se eligió como semilla representativa al frijol, ya que esta es una de las semillas de mayor importancia económica y alimentaria en México, además de que esta semilla se ve afectada por una plaga en especial, el gorgojo.

# 1. Marco Teórico

## 1. 1. Tortillas

El maíz (*Zea mays* L.) es el tercer cultivo más sembrado a nivel mundial, tiene importancia económica como alimento humano, animal y como materia prima de un gran número de productos industriales (Paliwal *et al.*, 2001). En México es el cultivo más importante por la superficie sembrada, por el valor de su producción, por ocupar al 20% de la población económicamente activa y por ser el alimento principal de la población (Sierra *et al.*, 2010). El maíz se siembra en más de 8 millones de hectáreas, que representan 39% de la superficie agrícola nacional y 63% de la superficie sembrada con granos y oleaginosas y contribuye con 8% del producto interno de la agricultura (Luna *et al.*, 2012). En México, la principal forma de consumir el maíz es en tortillas y productos derivados de ella.

De acuerdo con la NOM-187-SSA1/SCFI-2002, define a la tortilla como producto elaborado con masa que puede ser mezclada con ingredientes opcionales, sometida a cocción y que se caracteriza por su forma redonda y plana.

La tortilla tradicional es un disco aplanado de masa, este puede ser producido a partir de maíz (*Zea mays* L.) cocinado con cal ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) o harina de trigo (*Triticum aestivum* L.). Los procesos y características de la tortilla de maíz y la tortilla de harina difieren considerablemente. Las tortillas de maíz se fabrican a partir de masas pregelatinizadas y cohesivas, mientras que las tortillas de harina se elaboran a partir de masas elaboradas con gluten. Ambos tipos de tortillas se originaron en México y generalmente se consumen con rellenos como frijoles, carnes, huevos y verduras.

Se consumen alrededor de 12.3 millones de toneladas de tortilla, de las cuales 64% se realizan a través del método tradicional de maíz-masa-tortilla y 36% a través de la industria harinera (Sierra *et al.*, 2010). Se estima que la tortilla se consume por el 95% de la población mexicana y forma parte de la dieta de la población de todos los estándares sociales (Torres y Morales, 1997).

### 1. 1. 1. Elaboración de tortillas

Actualmente, los productos nixtamalizados se obtienen de tres procesos distintos: el método tradicional practicado por primera vez por los mesoamericanos indígenas, la masa fresca industrial, y su conversión de harinas de masa secas. En México, el 41%, 37% y 23% de las tortillas son producidas por estos procesos de fabricación, respectivamente.

El proceso antiguo o tradicional para obtener tortillas todavía es practicado en México y América Central., El maíz tradicional es cocinado con cal en ollas de barro, seguido de un remojo durante 8-16 h (generalmente durante la noche). El agua obtenida de la cocción, llamado nejayote, se decanta y luego el nixtamal se lava a mano. El nixtamal se muele para convertirlo en una masa fina con un molino de piedra llamado metate y luego se moldea a mano, se palmea o se presiona en discos, y se hornean a ambos lados en una plancha caliente (comal). Las tortillas tradicionales generalmente se producen diariamente y, por lo general, son más gruesas y pesadas que las tortillas producidas industrialmente.

Las tres operaciones principales para la producción de tortilla son la cocción con cal, la molienda y la cocción de tortilla. La cocción con cal se considera la parte más relevante del proceso porque afecta la funcionalidad y las características del producto terminado. La molienda también juega un papel clave porque altera los gránulos de almidón hinchados que forman una masa con una granulación dada. El grado de cocción y molienda determina el tipo de masa producida. El molido produce masa adecuada para tortillas blandas, mientras que la masa gruesa es preferida para refrigerios fritos. La masa se transforma en tortillas después de un paso de cocción que forma la típica estructura de tortilla. Esta operación térmica inactiva todas las cargas microbianas, afecta el color y las propiedades sensoriales a través de reacciones de pardeamiento, y gelatiniza aún más el almidón para una tortilla estructurada.

Los procesos modernos de cocción con cal utilizan los mismos principios que el antiguo procedimiento tradicional, pero el equipo y los procedimientos se han mecanizado para mejorar la eficiencia de la producción, se dividen en las mismas etapas que en el proceso tradicional, aunque con características específicas como son: altos volúmenes de producción, tiempos de proceso más cortos y principalmente homogeneidad de los productos obtenidos (Serna *et al.*, 1990).

### 1. 1. 2. Composición química de la tortilla

La transformación del maíz en tortillas requiere un proceso en el que se utiliza agua, calor e hidróxido de calcio. Estos tres elementos influyen en la composición química del maíz elaborado, dando lugar a modificaciones en su contenido de nutrientes. Los cambios se deben a las pérdidas materiales de grano y a las pérdidas químicas, que pueden derivar de la destrucción de algunos elementos nutritivos y de la transformación química de otros.

En la tabla 1 se muestra la composición química proximal del maíz y de las tortillas caseras al igual que las elaboradas industrialmente. Se muestran los cambios en el contenido de grasas y fibras crudas y en algunos casos un aumento del contenido de cenizas.

**Tabla 1. 1. Composición química proximal del maíz y de las tortillas de fabricación casera e industrial**

Producto	Humedad (%)	Proteínas (%)	Grasas (%)	Cenizas (%)	Fibra (%)	Carbohidratos (%)
Maíz	15.9	8.1	4.8	1.3	1.1	70
Tortillas						
Tradicionales	47.8	5.4	1	0.8	0.7	44.5
Industriales	43.2	5.4	2.4	1.2	1	44.7

Fuente: FAO, 1993

### 1. 1. 3. Almidón

De acuerdo con la composición química de los cereales estos se componen de aproximadamente 80% por carbohidratos. De los cuales alrededor del 3% son carbohidratos estructurales el resto es conformado por almidón.

Las moléculas de almidón son polímeros de glucosa unidos por enlaces glucosídicos  $\alpha$  1-4 y 1-6. Está conformado por moléculas de amilopectina y amilosa (Figura 1. 1.) (Serna, 2001).

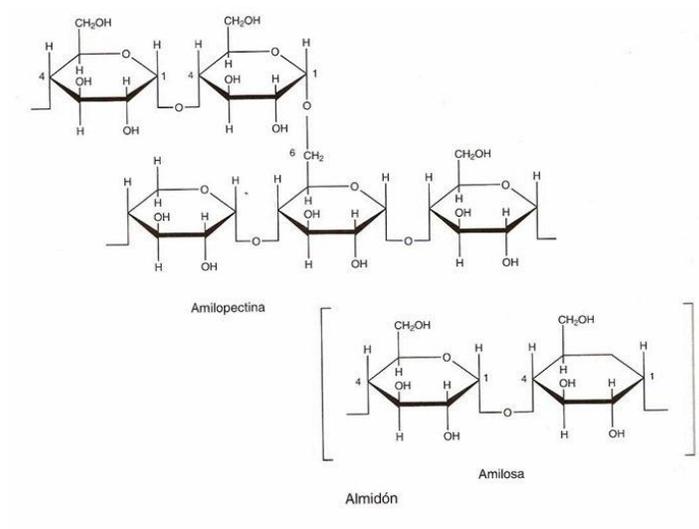


Figura 1. 1. Estructura química del almidón. Fuente: Badui, 2006.

La amilosa es producto de la condensación de D-glucopiranosas por medio de enlaces glucosídicos  $\alpha$ (1-4), que establece largas cadenas lineales con 200-2500 unidades y pesos moleculares hasta de un millón; es decir, la amilosa es una  $\alpha$ -D-(1-4)-glucana, cuya unidad repetitiva es la  $\alpha$ -maltosa. Tiene la facilidad de adquirir una conformación tridimensional helicoidal, en la que cada vuelta de la hélice consta de seis moléculas de glucosa (Figura 1. 2.) (Badui, 2006). Es soluble en agua caliente y forma fácilmente un gel, la mayoría de los almidones contienen alrededor de 25% de amilosa (Fenema, 2000).

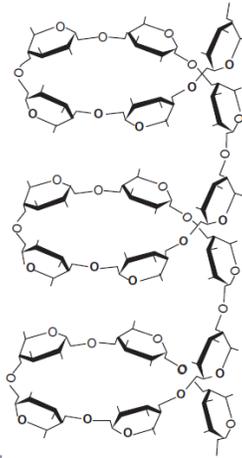


Figura 1. 2. Estructura química de la amilosa. Fuente: Badui, 2006

La amilopectina se diferencia de la amilosa en que contiene ramificaciones que le dan una forma molecular similar a la de un árbol; las ramas están unidas al tronco central (semejante a la amilosa) por enlaces  $\alpha$ -D-(1-6), localizadas cada 15-25 unidades lineales de glucosa (Figura 1. 3.). Su peso molecular es muy alto, ya que algunas fracciones llegan a alcanzar hasta 200 millones de daltones, aunque se han reportado pesos de entre 300,000 y 500,000 (Badui, S., 2006). A temperaturas de alrededor de 60°C esta se hincha con el agua pero no se disuelven, conforma alrededor del 75% de los almidones comunes (Fenema, 2000).

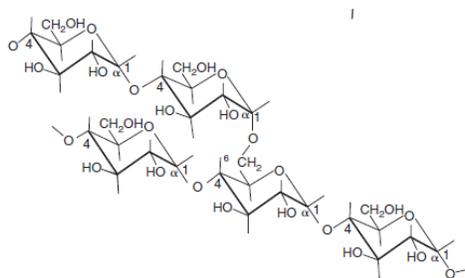


Figura 1. 3. Estructura química de la amilopectina. Fuente: Badui, 2006

El almidón se diferencia de todos los demás carbohidratos en que en la naturaleza se presenta como complejas partículas discretas (gránulos). Los gránulos de almidón son relativamente densos e insolubles, y se hidratan muy mal en agua fría. Pueden ser dispersados en agua, dando lugar a la formación de suspensiones de baja viscosidad que pueden ser fácilmente mezcladas y bombeadas, incluso a concentraciones mayores del 35%. La capacidad de formar soluciones viscosas (capacidad espesante) es alcanzada sólo cuando la suspensión de los gránulos es sometida a la acción del calor. Calentando una suspensión al 5% de gránulos de almidón no modificado hasta unos 80°C, con agitación, se produce una alta viscosidad.

Los almidones comerciales se obtienen de los cereales, particularmente de maíz, trigo, diversos tipos de arroz, y de algunas raíces y tubérculos, entre ellos papa y tapioca. Tanto los almidones nativos como los almidones modificados tienen diversas aplicaciones en los alimentos, que incluyen las siguientes: adhesivo, ligante, enturbiantes, formador de películas, estabilizante de espumas, agente antienviejamiento de pan, gelificante, glaseante, humectante, estabilizante, texturizante y espesante (Fenema, 2000).

En el proceso de transformación del maíz a tortilla existen diversos cambios que sufre el almidón, estos son:

- a) El gránulo absorbe agua y se hincha durante la etapa de cocimiento y reposo. En esta etapa del 4 al 6% de los gránulos de almidón pierden su birrefringencia (Gómez, 1988).
- b) Se incrementa la susceptibilidad a la hidrólisis por glucoamilasas.
- c) La estructura del gránulo de almidón nativo se rompe parcialmente, observándose mediante rayos X una estructura menos organizada, se produce una disminución en el grado de cristalinidad del material (Gómez *et al.*, 1989).
- d) Durante el reposo se aprecia una estructura parecida a la del gránulo nativo, por lo que se ha observado que en esta etapa se produce una reordenación parcial debido a una recristalización. Esta reasociación de las moléculas de

almidón puede ser la responsable del desarrollo de las propiedades reológicas de la masa (Serna *et al*, 1990).

### 1. 1. 3. 1. Almidón Resistente

Se entiende por almidón resistente al almidón que no puede ser hidrolizado por las enzimas digestivas, es decir, almidón no digestible por el intestino delgado por lo cual es fermentado por los microorganismos del intestino grueso para producir ácidos grasos de cadena corta.

El almidón que no es hidrolizado después de 120 minutos de incubación se considera almidón resistente. Las industrias de almidones están interesadas en estos tipos de almidones como producto alimentario de valor nutrimental.,

A través de su influencia en la gelatinización y retrogradación, las diferencias en las condiciones del procesamiento de alimentos, tal como cambios en la humedad, temperatura y duración de calentamiento y subsecuente enfriamiento, influyen en el contenido de almidón resistente en los alimentos, especialmente el tipo III (Perera *et al.*, 2010). La amilosa retrogradada tiene una alta estabilidad térmica y por lo tanto permite que el almidón resistente soporte el tratamiento térmico durante la cocción. El almidón nativo comúnmente contiene alrededor del 25% de amilosa, mientras que en el almidón resistente tiene un alto contenido de amilosa en comparación de este (Zhou *et al.*, 2013).

El almidón resistente aparece en los alimentos solamente en cantidades reducidas, por ejemplo en la papa frita 10%, en pastas 5%, en lentejas después de su cocción 9%.

El almidón resistente se clasifica en 4 tipos (Shi *et al.*, 2013):

- Tipo I: almidón no accesible físicamente, que se encuentra en células vegetales todavía intactas (amiloplastos) después del desmenuzamiento, por ejemplo de las leguminosas o cereales.

- Tipo II: almidón nativo y granulado que se encuentra en alimentos no cocinados que contengan almidón (ejemplo fruta inmadura); su alta densidad y su estado parcialmente cristalino inhiben una descomposición enzimática.
- Tipo III: se forma mediante la retrogradación (recristalización) de almidón engrudado. Se localiza en alimentos cocinados después de dejarlos enfriar, por ejemplo en las papas y alubias. Son importantes en la alimentación porque enriquecen la parte no digestible pero fermentable de los alimentos, con lo que, al mismo tiempo, se disminuye su densidad energética.
- Tipo IV: almidones modificados

De acuerdo con esta clasificación las tortillas contienen almidón resistente tipo III debido a que los gránulos de almidón nativo generalmente parecen más grandes y lisos en comparación con los gránulos de almidón nixtamalizados. Los cambios estructurales y fisicoquímicos del grano durante el procesamiento afectan las propiedades funcionales del producto final nixtamalizado. La naturaleza de la forma cristalina en el gránulo de almidón depende de la relación amilosa-amilopectina y de cualquier efecto de procesamiento de alimentos que haya llevado a la retrogradación, como la cocción y enfriamiento de alimentos ricos en almidón. El almidón retrogradado, también conocido como almidón resistente tipo 3, se puede formar en alimentos cocinados que se mantienen a temperatura ambiente o por debajo de ella. Las condiciones de nixtamalización y extrusión de las tortillas pueden influir significativamente en los niveles de almidón resistente del maíz procesado en tortilla (Flores, *et al.*, 2011).

### 1. 1. 3. 2. Gelatinización del almidón

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; sin embargo, cuando se calientan empieza 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. A medida que se incrementa la temperatura, se retiene más agua y el gránulo empieza a hincharse y a aumentar de volumen, fenómeno que puede observarse en el microscopio, sin que se presente un aumento importante en la viscosidad; una vez que la parte amorfa se ha hidratado completamente, la parte cristalina inicia un proceso semejante, pero para esto se requiere más energía.

Al llegar a ciertas temperaturas (normalmente a 65°C, aunque dependen de cada tipo de almidón), el gránulo alcanza su volumen máximo y pierde tanto su patrón de difracción de rayos X como la propiedad de birrefringencia. Si se administra más calor, el gránulo hinchado, incapacitado para retener el líquido, se rompe parcialmente y la amilosa y la amilopectina, fuertemente hidratadas, se dispersan en el seno de la disolución (Badui, 2006; Fenema., 2000).

### 1. 1. 3. 2. 1. Geles de almidón

El almidón se presenta, de ordinario, en gránulos rígidos, insolubles en agua. Parte de la amilopectina está formando regiones microcristalinas que le dan considerable rigidez al gránulo. Si los gránulos de almidón se calientan en un exceso de agua, gelatinizan. La gelatinización implica hinchamiento (porque los gránulos absorben en el proceso varias veces su peso de agua), fusión de los microcristales y lixiviación de parte de la amilosa. Los gránulos hinchados permanecen intactos cuando se enfrían, a menos que el sistema se agite vigorosamente. Las suspensiones diluidas de almidón gelatinizado gelifican de modo parecido a la amilosa; es decir, la amilosa lixiviada forma una red en la que quedan atrapados los gránulos hinchados.

Una disolución de almidón gelatinizado concentrada forma un gel de un tipo muy distinto al formado por las disoluciones diluidas. Los gránulos se hinchan hasta que el agua llena virtualmente todo su volumen, deformándose unos a otros en el proceso. Los gránulos hinchados se entrelazan y entre ellos se dispone una capa fina de una disolución de amilosa gelificada que constituye una especie de cola intergranular. Un gel reciente se puede deformar mucho más y es puramente elástico si la deformación es muy rápida. Deformaciones más lentas pueden

provocar su fractura. Probablemente cada uno de los gránulos tiene características similares a la goma (Fenema., 2000).

## 1. 2. Biopelículas

Las características del almidón lo hacen ideal para diversas aplicaciones como para el uso en diversos productos ya sea alimenticio, textil, papeler, farmacéutico, químico, entre otros usos.

Las biopelículas se elaboran a partir de una variedad de productos agrícolas y/o residuos de la industria de productos alimenticios. La base de la elaboración de las biopelículas se ha centralizado en el uso del almidón como materia prima, debido a su alta disponibilidad, renovable, biodegradable y a que es económicamente competitivo con el petróleo (Chariguman, 2015).

Una biopelícula se puede definir como una matriz continua delgada, que posteriormente será utilizada en forma de recubrimiento del alimento o estará ubicada entre los componentes del mismo; el uso de recubrimientos biodegradables han sido utilizados para mantener la calidad y prolongar su vida útil (Lin y Zhao, 2007).

El uso de biopelículas se basa en algunas características como disponibilidad, atributos funcionales, propiedades mecánicas (tensión y flexibilidad), propiedades ópticas (brillo y opacidad), su efecto frente al flujo de gases, resistencia estructural al agua y a microorganismos (Quintero *et al.*, 2010).

Las biopelículas crean una atmósfera modificada en el interior de éstas, reduciendo la velocidad de transpiración y retrasando el proceso de senescencia (Eum *et al.*, 2009) debido a que crean una barrera semipermeable a gases como O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y vapor de agua. Esto retarda el deterioro de los alimentos causado por la deshidratación, mejora las propiedades mecánicas, ayuda a mantener la integridad estructural del alimento y a retener compuestos volátiles.

La efectividad de una biopelícula depende del control de la humectabilidad, y de la capacidad de la matriz para mantener compuestos de diversa funcionalidad (plastificantes, antimicrobianos, antioxidantes) debido a que la pérdida de los componentes afecta el espesor del recubrimiento y su solubilidad en agua.

El desarrollo de películas y recubrimientos biodegradables satisfacen una variedad de necesidades para productos específicos debido a un gran número de aplicaciones. No pretenden reemplazar a las películas de polímeros sintéticos sino que se proponen como envases auxiliares mejorando la eficiencia de los materiales tradicionales. La utilidad de estos materiales está determinada por sus propiedades mecánicas y de barrera, las cuales dependen de su microestructura y composición (Krochta *et al.*, 1994).

### 1. 2. 1. Composición

La composición de las biopelículas es muy variada: los polisacáridos y las proteínas son buenos materiales para la formación de recubrimientos ya que muestran excelentes propiedades mecánicas y estructurales, pero presentan una pobre capacidad de barrera frente a la humedad, lo que implica una disminución de tasa de respiración, situación que no ocurre con los lípidos debido a sus propiedades hidrofóbicas, especialmente en los que poseen puntos de fusión altos, sin embargo, presentan deficientes propiedades mecánicas que deben contrarrestarse con el uso de aditivos; se pueden elaborar en combinación de tal forma que logren aprovechar las ventajas de cada grupo, dichas formulaciones pueden incluir conjuntamente plastificantes y emulsificantes que se utilizan de diversa naturaleza química con la finalidad de ayudar a mejorar las propiedades finales del recubrimiento (Fernandez *et al.*, 2017).

Las propiedades de una biopelícula de harina dependen de las diversas interacciones moleculares naturales e intrínsecas que tienen lugar entre los componentes de almidón, proteína, lípidos y fibra, así como las condiciones durante el secado y el proceso de producción. Otra ventaja del uso de harinas en el

desarrollo de películas es que provienen de diversas fuentes botánicas y, por lo tanto, sus composiciones varían (Drakos *et al.*, 2018).

Existen diversos componentes que al mezclarse junto con el almidón, logran generar películas que cada vez sean más similares a las derivadas del petróleo. Cada componente cumple una función específica, en pro de mejorar diversas propiedades como las mecánicas, térmicas, de barrera, entre otras. De la misma manera, se identificaron algunos métodos de procesamiento para la obtención de películas (Enríquez *et al.*, 2011).

