

**UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN**

---

---

**CAMPUS TUXTEPEC**

**SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE UN COMPOSITO  
DE ALMIDÓN DE PLÁTANO MACHO / SILICONA**

**TESIS**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**LICENCIADA EN CIENCIAS QUÍMICAS**

**PRESENTA**

**COYOLICALTZIN PERALTA GONZÁLEZ**

**Director**

**DR. AURELIO RAMÍREZ HERNÁNDEZ**

**SAN JUAN BAUTISTA TUXTEPEC, OAXACA 2020**



# Universidad del Papaloapan

San Juan Bautista Tuxtepec, Oax. a 17 de diciembre de 2019  
**Asunto:** Autorización de impresión de tesis

**M. E. YESENIA BARRIENTOS ARENAL**  
**JEFA DEL DEPARTAMENTO DE SERVICIOS ESCOLARES**  
**UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN**  
**P R E S E N T E**

Sirva la presente para informarle que los abajo firmantes, miembros de la comisión revisora de la tesis presentada por la Srita. Coyolcaltzin Peralta González (Matrícula 11060089) pasante de la Licenciatura en Ciencias Químicas, manifestamos que después de examinar su trabajo de tesis autorizamos la impresión del manuscrito que lleva por título "Síntesis y Caracterización de un Composito de Almidón de Plátano Macho/Silicona" para su posterior presentación y defensa por parte del sustentante. El trabajo se realizó bajo la dirección del Dr. Aurelio Ramírez Hernández.

Sin otro asunto en particular le agradecemos la atención a la presente.

**Atentamente**  
*terra uberrima, mens aperta*  
*B'ou Lo-tama, chí jí jú*

**Dr. Alejandro Aparicio Saguilán**  
**Profesor Investigador**  
**Universidad del Papaloapan**

**Dra. Delia Esther Páramo Calderón**  
**Profesora Investigadora**  
**Universidad del Papaloapan**

**Dr. Jorge Conde Acevedo**  
**Profesor Investigador**  
**Universidad del Papaloapan**

**Dr. Andrés Aguirre Cruz**  
**Profesor Investigador**  
**Universidad del Papaloapan**

**Dr. Aurelio Ramírez Hernández**  
**Profesor Investigador**  
**Director de Tesis**

C.c.p. M. en C. Héctor López Arjona, Vice-Rector Académico de la UNPA, para su conocimiento.  
C.c.p. Dra. Roxana Martínez Pascual, Jefa de Carrera de la Licenciatura en Ciencias Químicas.

OAXACA



# Universidad del Papaloapan

San Juan Bautista Tuxtepec, Oax. a 8 de enero de 2020

**Asunto:** Autorización de impresión de tesis

**M. E. YESENIA BARRIENTOS ARENAL**  
**JEFA DEL DEPARTAMENTO DE SERVICIOS ESCOLARES**  
**UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN**  
**P R E S E N T E**

Sirva la presente para informarle que los miembros de la Comisión Revisora del trabajo de tesis de la Srita. **COYOLICALTZIN PERALTA GONZÁLEZ**, pasante de la Licenciatura en Ciencias Químicas con número de matrícula 11060089, revisó y aprobó el trabajo de investigación denominado "Síntesis y Caracterización de un Composito de Almidón de Plátano Macho/Silicona" mismo que será presentado como prueba escrita del acto de recepción profesional, para obtener el Título de Licenciada en Ciencias Químicas.

Por lo anterior y de acuerdo a los lineamientos institucionales, se le da trámite legal para que proceda a su impresión el trabajo presentado.

Archivamiento  
*terra uberrima, mens aperta*  
*B'ou Lo-tama, chi ji jii*



Dra. Roxana Martínez Pascual  
Jefa de Carrera  
Licenciatura en Ciencias Químicas

Recibí  
  
8/01/2020.



C.c.p. M. en C. Héctor López Arjona. Vice-Rector Académico de la UNPA, para su conocimiento, archivo de la jefatura de carrera



# Universidad del Papaloapan

Tuxtepec, Oaxaca a 8 de enero de 2020

**ASUNTO:** Designación de sinodales

**SRITA. COYOLICALTZIN PERALTA GONZÁLEZ  
PASANTE DE LA LICENCIATURA EN CIENCIAS QUÍMICAS  
PRESENTE**

Por este medio le informo la propuesta de la jefatura de carrera de los Profesores-Investigadores que fungirán como revisores en su examen para obtener el Título de Licenciada en Ciencias Químicas.

Dr. Alejandro Aparicio Saguilán	UNPA	Presidente
Dr. Andrés Aguirre Cruz	UNPA	Secretario
Dr. Aurelio Ramírez Hernández	UNPA	Vocal
Dra. Delia Esther Páramo Calderón	UNPA	1 <sup>er</sup> Suplente
Dr. Jorge Conde Acevedo	UNPA	2 <sup>o</sup> Suplente

Sin más por el momento, le envío cordiales saludos.

*terra uberrima, mens aperta  
B'ou Lo-tama, chi jí jii*



*Dra. Roxana Martínez Pascual  
Jefa de Carrera  
Licenciatura en Ciencias Químicas*

*M. en C. Héctor López Arjona  
Vice-rector Académico  
Vo. Bo.*



*Recibi  
Aurelio Ramirez  
Hernandez  
01/01/2020*



*11:05am*

C.c.p. Dr. Aurelio Ramírez Hernández-Director de Tesis  
C.c.p. Yesenia Barrientos Arenal -Jefa de Servicios Escolares  
C.c.p. Archivo de la jefatura



## AGRADECIMIENTOS

### **Quiero expresar mis más sinceros agradecimientos:**

A mis padres y hermanos por su apoyo y comprensión durante el desarrollo de mi carrera y este proyecto.

A mi mejor amiga en esta etapa de mi vida Xhoo Naxhi H., por brindarme su apoyo y sobre todo enseñarme que la verdadera amistad se basa en el respeto mutuo, así como en la lealtad incondicional sin esperar nada a cambio, gracias por tu amistad.

Al Dr. Aurelio Ramírez Hernández por brindarme su apoyo cuando más lo necesitaba, por la confianza de permitirme trabajar juntos, pero sobre todo por brindarme su amistad.

A mi comité tutorial al Dr. Andrés Aguirre a la Dra. Delia E. Paramo y al Dr. Alejandro Aparicio, por las observaciones realizadas para el mejoramiento de este trabajo de investigación.



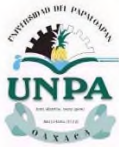
DEDICATORIA

*A mis padres...*



## ÍNDICE

RESUMEN.....	8
1.-INTRODUCCIÓN .....	10
2.-ASPECTOS TEÓRICOS .....	12
2.1.-Almidón.....	12
2.2.-Estructura química del almidón.....	13
2.3.-Propiedades fisicoquímicas del almidón.....	15
2.3.1.-Características de los gránulos de almidón.....	16
2.4.-Ventajas y desventajas del uso de almidón nativo .....	19
2.5.-Almidones modificados .....	19
3.-MATERIALES COMPUESTOS (COMPOSITOS).....	21
3.1.-Materiales compuestos con derivados de silicio .....	23
3.2.-Aceite de silicón .....	23
3.3.-Materiales compuestos almidón/silicio.....	25
4.-ANTECEDENTES.....	27
4.1.- Materiales electroreológicos. ....	27
5.-PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	28
6.-JUSTIFICACIÓN .....	30
7.-HIPÓTESIS.....	30
8.-OBJETIVOS.....	31
8.1.-Objetivo general.....	31
8.2.-Objetivos particulares .....	31
9.-METODOLOGÍA.....	32
9.1 Materiales.....	32
9.2.-Síntesis del composito almidón de plátano macho/silicón utilizando un diseño experimental (método I).....	32
9.3.-Síntesis del composito almidón/silicón utilizando un método sencillo (método II).....	34
9.4.-Elaboración de películas a partir del composito/almidón de plátano macho ..	37
9.5.-Conductividad eléctrica de las películas .....	38
9.6.-Propiedades mecánicas de las películas .....	39
10.-RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	39



# UNIVERSIDAD DEL PAPA LOAPAN

---

---

10.1.-Síntesis del composito almidón de plátano macho/aceite de silicón utilizando un diseño experimental (método I).....	39
10.2.-Determinación de la temperatura y la relación adecuada almidón de plátano macho/aceite de silicón (método II).....	44
10.3.-Análisis por espectroscopía Infrarroja (IR).....	45
10.4.-Análisis por Difracción de Rayos X (DR-X).....	49
10.5.-Análisis por Microscopía Electrónica de Barrido (SEM).....	52
10.6.-Análisis por Resonancia Magnética Nuclear (RMN).....	55
10.7.-Análisis por Pasting.....	56
10.8.-Análisis por Espectroscopía Raman.....	57
10.9.-Películas de almidón y del composito almidón plátano macho/aceite de silicón.....	60
10.10.-Análisis de FTIR de las películas del composito.....	62
10.11.-Análisis térmico de las películas de almidón y del composito.....	62
10.11.1.-Análisis por calorimetría diferencial de barrido (CDB).....	62
10.11.2.-Análisis termogravimétrico TGA.....	66
10.11.3.-Análisis por Difracción de Rayos X (DR-X).....	68
10.11.4.-Medición de la conductividad eléctrica de las películas.....	70
10.11.5.-Propiedades mecánicas de las películas.....	71
11.-CONCLUSIONES.....	74
11.1.-Perspectivas.....	75
12.-REFERENCIAS.....	76

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Estructura química de la molécula de amilosa. ....	13
<b>Figura 2.</b> Estructura química de la molécula de amilopectina. ....	14
<b>Figura 3.</b> Estructura helicoidal de la amilosa. ....	15
<b>Figura 4.</b> Micrografía de barrido del almidón de plátano macho. ....	17
<b>Figura 5.</b> Patrones de difracción de rayos X de los almidones: tipo A, B y C. ....	18
<b>Figura 6.</b> Fuerzas de Van der Waals. ....	20
<b>Figura 7.</b> Fases de un material compuesto. ....	21
<b>Figura 8.</b> Estructura de los organosiloxanos: aceite de silicón. ....	24
<b>Figura 9.</b> Gráfica de superficie de respuesta obtenida a partir de las variables de concentración de aceite y tiempo. ....	42
<b>Figura 10.</b> Gráfica de superficie de respuesta obtenida a partir de las variables. ....	43
<b>Figura 11.</b> Comportamiento del rendimiento frente la relación almidón plátano macho/aceite de silicón. ....	44
<b>Figura 12.</b> Espectros de FTIR del almidón de plátano y del composito almidón de plátano macho/aceite de silicón (a, b, c) y temperatura (c). ....	47
<b>Figura 13.</b> Difractograma del almidón y del composito almidón de plátano macho/aceite de silicón a diferentes temperaturas (a, b, c) y en las condiciones determinadas (d). ....	51
<b>Figura 14.</b> Micrografía (a) almidón nativo de plátano macho y composito de almidón de plátano macho/aceite de silicón (b, c y d). ....	54
<b>Figura 15.</b> Espectro de <sup>29</sup> Si de RMN del almidón de plátano y del composito de almidón de plátano macho/aceite de silicón. ....	55
<b>Figura 16.</b> Pasting del almidón de plátano y del composito de almidón de plátano macho/aceite de silicón. ....	56
<b>Figura 17.</b> Espectro Raman del composito almidón de plátano macho/aceite de silicón. ....	57
<b>Figura 18.</b> Fotografías de la película de almidón de plátano macho (a) y del composito almidón de plátano macho/aceite de silicón (b) en condiciones ideales. ....	60
<b>Figura 19.</b> Espectros de FTIR de la película de almidón y de las películas de los compositos almidón de plátano macho/aceite de silicón. ....	61
<b>Figura 20.</b> Termograma de CDB de la película de almidón y las películas del composito almidón de plátano macho/aceite de silicón. ....	63
<b>Figura 21.</b> Termograma de las películas: almidón (a), composito 40% (b), composito 20% (c), composito 12% (d), composito 10% (e) y composito polvo (f). ....	65
<b>Figura 22.</b> Termogramas de TGA de la película de almidón y del composito almidón de plátano macho/aceite de silicón. ....	66
<b>Figura 23.</b> Termogramas de las películas de almidón (a), composito 40% (b), composito 20% (c), composito 12% (d), composito 10% (e) y composito polvo (f). ....	66
<b>Figura 24.</b> Difractograma de rayos X de la película de almidón y de las películas del composito almidón de plátano macho/aceite de silicón. ....	69