### 1. 2. 1. 1. Almidón

La aplicación de almidón en la fabricación de biopelículas se basa en propiedades químicas, físicas y funcionales de la amilosa para formar geles y su capacidad para formar películas. Su capacidad de gelificar permite moldearlo y formar películas. Este puede provenir del maíz, papa, trigo, sorgo, caña, entre otros y puede encontrarse en concentraciones entre el 30 y el 70 % de la composición polimérica. El almidón puede usarse en su estado nativo o modificado. Algunos tipos de almidones modificados químicamente tienen efectos positivos sobre las películas obtenidas a partir de éste, tales como aumento de la elongación y la resistencia al momento de ruptura, mayor flexibilidad, y, disminución de la permeabilidad al vapor de agua (Enríquez *et al.*, 2011).

### 1. 2. 1. 2. Polisacáridos

Se adicionan a las formulaciones para dar “cuerpo”, consistencia o volumen a la mezcla, elasticidad, rigidez, resistencia y otros. Entre los materiales reportados se encuentran: materiales basados en celulosa, gomas, polímeros derivados de plantas y de animales (proteínas y otros).

El uso de gomas e hidrocoloides solubles en agua (carragenina, goma de algarrobo, xantana, agar, alginatos, goma guar, goma arábica y pectina) que no presenten

trazas de proteína o de gelatina en su composición, pueden incluirse en un rango de 0,05 % a 15 % del total de sólidos de la mezcla. Se ha notado un incremento en la resistencia a la tensión de las películas que incluyeron gomas respecto a las que no. La adición de algunas sustancias estabilizantes como la carboximetilcelulosa (CMC), produjo disminución de la permeabilidad al vapor de agua, disminución de la solubilidad y aumento de la resistencia a la tensión de las películas obtenidas (Enríquez *et al.*, 2011).

-Alginato de sodio: Es un polisacárido que se extrae de las algas café de las *Feoficeae*, donde es el componente estructural de las paredes celulares como sales de sodio, calcio o potasio. Comercialmente se extrae de *Macrocystis pyrifera*, *Laminaria hyperborea*, *L. digitata* y *Ascophyllum nodosum*. Su estructura química corresponde a un polímero lineal de moléculas de ácido  $\beta(1,4)$ -D-manosilurónico y ácido  $\alpha(1,4)$ -L-gulosilurónico (Figura 1. 4.). La relación de concentraciones de estos azúcares varía según la fuente botánica y el grado de madurez de la planta, esto influye a su vez en la viscosidad que se logra con sus soluciones. Ofrece reactividad frente al calcio.

Las sales de calcio y de amonio producen soluciones viscosas estables en un intervalo de pH de 5 a 10; debido a su naturaleza iónica, estos polímeros se ven afectados por la presencia de sales y por pH inferiores a 5 (Badui., 2006).

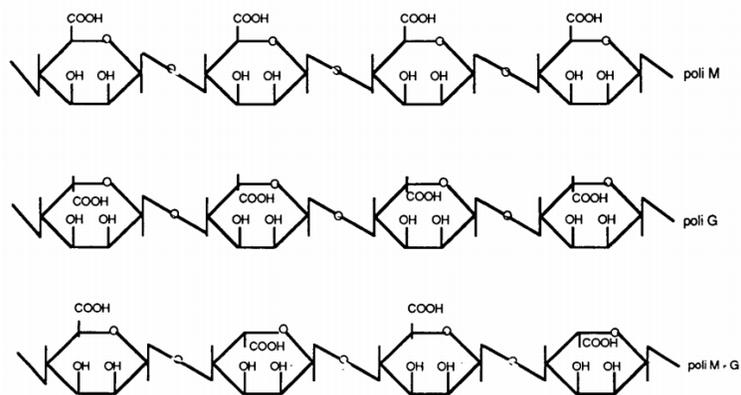


Figura 1. 4. Estructura química del alginato de sodio. Fuente: Molina, 1992

-Carboximetilcelulosa (CMC): Es utilizada en la industria alimentaria en grandes cantidades y en gran variedad de aplicaciones. El tratamiento de la pulpa de madera purificada con una solución al 18% de hidróxido sódico produjo celulosa alcalina. Cuando la celulosa alcalina se hace reaccionar con la sal sódica del ácido cloroacético, se forma la sal sódica del éter carboximetílico (celulosa-O-CH<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub>Na<sup>+</sup>) (Figura 1. 5.).

Las moléculas de CMC son largas y bastante rígidas, con carga negativa debido a los numerosos grupos carboxílicos ionizados que contienen, y la repulsión electrostática hace que sus moléculas en solución adopten una forma extendida. De la misma forma, las cadenas adyacentes se repelen entre sí. En consecuencia, las soluciones de CMC tienden a ser altamente viscosas y estables. La CMC se encuentra disponible en una gran variedad de tipos de viscosidad (Fenema., 2000).

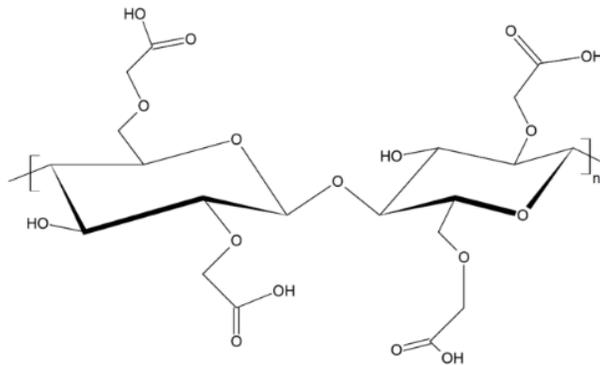


Figura 1. 5. Estructura química de la CMC. Fuente: lifeder.com

-Goma Xantana: Es un heteropolisacárido ramificado sintetizado por diferentes especies de bacterias *Xanthomonas*, principalmente *X. campestris*, que produce la goma como una cobertura de protección. Después de su producción, el medio se pasteuriza y se separa por filtración el microorganismo. La goma xantana está formada por residuos de D-glucosa, D-manosa y ácido D-glucurónico; también contiene aproximadamente 4.7% de grupos acetilo y 3.5% de ácido pirúvico (Figura 1. 6.). Es una goma pseudoplástica, soluble en agua fría o caliente, y forma soluciones muy viscosas estables en un rango de pH de 1-9 así como a la presencia

de diversas sales en el medio; produce soluciones traslúcidas aún a altas concentraciones, es resistente a la degradación enzimática, funciona como un buen crioprotector, es compatible con otras gomas y presenta sinergia con los galactomananos (Badui, 2006).

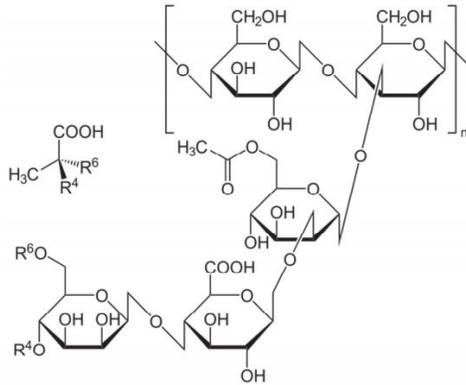


Figura 1. 6. Estructura química de la goma xantana. Fuente: Carmona, 2015

### 1. 2. 1. 3. Plastificante

Los plastificantes generalmente son líquidos, inodoros, incoloros y de baja volatilidad que al añadir a otro material cambia sus propiedades físicas, mecánicas y suavizan el polímero por debajo de su transición vítrea para reducir su cristalinidad o punto de fusión. Los plastificantes tales como el glicerol y el sorbitol reducen los enlaces de hidrógeno internos y al mismo tiempo aumentan los espacios intermoleculares evitando las grietas en las biopelículas durante la manipulación y almacenamiento (Gontard *et al.*, 1993).

Los plastificantes aumentan la permeabilidad al vapor de agua y su higroscopicidad en películas laminadas, ya que la mayoría de los plastificantes utilizados en las películas de almidón tienen carácter hidrófilo y también brinda al producto final características elásticas permitiendo su maleabilidad (Meneses *et al.*, 2007).

## 1. 2. 2. Elaboración

El paso inicial para la elaboración de biopelículas es la disolución de los componentes en algún disolvente como agua, alcohol, soluciones ácidos diluidos o mezclas de disolventes, en donde los materiales deben quedar completamente dispersados. En algunos casos es necesario calentar o ajustar el pH de la suspensión a utilizar con el fin de disolver los biopolímeros.

Posteriormente se adiciona una sustancia plastificante. Esta proporciona un buen comportamiento mecánico como es en flexibilidad, resistencia y reduciendo la fragilidad. El plastificante se asocia fisicoquímicamente con la estructura de los biopolímeros reduciendo la cohesión e interfiriendo con la asociación de las cadenas poliméricas facilitando su deslizamiento por lo que aumenta la flexibilidad del recubrimiento. Una vez dispersados los biopolímeros y adicionando el plastificante, es posible añadir otros aditivos para proporcionar diversas propiedades funcionales.

Finalmente se realiza el proceso de secado para así eliminar el disolvente en exceso, esto determinara el espesor final y las características estructurales.

Para el recubrimiento de alimentos el método más común es el de la inmersión, debido a que se requiere un recubrimiento uniforme. El alimento debe ser lavado previamente y secado, seguidamente se sumerge directamente en la formulación del recubrimiento, posteriormente se deja drenar el material y se procede al secado, este método garantiza una impregnación completa para formar una película delgada en la superficie del alimento.

Otro método utilizado es el de la aspersion, en este se obtienen películas más delgadas y uniformes, a diferencia de la inmersión. La solución se aplica presurizada, mediante la regulación de la presión, para conseguir diversos tamaños. La aplicación del recubrimiento se realiza con aspersores de alta presión que permiten emplear menos material de recubrimiento. Otros métodos son la aplicación mecánica o manual (Vázquez y Guerreiro, 2013).

### 1. 2. 3. Sinergismo

Un componente por sí solo no brinda las características deseadas al producto donde se aplica, sin embargo, algunas veces es necesario obtener esas características mezclándolas con otros componentes. Es en esos casos cuando se recurre al efecto sinergismo. El efecto sinergismo de las gomas junto con los otros componentes de la biopelícula, se obtiene al mezclar dos o más de estos con el fin de mejorar las propiedades individuales de estos al ser aplicadas al producto. Con esto se logran mejores características específicas como la gelificación, el espesamiento además de que se obtiene un mejor control de otras propiedades como las reológicas, que si se emplearan las gomas por separado u otros componentes (Charley, 2005).

### 1. 3. Frijol

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es una leguminosa originaria de América; ocupa el segundo lugar de importancia en producción en México después del maíz. Además de ser un alimento tradicional, también es tomado como un elemento de identificación cultural como el maíz y el chile, los cuales son parte de la dieta alimenticia del mexicano y es consumido tanto en medios rurales como urbanos (Arias *et al.*, 2007)

El frijol representa un cultivo clave en la dieta nacional, el consumo anual per cápita es de 9.9 kg, la producción nacional cubre casi la totalidad de los requerimientos de consumo de los mexicanos. México es el cuarto productor a nivel mundial, pues genera 5.5%.

El frijol es una planta herbácea perteneciente a la familia de las Fabaceae, de tallos delgados y débiles cuadrangulares, a veces rayados de púrpura, hojas trifoliadas, ápice acuminado, laterales tubulares y estandarte redondeado (tabla 1. 2.).

**Tabla 1. 2. Taxonomía del frijol**

Reino	Plantae
Subreino	Embriobionta

División	Magnoliophyta
Clase	Dicotiledoneas
Subclase	Rósidas
Orden	Fabelas
Familia	Fabaceae/Leguminosae
Género	<i>Phaseolus</i>
Especie	<i>Phaseolus vulgaris</i>

Fuente: Allen y Allen, 1981.

Alcanza una altura de 50-70 cm y sus raíces se desarrollan con una raíz pivotante principal y muchas ramificaciones.

El fruto es una vaina semicurvada y dehiscente, lo que significa que se abre naturalmente cuando está madura. Esta vaina puede medir de 10-12 cm y es de color verde, morada o casi negra. Las semillas pueden ser oblongas, ovales o redondeadas (dependiendo de la variedad), poco comprimidas y de color café, rojo o negro.

Su siembra se realiza a mano o con sembradora, enterrando la semilla a una profundidad de 3-5 cm, con una distancia entre plantas de 6 cm y entre hileras de 60-80 cm. Se debe verificar que el suelo tenga la suficiente humedad para garantizar una germinación uniforme.

Las temperaturas óptimas para el desarrollo del cultivo se encuentran entre 15 y 27°C, pues es muy susceptible a condiciones extremas y debe sembrarse en suelos de textura ligera y drenados. El pH adecuado se encuentra entre 6.5 y 7.5, ya que dentro de estos límites la mayoría de los elementos nutritivos del suelo presenta su máxima disponibilidad.

Su consumo contribuye una fuente de proteínas importante. Se guisa de diferentes modos y forma parte de la guarnición más utilizada para acompañar diferentes platillos (SAGARPA, 2017).

### 1. 3. 1. Morfología del frijol

La planta tiene forma de arbusto y de crecimiento determinado. Su altura varía entre 30 y 90 cm. En los nódulos en las raíces se encuentran las bacterias simbióticas que fijan el nitrógeno del aire, los cotiledones son las primeras dos especies de hojas de forma acorazonada, sencilla y opuestas. Éstas hojas son el resultado de la germinación epigea, cuando los cotiledones salen a la superficie, las hojas verdaderas son pinnadas, trifoliadas y pubescentes su tamaño varía de acuerdo con la variedad de frijol. La inflorescencia aparece en forma de racimo, nace en la axila de la hoja y la flor está formada de 5 sépalos, 5 pétalos, 10 estambres y un pistilo. Esta flor es típica de las leguminosas, sin embargo sus pétalos difieren morfológicamente, pero en conjunto forman la corola (Figura 1. 7.).

El estandarte es el pétalo más grande, está situado en la parte superior de la corola. Las alas son los pétalos laterales y la quilla son los pétalos inferiores, unidos por los bordes laterales.

La legumbre es el fruto de las leguminosas, la semilla está encerrada en la vaina, el color de la vaina puede ser verde, amarilla, blanca o plateada y las semillas se propagan cuando la vaina al madurar se abre dejando escapar sus semillas.

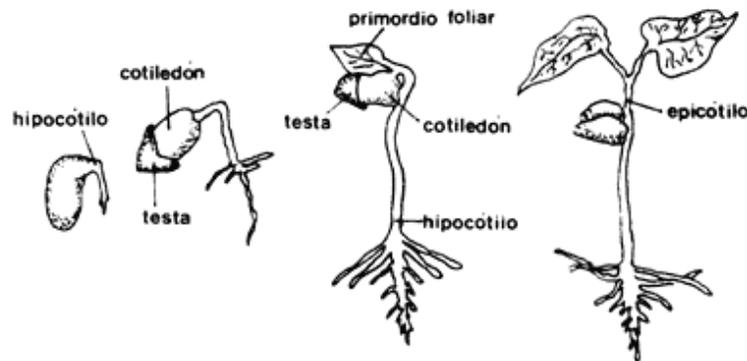


Figura 1. 7. Morfología de la planta de frijol. Fuente: Ayan *et al*, 2014

En cuanto a la estructura de la semilla de frijol; la estructura externa está compuesta por la testa, hilum, micrópilo y rafe (Figura 1. 8.).

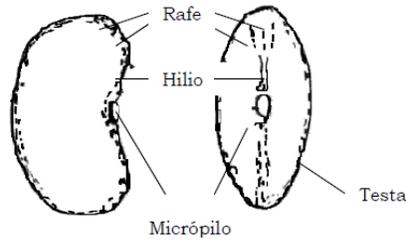


Figura 1. 8. Morfología externa del frijol. Fuente: Arias *et al*, 2007.

-Testa: Corresponde a la capa secundaria del óvulo, está formada por una capa interna y una externa de cutícula y una o más capas de tejido grueso que sirve de protección y generalmente es dura, proporciona cierto grado de impermeabilidad al agua y a los gases, lo cual le permite ejercer una influencia reguladora sobre el metabolismo y el crecimiento de la semilla.

-Hilio: Es la cicatriz dejada por el tallo, esta estructura conecta con la semilla de la placenta.

-Micrópilo: Corresponde a una abertura natural existente en la semilla localizada cerca el hilo, por esta abertura se realiza la absorción del agua.

-Rafe: proveniente de la soldadura del funículo con los tegumentos externos del óvulo (Arias *et al*, 2007).

La estructura interna del frijol está compuesta por el embrión, el cual está formado por la plúmula, hipocotilo, dos cotiledones y la radícula (Figura 1. 9.).

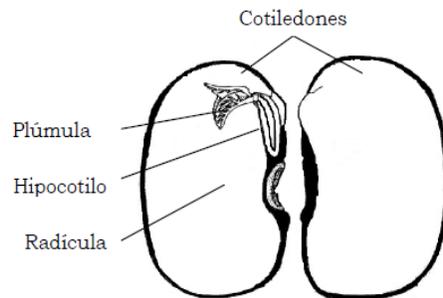


Figura 1. 9. Morfología interna del frijol. Fuente: Arias *et al*, 2007.

-Cotiledones: Se encuentra bajo la testa; el frijol está conformado por dos cotiledones, que es donde se encuentran las reservas nutritivas. Una vez que emergen y se despliegan, dan lugar al crecimiento del epicotilo.

-Plúmula: Se encuentra después del epicotilo estando constituida por la yema terminal y los primordios de las primeras hojas trifoliadas.

-Hipocotilo: Corresponde a la parte subterránea del tallo principal.,

-Radícula: La primera expresión de crecimiento en la etapa de germinación corresponde a la aparición de la radícula, la cual se convierte posteriormente en la raíz primaria o principal., En la parte alta de la radícula pocos días después de ocurrida la germinación, se desarrollan entre tres y siete raíces secundarias (Arias *et al*, 2007).

### 1. 3. 2. Germinación

El tamaño de la semilla y el hábito de crecimiento están relacionados con la eficiencia en la asignación de biomasa al grano en el ambiente de crecimiento, pero además depende de otras características de la semilla, como el vigor (Celis, *et al.*, 2010; OECD, 2016). La pérdida de latencia, el incremento de la impermeabilidad al agua y la disminución de la dureza de las semillas de frijol durante la domesticación se relacionan con características de la testa (Peña, *et al.*, 2017).

La latencia es un estado físico que impide la germinación de las semillas maduras aunque existan las condiciones ambientales que la promuevan (OECD, 2016). Esta condición no es estática, ya que algunas semillas pueden pasar por ciclos con latencia y a menudo inducidos por las condiciones ambientales (Bewley, 1997). Además, el almacenamiento por varios meses a temperatura ambiente (25 °C) elimina gradualmente la latencia de las semillas (Peña, *et al.*, 2017).

La capacidad de germinación y el vigor son los atributos principales involucrados en la calidad fisiológica de la semilla. La germinación es el proceso fisiológico mediante el cual emergen y desarrollan, a partir del embrión, las estructuras esenciales para

la formación de una planta normal (Desai, 2004). El vigor de las semillas es su potencial biológico para el establecimiento rápido y uniforme en condiciones, incluso desfavorables, de las plantas en el campo (González, *et al.*, 2008). Los factores externos, como la temperatura, agua, oxígeno y luz, influyen directamente en la germinación de las semillas. La emergencia de una plántula depende entonces de las características fisiológicas y bioquímicas de las semillas, de su reacción a las condiciones externas a ella, y de la eficiencia al usar sus reservas durante la germinación.

En las semillas, las estructuras como el hilio, el micrópilo y la rafe regulan la absorción de agua. La participación de la testa y la región micrópilo-hilio participan diferente en el proceso de absorción de agua (Peña, *et al.*, 2017).

El agua es un factor esencial para la germinación. Sin hidratación o "imbibición", no se producen las actividades celulares y metabólicas necesarias para la germinación.

Las etapas imbibicionales de las semillas se pueden dividir en tres fases. Durante la Fase I, las semillas secas absorben agua rápidamente y reanudan la reorganización de los organelos celulares. La restauración de membranas intactas durante este período es crítica para la función de los organelos y las actividades generales de la célula.

La Fase II es una fase de retraso donde el contenido de agua se nivela. Durante esta fase, se producen muchos eventos bioquímicos y moleculares, incluida la síntesis de ARN mensajero (transcripción) y proteína (traducción). La fuerza generada por el embrión se llama "potencial de crecimiento del embrión" y es una fuerza primaria para la aparición de radículas. El embrión emerge de la semilla a través del endospermo y la testa. La activación de la radícula es un evento importante que ocurre en el embrión contenido en una semilla imbibida, mientras que la tasa de división celular aumenta poco después de la aparición de la radícula. El alargamiento celular en la radícula del embrión es probablemente inducido por el aflojamiento de la pared celular a través de proteínas que la modifican. Las moléculas pequeñas, como aminoácidos y azúcares, que se acumulan en las células embrionarias como productos de degradación de proteínas, lípidos y

polisacáridos, sirvan como solutos para reducir el potencial hídrico de las células. Esto promueve la entrada de agua en las células, las expande y afecta positivamente el potencial de crecimiento del embrión.

Los cambios en los tejidos de cobertura durante la Fase II también son importantes para los mecanismos de germinación de las semillas. El endospermo proporciona nutrición y apoya el crecimiento de la radícula después de su aparición, la capa de endospermo proporciona resistencia mecánica al embrión y sirve como barrera para su aparición durante la Fase II.