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Contenido de amilosa/amilopectina [9].....	16
<b>Tabla 2.</b> Diseño experimental para la obtención del composito almidón de plátano macho/aceite de silicón. ....	33
<b>Tabla 3.</b> Proporciones en masa de aceite de silicón/ almidón de plátano macho, así como las temperaturas que se utilizaron para determinar las condiciones de síntesis del composito. ....	34
<b>Tabla 4.</b> Formulación de las películas de almidón y almidón/composito. ....	38
<b>Tabla 5.</b> Matriz del diseño experimental con valores sin codificar y su respuesta (rendimiento %) en el proceso de síntesis. ....	40
<b>Tabla 6.</b> Resultados de CDB de las películas de almidón y del composito almidón de plátano macho/aceite de silicón. ....	¡Error! Marcador no definido.
<b>Tabla 7.</b> Valores de la corriente eléctrica de las películas. ....	70
<b>Tabla 8.</b> Propiedades mecánicas de las películas de almidón del composito.....	72

## ÍNDICE DE ESQUEMAS

<b>Esquema 1.</b> Proceso de síntesis del composito almidón de plátano macho/aceite de silicón utilizando el método I.....	36
<b>Esquema 2.</b> Elaboración de las películas por el método casting.....	37
<b>Esquema 3.</b> Determinación de la corriente eléctrica de las películas. ....	38

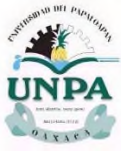


## RESUMEN

La contaminación ambiental generada por el mal uso y disposición final de los polímeros tradicionales al terminar su vida útil, ha incrementado y afectado la calidad de vida de los seres vivos. Por lo que es necesario proponer nuevos materiales o la síntesis de polímeros a partir de recursos naturales que posean características similares a las de los polímeros tradicionales (provenientes del petróleo).

En el presente trabajo, se buscó proponer una alternativa ante el uso desmedido de los materiales poliméricos tradicionales a partir de la síntesis de materiales compuestos a base de polímeros biodegradables cuyo componente principal es el almidón, éste es un polímero natural que se encuentra principalmente en las plantas. La fuente de almidón de la cual se basó el siguiente trabajo es el plátano macho, junto con el aceite de silicón a partir del cual se sintetizó el material compuesto con el objetivo de evaluar sus propiedades térmicas, eléctricas y mecánicas para conocer sus posibilidades como material alternativo de los polímeros convencionales y otras posibles aplicaciones futuras.

En cuanto a los resultados, la caracterización química por FTIR, RMN y Raman permitió identificar los grupos  $-C-O-$  y  $O-Si-CH_3$  y comprobar que se obtuvo el composito. Se elaboraron las películas del composito sintetizado y se observó que la homogeneidad de estas está en función de la proporción de composito utilizado en la formulación de las películas.



## UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN

---

La cristalinidad de la película de almidón no es afectada por la presencia del composito. Las películas del composito aumentan la conductividad eléctrica del almidón hasta en un 54.54 % y aumenta las propiedades mecánicas de tensión a la fractura, porcentaje de elongación y módulo de elasticidad en 12.57%, 4.88% y 24.51 %, respectivamente.



## 1.-INTRODUCCIÓN

Los polímeros tradicionales son ampliamente utilizados en diferentes áreas como la industria, el transporte y la construcción, en la elaboración de plásticos utilizados en la fabricación de empaques, bolsas, recubrimientos arquitectónicos e industriales, entre otras [1].

Sin embargo, estos polímeros tradicionales presentan principalmente dos desventajas: la primera, son fabricados a partir de materias primas obtenidas del petróleo, el cual es un recurso no renovable y la segunda su persistencia en el medio ambiente por periodos largos de tiempo (cientos de años). Por lo que, en los últimos años la contaminación ambiental generada por la disposición final de estos polímeros al terminar su vida útil ha incrementado y afectado la calidad de vida de los seres vivos. Actualmente, la utilización de polisacáridos naturales modificados ha resultado de gran interés en el sector alimentario e industrial, tal es el caso del almidón que, por ser un recurso renovable, de bajo costo, con alta disponibilidad durante las cuatro estaciones del año, así como su biodegradabilidad, le permitiría tener diferentes aplicaciones de interés industrial. Sin embargo, los materiales de almidón nativo presentan principalmente dos desventajas, como son sus malas propiedades mecánicas con respecto a los polímeros convencionales y su afinidad por el agua. Por esta razón, se han llevado a cabo numerosas investigaciones para mejorar estas desventajas del almidón utilizando tanto métodos físicos como métodos químicos [2, 3].



Entre los métodos físicos se encuentra la síntesis de composites, la cual permite la generación de nuevos materiales con propiedades fisicoquímicas distintas a las de los materiales de partida, esta combinación se da entre dos o más materiales [4-7].

El objetivo del siguiente trabajo fue llevar a cabo la modificación física del almidón de plátano macho con aceite de silicón en presencia de hidróxido de potasio. El material obtenido se caracterizó por diferentes técnicas instrumentales y se llevó a cabo la evaluación de su conductividad térmica y eléctrica, además se proponen algunas posibles aplicaciones de este material.