En la Fase III, se observa otro fuerte aumento del contenido de agua, debido a la aparición de la radícula, que absorbe rápidamente una cantidad sustancial de agua y se alarga. Por lo tanto la Fase III es una etapa posgerminativa.

Una vez que emerge la radícula, el embrión requiere energía para sostener el desarrollo de las plántulas hasta que se vuelve autosuficiente a través de actividades fotosintéticas de hojas adultas, que emergen en la etapa posterior. Durante el período entre la aparición de la radícula y el desarrollo de la hoja, una plántula es apoyada por la nutrición proporcionada por el endospermo. En las semillas no endémicas, como los chicharos y los frijoles, las reservas de semillas se almacenan principalmente en los cotiledones del embrión. La movilización de reservas de semillas, como proteínas, lípidos y polisacáridos, es un evento importante durante la postgerminación.

La germinación de semillas es un evento dependiente de la temperatura. Las temperaturas óptimas para la germinación varían según la especie. Muchas semillas de vegetales y flores tienen sus temperaturas óptimas para la germinación alrededor de 15-30 ° C. El oxígeno también es esencial para la germinación de semillas. Las semillas de algunas especies requieren luces para la germinación (Nonogaki y Nonogaki., 2017).

El almacenamiento en condiciones que dañan la semilla, como temperatura y humedad relativa altas, ocasiona el fenómeno de la dureza para la semilla del frijol. Otras características intrínsecas a la semilla, como el grosor, la composición y la

microestructura de la testa, pueden afectar la dureza de la semilla; además, los cambios durante la postcosecha, como la oxidación de lípidos, la formación de pectatos insolubles y las modificaciones de los componentes de la pared celular, también pueden alterar irreversiblemente a las semillas, cultivares de frijol con contenido alto de cenizas presentan absorción mayor de agua, y la dureza de la semilla se relaciona inversamente con la absorción. Las estructuras más densas de la testa provocan menos absorción de agua y dureza mayor de las semillas (Peña, *et al.*, 2017).

### 1. 3. 3. Composición química del frijol

El frijol es una fuente importante de proteínas, almidón, vitaminas del complejo B, minerales (Ca, Cu, K, Mg, P, y Zn) y fibra alimentaria. Es deficiente en aminoácidos azufrados y triptófano pero contiene cantidades suficientes de lisina (Peña, *et al.*, 2017).

**Tabla 1. 3. Composición química del frijol**

Componente	%
Humedad	10.4
Carbohidratos	57.6
Proteína	22.6
Grasa	1.5
Fibra	4.2
Ceniza	3.7

Fuente: Mungía, 2010

-Proteínas: están constituidas por albúminas, globulinas, prolaminas y glutelinas, de las cuales la fracción globulínica es la que se encuentra en mayor proporción.

La calidad de una proteína está determinada por la capacidad que ésta tenga a satisfacer los requerimientos de aminoácidos y de nitrógeno del organismo. Esto

depende de la composición de aminoácidos y la digestibilidad de la proteína (Blanco, 1991).

La calidad de la proteína del frijol es importante debido a que contiene aminoácidos esenciales entre los que destacan la lisina. Debido a la deficiencia de lisina que tienen algunos cereales, el frijol en combinación con granos de maíz, arroz, trigo, se complementan obteniendo como resultado una mezcla de mejor calidad proteica que la de los granos individuales (Bonilla, *et al.*, 1991).

Uno de los factores que más afecta la utilización de las proteínas del frijol es su digestibilidad, este efecto es causado probablemente por una descarga muy rápida del intestino o por resistencia de éstas proteínas a la hidrólisis de las enzimas gastrointestinales; la baja solubilidad de algunas fracciones proteicas reduce su susceptibilidad al ataque enzimático (Gómez, *et al.*, 1983).

-Carbohidratos: Constituyen la fracción principal en los granos de las leguminosas; el almidón es el más importante, también se encuentran los polisacáridos de la pared celular (fibra) y oligosacáridos (rafinosa y estaquinosa) se encuentran en pequeñas cantidades (Vargas, *et al.*, 2006).

-Lípidos: están presentes en forma de glicéridos de ácidos grasos. La mayoría son insaturados y entre los principales están el ácido oleico y linolénico, que son considerados como indispensables, lo que aumenta la cantidad nutrimental del frijol.

-Vitaminas y minerales: las leguminosas proporcionan vitaminas del complejo B disponibles en ellas. En cuanto a los minerales, el frijol es rico en calcio, hierro y fósforo; su asimilación depende del ácido fítico, que por su acción inhibitoria reduce un alto porcentaje de su asimilación (Mungía, 2010).

#### 1. 3. 4. Cocción

Otra característica de las leguminosas es la capacidad que tienen de incrementar su volumen y peso unas, dos o tres veces del original, durante el proceso de cocción, debido al debilitamiento y lisis de las membranas celulares, que recubren

aproximadamente el 60 % de las células del amiloplasto que la estructuran, variando de esta manera su composición (González, 2000).

La capacidad de absorción de agua durante el remojo previo a la cocción se puede utilizar en el proceso de selección, para eliminar aquellos granos que absorben menor cantidad de agua, lo cual permite evaluar el grado de permeabilidad del grano de frijol durante el remojo y detectar el fenómeno de testa dura, relacionado con tiempos de cocción prolongados (Castellanos, y Guzmán, 1994).

Los tiempos de cocción pueden prolongarse por dos procesos diferentes relacionados con la absorción de agua por parte de las semillas: el primero, testa dura que se manifiesta cuando las semillas no absorben suficiente agua durante la cocción y por tal razón al ser cocinadas no se ablandan. Esto puede estar dado por la baja permeabilidad de la testa al agua. El segundo proceso se denomina difícil de cocinar y se manifiesta en aquellas semillas que absorben suficiente agua, pero fallan al ablandarse luego del remojo y posterior tiempo de cocción (Kigel, 1999).

El tiempo de cocción corto es una característica que ha sido seleccionada durante los procesos de domesticación y representa un atributo de la calidad culinaria. Observaciones realizadas en la cuantificación de los tiempos de cocción de los frijoles silvestre muestran oscilaciones entre 10-30 min por debajo o 50-60 min por encima de otras semillas domesticadas.

Con respecto al remojo de los frijoles, este presenta un efecto muy marcado sobre el tiempo de cocción. Este efecto del remojo es de conocimiento público desde hace mucho tiempo y tiene una aplicación práctica, ya que el ama de casa puede disminuir el tiempo de cocción de los frijoles, contribuyendo al ahorro de energía y combustible requeridos para la elaboración de los alimentos.

Uno de los métodos para la determinación del tiempo de cocción consiste en remojar una muestra de 25 semillas por 18 horas y pasar las semillas remojadas a un cocedor Mattson. El tiempo de cocción quedará registrado cuando las 25 semillas hayan sido atravesadas por las agujas del equipo colocado en el recipiente con agua en ebullición (Mora, 1980).

### 1. 3. 5. Almacenamiento del frijol

El frijol se consume después de un largo periodo de almacenamiento; el objetivo del almacenamiento es mantener la calidad de la semilla desde que se cosecha hasta que se comercializa. Una parte se almacena en bodegas o se envasa a granel y permanece en anaqueles, antes de ser utilizado por el consumidor.

Un almacenamiento adecuado preserva la viabilidad y el vigor de la semilla, además de las cualidades nutrimentales y sensoriales del grano. El tiempo de almacenamiento del frijol depende de diversos factores como: humedad relativa del ambiente, humedad de la semilla y temperatura ambiental (Mungía, 2010).

En el almacenamiento se requiere que la semilla de frijol a almacenar cumpla con ciertos requisitos:

- Humedad del frijol 11-12%
- Adecuado control de insectos antes del almacenamiento
- Disponer de envases apropiados para el almacenamiento hermético
- Almacenamiento en lugares frescos y ventilados donde la temperatura no sobrepase los 25°C
- La humedad relativa no debe de sobrepasar un 65%
- Libre de impurezas
- Buen manejo del grano y conocimiento de conservación
- Evitar la presencia de agentes de daño (plagas y hongos)

La calidad del grano se ve afectada por un mal almacenamiento, esto es debido a que los requisitos mencionados anteriormente no se cumplieron adecuadamente. El frijol sufre pérdidas de calidad tales como: aumento en el contenido de humedad, aumento en el tiempo de cocción y cambios en el color de la testa, provocados por oxidación y esto provoca el oscurecimiento de la testa (Shiga, *et al.*, 2004).

Las causas de pérdidas de frijol son ocasionadas principalmente por plagas de almacén al perforar el grano, tal es el caso de los insectos, donde pasan sus

primeras etapas de vida. Las especies de insectos más destacadas en la problemática de pérdidas de frijol almacenado son *Acanthoscelides obtectus* (gorgojo pardo del frijol), *Zabrotes subfasciatus* (Gorgojo mexicano del frijol). Después de la infestación del grano por insectos generalmente suelen aparecer los hongos, debido a que estos pueden incrementar la actividad de agua y temperatura a niveles óptimos del desarrollo fúngico

Cualquiera que sea la causa y el monto de las pérdidas que sufren los granos y sus productos almacenados, recaen principalmente sobre el agricultor. Debido a los problemas de mal almacenamiento, muchos productores no pueden guardar el grano por largos periodos de tiempo por lo que se ven forzados a vender el grano inmediatamente después de ser cosechado (D´antonio, 1997).

### 1. 3. 6. Plagas del Frijol

Una plaga se define como la densidad de población de un insecto que supera inaceptablemente los niveles del umbral dando como resultado un daño económico.

En términos generales, los insectos se consideran perjudiciales o nocivos cuando causan grandes pérdidas económicas al dañar cultivos agrícolas y otras plantas de importancia económica.

Existen insectos que afectan el grano almacenado provocando daños de tipo cuantitativo y cualitativo. Durante el almacenaje los insectos encuentran condiciones muy favorables para su establecimiento, reproducción y desarrollo, puesto que cuentan con alimento y protección adecuada. Según el daño que estos insectos producen en los granos se clasifican en:

-Plaga primaria: aquellas que poseen aparato bucal masticador y puede romper la testa del grano para alimentarse o depositar sus huevos. Atacan granos enteros, limpios y no dañados.

-Plaga secundaria: aquellas que atacan después de un insecto primario. Se desarrollan entre harinas y granos quebrados. Su presencia indica que existen otras plagas que están o estuvieron dañando el grano.

-Plaga terciaria: aquellas que se desarrollan con posteridad al ataque de plagas primarias y secundarias y se alimentan de residuos producidos por las plagas presentes, hifas y esporas de hongos.

La actividad de los insectos y el daño que provocan está muy relacionada con la temperatura, humedad y el manejo del grano en el almacén.

Muchos insectos son capaces de alimentarse, desarrollarse y multiplicarse en los granos enteros, granos dañados o alimentos procesados en el almacenamiento. Cuando los granos se almacenan en condiciones inadecuadas los insectos se multiplican y pueden causar daños significativos que van desde la pérdida de peso de grano a la pérdida de la calidad, caracterizada esta última por la disminución de la germinación, cambios bioquímicos y nutricionales y su contaminación por excretas, exoesqueletos y partes del cuerpo del insecto. La respiración por grandes poblaciones de insectos también produce calor y humedad, lo que favorece el crecimiento de diversos hongos (Schoonhven, y Dan, 1982).

#### 1. 3. 6. 1. Bruchidae

Varios escarabajos de la familia Bruchidae son plagas serias de semillas de leguminosas cultivadas. Las especies de insectos que atacan a las semillas de leguminosas que se almacenan depositan sus huevecillos en vainas en desarrollo y semillas en el campo, y como el desarrollo no puede completarse una vez que las semillas maduran, a menudo se traen especies como *Acanthoscelides obtectus*, *Zabrotes subfasciatus* y varias especies de *Callosobruchus*, las cuales se reproducen fácilmente en condiciones de almacenamiento, y su número puede aumentar rápidamente.

La mayoría de los bruchidae de granos almacenados son capaces de infestar una amplia gama de semillas leguminosas, pero cada especie se asocia de manera característica con ciertas plantas hospederas.

Los adultos son muy fáciles de reconocer: el cuerpo, que está cubierto de pelos cortos, es compacto y globular. Los élitros (alas anteriores) que a menudo presentan manchas, son cortos y exponen el último segmento abdominal (llamado pigidium). Las antenas son largas y pectinadas.

Aquellas especies que atacan semillas almacenadas de leguminosas son plagas primarias, siendo los géneros más importantes *Acanthoscelides*, *Callosobruchus*, *Zabrotes* y *Caryedon*.

En México las especies que comúnmente dañan las semillas de leguminosas son las especies del gorgojo pardo del frijol (*Acanthoscelides obtectus*) y el gorgojo pinto o mexicano del frijol (*Zabrotes subfasciatus*). Los individuos adultos de éstas dos especies se pueden identificar fácilmente por las características que presentan en las patas posteriores. El fémur posterior de *Acanthoscelides obtectus* tiene tres estructuras similares a dientes dispuestos en una fila en su extremo distal., En el caso de *Zabrotes subfasciatus*, el extremo de la tibia posterior presenta dos espinas (espuelas) movibles.

Los huevos se ponen en vainas o directamente en semillas de leguminosas. *Callosobruchus*, *Caryedon* y *Zabrotes* sujetan firmemente sus huevos a la vaina o semilla, mientras que *Acanthoscelides* deposita sus huevos sueltos en las grietas y grietas de la semilla o vaina. Al eclosionar, las larvas de tipo sacarabaeiforme inmediatamente perforan la semilla. Por lo general, pasan su vida larval dentro de una semilla, excavando una cavidad mientras se alimentan. La pupación normalmente ocurre dentro de la semilla. Las larvas que pupan dentro de la semilla usualmente preparan, antes de la pupación, una ruta a través de la cual el adulto escapará. En este punto, comen el cotiledón hasta que solo queda la testa, dejando lo que parece una ventana circular en la superficie de la semilla. En la emergencia, el adulto de corta vida y sin alimentación muerde y se abre paso a través de esta

ruta de escape. Los adultos son muy activos y pueden correr bien y volar fácilmente, y a menudo son muy visibles corriendo sobre la superficie de las semillas infestadas.

Los principales géneros de plagas se encuentran en todas las regiones del mundo donde se cultivan y almacenan sus cultivos hospederos. Son especialmente abundantes en áreas de temperatura cálida y tropical., En los países tropicales en desarrollo, donde las semillas de leguminosas son a menudo la principal fuente de proteínas en la dieta humana, las pérdidas causadas por estos insectos son de gran importancia.

El ciclo de vida de los géneros más importantes es relativamente corto. En condiciones óptimas (30-35 ° C, 70-90% HR), el desarrollo completo tiene lugar en tan solo 22-25 días para *Acanthoscelides obtectus* (Say), *Callosobruchus* spp. Y *Zabrotes subfasciatus* (Boheman). Las temperaturas mínimas para el desarrollo de estas especies son de 15, 18 y 20 °C, respectivamente (Hagstrum y Subramanyar, 1996; Gorham, 1991).

#### 1. 3. 6. 1. 1 Gorgojo Mexicano del Frijol (*Zabrotes subfasciatus*)

Esta especie se originó en América Central y América del Sur tropical y subtropical., También se encuentra en otras regiones cálidas del mundo, especialmente África central y oriental, Madagascar, los países que bordean el Mediterráneo y la India. Ataca principalmente al frijol, pero en Uganda y partes de África occidental también se ha registrado atacando al caupí.

*Phaseolus vulgaris*, *P. lunatus*, *Vigna subterranea*, *V. radiata* y *V. unguiculata* son sus hospederos. Las tres especies representan 3 hospederos de expansión reciente.

**Tabla 1. 4. Taxonomía de *Zabrotes subfasciatus*.**

Reino	Animalia
Phylum	Arthropoda
Clase	Insecta

Orden	Coleóptera
Suborden	Polífaga
Familia	Brúchidae
Género	<i>Zabrotes</i>
Especie	<i>Zabrotes subfasciatus (Boheman)</i>

Fuente: Borrer, 1992

*Z. subfasciatus* es usual entre los Bruchiade ya que deposita 30-40% de sus huevos en grupos de dos o más huevos, un hábito que puede ser una adaptación a la vida en los frijoles de bajo contenido de humedad. La mortalidad es menor entre las larvas que emergen de los huevos agrupados que entre las que salen de huevos diseminados, incluso cuando el número total de huevos en el frijol es el mismo. Este efecto es más pronunciado en granos más secos (Hagstrum y Subramanyar, 1996; Gorham, 1991).

En cuanto a la morfología del gorgojo mexicano del frijol esta varía dependiendo de su instar en el que se encuentra (Figura 1. 10.):

-Huevecillos: pequeños, miden aproximadamente 0.3 mm de diámetro y son de forma circular y aplanados. Al estar recién ovipositados se caracterizan por tener una apariencia cristalina, pero a medida que avanza la incubación se forman a un color blanco amarillento.

-Larvas: son de tipo vermiforme y ápoda, miden de 3 a 3.5 mm, presenta abundantes pliegues y son de color blanco. La cabeza es muy reducida y se encuentra articulada al protórax.

-Pupa: miden aproximadamente 3 mm de largo, de color blanco lechoso y no presentan pelos. Se puede diferenciar el sexo, el cual se aprecia por la forma del último segmento abdominal, en la hembra es rectilíneo y en el macho es arqueado.

-Adultos: miden de 1.8-2.5 mm, los machos son de color olivo y son más pequeños con respecto a las hembras. Las hembras son de color negro y se caracterizan por tener manchas de color blanco en los élitros. En ambos sexos los élitros son cortos,

dejando expuesto el último segmento del abdomen. Presentan ojos bien desarrollados. Las antenas presentan 11 segmentos, y las patas posteriores son más robustas que las anteriores, los fémures se muestran dilatados y las tibias posteriores tienen dos espuelas en su extremo distal (Vélez, 1997).



Figura 1. 10. *Zabrotes subfasciatus* (Gorgojo mexicano del frijol). Fuente: IICA (2010)

El límite de desarrollo más bajo para *Z. subfasciatus* es probablemente un poco menos de 20°C y el límite superior está entre 35° y 37.5°C. Sin embargo, pocos adultos emergen a 35° C cuando la humedad es baja. Las condiciones óptimas para el desarrollo son aproximadamente 32.5°C y 70% HR; Bajo estas condiciones, el desarrollo requiere alrededor de 24 días. La fecundidad es máxima (alrededor de 40 huevos / hembra) a 25 °, 70% HR (Hagstrum y Subramanyar, 1996; Gorham, 1991).

Su ciclo de vida bajo las condiciones ya mencionadas es de aproximadamente 20 días entre el estado del huevecillo y el adulto: los huevecillos son depositados en forma aislada, los cuales son adheridos a la testa del frijol por medio de una sustancia pegajosa. Una hembra alcanza a depositar de 3-4 huevecillos diarios por grano. El estado del huevecillo dura de 4-5 días. Al eclosionar el huevecillo, la larva penetra en el grano y continúa desarrollándose en su interior, formando un camino a medida que se alimenta. Durante el último instar la larva forma una ventana en la testa de la semilla, la cual servirá para que el adulto abandone la semilla y emerja.

Las larvas mudan cuatro veces antes de pupar. El estado larval dura 14 días aproximadamente. La pupa se desarrolla en el interior del grano. Una vez que termina su periodo de desarrollo el adulto emerge por la ventana. El estado de pupa dura de 5-6 días. Después de su emergencia el adulto vive de 10-12 días, por lo que es de vida corta. La hembra es capaz de poner 56 huevecillos y de infestar hasta 36 granos. La oviposición de la hembra se inicia desde el primer día, ovipositando de 2-3 huevecillos y alcanza su valor máximo hacia el tercer día, alcanzando a ovipositar cerca de 9 huevecillos. A partir de entonces se reducen los valores de 1-4 huevecillos por día (Schoonhven,*et al.*, 1983).

### 1. 3. 7. Hongos del frijol

#### 1. 3. 7. 1. Características de los hongos

Los hongos son organismos a los que se les ha reconocido como un grupo independiente del reino vegetal, por cual se le conoce como el reino fungi. Estos organismos son eucariontes, lo cual significa que tienen núcleos bien definidos por membranas y que contienen un determinado número de cromosomas, lo cual los diferencia de las bacterias.

Algunos hongos juegan un papel importante como degradadores de materia orgánica, sin embargo, existen hongos que son la principal causa de enfermedades de los cultivos agrícolas, afectando severamente la economía.

La alimentación humana y animal en gran parte se basa en el consumo de granos y sus derivados, los que frecuentemente son invadidos por hongos, causando diferentes problemas, entre ellos la contaminación con sustancias tóxicas (micotoxinas), estos son metabolitos secundarios que afectan gravemente la salud de los humanos y/o animales (Moreno, 1988).

La actividad metabólica de los hongos incrementa la humedad y temperatura del sustrato donde se desarrollan, creando las condiciones para su proliferación

elevando aún más la temperatura, haciéndola intolerable para los insectos que emigran hacia otras fuentes de alimento (Dell'Orto, 1985).