## 2.-ASPECTOS TEÓRICOS

### 2.1.-Almidón

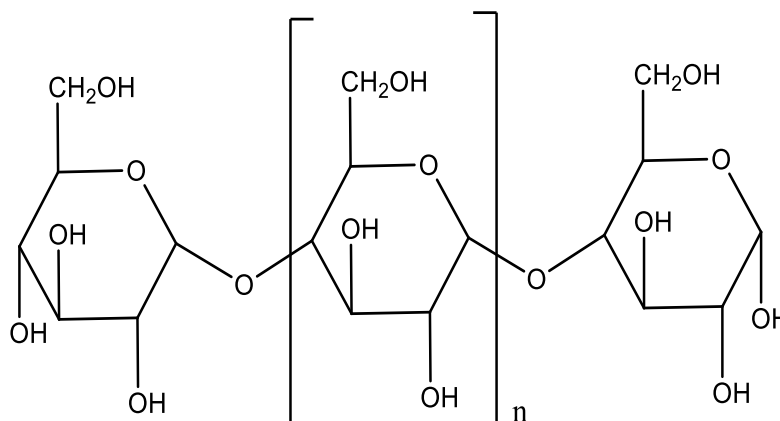
El almidón es el principal polisacárido de reserva sintetizado por las plantas superiores. Se puede encontrar en un gran número de productos agrícolas como los cereales (maíz, trigo, arroz, etc.), los cuales presentan un 30-80% de almidón; en las leguminosas (frijol, haba, chícharo, etc.) con 25-50% de almidón; en los tubérculos (yuca, papa) con 60-90% de almidón y en algunos frutos como es el caso del plátano macho que presenta un contenido de almidón de hasta un 74% [8]. El plátano es un fruto climatérico, el cual a nivel mundial es el cuarto cultivo más importante después del arroz, trigo y maíz, que en su etapa inmadura (verde) presenta un alto contenido de almidón [9, 10].

En el estado de Oaxaca, el plátano es uno de los frutos con mayor producción, ya que en el 2017 se produjeron 66 mil 376.41 toneladas. De acuerdo con la información de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SAGARPA), el estado de Oaxaca presenta una superficie sembrada de plátano macho de más de 3 mil 619.20 hectáreas, las cuales se distribuyen en 59 municipios localizados en las regiones de valles centrales, mixteca, costa y cuenca del Papaloapan. Siendo esta la que mayor producción de este fruto presenta con 20 mil 384 toneladas de plátano macho [11].

## 2.2.-Estructura química del almidón

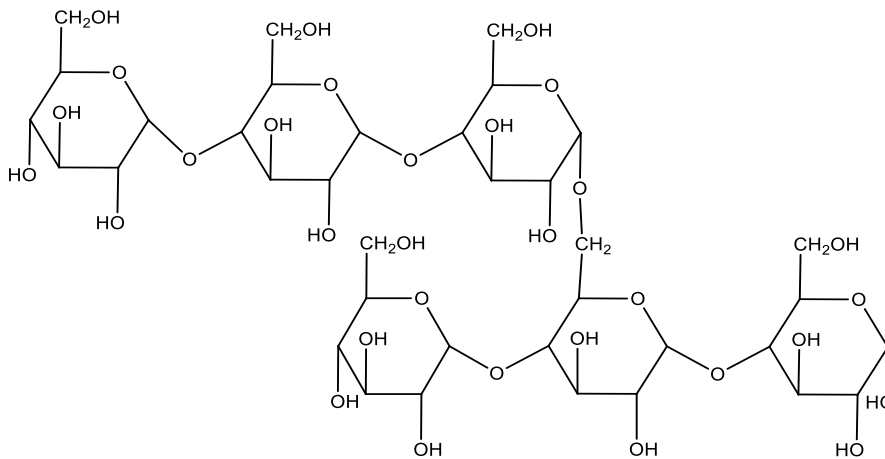
El almidón es un polisacárido formado por unidades repetitivas de D-glucosa. Estructuralmente, el almidón está constituido por dos polisacáridos distinguibles, la amilosa y la amilopectina, los cuales en la mayoría de los almidones se encuentran aproximadamente en una concentración del 30% y 70% respectivamente, es decir, en una relación 3:7, en esta proporción son llamados almidones normales. Existen algunos almidones en los cuales la amilosa es casi inexistente (<1% p/p) y son llamados almidones cerosos o “waxy”.

La amilosa es un polímero lineal de unidades de glucosa unidas por enlaces  $\alpha$  (1-4), su masa molar promedio varía según su fuente botánica, pero presenta un intervalo de 100 a 1000 kDa, esta molécula no es soluble en agua, sin embargo, puede formar micelas hidratadas por su capacidad para unirse a cadenas vecinas por puentes de hidrógeno y generar una estructura helicoidal, como se muestra en la **Figura 1**.



**Figura 1.** Estructura química de la molécula de amilosa.

La amilopectina es un polímero ramificado de unidades de glucosa unidas por enlaces  $\alpha$  (1-4) en un 96% y con uniones  $\alpha$  (1-6) en un 4-6%, dichas ramificaciones se localizan aproximadamente cada 15 a 25 unidades de glucosa, como se observa en la **Figura 2**. La amilopectina tiene un intervalo de masa molar promedio de 10 a 1000 MDa.



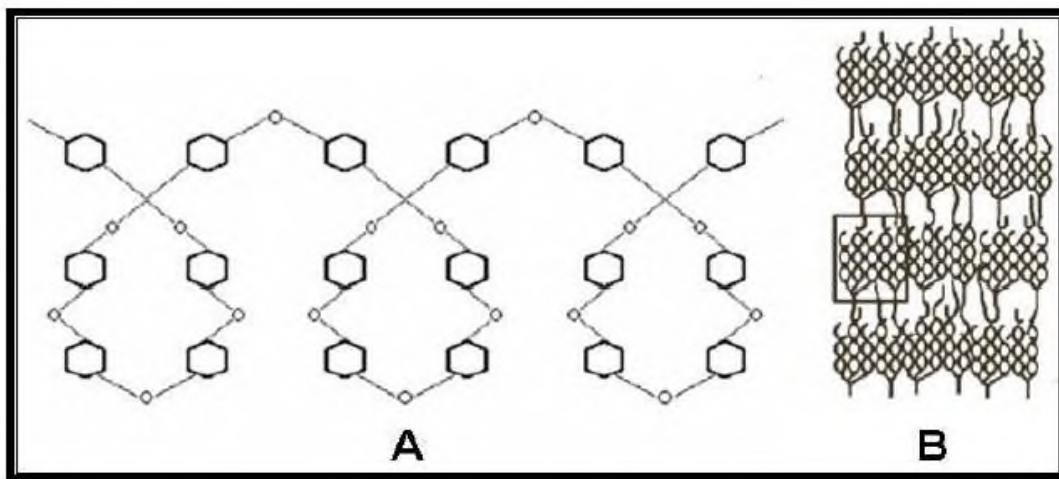
**Figura 2.** Estructura química de la molécula de amilopectina.

La amilopectina y la amilosa forman juntas un sistema polimérico semicristalino cuya disposición se distribuye en capas externas de amilopectina y capas internas de amilosa siendo la amilopectina el componente dominante de la cristalización en la mayoría de los almidones representando un 75% o más del gránulo de almidón.

La cristalinidad varía de un 15 a 45%, estos sistemas cristalinos están compuestos por estructuras de doble hélice formadas por puentes de hidrógeno entre los grupos hidroxilo en las cadenas lineales y externas de la molécula de amilopectina, unidas

con porciones de amilosa. En cuanto a la composición del almidón, la proporción de amilosa-amilopectina y la forma de los gránulos de almidón varían de acuerdo al tipo de fuente de la que proviene [12-14].

La configuración química de la amilosa y de la amilopectina es compleja, sin embargo, para la primera se ha propuesto una configuración helicoidal como se observa en la **Figura 3A** y para la segunda una doble hélice tal como se observa en la **Figura 3B**.



**Figura 3.** Estructura helicoidal de la amilosa (A) estructura en racimos (doble hélice) de la amilopectina (B). El recuadro en B indica la zona cristalina de la amilopectina [12-14].

### 2.3.-Propiedades fisicoquímicas del almidón

Las características del almidón tales como la morfología, tamaño de gránulo y composición depende de la fuente vegetal de la cual se obtiene y a su vez sus características entre la misma especie pueden variar, sin embargo, sus propiedades

fisicoquímicas y funcionales, están directamente relacionadas con la estructura granular y molecular, cabe mencionar que la funcionalidad del almidón depende del contenido de amilosa y amilopectina. En la **Tabla 1** se muestran los valores de amilosa y amilopectina para las fuentes convencionales de almidón (maíz, papa y plátano).

**Tabla 1.** Contenido de amilosa/amilopectina [9].

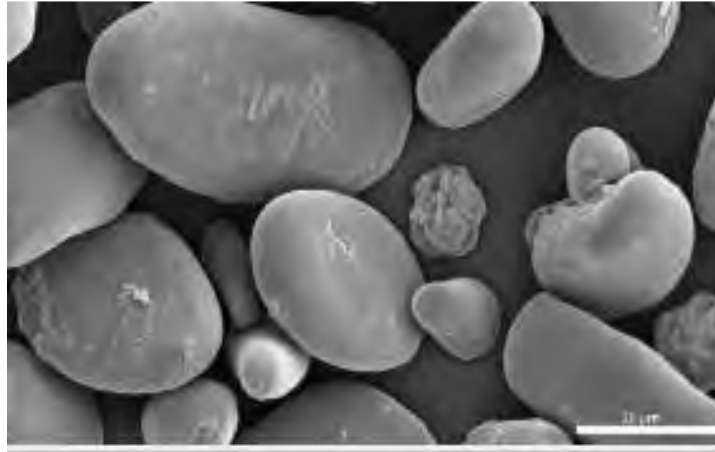
Fuente	Amilosa (%)	Amilopectina (%)
Maíz	27	63
Plátano	35	65
Papa	21	19

### 2.3.1.-Características de los gránulos de almidón

- Morfología y tamaño

Los gránulos de almidón se encuentran en la naturaleza organizados en partículas de tamaños microscópicos que oscilan entre 1 y 100  $\mu\text{m}$ , su morfología varía entre las diferentes formas, ovalada, elipsoidal, esférica, lisa, angular y reticular, dependiendo de la fuente de obtención. En el caso del almidón de plátano macho los gránulos pueden presentar formas ovales, elipsoides o irregulares alargadas con un tamaño de 5 a 50  $\mu\text{m}$ .

En la **Figura 4** se presenta una imagen de microscopía electrónica de barrido (SEM) reportada en la literatura para el almidón de plátano macho [15].



**Figura 4.** Micrografía de barrido del almidón de plátano macho [15].

El diámetro de la partícula es una de las características que más afecta las propiedades funcionales de los gránulos de almidón, ya que los gránulos pequeños presentan mayor solubilidad y una alta adsorción de agua.

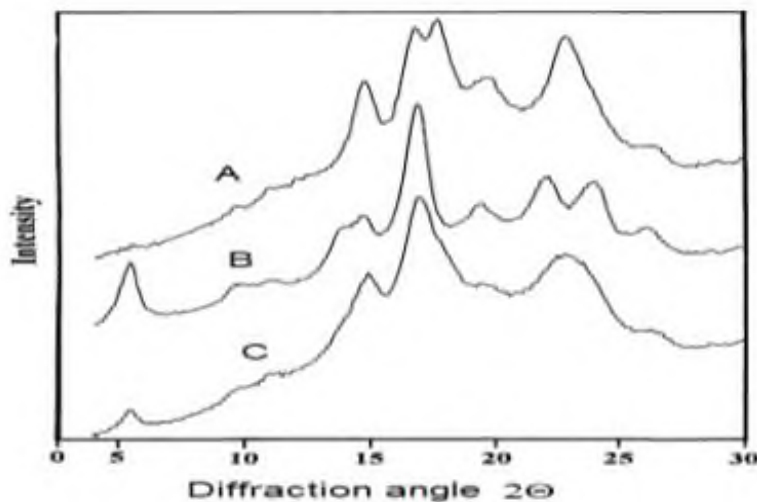
- **Cristalinidad**

La organización intramolecular entre la amilosa y la amilopectina mediante puentes de hidrógeno entre grupos hidroxilo o directamente a través de moléculas de agua, conduce a la formación de una estructura semicristalina organizada, donde alternan las zonas cristalinas con las amorfas. Algunos investigadores han reportado que el ordenamiento de las cadenas de amilosa

es amorfo mientras que la amilopectina presenta tanto regiones cristalinas como amorfas, la parte cristalina corresponde a la zona donde se encuentran las dobles hélices.