Los hongos son heterótrofos, por lo tanto depende de la obtención de compuestos orgánicos a través de sus actividades saprótroficas o parasíticas. La mayoría de los hongos están constituidos por estructuras tubulares llamadas hifas, formando lo que se conoce como micelio, y en otras se agregan para formar estructuras con cierto grado de complejidad, como los son llamadas setas u hongos superiores. La reproducción de los hongos se lleva a cabo principalmente por medio de propágulos de origen asexual y sexual, a los cuales se les conoce como esporas. Existen algunos hongos que no producen esporas, por lo que su reproducción se produce a través de estructuras vegetativas, como son el propio micelio o estructuras derivadas del mismo (Moreno, 1988).

La mayoría de los hongos tienen una etapa de esporas que contienen un núcleo haploide (que posee una serie de cromosomas). La espora produce una hifa que contiene también núcleos haploides. La hifa produce de nuevo esporas haploides o puede fusionarse con otra hifa para producir una hifa fecundada en la que los núcleos se fusionan para formar un núcleo diploide, denominado cigoto, el cual contiene ahora dos series de cromosomas,  $2n$  posteriormente sufre meiosis dando como resultado una espora de origen sexual haploide (Agrios, 1995).

Las características más importantes de los hongos que se utilizan para su identificación a nivel morfológico son sus esporas y cuerpos fructíferos. Estos se examinan directamente en el microscopio compuesto después de haber sido aislados de la planta a la que han infectado. El hospedante debe mantenerse húmedo durante algunos días para permitir el desarrollo de los cuerpos fructíferos del hongo o debe aislarse y cultivarse en medios nutritivos especiales que permitan cultivar selectivamente solo a una determinada especie de hongo, para su identificación especializada (Moreno, 1988).

### 1. 3. 7. 2. Clasificación de hongos en granos y semillas

Se han reportado más de 150 especies de hongos en granos y semillas; la mayoría de éstas especies se encuentran como contaminantes superficiales debido a que la principal forma de propagación de las esporas es por el aire (Williams y McDonald, 1983).

De acuerdo con Christensen y Kauffman (1969) clasificaron ecológicamente a los hongos que se encuentran en los granos de la siguiente manera:

-Hongos de campo: son agentes causales de enfermedades en los cultivos e invaden a los granos en el campo, estos se encuentran en granos de recién cosecha, pueden invadir el grano cuando el nivel de humedad se encuentra a niveles del 20%. Algunos ejemplos de estos son especies de los géneros *Alternaria*, *Cladosporium* y *Fusarium*.

-Hongos de almacén: se desarrollan principalmente bajo condiciones de humedad relativa baja, después de la cosecha, durante el transporte, secado lento, almacenamiento y procesamiento de los granos, pueden causar un grave deterioro en la semilla ya que puede matar al embrión. Algunos ejemplos de estos son principalmente especies de *Aspergillus* (*A. flavus* y *A. parasiticus*) y del género *Penicillium*.

-Hongos de deterioro avanzado: requieren altos contenidos de humedad para su desarrollo y en la naturaleza se les encuentra colonizando materia orgánica en proceso de descomposición. Algunos ejemplos de estos son *Aspergillus niger* y *Aspergillus clavatus* (Moreno, 1988; Rodríguez y Herrera, 2002).

### 1. 3. 7. 3. Factores que influyen en el desarrollo de hongos

-Humedad: El contenido de humedad del grano para conservarse almacenado es de 12-13%, en cotiledones la humedad es de 14-15%. A medida que aumente el contenido de humedad los hongos crecen más rápido y causan más daño, también estarán compitiendo con especies con mayores requerimientos de humedad.

-Temperatura: La mayoría de los hongos de los granos almacenados crecen rápidamente entre los 20-40 °C cuando la humedad relativa excede el 90%. El conocimiento de los límites de temperatura y de la humedad del grano en la cual crecen los diferentes grupos de hongos permite determinar los requerimientos de manejo necesarios para evitar el deterioro del grano.

-Oxígeno: algunos microorganismos requieren oxígeno para subsistir, sin embargo, existen algunos que desarrolla con cantidades muy bajas de oxígeno como en el caso de hongos de almacén.

-Impurezas: éstas pueden ser partículas más finas que las semillas (semillas quebradas, semillas de hierbas, fragmentos de planta, partes de insectos, partículas del suelo, etc.) las cuales deben ser retiradas ya que su presencia confiere mayor riesgo a que el grano entero sea más susceptible al ataque de hongos de almacén, además de favorecer el desarrollo de insectos que incrementan la presencia de hongos.

-Actividad de plagas: estos pueden subir rápidamente el contenido de humedad el grano almacenado, un 2% al mes

El periodo de almacenamiento es un factor importante para el desarrollo de hongos y está relacionado con el contenido de humedad y la temperatura por lo cual deben estar perfectamente controladas (Ramírez, 1992).

#### 1. 3. 7. 4. Daños provocados por hongos

-Modificación de las propiedades organolépticas del alimento: estos pueden ser mal olor, mal sabor, aspecto con decoloración, apelmazamiento y disminución de la fluidez. Es evidente que todo esto conduce una disminución de la calidad del grano.

-Deterioro y reducción de los nutrimentos del alimento: en las fases de proliferación y crecimiento fúngico, existe un consumo de nutrientes produciéndose una degradación de proteínas, lípidos, carbohidratos y varias vitaminas. Esto conduce a una pérdida energética y alteración del valor nutricional del grano.

-Reacciones de lisis exotérmicas producidas por la segregación masiva de enzimas: en los procesos de descomposición de materia orgánica por hongos se desprenden diversos gases inflamables producidos por los procesos metabólicos (Hoseney, 1991).

-Reducción de peso: la respiración del grano y hongos se traduce en una pérdida de materia seca, produce un aumento de humedad y temperatura que contribuye a su deterioro adicional, lo que facilita el crecimiento de hongos. En algunos casos los hongos ocasionan apelmazamiento de granos (Ramírez, 1992).

### 1. 3. 7. 5. Micotoxinas

Las micotoxinas son metabolitos secundarios producidos por hongos filamentosos que tienen efectos nocivos en los consumidores humanos y animales. Las micotoxinas son estructuralmente diversas, se derivan de una serie de vías biosintéticas y sus efectos sobre los consumidores son igualmente diversos, pasando de ser extremadamente tóxicos a inmunosupresores o carcinogénicos.

La producción de una micotoxina particular se restringe a un número limitado de especies de hongos y, en algunos casos, puede limitarse a cepas particulares dentro de una especie (Tabla 1.5). Aunque se han descrito más de 300 micotoxinas, relativamente pocas son de gran preocupación con respecto a la salud humana y animal. Los hongos de cinco géneros *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Alternaria* y *Claviceps* son responsables de la producción de la gran mayoría de las micotoxinas que son de importancia agrícola. La mayoría de estos hongos infectan a las plantas antes de la cosecha y pueden considerarse como fitopatógenos mientras que otros se activan después de la cosecha, donde las condiciones de almacenamiento son permisivas para el crecimiento de hongos. Sin embargo, no todas las infecciones pueden considerarse patógenas, ya que la infección puede no dar lugar a síntomas (Magan y Oslen, 2004).

**Tabla 1. 5. Géneros de hongos y especies asociados a la producción de micotoxinas.**

Hongo	Micotoxinas
<i>Aspergillus flavus</i> , <i>A. parasiticus</i> y <i>A. nomius</i>	Aflatoxinas B1, B2, G1 y G2
<i>Aspergillus flavus</i> , <i>A. parasiticus</i> y <i>A. nidulans</i>	Estrigmatocistina
<i>Fusarium graminearum</i> , <i>F. culmorum</i> , <i>F. sporotrichioides</i> , <i>F. poae</i> y <i>F. cerealis</i>	Tricotecenos A y B
<i>Fusarium proliferatum</i> y <i>F. verticillioides</i>	Fumonisinias
<i>Fusarium proliferatum</i> , y <i>F. avenaceum</i>	Enniatinas y Beauvericina
<i>Penicillium verrucosum</i> , <i>P. ochraceus</i> y <i>Aspergillus carbonarius</i>	Ocratoxina A
<i>Penicillium expansum</i>	Patulina
<i>Penicillium</i> spp.	Citrinina y Roquefortina
<i>Claviceps purpurea</i> , <i>Aspergillus</i> spp, <i>Penicillium</i> spp y <i>Acremonium</i> spp	Alcoloides del ergot
<i>Alternaria</i>	Alternariol, Alvertoxina, Acido tenuazonico

Fuente: Magan y Oslén, 2004.

## **2. Metodología**

### 2. 1. Objetivos

#### Objetivo general

Analizar la funcionalidad de una biopelícula a base de almidón de tortilla de maíz como recubrimiento en granos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), para determinar su efecto fungistático, en la oviposición de gorgojo, así como en la germinación de semilla y cocción del grano de frijol.

#### Objetivos particulares

##### Objetivo particular 1:

Elaborar una biopelícula a base de almidón de tortilla de maíz utilizando diferentes concentraciones de gomas (xantana, CMC y alginato de sodio) para ser utilizada como barrera de protección en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.).

##### Objetivo particular 2:

Determinar el efecto de la biopelícula en la germinación y cocción del frijol como grano y semilla.

##### Objetivo particular 3:

Evaluar el efecto de la biopelícula en la oviposición del gorgojo mexicano del frijol (*Zabrotes subfasciatus*) en los frijoles recubiertos.

##### Objetivo particular 4:

Establecer el efecto antimicrobiano de la biopelícula en el frijol para disminuir el crecimiento de hongos frijol mediante el conteo de unidades formadoras de colonias (UFC) presentes en medios de cultivo.

## 2. 2. Actividades preliminares

El trabajo experimental se realizó en la Unidad de Investigación en Granos y Semillas (UNIGRAS), la cual se encuentra ubicado en el Centro de Asimilación Tecnológica (CAT) perteneciente a la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán – UNAM, con el apoyo de los proyectos PIAPI 1821 (Proyecto de Investigación interno) y PAPIME DGAPA-UNAM PE204217.

Para llevar a cabo este estudio se utilizó frijol de la variedad del frijol bayo, de la cosecha 2017, obtenido en la Central de abastos de la Ciudad de México. Para la extracción de almidón la tortilla utilizada se obtuvo del molino ubicado en la Avenida Ferronales, colonia Lázaro Cárdenas, Cuautitlán, Estado de México.

### 2. 2. 1. Extracción de almidón

Se molió 1 kg de tortilla dura en un molino de martillos, marca pulvex, para obtener una harina que pasó por la criba de 1.0 mm; se pesaron 500g de la harina y se mezclaron con 3 L de alcohol al 96%, después la suspensión fue filtrada con 4 capas de malla del número 500 mm, el filtrado se dejó sedimentar y se decanta el etanol para separarlo del residuo, el residuo obtenido se colocó en cristalizadores para ser secados a 40°C por 24 h en un horno de convección marca red Line by Binder y obtener el almidón en polvo (Figura 2. 1. y Figura 2. 2.) (Paredes, *et al.* 1989).

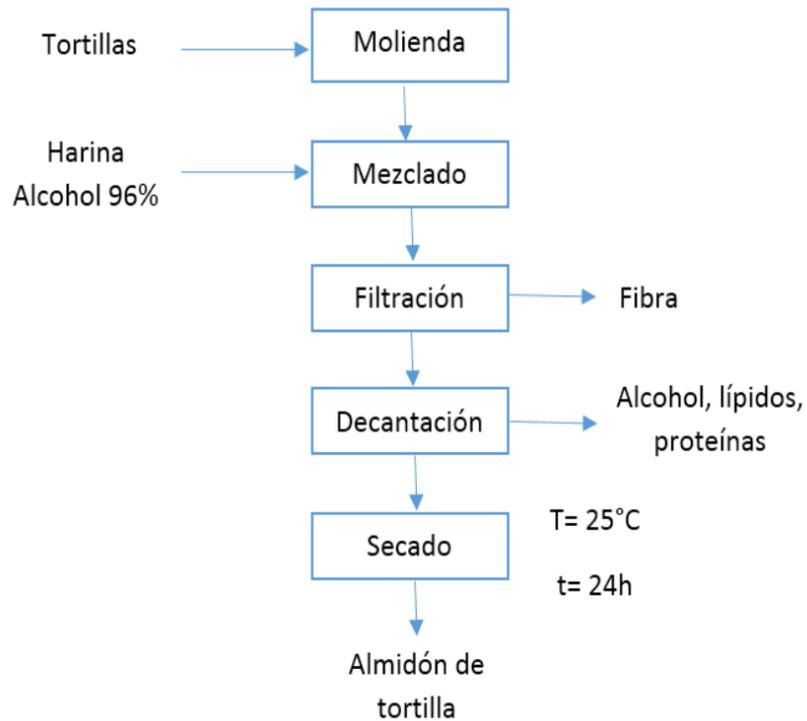


Figura 2. 1. Diagrama de proceso de la extracción de almidón.



Figura 2. 2. Proceso de extracción de almidón.

### 2. 2. 2. Índice de absorción de agua (IAA) e Índice de solubilidad en agua (ISA)

Se tomó una muestra de 2.5 g de harina de tortilla en base seca y fue colocada en un tubo de propileno, previamente pesados en el cual se adicionaron 40 mL de agua

destilada, el tubo fue colocado a baño maría con agitación a 30°C por 30 minutos, pasado este tiempo se centrifugó la muestra a 3000 rpm por 10 minutos, el sobrenadante se vertió en una charola previamente pesada y se secó la muestra a 105°C por 40 minutos y se pesó el residuo de evaporación.

El IAA es una relación entre el peso del residuo de evaporación y el peso seco de la muestra, para su cálculo se utilizó la siguiente ecuación: (Anderson, *et al.*, 1969).

$$IAA = \frac{\text{Peso del residuo de centrifugación}}{\text{Peso seco de muestra} - \text{Peso del residuo de evaporación}}$$

Para el cálculo del ISA se utilizó la siguiente ecuación:

$$\%ISA = \frac{\text{Peso del residuo de evaporación}}{\text{Peso seco de la muestra}} \times 100$$

### 2. 2. 3. Elaboración de las Biopelículas

Para la elaboración de las biopelículas se planteó la formulación mostrada en la tabla 2.1. El procedimiento de elaboración inicial fue la dispersión de las gomas, una vez obtenida esta dispersión se le agregó el almidón de tortilla para realizar una segunda dispersión, posteriormente fue agregado el glicerol y se mezcló calentando la solución a una temperatura de 70°C por 10 minutos, esto para que el glicerol se logre homogenizar con los demás componentes, pasado este tiempo se realizó el método de casting el cual consistió en colocar la solución en recipientes de aluminio, para obtener una placa de biopelícula, después este fue secado en un horno de convección marca red Line by Binder a 25°C por 24h (Enríquez, Ortiz, Velasco, 2011).

**Tabla 2. 1. Formulación de la Biopelícula.**

Componente	%
Agua	85.6 %
Almidón	6%
Glicerol	8%

Goma Xantana	0.34%
Alginato	
CMC	

Se planteó la variación de la mezcla de gomas a utilizar (Goma Xantana, CMC y alginato de sodio), manteniendo el porcentaje propuesto en la tabla 2.1. para lo cual se empleó el software Minitab statistical software, obteniendo 3 diseños de mezclas diferentes, con un total de 10 tratamientos cada uno, en estos se buscó encontrar aquel diseño que ofreciera las características deseadas, de una biopelícula. Estos se diseños se muestran en las siguientes tablas:

**Tabla 2. 2. Diseño de mezclas 1**

Tratamiento	%Gomas		
	Alginato	CMC	Xantana
1			0.34
2	0.113	0.113	0.113
3	0.17		0.17
4	0.17	0.17	
5	0.34		
6	0.071	0.071	0.071
7	0.198	0.071	0.198
8	0.071	0.198	0.071
9		0.17	0.17
10		0.34	

**Tabla 2. 3. Diseño de mezclas 2**

Tratamiento	%Gomas		
	Alginato	CMC	Xantana
1	0.086	0.169	0.086
2	0.135	0.070	0.135

3	0.2	0.070	0.070
4	0.135	0.135	0.070
5	0.070	0.135	0.135
6	0.169	0.086	0.086
7	0.070	0.2	0.070
8	0.070	0.070	0.2
9	0.086	0.086	0.169
10	0.113	0.113	0.113

**Tabla 2. 4. Diseño de mezclas 3**

Tratamiento	%Gomas		
	Alginato	CMC	Xantana
1	0.12	0.07	0.15
2	0.07	0.12	0.15
3	0.12	0.12	0.10
4	0.07	0.07	0.20
5	0.17	0.07	0.10
6	0.07	0.17	0.10
7	0.13	0.06	0.15
8	0.06	0.06	0.22
9	0.06	0.13	0.15
10	0.20	0.06	0.08

### 2. 3. Grosor de las biopelículas

De las biopelículas previamente cortadas para la prueba de permeabilidad se tomaron las medidas para grosor con un vernier marca Hamilton y se tomaron las medidas como se muestra en la figura 2.5; se tomó un promedio de las 4 medias obtenidas.

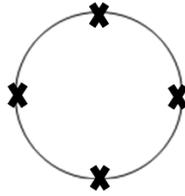


Figura 2. 5. Esquema de los puntos de medida para grosor

## 2. 4. Permeabilidad al vapor de agua (WVP)

Se elaboraron biopelículas por el método de casting de cada una de las formulaciones del diseño de mezclas 3 (Tabla 2. 4.), estos se cortaron en forma circular con un diámetro de 3 cm y fueron colocados en celdas, previamente pesadas, con desecante al 0% de humedad en el interior, éstas celdas fueron colocadas en una cámara con agua destilada a 25°C (Figura 2. 3.), se pesaron cada 30 minutos por 2 horas (Figura 2. 3.).



Figura 2. 3. Permeabilidad al vapor de agua.

Para el cálculo de WVP inicialmente es necesario calcular la transmisión al vapor de agua (WVTR), este se calcula con el cociente entre la pendiente de la curva de pérdida de agua vs tiempo (Figura 2. 4.) y el área del film expuesta.

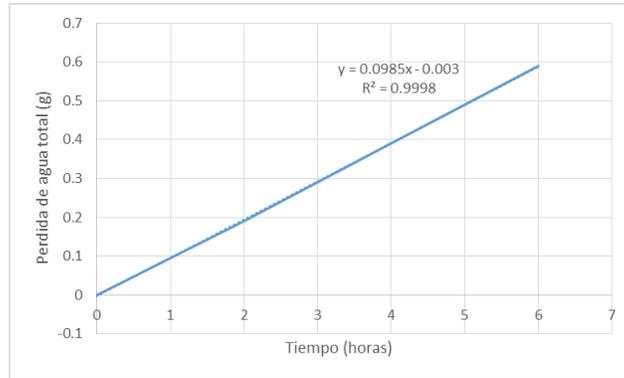


Figura 2. 4. Curva de pérdida de agua vs tiempo

$$WVTR = \frac{\textit{p\u00e9rdida de agua}}{\textit{tiempo x \u00e1rea}} = \frac{g}{h \times m^2}$$

Al obtener WVTR este se dividirá entre las presiones parciales de vapor de agua y así obtener la permeación.

$$\textit{Permeaci\u00f3n} = \frac{WVTR}{P_{A1} - P_{A2}} = \frac{g}{h \times m^2 \times KPa}$$

La presión parcial  $P_{A2}$  se considera cero, por la presencia del desecante, mientras que la presión parcial  $P_{A1}$  es la que se encuentra dentro de la cámara (ASTM, 1982).

## 2. 5. Aplicación de las biopelículas al frijol

Se tomaron 300 frijoles al azar, y utilizando el método de impregnación por inmersión, estos fueron sumergidos en las diferentes 10 formulaciones del diseño de mezclas 3 (Tabla 2. 4.) previamente establecido y posteriormente se drenó la solución excedente y se dejaron secar durante 48h (Figura 2. 5.) (Enríquez, Ortiz, Velasco, 2011).

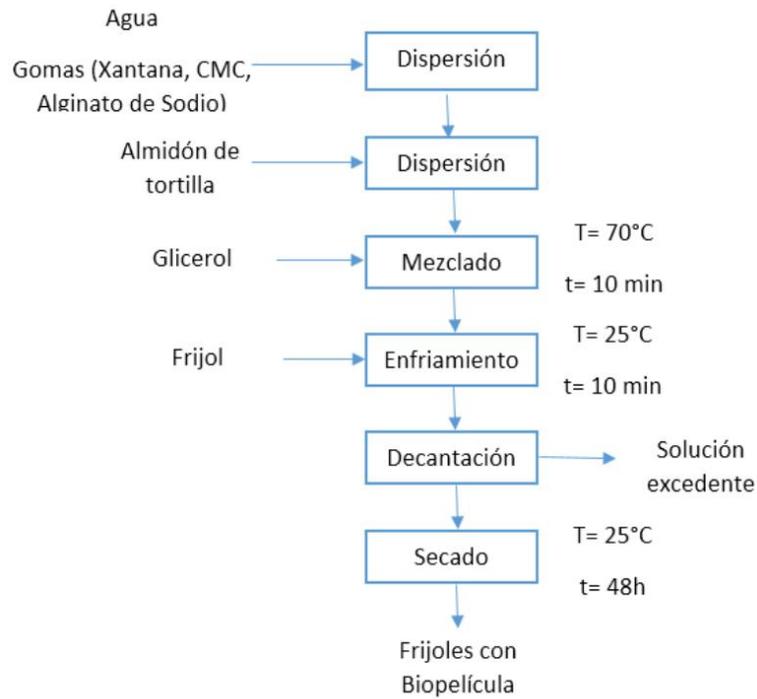


Figura 2. 5. Diagrama de proceso de aplicación de la Biopelícula.