De acuerdo a su patrón de difracción de rayos X, los cuales dependen de la estructura cristalina que presente el gránulo, los almidones se clasifican en:

- i. Tipo A: Presenta picos de mayor intensidad de difracción para los ángulos  $2\theta = 15$  y  $23$ , este patrón es típico de almidones de cereales.
- ii. Tipo B: Presenta picos de mayor intensidad de difracción para los ángulos  $2\theta = 5.6, 15$  y  $24$ , y se ha encontrado en almidones de tubérculos.
- iii. Tipo C: Se encuentra en la naturaleza como una mezcla de ambos por lo que su patrón de difracción se observa como una combinación de los patrones A y B como se observa en la **Figura 5**.



**Figura 5.** Patrones de difracción de rayos X de los almidones: tipo A, B y C [16].

#### **2.4.-Ventajas y desventajas del uso de almidón nativo**

En la actualidad el uso de materiales elaborados a partir del almidón surge como una alternativa ante el uso desmedido de los plásticos convencionales debido a su alto potencial en aplicaciones en el área industrial y alimenticia, ya que posee la ventaja de ser biodegradable.

Sin embargo, los materiales elaborados a partir de almidón puro presentan desventajas, uno de los principales problemas que presentan estos materiales es su comportamiento rígido seguido por su alta sensibilidad a la humedad lo que genera que su estructura y propiedades cambien.

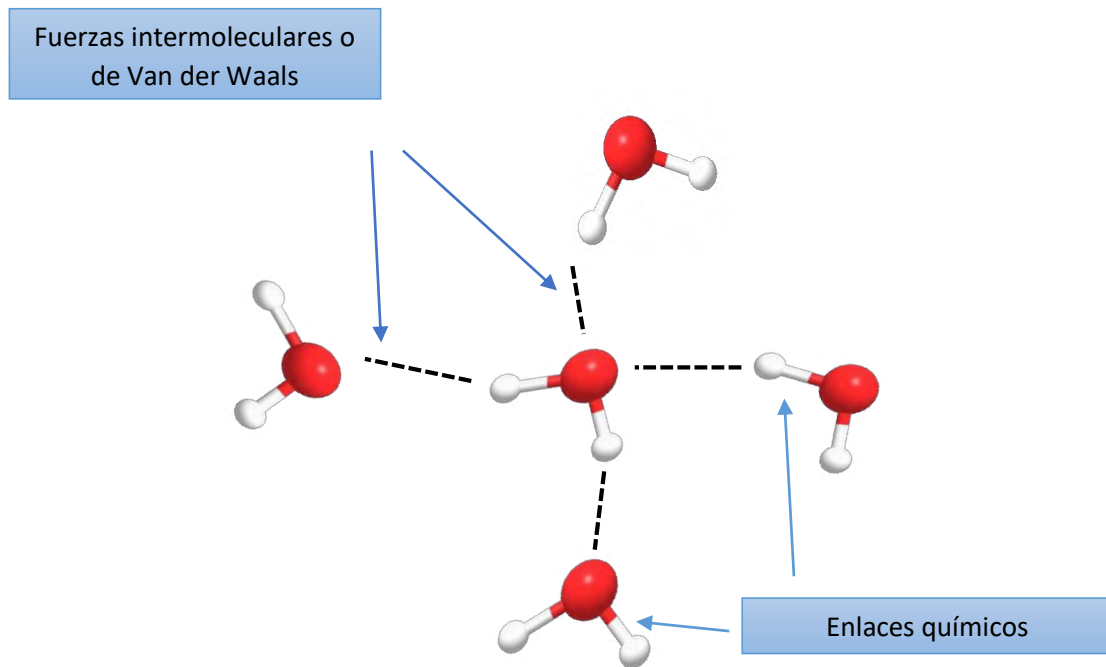
Otras de las desventajas que presentan es el deterioro de sus propiedades mecánicas en condiciones ambientales, su alta viscosidad, así como su incompatibilidad con algunos solventes, para que puedan ser empleados en las diferentes áreas industriales o alimentarias es necesario realizar modificaciones.

#### **2.5.-Almidones modificados**

La modificación del almidón se realiza para mejorar sus propiedades, así como sus características, a partir de estas modificaciones se obtienen importantes propiedades funcionales, lo que induce a nuevas aplicaciones industriales de este polímero estas pueden ser químicas, físicas o por medio de mezclas.

Un ejemplo de la modificación por mezclas son los materiales compuestos o compositos que son mezclas físicas, en las cuales los componentes pueden

interaccionar con otras sustancias a través de fuerzas intermoleculares como las fuerzas de Van der Waals mostradas en la **Figura 6**.