Figura 2. 6. Proceso de aplicación de la biopelícula al frijol.

## 2. 6. Prueba de Cocción

Se tomaron al azar 25 frijoles recubiertos con la biopelícula de cada formulación propuesta, más 25 frijoles sin recubrir para la muestra testigo, y estos se dejaron remojar con 20 mL de agua desionizada por 15 h, posteriormente los frijoles remojados se colocaron en el cocedor tipo Mattson (Figura 2. 10.), el cual consta de

un soporte de 3 discos con 25 perforaciones cada uno, se colocarán 25 agujas junto con las pesas de 200g y se colocó en una olla con agua a punto de ebullición, hasta que se logró la cocción (cuando la aguja atraviesa la semilla). Se registraron los tiempos obtenidos de cocción de cada semilla y se realizó una gráfica con el porcentaje de frijoles cocidos vs el tiempo cocción (Figura 2. 11.) (Jackson y Varriano, 1981).

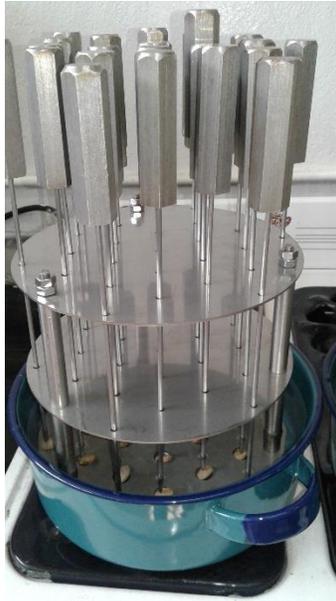


Figura 2. 10. Cocedor tipo Mattson.

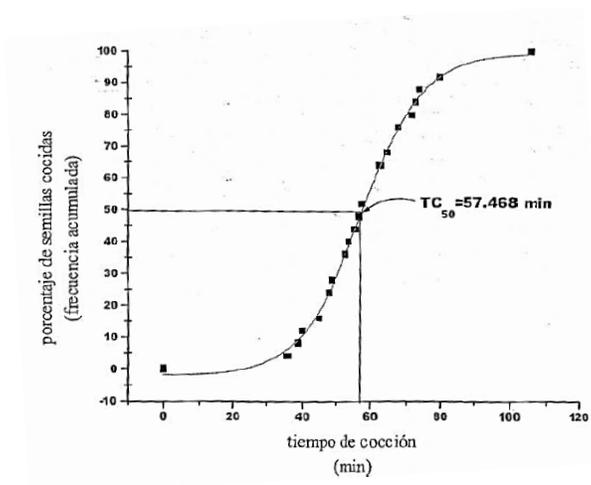


Figura 2. 11. Curva de porcentaje de frijoles cocidos vs el tiempo cocción. Fuente: Jackson y Varriano, 1981.

## 2. 7. Prueba de germinación

Se tomaron al azar 25 frijoles recubiertos con la biopelícula de cada formulación propuesta, más 25 frijoles sin recubrir para la muestra testigo, y estos fueron colocados en papel para germinación tipo anchor, previamente remojado, una vez colocados los frijoles en el papel estos se enrollaron formando “tacos” y fueron colocado en una incubadora de la marca precisión scientific, la cual se encuentra a 25°C (Figura 2. 12.), se mantuvieron en incubación por 5 días, pasado este tiempo de incubación se realizó el conteo de las semillas que germinaron (ISTA, 2010).



Figura 2. 12. Frijol en el papel de germinación y tacos de germinación.

## 2. 8. Oviposición del gorgojo

Se tomaron al azar 10 frijoles recubiertos con la biopelícula de cada formulación propuesta, más 10 frijoles sin recubrir para la muestra testigo, y se colocaron en una caja de Petri de plástico y estos fueron infestados con 2 gorgojos hembras adultas tres días después de emergidas, obtenidas de una colonia ya existente en el laboratorio de entomología de la UNIGRAS y se dejaron en una cámara de cría a 28°C y 75% de humedad relativa, la cual se encuentra en el departamento de entomología de la Unidad de Investigación en Granos y Semillas (UNIGRAS), durante 24h para posteriormente realizar el conteo de huevecillos en cada frijol (Figura 2. 7.) (Zamora, 2014).



Figura 2. 7. Infestación del frijol recubierto con el gorgojo mexicano del frijol.

## 2. 9. Micobiota presente en el frijol

Se tomaron al azar 15 frijoles recubiertos con la biopelícula de cada una de las formulaciones aplicadas como tratamiento, más 15 frijoles sin recubrir para la muestra testigo, y se colocaron de manera equidistante en una caja de Petri con el medio de cultivo agar papa-dextrosa de la marca dibico, bajo condiciones de asepsia en una campana de flujo laminar marca VECO®, y se incubaron por 5 días en una incubadora de la marca Precisión Científic a una temperatura de 25°C (Figura 2. 8. y Figura 2. 9.), posteriormente se realizó el conteo de colonias formadas y la identificación de los hongos con claves especializadas considerando su macromorfología (aspecto, color, y tamaño), micromorfología (estructuras somáticas como tipo de micelio, presencia de esclerocios, tipos de esporas) (Kongsdal y Mathur, 2003).



Figura 2. 8. Colocación de frijol recubierto en el medio de cultivo.

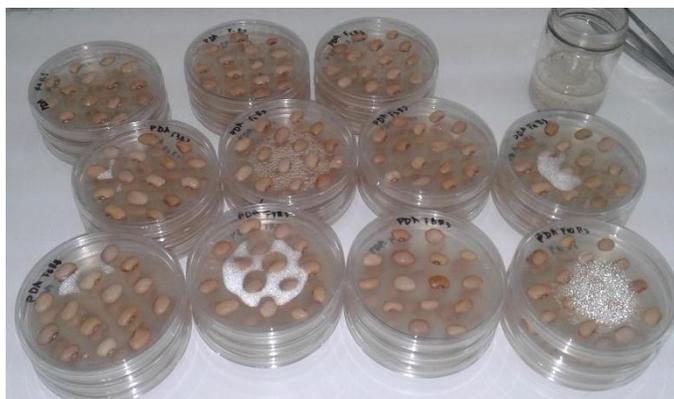


Figura 2. 9. Incubación de los medios de cultivo.

### 3. Resultados y Análisis

#### 3. 1. Índice de absorción de agua (IAA) e Índice de solubilidad (ISA) de almidones

Los procesos de almacenamiento, tipo de molienda, tamaño de partícula, el tiempo y temperatura de molienda, tiempos de cocción y tiempos de secado producen en el gránulo de almidón cambios notables en las propiedades fisicoquímicas y funcionales. Estos procesos provocan un aumento en el contenido de amilosa, al separarse de la estructura de amilopectina, durante lo cual hay una pérdida de birrefringencia y provoca cambios en el producto final (Olguín, *et al.*, 2015).

Debido a la nixtamalización se producen varios cambios importantes cuando el maíz se cocina con cal. La cocción provoca, entre otras cosas, la disolución parcial del tejido del pericarpio, y la cal penetra en el grano principalmente a través del germen y se transporta internamente al resto del grano a una velocidad muy lenta. La cal también debilita las paredes celulares del endospermo mejorando la penetración de agua y calor, lo que promueve la hinchazón parcial y la gelatinización de los gránulos de almidón (Serna y Chuck, 2016).

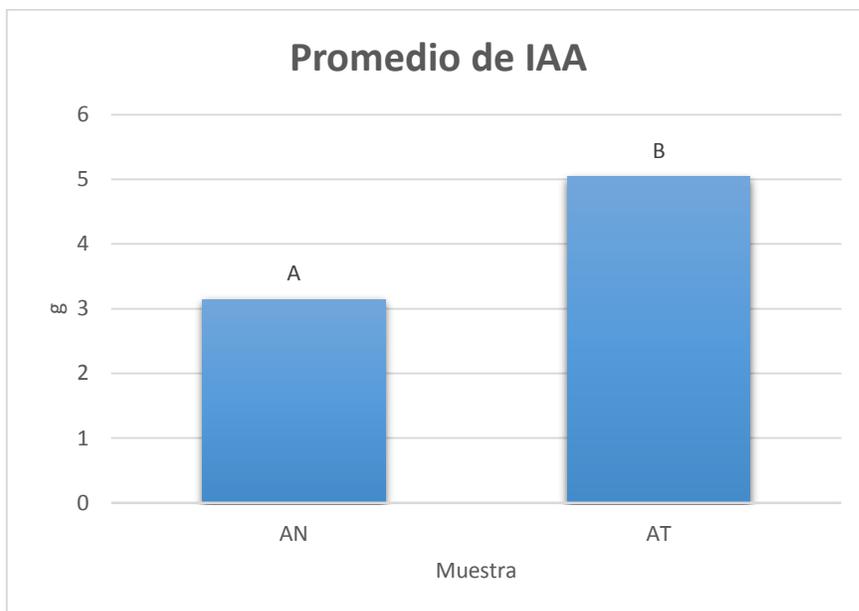
El tratamiento térmico alcalino ocasiona una disminución en la proporción del almidón total y disponible, el almidón resistente aumenta debido al posterior enfriamiento de la tortilla.

Los índices de solubilidad y absorción de agua se pueden utilizar como un indicativo del grado de modificación de los almidones por tratamientos termomecánicos (Rodríguez, *et al.*, 2006).

**Tabla 3. 1. Promedio de IAA e ISA del almidón nativo y almidón de tortilla**

Muestra	IAA	ISA
AN	3.1483	6
AT	5.0406	2.6666

AN = Almidón Nativo, AT = Almidón de tortilla



\*Letras diferentes tienen diferencia significativa n=3 repeticiones

**Gráfico 3. 1. IAA del almidón nativo vs almidón de tortilla**

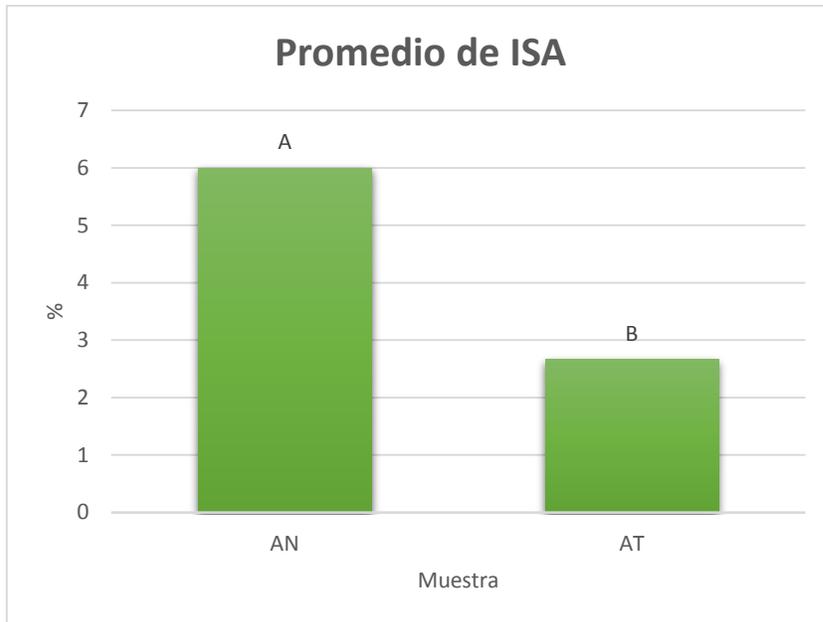
El IAA es una medida de aumento en masa del almidón no solubilizado como consecuencia de la absorción de agua por los grupos hidroxilo de los polímeros de amilosa y amilopectina (Meaño, *et al.*, 2014).

Las harinas cocidas tienen altos niveles de IAA (Gráfico 3. 1.) esto es debido a que las moléculas de amilosa impiden la absorción de agua, esto es provocado por el proceso de transformación del grano de maíz a tortilla lo cual modifica la estructura del almidón (Rodríguez, *et al.*, 2006). El proceso de molienda causa un daño en la estructura del almidón lo cual provoca que la capacidad de absorber agua aumente, lo cual, en este caso, explica que el IAA sea tan elevado ya que para elaborar tortilla el maíz pasa por una molienda húmeda. Al igual que para la extracción de almidón la tortilla pasa por otra molienda, causando daño a la estructura del almidón.

En las harinas sometidas a un tratamiento de nixtamalización los iones calcio interactúan con parte de la matriz proteica, liberando el almidón, lo que contribuye a una mayor absorción de agua.

En las harinas de maíz nixtamalizado el IAA se relaciona, en mayor medida, con la temperatura de cocción y el tiempo de remojo del maíz que con el tamaño de partícula.

La absorción de agua está ligada con la degradación de la estructura cristalina del almidón durante la nixtamalización, más que con el proceso de reducción de tamaño. (Olguín, *et al.*, 2015)



\*Letras diferentes tienen diferencia significativa n=3 repeticiones

### Gráfico 3. 2. ISA del almidón nativo vs almidón de tortilla

El ISA es una medida de cantidad de amilosa que es liberada del interior del gránulo cuando este comienza a perder la estructura por el efecto de la absorción de agua (Meaño, *et al.*, 2014).

El ISA del almidón de tortilla es bajo en comparación con el almidón nativo de maíz (Gráfico 3. 2.) debido a que en este último no se realizó un rompimiento en la estructura del almidón durante la prueba. La estructura del almidón se rompe debido al proceso de transformación que pasa el maíz al convertirse en tortilla como se muestra en las tres repeticiones.

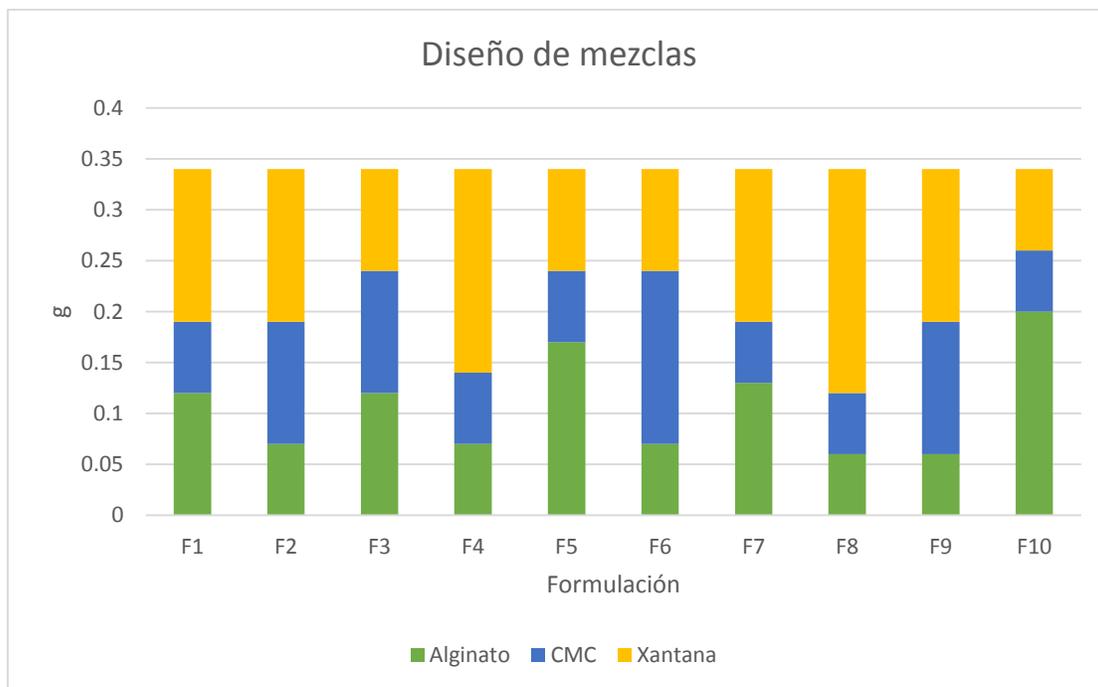
El ISA en el almidón de tortilla es bajo debido a que el almidón es más difícil de solubilizar en agua fría; durante el proceso de nixtamalización el almidón sufre cambios estructurales generando una mayor cantidad de amilopectina y disminuyendo la cantidad de amilosa (Alvis, *et al.*, 2008).

### 3. 2. Elaboración de Biopelículas

Como se muestra en el marco teórico, existen diferentes materiales adicionales que se emplean en la formulación de las biopelículas, los cuales ayudan a mejorar o aportar características de interés a la biopelícula.

En las formulaciones utilizadas en el presente estudio, únicamente se varió uno de los componentes: Las Gomas, que son empleadas como refuerzo estructural de la biopelícula. (Ver tabla 2.3 de metodología)

Como puede observarse en el gráfico 3.3, las concentraciones de cada una de las gomas fueron variadas para cada una de las formulaciones de estudio.



**Gráfico 3. 3. Variación de gomas utilizadas en las diferentes formulaciones de las biopelículas.**

Las propiedades de las biopelículas estudiadas dependen directamente de la proporción que existe entre las gomas en su formulación, por lo cual, los resultados obtenidos pueden atribuirse a la cantidad y proporción que existe de cada una de las gomas dentro de la composición de cada biopelícula.

De acuerdo con lo anterior, los resultados obtenidos experimentalmente se analizan en las páginas siguientes en función de la proporción de su contenido y proporción de gomas Xantana, Alginato de Sodio y CMC, ya que esta variación es el único factor que puede modificar las propiedades entre una biopelícula y otra.

### 3. 3. Grosor de las Biopelículas

El grosor es una característica muy importante en las biopelículas ya que afecta las propiedades de barrera, como la permeabilidad al vapor de agua (Trejo, *et al.*, 2001).

Como puede observarse en la tabla 3.2 el grosor de las biopelículas se encontró en el rango de 0.182 mm a 0.433 mm, pudiendo agrupar las 10 biopelículas en 4 grupos en función de su grosor:

- Grosor bajo: Formulaciones F1 y F2.
- Grosor medio-bajo: Formulaciones F3, F4, F5 y F7.
- Grosor medio-alto: Formulaciones F8, F9 y F10.
- Grosor alto: Formulación F6.

**Tabla 3. 2. Promedio del grosor obtenido de las biopelículas**

Formulación	Grosor (mm)
F1	0.182 <sup>a</sup>
F2	0.186 <sup>a</sup>
F3	0.223 <sup>ab</sup>
F4	0.218 <sup>ab</sup>
F5	0.253 <sup>ab</sup>

F6	0.433 <sup>c</sup>
F7	0.203 <sup>ab</sup>
F8	0.283 <sup>b</sup>
F9	0.290 <sup>b</sup>
F10	0.286 <sup>b</sup>

\*Letras diferentes tienen diferencia significativa

n=4 repeticiones

Es importante mencionar nuevamente que todas las biopelículas contienen en su formulación los mismos componentes, y solamente difiere entre ellas la cantidad y proporción de gomas (Xantana, Alginato de sodio y CMC).

Por lo anterior, se atribuye la variación en grosor al contenido de cada una de estas gomas, ya que en F6 (biopelícula de mayor grosor) la cantidad de CMC es mayor que en cualquiera de las otras biopelículas, y las gomas Alginato y Xantana se encuentran en una proporción muy baja, siendo el contenido de CMC igual a la suma de contenido de las otras dos gomas.

Debido a la masa molecular de la CMC y el efecto entrecruzante que tiene esta goma con el glicerol, el uso en mayor cantidad de esta goma genera cambios en el grosor de las biopelículas, sin embargo, esto también dependerá de la proporción en la que se encuentran las otras gomas (Méndez, *et al.*, 2015).

Por otra parte, la biopelícula F1 y F2 presentaron el menor grosor, y a diferencia de F6, en estas formulaciones, la cantidad de CMC es menor respecto a la proporción en la que se encuentran las otras 2 gomas.

Las biopelículas F8 y F10 presentan en su formulación a una de las tres gomas, en mayor proporción respecto a las otras dos, en el caso de F8 el contenido de Xantana es superior a la suma del contenido de las otras dos gomas; F10 contiene Alginato en mayor cantidad a la suma del contenido de Xantana y CMC.

Por lo anterior, podemos afirmar que, si una de las gomas se encuentra en mayor proporción a la suma de las otras dos, el grosor de la biopelícula será mayor.

Para la biopelícula F9, se observó que las gomas CMC y Xantana se encuentran en la misma proporción, sin embargo, la proporción de cada una de ellas es el doble

del contenido de Alginato, por lo cual, se atribuye que el grosor de esta biopelícula se debe en parte al alto contenido de CMC y a la diferencia entre la proporción de alginato.