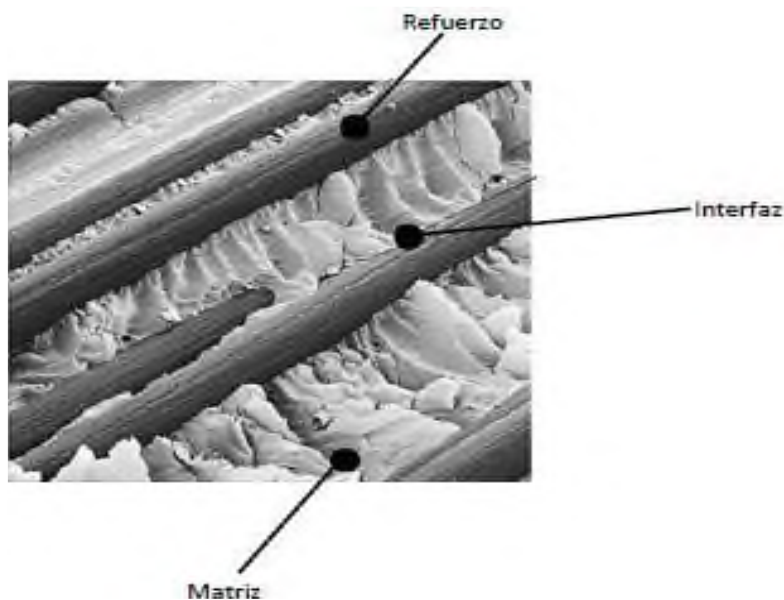
**Figura 6.** Fuerzas de Van der Waals. Fuente propia.

Las fuerzas de Van der Waals son fuerzas de estabilización molecular de naturaleza electrostática, en este tipo de interacciones los átomos, aunque sean de carácter apolar, forman dipolos, estos dipolos hacen que los átomos a su alrededor se polaricen, produciendo fuerzas de atracción electrostáticas entre dipolos de átomos.

### 3.-MATERIALES COMPUESTOS (COMPOSITOS)

Un material compuesto se define como un sistema formado por la combinación de propiedades y características de dos o más materiales, diferenciados en función, forma o composición, con el fin de obtener un material con propiedades estructurales o funcionales que ninguno de los constituyentes alcanza por sí solo, es decir, un material que presente mejores cualidades de las que presentaban individualmente.

Los materiales compuestos están constituidos por dos fases: una llamada matriz o sustentante, la cual rodea a la otra fase, la fase dispersa o reforzante y se encuentran conectadas por medio de la interfaz como se observa en la **Figura 7**.



**Figura 7.** Fases de un material compuesto.



- Matriz

La matriz es el principal componente de un compuesto ya que se encuentra en mayor porcentaje proporcionando estabilidad y dureza al material compuesto. De manera general la matriz tiene como objetivo controlar principalmente las propiedades eléctricas, el comportamiento químico, así como definir las propiedades químicas y físicas del material.

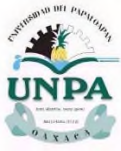
- Refuerzo

Es el componente que se agrega a la matriz para aportar propiedades que la matriz no posee y mejorar sus características. El refuerzo se utiliza para incrementar la resistencia y rigidez mecánica, en ocasiones los refuerzos se emplean para mejorar el comportamiento a altas temperaturas o la resistencia a la abrasión.

- Interfaz

La superficie existente entre la matriz y el refuerzo, se conoce como interfaz, la propiedad mecánica de un material compuesto dependerá de la unión entre los constituyentes. De manera general las propiedades eléctricas, el comportamiento químico, las propiedades físicas y químicas, entre otras, dependerán del tipo de matriz y refuerzo que se emplee para el diseño del material.

Hoy en día, la utilización de estos materiales compuestos se ha implementado en la industria aeroespacial, automotriz, electrónica, construcción y en el área de biomedicina ya que estos materiales se han



creado para mejorar propiedades tales como rigidez, resistencia, peso, dureza, resistencia a la corrosión, etc., [17-19].

### **3.1.-Materiales compuestos con derivados de silicio**

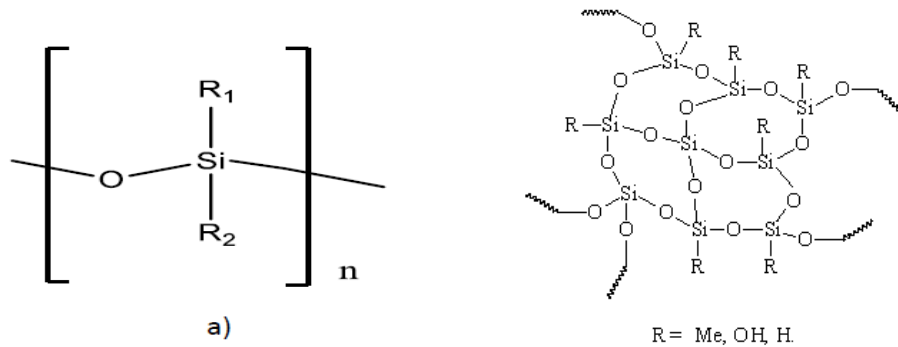
El silicio es un sólido plateado, brillante y de apariencia metálica, es el segundo elemento más abundante en la Tierra en la cual se encuentra presente en forma de óxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) y en la naturaleza se encuentra en rocas, arcillas, arenas, entre otros materiales. El silicio presenta una baja conductividad eléctrica, sin embargo, esta conductividad aumenta considerablemente conforme aumenta la temperatura, por esta razón al silicio se le denomina semiconductor.

En la actualidad, el silicio se ha convertido en el mejor material semiconductor empleado junto con matrices poliméricas en aplicaciones industriales por su disponibilidad en la naturaleza, su bajo costo, mínima toxicidad, buen aislante y funde a temperaturas moderadas; dentro de los compuestos derivados del silicio podemos encontrar los aceites de silicón [20-21].

### **3.2.-Aceite de silicón**

El aceite de silicón son compuestos poliméricos hidrófobos, los cuales, por su viscosidad y su capacidad para repeler el agua, se les denomina aceites; los aceites

de silicón están constituidos por una cadena lineal de unidades repetitivas de siloxano (Si-O) y por cadenas laterales (grupos radicales) a estos compuestos se les llama organosiloxanos tal como se muestra en la **Figura 8**.



**Figura 8.** Estructura de los organosiloxanos: aceite de silicón.

Las diferencias principales entre los aceites de silicón dependen de diversas características tales como:

- Peso molecular
- Longitud de cadena lineal
- Estructura química de los grupos radicales laterales
- Terminación del extremo radical de cadena polimérica
- Distribución a lo largo de la cadena

Por lo que, cada tipo de aceite de silicón presenta propiedades físicas y químicas específicas.