Para las biopelículas F3, F4, F5 y F7, se observó, en primer lugar, que la cantidad de CMC es menor respecto a la cantidad de las otras dos gomas en cada formulación, además de que se observa muy poca diferencia de proporción entre las gomas en su composición, motivo por el cual este grupo resultó ser el más numeroso en cuanto a grosor, con un rango de 0.203 mm a 0.253 mm.

Como se mencionó anteriormente, las propiedades de las biopelículas pueden verse alteradas por los aditivos empleados en su formulación, para las biopelículas formuladas en el presente estudio, la diferencia en las propiedades entre las biopelículas se atribuye únicamente a la cantidad y proporción las gomas CMC, Xantana y Alginato.

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, los resultados experimentales corresponden con lo indicado en la literatura, ya que las formulaciones de biopelícula con menores cantidades de CMC fueron las que tuvieron un menor promedio en grosor, y las formulaciones con mayor diferencia en proporción de gomas y mayores cantidades de CMC obtuvieron promedios de grosor más altos.

### 3. 4. Permeabilidad de las biopelículas

Algunas sustancias como la humedad, gases moleculares y microorganismos que son permeables para las biopelículas pueden ser agentes causantes de la degradación del alimento, por lo cual es deseable que las biopelículas que se utilicen como recubrimiento de alimentos tengan un valor bajo de WVP, para retrasar la degradación del alimento lo mayor posible. Las propiedades de barrera juegan un rol importante en la vida útil del alimento empacado (Swaroop, Shukla, 2018).

La WVP es una propiedad relevante en la aplicabilidad de las biopelículas para frenar los intercambios de agua en las aplicaciones alimentarias y debe ser lo más baja posible (Valencia, *et al*, 2016).

**Tabla 3. 3 Promedio de la transmisión al vapor de agua (WVTR) y promedio permeabilidad al vapor de agua de cada formulación**

Formulación	WVTR ( $g/h \times m^2$ )	WVP ( $g/h \times m^2 \times KPa$ )
F1	91.76 <sup>bc</sup>	18.112 <sup>bc</sup>
F2	86.4 <sup>abc</sup>	17.054 <sup>abc</sup>
F3	228.8 <sup>e</sup>	45.161 <sup>e</sup>
F4	188.8 <sup>d</sup>	37.266 <sup>d</sup>
F5	59.2 <sup>ab</sup>	11.685 <sup>ab</sup>
F6	62.96 <sup>abc</sup>	12.427 <sup>abc</sup>
F7	60.8 <sup>ab</sup>	12 <sup>ab</sup>
F8	97.04 <sup>c</sup>	19.225 <sup>c</sup>
F9	62.96 <sup>abc</sup>	12.427 <sup>abc</sup>
F10	52.8 <sup>a</sup>	10.421 <sup>a</sup>

\*Letras diferentes tienen diferencia significativa

n=3 repeticiones

La WVP puede tener variaciones dependiendo de las condiciones en las que se realice la prueba en especial para controlar la humedad relativa (Swaroop y Shukla, 2018).

Algunos factores que pueden alterar la WVP son:

1. El glicerol, este disminuye el flujo del vapor de agua, dependiendo de la cantidad de glicerol se observará si la WVP aumenta o disminuye ya que este disminuye las fuerzas intermoleculares en las cadenas del polímero, dando una mayor movilidad molecular al agua generando migración, además el glicerol por ser hidrofílico es compatible con el material polimérico que forma la biopelícula y aumenta la capacidad de sorción de moléculas polares (Bertuzzi, *et al.*, 2002).

2. El envejecimiento del plastificante disminuye la WVP debido al desplazamiento de este a la superficie y posteriormente al medio ambiente lo que genera una disminución del WVP (Joaquin, Villada, 2013).
3. Un grosor mayor en la biopelícula aumentara la WVP, ya que esta propiedad también se ve afectada por la distribución de la biopelícula, el grosor, la presencia de poros y fracturas en esta (González, *et al.*, 2016).
4. El almidón utilizado también influye en la WVP ya que el contenido de amilosa y amilopectina es diferente. Si se presenta mayor contenido de amilosa la WVP es mayor, y por el contrario, si se presenta un mayor contenido de amilopectina la WVP será menor. En este estudio se utilizó almidón de tortilla de maíz el cual es un almidón modificado tipo III para obtener valores de WVP sean bajos ya que este tipo de almidón contiene mayor cantidad de amilopectina que amilosa (Joaquin, Villada, 2013). El almidón modificado ayuda a las propiedades de WVP y es más compatible con materiales hidrofóbicos (Peelman, *et al.*, 2013).

Debido a lo anterior la variación de los valores obtenidos depende únicamente de la proporción en la que se encuentran las gomas (CMC, Xantana y Alginato de sodio) como se muestra en la tabla 3. 4. ya que el uso del almidón y el glicerol en las formulaciones es constante.

**Tabla 3. 4. Proporción de gomas en porcentaje de las diferentes formulaciones.**

Formulación	WVP ( $g/h \times m^2 \times KPa$ )	Proporción de las gomas (%)		
		Xantana	Alginato de sodio	CMC
F10	10.421	23.529	58.823	17.647
F5	11.685	29.411	50	20.588
F7	12	44.117	38.235	17.647
F6	12.427	29.411	20.588	50
F9	12.427	44.117	17.647	38.235
F2	17.054	44.117	20.588	35.294
F1	18.112	44.117	35.294	20.588

F8	19.225	64.705	17.647	17.647
F4	37.266	58.822	20.588	20.588
F3	45.161	29.411	35.294	35.294

La WVP no está únicamente condicionada por el tipo de goma sino también por el efecto entrecruzante entre las gomas, la composición estructural del alginato de sodio y las otras 2 gomas forman un gel fuerte y con mayores propiedades de barrera (Méndez, *et al.*, 2015). Para esto se observó que el alginato de sodio se encontraba en mayor proporción que las otras 2 gomas o en una proporción similar, como se muestra con la formulación F7, ya que una la variación de cualquiera de las tres gomas genera un cambio en la WVP de las biopelículas; en cuanto a las formulaciones F4 y F3 éstas son las biopelículas que presentan más fracturas al momento de realizar la prueba por lo cual al presentar éstas fracturas se altera la WVP.

En biopelículas donde solo se utiliza alginato de sodio como agente de refuerzo o material base éstas tienen una baja WVP por lo cual se busca utilizar otros materiales de refuerzo para que se obtengan características más deseables para las biopelículas (Fontes, *et al.*, 2007).

### 3. 5. Prueba de Cocción

Como se mencionó el remojo genera una reducción en el tiempo de cocción, este debe penetrar todo el cotiledón. Esto también depende de la pared primaria dar paso al agua de remojo para que el tiempo de cocción sea menor. Algunos factores que pueden alterar el tiempo de cocción:

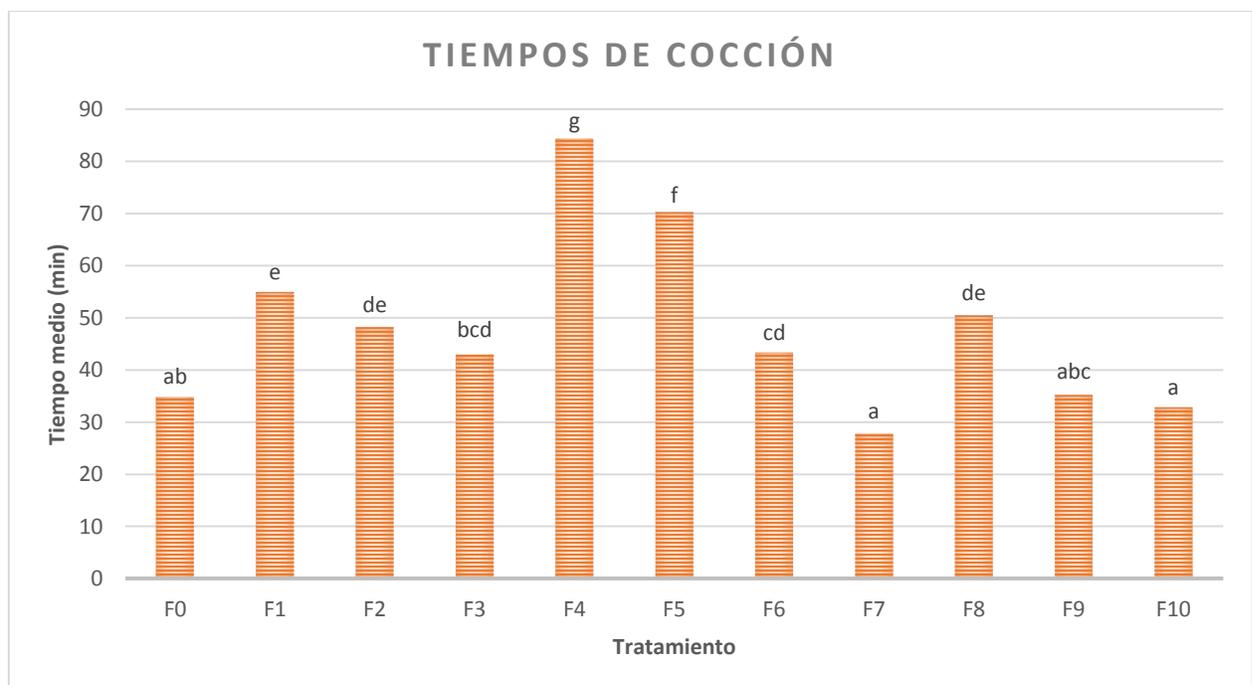
1. La testa dura es un fenómeno de las semillas difíciles de cocer, esto provoca que la absorción de agua del frijol sea más difícil.
2. El frijol almacenado durante mucho tiempo puede generar un aumento del tiempo de cocción lo que genera el fenómeno de difícil cocción.

3. La cocción en un cocedor abierto provocaría un aumento en el tiempo de cocción debido a la pérdida de agua por la evaporación y por esto se debe agregar mayor cantidad de agua provocando que la temperatura baje, la transferencia de calor es más baja por lo cual el calor transmitido es poco para las semillas.
4. La siembra también interfiere en el tiempo de cocción ya que cultivares sembrados en época de lluvia presentan mayores tiempos de cocción.

Si el tiempo de cocción es menor a 40 minutos la semilla es muy suave o absorbió una mayor cantidad de agua durante el remojo (Dos Santos, *et al.* 2013).

El remojo previo reduce un 70% el tiempo de cocción además elimina compuestos antinutrientes y el exceso de hierro (Marques, *et al.* 2010).

La cocción del frijol causa diversos cambios en la composición química incluyendo: aminoácidos, vitaminas y minerales también alteraciones en la bioavilidad y bioaccesibilidad de estos nutrientes. La cocción genera bioaccesibilidad a minerales como: hierro, cobre, azufre y zinc (Pereira, *et al.* 2018).



\*Letras diferentes tienen diferencia significativa n=3 repeticiones

**Gráfico 3. 4. Promedio de tiempos medios de cocción en el frijol**

Los resultados obtenidos para el tiempo de cocción del frijol que fue cubierto con las diferentes formulaciones de biopelícula se ven afectados directamente por la capacidad de solubilidad de las gomas, ya que, como se ha explicado, el tiempo de cocción del frijol depende de la cantidad de agua presente en las semillas.

De esta manera, el tiempo de cocción observado puede explicarse por la proporción de cada una de las gomas en la composición de las formulaciones de biopelícula, ya que la CMC es más soluble en comparación con el Alginato y la Goma Xantana, por esta razón, las biopelículas menos solubles en agua, son aquellas en las que la proporción de Alginato y Xantana son mayores en combinación, comparados con la CMC.

En el Gráfico 3. 4 podemos observar que las biopelículas con mayor tiempo de cocción fueron las formulaciones F4, F5, F1 y F8, las cuales presentan la siguiente composición de gomas:

**Tabla 3. 5. Proporción de gomas en porcentaje de las diferentes formulaciones.**

Formulación	Proporción de las gomas (%)		
	Xantana	Alginato de sodio	CMC
F4	58.822	20.588	20.588
F5	29.411	50	20.588
F1	44.117	35.294	20.588
F8	64.705	17.647	17.647

Como puede observarse en la tabla 3. 5, la proporción sumada de Xantana y Alginato (gomas con baja solubilidad en agua) es mayor al 75%, disminuyendo la solubilidad final de la biopelícula. En contraste, las biopelículas con menor tiempo de cocción son aquellas en las que la cantidad de CMC es mayor en proporción dentro de la formulación, siendo las de menor tiempo de cocción, formulaciones F7 y F10.

Además, cabe mencionar que el efecto de sinergismo entre las gomas y el almidón influye también en la cocción del frijol, ya que el sinergismo minimiza la solubilidad de la biopelícula.

Por lo cual la adhesión de la biopelícula al frijol puede generar que no se absorba la cantidad suficiente de agua en el remojo lo que genera un mayor tiempo de cocción.

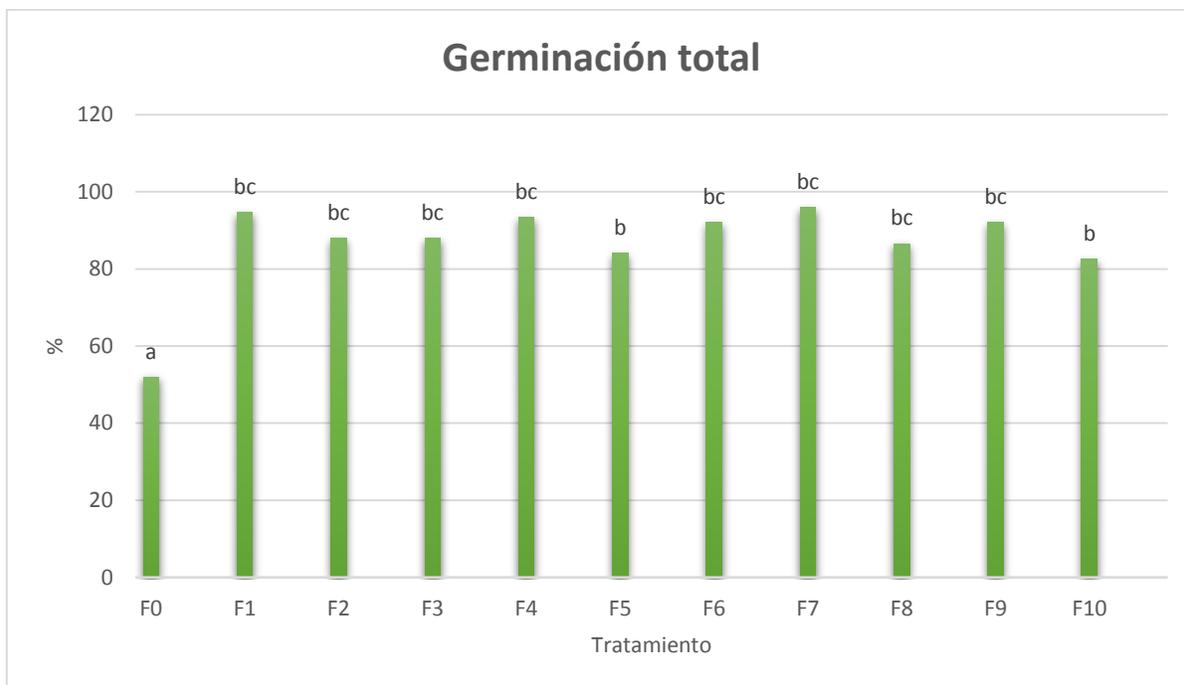
### 3. 6. Prueba de germinación

Para una buena calidad de germinación se miden las características: porcentaje de germinación, velocidad de emergencia, porcentaje de plantas normales y anormales.

El tamaño de la semilla y su especie es un factor que afecta o favorece la germinación y la emergencia de la plántula. Las reservas de energía de cada especie de frijol son esenciales para la germinación y la emergencia de la plántula, si éstas son altas existe mayor germinación y plántulas más vigorosas.

La testa regula la entrada del agua a la semilla durante la imbibición. Si el fenómeno de la testa dura está presente en las semillas éstas no podrán captar la suficiente agua para poder germinar (Celis, *et al.*, 2010).

Los factores que afectan la germinación son: latencia de las semillas, grosor de la testa, composición química y estructura de la testa, el peso y tamaño de la semilla, además de cambios postcosecha como oxidación de los lípidos, formación de pectatos insolubles y modificación de los componentes de la pared celular (Morales, *et al.*, 2017).



\*Letras diferentes tienen diferencia significativa

n=3 repeticiones

**Gráfico 3. 5. Promedio de porcentaje de germinación de las semillas**

De acuerdo con el International Rules for Seed Testing (ISTA), para considerarse una buena germinación el porcentaje de semillas germinadas debe ser mayor o igual al 80% y como se muestra en el Gráfico 3. 5. todas las formulaciones obtuvieron un porcentaje de germinación entre 80% y 95% por lo cual se obtuvo una buena germinación.

La biopelícula constituye, para la semilla, una fuente rica en nutrientes, dada su composición alta en carbohidratos. Experimentalmente se pudo observar que todas las formulaciones obtuvieron porcentajes de germinación superiores al 80%, además de que, respecto a la muestra testigo, se obtuvo una germinación en todos los casos muy superior, ya que el testigo tuvo un porcentaje de germinación de 52%.

No obstante, entre las 10 formulaciones se observó que F5 y F10 presentaron el porcentaje más bajo de germinación, que fue de 84% y 82.6% respectivamente, el resto de las biopelículas tuvieron un porcentaje de germinación entre el 86.6% y 96%. Lo anterior se atribuye directamente a que las biopelículas F5 y F10 son las

que contienen una mayor cantidad de Alginato de Sodio en su formulación, y como se analizó y observó en el punto 3.4 “Permeabilidad de las biopelículas”, estas dos formulaciones de biopelícula obtuvieron los valores más bajos en cuanto a permeabilidad, lo cual se traduce en términos simples en que estas dos biopelículas son las que permiten en menor medida la transferencia de agua desde el exterior hacia la semilla, motivo por el cual la germinación se ve disminuida para estas dos formulaciones.

Con el uso de la muestra testigo se logró determinar que la germinación de las semillas de frijol se favorece en todas las formulaciones, hasta en un 30%, lo cual representa una mejora en la utilidad de las semillas.

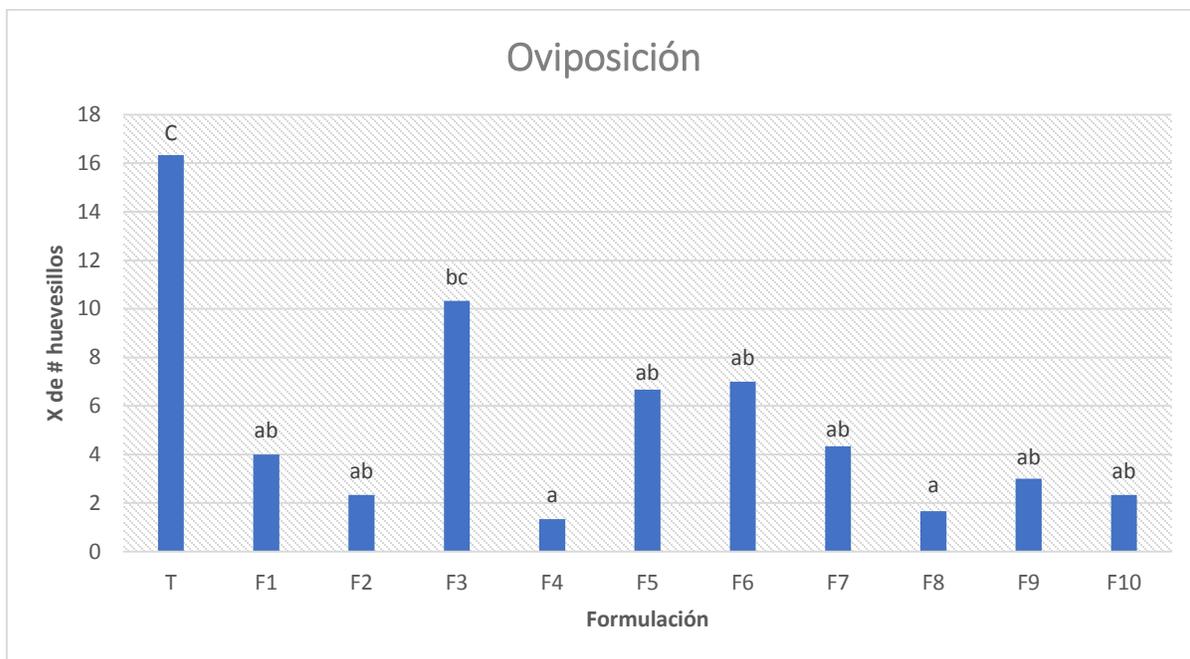
### 3. 7. Oviposición del gorgojo mexicano del frijol

Hongos e insectos tienen un rol importante en el deterioro de granos almacenados. Este deterioro es más rápido cuando la humedad relativa es elevada al igual que la temperatura. Las condiciones óptimas para la infestación de insectos son con una humedad relativa de 70% y temperaturas de 30°C (Hall & Harman, 1991).

*Zabrotes subfasciatus* es una plaga de áreas cálidas. Las plagas causan aproximadamente un 25% de pérdidas de semillas.

Flor de mayo y bayo son más resistentes a la emergencia del gorgojo mexicano del frijol, esto es debido a su composición bromatológica. La emergencia de los gorgojos se encuentra en un rango de 85.2% para estas especies de frijol (Guzmán, *et al.* 1996).

Las plagas se controlan con insecticidas, sin embargo, los residuos de estos pueden ser potencialmente tóxicos, por lo cual es importante desarrollar alternativas para el control de insectos.



\*Letras diferentes tienen diferencia significativa

**Gráfico 3. 6 Número de huevecillos presentes en el frijol.**

La biopelícula genera un efecto repelente de los insectos plaga; debido a que el recubrimiento es pegajoso y el gorgojo mexicano del frijol solo oviposita en superficies lisas, lo cual genera un control para evitar la propagación de la plaga (Nava, *et al.*, 2010).

Al contrario del efecto que tuvo la biopelícula en la germinación de las semillas de frijol, respecto a los nutrientes, en la infestación por gorgojo no se considera un factor relevante el hecho de que la biopelícula contenga un alto contenido de nutrientes, ya que son otros efectos y características los que influyen con mayor importancia en la oviposición y emergencia del gorgojo. Como ya se mencionó, la textura de la superficie es uno de los factores más determinantes para el desarrollo de los gorgojos.

Al ser la biopelícula una barrera de protección física, con características de superficie rugosa y pegajosa, evita que se produzca la oviposición del gorgojo,

también contribuye a minimizar el daño que estos generan en la semilla una vez que emergen.

Otro factor que favorece el uso de la biopelícula para controlar esta plaga es la WVP ya que si esta es baja en las biopelículas disminuye el intercambio de gases, lo cual contribuye a la disminución de la infestación por gorgojo, ya que esta interfiere con el intercambio normal de gases respiratorios del huevecillo al exterior y puede inhibir este proceso lo suficiente para alcanzar la letalidad del huevecillo (Hall y Harman, 1991).

Experimentalmente, las biopelículas que obtuvieron el menor porcentaje de oviposición fueron F4, F2 y F8, con un porcentaje de 1.3% a 2.3%, estas biopelículas tienen en común que en su formulación son las que presentan la mayor cantidad en proporción de goma Xantana entre las 10 biopelículas, además de presentar el menor contenido de Alginato de Sodio.

Por el contrario, las biopelículas F3, F5 y F6 obtuvieron el porcentaje de oviposición más alto, de 6.6% a 10.3%, teniendo como factor común en la formulación de estas biopelículas que la cantidad utilizada de goma Xantana en la formulación fue la menor de las 10 biopelículas, pudiendo con esto establecer que la cantidad de goma Xantana presente en la biopelícula fue el factor determinante para la propiedad de oviposición en las semillas de frijol, ya que a mayor cantidad en proporción de esta goma, menor será el porcentaje de oviposición.

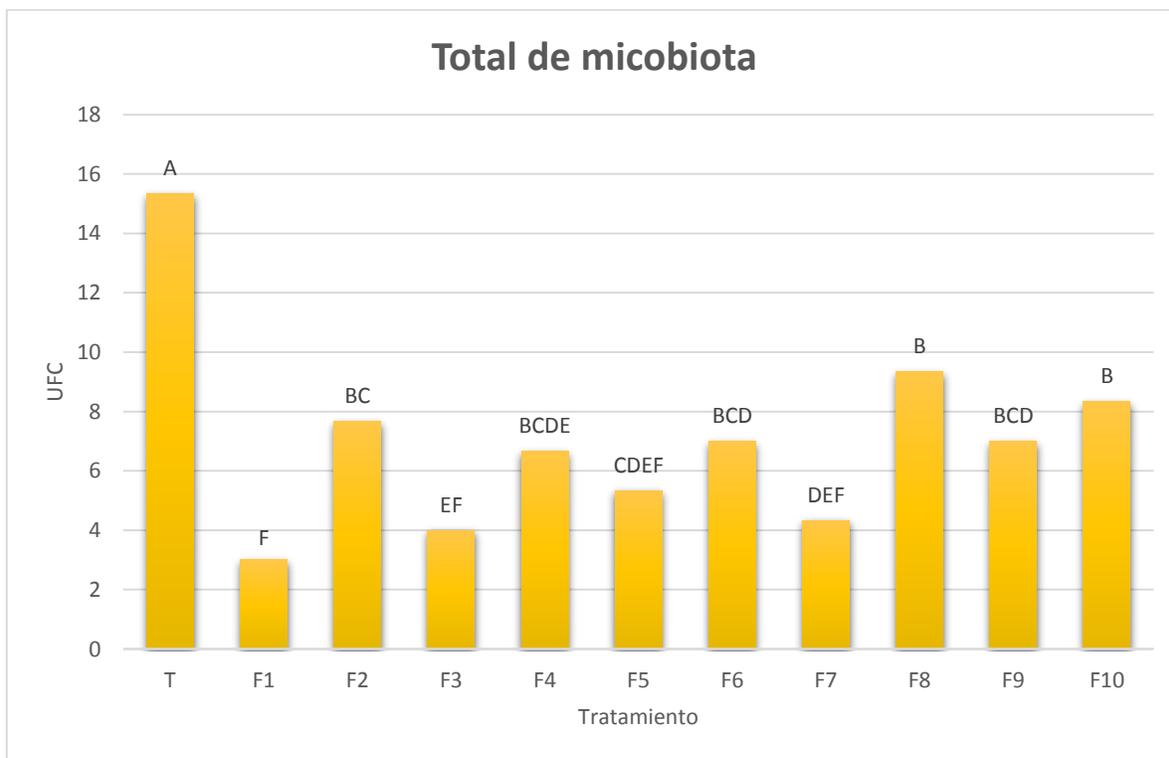
### 3. 8. Micobiota presente en el frijol

Hongos e insectos tienen un rol importante en el deterioro de granos almacenados. Este deterioro es más rápido cuando la humedad relativa es elevada al igual que la temperatura. Las condiciones óptimas para la aparición de los hongos son una humedad entre 70% y 90% y temperaturas entre 25°C y 30°C (Hall & Harman, 1991).

Los hongos generalmente son acompañados después de la infestación del grano por insectos, debido a que estos pueden incrementar la actividad de agua y temperatura para el desarrollo de estos (Rodríguez y Herrera, 2003).

Las biopelículas, pueden proveer un incremento en los efectos inhibitorios contra la pudrición causada por hongos y bacterias patógenas a través de concentraciones efectivas de los compuestos antimicrobianos activos en la superficie de los productos hortofrutícolas (Ramos, Romero, Bautista, 2018).

Si se desea obtener mejores resultados para minimizar el crecimiento de micobiota se pueden utilizar componentes dentro de la formulación para mejorar esta característica. Existen varios compuestos que pueden incorporarse a las biopelículas los cuales incluyen: ácidos orgánicos (acético, benzoico, láctico, propiónico, sórbico), ésteres de ácidos grasos (gliceril monolaureato), polipéptidos (lisozima, peroxidasa, lactoferrina), aceites esenciales de plantas (canela, orégano, limón etc.), nitritos y sulfitos, entre otros (Ramos, Romero, Bautista, 2018).

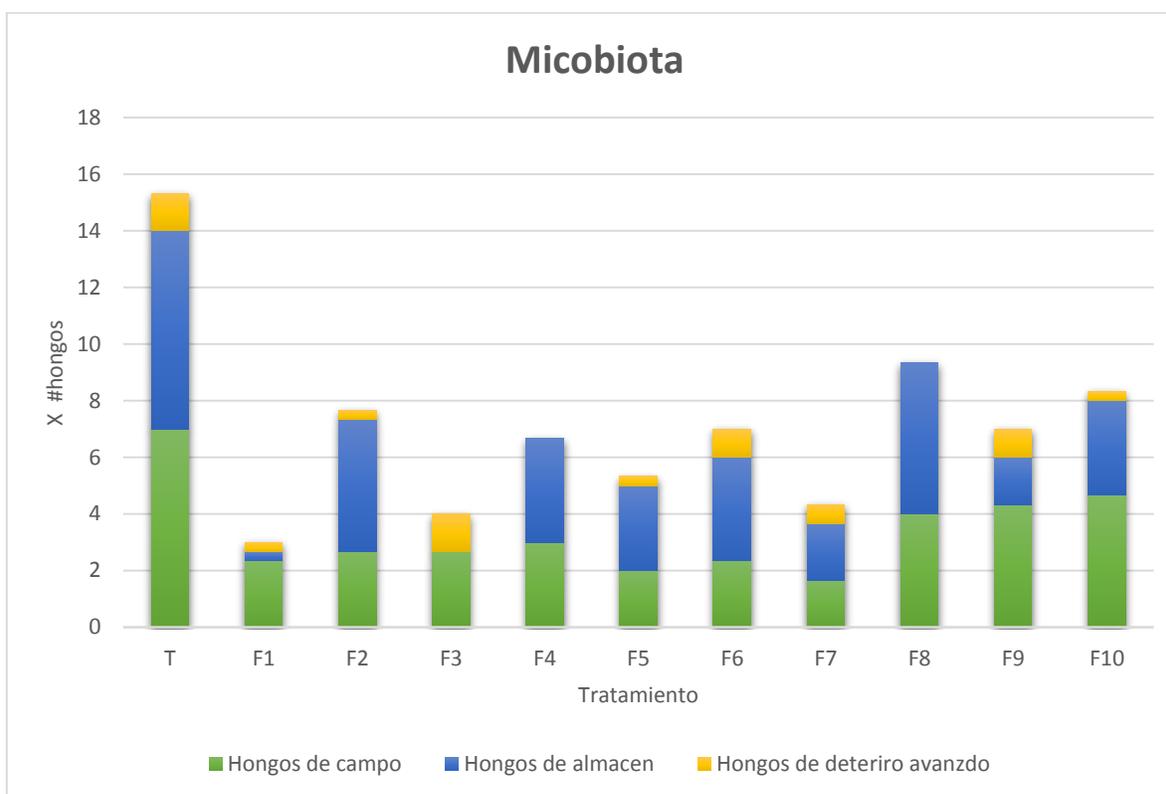


\*Letras diferentes tienen diferencia significativa

n=3 repeticiones

**Gráfico 3. 7. Micobiota total presente en el frijol**

En el Gráfico 3. 8. se muestra la distribución de los hongos encontrados en las formulaciones y la clasificación a la que pertenecen de acuerdo a lo ya mencionado.



**Gráfico 3. 8. Micobiota presente en el frijol**

En la tabla 3. 6. Se muestra los géneros de los hongos encontrados en los cultivos realizados. En el anexo 1 se puede encontrar la descripción de cada hongo presente en la micobiota

**Tabla 3. 6. Hongos presentes en la micobiota del frijol**

Hongos de campo	<i>Alternaria</i> spp.
	<i>Cladosporium</i> spp.
	<i>Epicoccum</i> spp.
	<i>Fusarium</i> spp.
	<i>Sclerotium rolfsii</i>
Hongos de almacen	<i>Aspergillus flavus</i>

	<i>Eurotium</i> spp.
	<i>Penicilium</i> spp.
Hongos de deterioro avanzado	<i>Aspergillus niger</i>
	<i>Chaetonium</i> spp.
	<i>Mucor</i> spp.
	<i>Rhizopus</i> spp.

Los géneros *Penicilium* y *Aspergillus* son hongos de almacén los cuales no causan incidencia en los cultivos sin embargo afectan la calidad de la semilla y germinación. *Aspergillus* es un hongo productor de toxinas este puede causar la pudrición y presentan un riesgo para la salud humana.

Las especies de hongos fitoptógenos demuestran la necesidad del tratamiento de semillas con fungicidas o fungistáticos como medida fundamental del manejo fitosanitario de los cultivos y semillas del frijol y así mejorar el incremento del rendimiento (Martínez, Cantillo, García, 2014).

A pesar de que las formulaciones tienen un alto contenido de carbohidratos, lo cual favorece el crecimiento de los hongos, experimentalmente no se observó un mayor crecimiento de hongos en comparación con el testigo, por el contrario, la cantidad de hongos fue menor en todas las formulaciones. Esto se debe, principalmente a la baja permeabilidad de las biopelículas, ya que esta disminuye el intercambio de gases, entre ellos el oxígeno, necesario para el desarrollo de la micobiota.

Lo anterior se debe a que una de las principales propiedades y características de las biopelículas en general es que modifican el intercambio de gases entre el alimento y el ambiente, esta modificación es, en todos los casos, una disminución del intercambio de gases con respecto al que se realiza cuando no hay un recubrimiento en el alimento.

Como puede observarse en el gráfico 3. 7, la cantidad de micobiota presente en las formulaciones es inferior a la cantidad de micobiota que se observó en el testigo que no contiene ningún tipo de biopelícula, sin embargo, también se observó una

diferencia estadísticamente significativa entre las formulaciones pudiendo agruparlas en 3 grupos de acuerdo con la cantidad de micobiota observada:

- Menor cantidad de micobiota (3 a 4.3 UFC): Biopelículas F1, F3 y F7.
- Cantidad media de micobiota (5.3 a 6.6 UFC): Biopelículas F4 y F5.
- Mayor cantidad de micobiota (7 a 9.3 UFC): Biopelículas F2, F6, F8, F9 y F10.

Para las biopelículas con menor cantidad de micobiota, F1, F2 y F7 se observa que en su formulación presentan una menor cantidad de CMC respecto a las demás biopelículas, además de que la cantidad en proporción de Xantana y Alginato es la misma.

Para las biopelículas con el mayor contenido de micobiota se observa en su formulación una desproporcionalidad entre el contenido de las 3 gomas, teniendo una de ellas en una proporción muy pequeña y otra de ellas en una proporción superior a la suma de las otras 2, en este grupo se encuentran las biopelículas F2, F6, F8, F9 y F10, para F8 (biopelícula con el mayor contenido de micobiota) la goma en mayor proporción fue Xantana y la goma en menor proporción es Alginato.

Con base en lo anterior, podemos afirmar que la cantidad de oxígeno y otros gases, son necesarios para el crecimiento y desarrollo de los hongos, ya que todas las formulaciones utilizadas disminuyen este intercambio en mayor o menor medida, siendo la formulaciones F1, F3 y F7 las formulaciones en las cuales se detectó la menor cantidad de hongos al final de la prueba.

Las demás biopelículas mostraron una mayor cantidad de hongos con respecto a las formulaciones antes mencionadas, sin embargo, la cantidad en todos los casos fue menor al menos en un 40% en relación con el testigo.

## Conclusiones

Se utilizaron los mismos componentes para las 10 formulaciones de las biopelículas variando la proporción de las gomas (alginato de sodio, goma Xantana y CMC) éstas generan un efecto de sinergismo con el almidón y así favorecer o no las diferentes características de la biopelícula de acuerdo a la proporción en la que se encuentren. Sin embargo, este efecto se ve modificado dependiendo de la proporción en la que se encuentren las gomas en la formulación, ya que si alguna de ellas se encuentra en una proporción mayor al 50% del contenido total de las gomas se modifican las propiedades finales de la biopelícula, favoreciendo una de las características y disminuyendo las demás.

Con el estudio realizado se pudo comprobar que las biopelículas son una alternativa para prolongar el tiempo de vida de frijol en almacén, ya que se obtuvieron resultados en los cuales el uso de la biopelícula sobre las semillas mantiene y mejora algunas características del frijol, como el porcentaje de germinación y la disminución del tiempo de cocción; también disminuyen efectos provocados por su almacenaje, como lo son la infestación por gorgojo, al igual que el daño causado por este, y la disminución de la proliferación de hongos característicos del frijol.

Las gomas Alginato de sodio y goma Xantana se encuentran en una proporción similar y la cantidad de CMC es menor a éstas, las propiedades de biopelícula son mejores o no tienen resultados variados, dado que el efecto entrecruzante se compensa y se obtiene una mejor calidad en la biopelícula. Las formulaciones F1 y F7 que tienen proporciones similares en la formulación de las gomas y, como se muestra en la tabla 3. 3., obtuvieron resultados similares.

La biopelícula F7, con la composición de goma Xantana: 44.17%, Alginato de sodio: 38.235% y CMC: 17.647%, obtuvo los mejores resultados en las características de todas las formulaciones evaluadas, los cuales son:

- Grosor: 0.203 mm
- Permeabilidad (WVP): 12
- Tiempo de cocción: 27.8 min

- Germinación: 96%
- Oviposición: 4.3%
- Micobiota: 4.3 UFC

Siendo esta biopelícula la más adecuada para ser utilizada para aumentar la vida de almacén en semillas de frijol.

## Referencias Citadas

Agrios, N., (1985). Fitopatología. Segunda edición, Noriega editores, México, pp 276.

Allen, O. y Allen, E., (1981). The Leguminosae. A source book of characteristics, uses and nodulation. University of Wisconsin Press, USA. pp 812.

Alvis, A., Velez, C., Villada, H., Rada, M., (2008). Análisis fisicoquímico y morfológico de Almidones de ñame, yuca y papa y determinación de la viscosidad de las pastas. Información Tecnológica, 19, 1, 19 – 28.

Anderson, R., Conway, V., Pfeifer, V., Griffin, E., (1969). Gelatinization of corn grits by roll – and extrusion – cooking. Cereal Science Today, 14, 4 – 12.

Anual Book of ATSM Standarts (1982). Vol 1509, 893 – 901.

Arias, R., Rengifo, M., Jaramillo, C., (2007). Buenas Prácticas Agrícolas en la producción de frijol voluble. FAO.

Ayan, L., Matínez, L., Reyes, Y., Dell’Amico, J., Nuñez, M., (2014). Aspectos fisiológicos, bioquímicos y expresión de genes en condiciones de déficit hídrico. Influencia en el proceso de germinación. Cultivos Tropicales, 35, 3, 24 – 35.

Badui, S. (2006). Química de alimentos., Cuarta Edición, Pearson: México, pp 81 - 92.

Bertuzzi, M., Armada, M., Gottifredi, J., Aparicio, A., Jimenez, P., (2002). Estudio de la permeabilidad al vapor de agua de films comestibles para recubrir alimentos. Congreso Regional de Ciencia y Tecnología NOA, 1, 1-10.

Bello, L., Contreras, S., Romero, R., Solorza, J. y Jiménez, A. (2002). Propiedades químicas y funcionales del almidón modificado de plátano *Musa paradisiaca* L. Agrociencia, 36, 002, 169-180.

Bewley, J., (1997). Seed germination and dormancy. Plant Cell 9: 1055 - 1066.

Blanco, A., Bressani, R., (1991). Biodisponibilidad de aminoácidos en el frijol. INCAP 41, 30 – 52.

Bonilla, A., Calzada C., Cooke, R., (1991). Efecto de la cocción tradicional sobre los factores antinutricionales de los frijoles negros (*Phaseolus vulgaris* L.) Archivos latinoamericana de nutrición

Borrer, D., Triplehorn, C., Johnson, N., (1992). An introduction to the study of insects. Sexta edición, Harcourt Brace College Publishers, Philadelphia USA pp 875.

Carmona, J., (2015). Reología de dispersiones acuosas de goma xantana de prestaciones avanzadas. Tesis doctoral. Sevilla, España.

Castellanos, J., y Guzmán, S., (1994). Effect of hard shell in cooking time of common beans in the semiarid highlands of Mexico. Ann Rep Bean Improv Coop, 37, 103 - 105.

Celis, R., Peña, C., Luna, M., Aguirre, J., (2010). Caracterización morfológica de las semillas y consumo de reservas durante la emergencia de plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) silvestre y domesticado. Revista Facultad Agron. (LUZ), 27, 61 – 87.

Chariguman, J., (2015). Caracterización de bioplástico de almidón elaborado por el método de casting reforzado con albedo de maracuyá (*Passiflora edulis* spp.) Tesis para obtener el título de Ingeniero agroindustrial. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras.

Charley, H., (2005) Tecnología de los alimentos. Primera Edición, Limusa: México, p 767.

Christensen, C., y Kaufmann, H., (1969). Grain Storage: The role of fungi in quality loss. Minneapolis: University of Minnesota Press.

D´Antonio, L., (1997). Principais pragas de graos armazenados. In: armazenamento de graos e sementes nas propriedades rurais. XXVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agricola Campina Grande. Pariba Brasil 189 - 291.

Dell'Orto, T., (1985). Insectos que dañan granos y productos almacenados. Instituto de investigaciones. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA, Chile Santiago, pp 46.

Desai, B., (2004). Seed Handbook, Biology, Production, Processing, and Storage. Second edition. Marcel Dekker, INC. USA. pp. 787.

Domínguez, M., Jiménez, M., (2012). Películas comestibles formuladas con polisacáridos: propiedades y aplicaciones. Temas selectos de Ingeniería en Alimentos, 6, 2, 110 – 121.

Donhowe, I., Fennema, O. (1994). Edible films and coatings: characteristics, formation, definitions and testing methods. In: Edible Coatings and Films to Improve Food Quality. Krochta, J.M., E.A. Baldwin, & Nisperos-Carriedo, M. Ed. Technomic Publishing Co. Inc., Lancaster, EUA. 1–24.

Dos Santos, B., Pereira, R., Flavia, K., Zaczuk, P., (2013). Hardness of carioca beans (*Phaseolus vulgaris* L.) as affected by cooking methods. Food Science and Technology, 54, 13-17.

Drakos, A., Pelava, E., Evageliou, V., (2018). Properties of flour films as affected by the flour's source and particle size. Food Research International, 107, 1, 551 – 558.

Enríquez, M., Velasco, R., Ortiz, V., (2011). Composición y procesamiento de películas biodegradables basadas en almidón. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial 10, 1, 182 – 192.

Eum, H., Hwang, D., Linke, M., Lee, S., Zude, M., (2009). Influence of edible coating on quality of plum (*Prunus salicina* Lindl. cv . 'Sapphire'). European Food Research and technology 229, 3, 427 – 434.

FAO. 1993. Alimentación y nutrición: El maíz en la nutrición humana. N° 25 . Roma.

Fennema, O., (2000). Química de Alimentos. 21° edición. Acribia: España, pp. 212 - 245.

Fernández, N., Echeverría, D., Mosquera, S., Paz, S., (2017). Estado actual del uso de recubrimientos comestibles en frutas y hortalizas. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 15(2), 134 – 141.

Flores, A., Jiménez, M., Mora, R., (2011). Determination of structural changes by FTIR, Raman, and CP/MAS NMR spectroscopy on retrograded starch of maize tortillas. *Elsevier Science* 8, 61 – 68.

Fontes, L., Sarmiento, S., Spoto, H., (2007). Características sensoriales y microbiológicas de manzanas mínimamente procesadas cubiertas con películas. *Ciencia y Tecnología de Alimentos Brasil*, 27, 1, 91 – 98.

Gómez, M., (1988). Physicochemical characteristics of fresh masa from alkaline process corn and sorghum and corn dry masa flour. Tesis doctoral, Universidad de Texas A&M, Texas, Estados Unidos Americanos.

Gómez, M., McDonough, M., Rooney, L., Wanishka, R., (1989). Changes in corn and sorghum during nixtamalization and tortilla baking. *J. Food Sci.* 53, 330 – 336.

Gómez, R., Nuñez, E., Bressani, R., Brabam, J., (1983). Comportamiento biológico de fracciones proteínicas aisladas del frijol común INCAP 33, 3, 519 – 538.

Gontard, N., Guilbert, S., Cuq, J., (1993). Water and glycerol as plasticizers effect mechanical and water vapour barrier properties of an edible wheat gluten film. *Journal of Food Science* 58, 1, 206 – 211.

Gonzalez, A., (2000). Efecto del tratamiento térmico sobre el contenido de fibra dietética total, soluble e insoluble en algunas leguminosas. *ALAN*, 50, 3, 281 - 285.

González, G., Mendoza, F., Covarrubias, J., Morán, N., Acosta, J., (2008). Rendimiento y calidad de semilla de frijol en dos épocas de siembra en la región del Bajío. *Agricultura Técnica en México* 34, 4, 421 – 430.

González, R., Gutierrez, F., Sotelo, M., (2016). Películas de almidón de papa obtenidas por casting y extrusión reforzadas con montmorillonita de sodio modificada. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1, 2, 627 – 632.

Gorham, R., (1991). Ecology and management of food intry pests. Primera edición, USA Virginia, pp 137 – 140.

Guzman, S., Marin, A., Castellanos, J., Gonzalez, E., Acosta, J., (1996). Relationship between physical and chemical characteristics and susceptibility to *Zabrotes subfasciatus* (Boh.) (Coleoptera:Bruchidae) and *Acanthoscelides obtectus* (Say) in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties. J. stored Prod. Res. 32, 1, 53 – 58.

Hagstrum, D., y Subramanyar, B., (1996). Integrated management of insects in stored products. Primera edición, Marcel Dekker Inc, USA New York, pp 9 – 12.

Hall, J., Harman, G., (1991). Protection of stored legume seeds against attack by storage fungi and weevils: mechanism of action of lipoidal and oil seed treatments. Crop Protection, 10, 5, 375 – 380.

Hoseney, R., (1991). Principios de ciencia y tecnología de cereales, Editorial Acribia, España.

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura IICA (2010). Plagas de frijol en Centroamérica. Suiza 2010.

International Rules for Seed Testing ISTA (2010). ISBN-13 978-3-966549-60-6.

Jackson, M., Varriano, E., (1981). Hard-to-cooked phenomenon in beans: Effect of accelerated stroge or absortion and cooking time. Journal of Food Science. 46, 799 – 803.

Joaquín, D., Villada, H., (2013). Propiedades ópticas y permeabilidad de vapor de agua en películas producidas a partir de almidón. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, 2, 59 – 68.

Kigel, J., (1999). Culinary and nutritional quality of *Phaseolus vulgaris* seeds as affected by environmental factors. Biotechnol. Agron. Soc. Environ, 3, 4, 205 - 209.

Kongsdal, O., Mathur, S., (2003). Common Laboratory Seed Health Testing Methods for Detecting Fungi, 319 – 323.

Lin, D., Zhao, Y., (2007). Innovations in the development and application of edible coatings for fresh and minimally processed fruits and vegetables. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 6, 3, 60 – 75.

Luna, M., Hinojosa, R., Ayala, G., Castillo, G., Mejía, C., (2012). Perspectiva de desarrollo de la industria semillera de maíz en México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 35, 1 - 7.

Magan, N., y Olsen, M., (2004). *Mycotoxins in food detection and control*. Primera edición, USA New York.

Martínez, E., Cantillo, T., García, D., (2014). Hongos asociados a semillas de *Phaseolus vulgaris* L. cultivadas en Cuba. *Biotecnología Vegetal* 14, 2, 99 – 105.

Marques, M., Jaeger, L., Regini, M., Viana, J., Hohn, A., Gomes, E., (2010). Water absorption, hard Shell and cooking time of comon beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *African Journal of Food Science and Tecnology*, 1, 1, 13-20.

Meaño, N., Ciarfella, A., Dorta, A., (2014). Evaluación de las propiedades químicas y funcionales del almidón nativo de ñame congo (*Dioscorea bulbifera* L.) para predecir sus posibles usos tecnológicos. *Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente*, 26, 2, 182 - 187.

Méndez, D., Quintero, J., Váquirio, H., Solanilla, J., (2015). Alginato de sodio en el desarrollo de películas comestibles. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 5, 1, 89 – 113.

Meneses, J., Corrales, C., Valencia, M., (2007). Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir de almidón de yuca. *Revista EIA* 8, 57 – 67.

Mora, M., (1980). Efecto de la humedad y temperatura sobre el endurecimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) almacenado durante seis meses. *Agronom. Costarr*, 4, 2, 195 - 197.

Morales, M., Peña, C., García, A., Aguilar, G., Kohashi, J., (2017). Características físicas y de germinación en semillas y plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) silvestre, domesticado y su progenie. *Agrociencia*, 51, 1, 43-62.

Moreno, E., (1998). Manual para la identificación de hongos en grano y sus derivados. Primera edición, UNAM, México, pp 31 – 48.

Mungía, M., (2010). Influencia del deterioro del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) provocado por un mal almacenamiento sobre su calidad nutrimental. Tesis para obtener el título de Ingeniero en alimentos. Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Nava, E., Gastelum, P., Camacho, J., Valdez, B., Bernal, C., Herrera, R., (2010). Utilización de extractos de plantas para el control de gorgojo pardo (*Acanthoscelides obtectus* Say) en frijol almacenado. *Ra Ximhai*, 6, 1, 37 – 63.

Norma Oficial Mexicana (NOM-187-SSA1/SCFI-2002), Productos y servicios. Masa, tortillas, tostadas y harinas preparadas para su elaboración y establecimientos donde se procesan. Especificaciones sanitarias. Información comercial. Métodos de prueba. 7 de mayo de 2002 (México)

Nonogaki, M., Nonogaki, H., (2017). Germination. *Encyclopedia of Applied Plant Sciences*, 2, 1, 509 – 512.

OECD. 2016. Common bean (*Phaseolus vulgaris*), in *Safety Assessment of Transgenic Organisms in the Environment*. Volume 6: OECD Consensus Documents, OECD Publishing. Paris.

Olguín, G., Amador, M., Quintanar, A., Díaz, F., Sanchez, I., Castañeda, A., Avila, R., Santos, E., (2015). Correlación de entalpías de gelatinización con los índices de absorción de agua y de sólidos solubles en agua de sémolas, granillos y harinas de maíz nixtamalizado. *Revista mexicana de ingeniería química*, 14, 2, 303 – 310.

Paliwal, R., Granados, G., Lafitte, H., Violic, A., (2001). *El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción*. FAO, Roma. 376 p.

Paredes, O., Carabez, A., Hernandez, D., Schevenin, M., (1989). Amaranth starch isolation and partial characterization. *Starch/Stärke*, 41, 203 – 207.

Peelman, N., Ragaert, P., De Meulenaer, B., Adoncs, D., Peeters, R., Cardon, L., Van Impef, F., Devliegherea, F., (2013). Application of bioplastics for food packaging. *Trends in Food Science & Technology*, 32, 128 – 141.

Peña, C., Morales, M., García, A., Aguilar, G., Kohashi, J., (2017). Características físicas y de germinación en semillas y plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) silvestre, domesticado y su progenie. *Agrociencia* 51, 1, 43 – 62.

Pereira, A., Dos Santos, B., Minami, A., Vitoriano, P., Naozuka, J., (2018). Effect of cooking on the bioaccessibility of essential elements in different varieties of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) *Journal of Food Composition and Analysis*, 67, 135 – 140.

Perera, A., Meda, V., Tyler, R., (2010). A review of analytical protocols for determining resistant starch and of factors affecting the resistant starch content of foods. *Food Research International* 43, 1959 – 1974.

Quintero, C., Falguera, V., Muñoz, H., (2010). Películas y recubrimientos comestibles: importancia y tendencias recientes en la cadena hortofrutícola. *Revista Tumbaga* 5, 93 – 118.

Ramírez, J., (1992). Almacenamiento y conservación de granos y semillas. México:Continental, pp 24 – 35.

Ramos, M., Romero, C., Bautista, S., (2018). Almidón modificado: Propiedades y usos como recubrimientos comestibles para la conservación de frutas y hortalizas frescas. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* 19, 1, 30 – 44.

Rodríguez, E., Fernández, A., Alonso, L., Ospina, B., (2006). Reología de suspensiones preparadas con harina precocida de yuca. *Ingeniería & Desarrollo*, 19, 17 – 30.

Rodríguez, R., Herrera, F., (2003). Insectos y hongos en los granos almacenados en Yucatán. México: Revista Universidad Autónoma de Yucatán, 227, 44 – 53.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación SAGARPA (2017) Planeación agrícola nacional. Frijol Mexicano. México 2017.

Schoonhoven, A., Cardona, C., y Valor, J., (1983). Resistance to the bean weevil and the Mexican bean weevil (Coleoptera: Bruchidae) in noncultivated common bean accessions. *Journal of Economic Entomology*. 76, 1255 - 1259.

Schoonhoven A., Dan W. (1982). Control of *Zabrotes subfasciatus* (Boh.) (Coleoptera: Bruchidae) with seed protectant fungicides. *Journal of Stored Products Research* 18, 143 - 146.

Serna, S., (2001). *Química, almacenamiento e industrialización de los cereales*. AGT editores, México.

Serna, S., Chuck, C., (2016). Tortillas. *Encyclopedia of Food and Health*. 319 – 325.

Serna, S., Gómez, M., Rooney L., (1990). Technology, chemistry and nutritive value of alkaline cooked corn products. *Advances in Cereal Science and Technology* (Ed. Y. Pomeranz) 10, 243 – 307.

Sierra, M., Palafox, A., Vázquez, G., Rodríguez, F., Espinosa, A., (2010). Caracterización Agronómica, Calidad industrial y Nutricional de maíz para el trópico mexicano. *Agronomía Mesoamericana* 21, 21 - 29.

Shi, M., Chen, Y., Yu, S., Gao, Q., (2013). Preparation and properties of RS III form waxy maize starch with pullulanase. *Food Hydrocolloids* 33, 19 – 25.

Shiga, T., Lajolo, F., Tulia, M., (2004). Changes in the cell wall polysaccharides during storage and hardening of beans, *Food Chemistry*, 84, 1 - 12.

Swaroop, C., Shukla, M., (2018). Nano-magnesium oxide reinforced polylactic acid biofilms for food packaging applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 113, 729 – 736.

Tomka, I. (2000). Thermoplastic processable starch or starch derivative polymer mixtures. BIOTEC BIOLOGISCHI NATURVERPACKUNGEN GmbH Bio-Tec Biologische Naturverpackungen GmbH.

Torres, S., Morales, I., (1997). *Maíz Tortilla: Globalización, Políticas y Alternativas*. CEIICH-PUAL-UNAM, México, pp. 240.

Trejo, V., Aragón, N., Miranda, P., (2001). Estimación de la permeabilidad al vapor de agua en películas a base de quitosán. *Revista de la Sociedad Química de México*, 45, 1, 1 – 5.

Valencia, C., Jiménez, M., Jiménez, A., Atares, L., Vargas, M, Chiralt, A., (2016). Influence of liposome encapsulated essential oils on properties of chitosan films. *Polymer International*, 65, 5, 979 - 987.

Vargas, A., Osorio, P., Agama, E., Morales, L., Bello, L., (2006). Digestibilidad del almidón en diferentes variedades del frijol. *INCAP* 31, 12, 881 – 884.

Vázquez, M., Guerrero, J., (2013). Recubrimientos de frutas con biopelículas. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos* 7, 2, 5 – 14.

Vélez, A., (1997). Plagas agrícolas de impacto económico en Colombia: bionomía y manejo integrado. Primera edición, universidad de Antioquia, Colombia Medellin, pp 480.

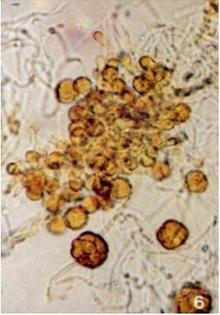
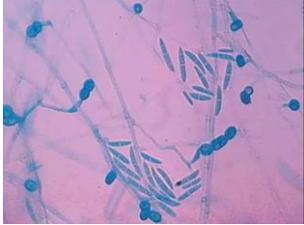
Williams, R., y Mcdonald, D., (1983). Grain molds in the tropics: problems and importance. *Annu, Rev* 21, 153 – 178.

Zamora, V., (2014). Comportamiento y emergencia del gorgojo pinto del frijol, *Zabrotes subfasciatus* (Boheman) expuesto a frijol almacenado tratado con polvos vegetales y minerales. Tesis para obtener el título de Ingeniero Agrícola. Universidad Nacional Autónoma de México, México.

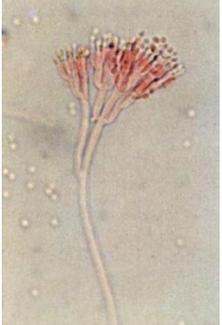
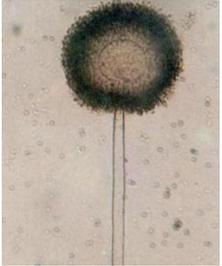
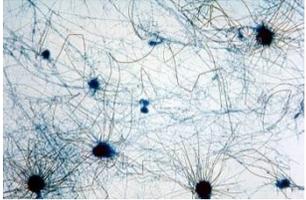
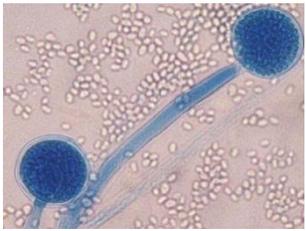
Zhou, X., Chung, H-J., Kim, J-Y., Lim, S-T., (2013). In vitro analyses of resistant starch in retrograded waxy and normal corn starches. *International Journal of Biological Macromolecules* 55, 113 – 117.

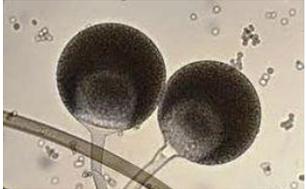
## Anexos

### Anexo 1. Descripción de hongos presentes en la micobiota del frijol

Hongos de campo		
Hongo	Descripción	Imagen
<i>Alternaria</i> spp.	Especies de este género son muy comunes en cereales, no se consideran toxigenicos, presenta conidióforos oscuros, generalmente produciendo cadenas de conidios con septos transversales y longitudinales (muriformes), en ocasiones los conidios no nacen en cadenas sino individualmente y con apéndice terminal simple o bifurcado.	
<i>Cladosporium</i> spp.	Esta especie presenta conidióforos largos, oscuros y ramificados. Presenta conidios de diversas formas, ovoides, cilíndricos e irregulares, en cadenas simples o ramificadas y unicelulares. Sus colonias son de color verde, tamaño pequeño de 1 – 2 cm.	
<i>Epicoccum</i> spp.	No es considerado hongo toxigenico. Las esporas se producen en racimos, son esféricas de color café rojizo, con septos irregulares y con la superficie ligeramente rugosa, se producen conidióforos cortos. Las colonias son de color anaranjado o rojizo.	
<i>Fusarium</i> spp.	Para su desarrollo se requiere una actividad de agua de más de 0.90. Tiene muchas especies de importancia fitopatológicas, desarrolla micotoxinas como: tricotecenos, zeralenona y fumonisinas. Se caracteriza por formar esporas grandes, macronidios, curvadas y con extremos acuminados (en forma de canoa).	

<i>Sclerotium rolfsii</i>	En esta especie las hifas son gruesas, tienen conexiones de abrazadera y consisten en células que son 2-9 x 150-250 micras. Los esclerocios tienen 0.5-1.5 mm de diámetro. El teleomorfo raramente visto produce un himenio expuesto con basidios clavados y basidiosporas piriformes hialinas que son. El color de la colonia es café claro. No es considerado hongo toxígeno.	
<b>Hongos de almacén</b>		
Hongo	Descripción	Imagen
<i>Aspergillus flavus</i>	Esta especie requiere de humedades relativas de 80–85%, en cereales con humedad de 16.5–18%. Su desarrollo contribuye al calentamiento de granos. Algunas especies producen aflatoxinas, metabolitos altamente tóxicos, cancerígenos y teratógenos, siendo aflatoxina B1 la más activa. La presencia de estos hongos indica una mala conservación de los granos. El color de las colonias es verde amarillento.	
<i>Eurotium</i> spp.	Es un hongo ascomiceto, saprófito y su micelio es ramificado y septado. Presenta una gran cantidad de cleistotecios y sus conidióforos son simples y con ápice en forma vesicular, requiere de humedades relativas de 80–85%, en cereales con humedad de 16.5–18%. Algunas especies son consideradas toxígenas, capaces de producir micotoxinas como: ocratoxina.	
<i>Penicillium</i> spp.	Este género requiere de humedades relativas de 85–95%, en cereales con humedad de 18–20%. Algunas especies se les considera toxígenas, capaces de producir diversas micotoxinas como: patulina, ocratoxina, citrinina, ácido penicílico, islanditoxina y	

	<p>rubratoxinas. Las especies de este género reducen el poder germinativo de las semillas almacenadas. Las colonias son de color verde o azul, los conidioforos tienen apariencia de cepillos, los conidios se forman en cadenas.</p>	
<b>Hongos de deterioro avanzado</b>		
Hongo	Descripción	Imagen
<i>Aspergillus niger</i>	<p>Esta especie requiere contenidos de humedad relativa de 90–95%, en cereales de 13–18%. No es considerado un hongo toxígeno. Sus colonias son negras o café oscuro.</p>	
<i>Chaetium spp.</i>	<p>Este género requiere contenidos de humedad relativa de 95–100%. No es considerado un hongo toxígeno. Produce peritecios que miden de 100–300 micras de diámetro; la parte superior peritecio presenta espinas rectas o enrolladas. Las ascosporas son liberadas de las ascas dentro del peritecio y salen por el ostiolo en una sustancia mucilaginosa. Las ascosporas son unicelulares, de color café pálido y con superficie lisa. Las colonias son de color gris pálido al gris oscuro.</p>	
<i>Mucor spp.</i>	<p>Este género requiere contenidos de humedad relativa de 95–100%. Sus esporas están contenidas en esporangios con esporangióforos ramificados, no presentan rizoides. No es considerado un hongo toxígeno. Las colonias son de color gris pálido.</p>	

<i>Rhizopus</i> spp.	Este género requiere contenidos de humedad relativa de 95–100%. No es considerado un hongo toxígeno. Sus esporas están contenidas en esporangios cuyos esporangióforos presentan rizoides en la base; los esporangióforos no son ramificados. El micelio es de color gris	 A microscopic image showing two large, dark, spherical sporangia of Rhizopus. Each sporangium is attached to a long, thin, cylindrical stalk (the sporangiophore). The background is light and contains many small, dark, circular spores.
----------------------	---	--