El aceite de silicón presenta una apariencia transparente, es inerte, inoloro e insaboro, algunas de sus características son: buena estabilidad térmica, baja tensión superficial, estabilidad mecánica, estabilidad química; se clasifica de acuerdo a su viscosidad a 25 °C en baja de 50 a 350 cSt, en media de 500 a 5000 cSt y alta de 10,000 a 60,000 cSt.

### **3.3.-Materiales compuestos almidón/silicio**

Hoy en día, se han llevado a cabo numerosas investigaciones sobre la modificación del almidón para mejorar sus desventajas frente a los polímeros sintéticos. Una de estas investigaciones ha sido la combinación del almidón con hule y aceite de silicón para generar materiales inteligentes, blandos, con alta estabilidad contra la sedimentación. Este tipo de materiales son conocidos como electroreológicos (ER) debido a que experimentan cambios reversibles en sus propiedades mecánicas cuando son sometidos a un campo eléctrico [22-23].

Los materiales ER han sido estudiados en las últimas tres décadas y tienen diversas aplicaciones como es en la industria de los amortiguadores, embragues, válvulas hidráulicas, vibradores de alta potencia, mandriles y transductores de par [24-25].

En estos estudios se ha utilizado la papa como fuente de almidón y (polidimetilsiloxano) como aceite de silicón. Hasta el momento no se ha utilizado almidón de plátano en este tipo de modificaciones ni se ha utilizado un medio básico para facilitar la interacción electrostática entre el almidón y el aceite de silicón.



Se sabe que el plátano posee mayor contenido de amilosa que la papa (34.5% vs 21%) u otras fuentes convencionales. Además, se sabe que la amilosa favorece la modificación química (y) o física del almidón.

A nivel mundial se cosechan anualmente 117.9 millones de toneladas de plátano y este fruto se encuentra disponible durante todas las estaciones del año.

En este trabajo se llevó a cabo la síntesis del composito almidón de plátano macho con aceite de silicón para generar materiales sensibles al calor, alterando reversiblemente sus propiedades mecánicas y térmicas. El aceite de silicón que se utilizó presentó una viscosidad de 1000 cSt, con un peso molecular de 28,000 con un punto de congelación de  $-47\text{ }^{\circ}\text{C}$ , es soluble en solventes orgánicos y puede soportar hasta una temperatura de  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$  sin degradarse.

## 4.-ANTECEDENTES

### 4.1.- Materiales electroreológicos.

En la actualidad, se han desarrollado en investigaciones basadas en la modificación del almidón con la finalidad de mejorar la funcionalidad del almidón a través de métodos físicos. Un ejemplo es, la combinación de almidón para generar materiales inteligentes, blandos conocidos como electroreológicos.

*Ding Changlin et al. 2010*, modificaron almidón de papa mediante la mezcla con aceite de silicón con el objetivo de obtener dos tipos de elastómeros híbridos eléctricos para evaluar y comparar sus propiedades mecánicas [26].

*Negita Keishi et al. 1999*, prepararon suspensiones de almidón de papa en aceite de silicón a diferentes concentraciones con la finalidad de medir y comparar sus propiedades reológicas principalmente enfocándose al efecto electroreológico de estas en relación a sus concentraciones. Encontrando que la viscosidad se incrementa rápidamente cuando el campo eléctrico aplicado es pequeño presentando un efecto de memoria, es decir, regresando a sus condiciones iniciales [27].

## 5.-PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los últimos años la contaminación ambiental generada por materiales elaborados a base de polímeros sintéticos, causada por su disposición final al terminar su vida útil ha afectado la calidad de vida de los seres vivos debido a su persistencia en el medio ambiente por periodos largos de tiempo.

Por lo que, es necesario generar nuevas alternativas para producir materiales más amigables para el medio ambiente. Estas investigaciones se deben principalmente a la búsqueda para sintetizar biomateriales que puedan competir con los plásticos convencionales para disminuir la contaminación ambiental por el uso excesivo de plásticos que no son biodegradables (alrededor de 700 millones de toneladas de residuos plásticos a nivel mundial) [28-29].

El almidón modificado es una de estas alternativas porque se sabe que los materiales creados a partir de almidón puro presentan dos desventajas principales: una rigidez excesiva y una afinidad por el agua.

En los últimos años se han llevado a cabo muchas investigaciones sobre la modificación química o física del almidón para generar nuevos materiales biodegradables con posibles aplicaciones a nivel industrial, por ejemplo, en el área de alimentos y en el área de los plásticos, por mencionar algunas [20-23].



Una de estas investigaciones estudiadas ha sido la combinación del almidón con hule y silicón para generar materiales inteligentes, blandos con alta estabilidad contra la sedimentación. Este tipo de materiales son conocidos como electrorreológicos (ER) debido a que experimentan cambios reversibles en sus propiedades mecánicas cuando son sometidos a un campo eléctrico [1,2].

Los materiales ER han sido estudiados en las últimas tres décadas y su aplicación tales como amortiguadores, embragues, válvulas hidráulicas y transductores de torque [17-19]. En estos estudios se ha utilizado la papa como fuente de almidón y poli(dimetilsiloxano). Hasta el momento no se ha utilizado almidón de plátano en este tipo de modificaciones ni se ha utilizado un medio básico para facilitar la interacción electrostática entre el almidón y el aceite de silicón. El plátano posee mayor contenido de amilosa que la papa (34.5% vs 21%) u otras fuentes convencionales. Además, se sabe que la amilosa favorece la modificación química (y) o física del almidón.

El presente trabajo se enfoca en la síntesis del composito almidón de plátano macho/silicón, como una posible alternativa ante el uso indiscriminado de los plásticos convencionales.

## 6.-JUSTIFICACIÓN

Debido a la problemática ambiental que genera el uso de productos no amigables con el ambiente provenientes del petróleo (recurso no renovable y que se está agotando) como son los polímeros sintéticos, que ha provocado un peligro para el resto de los seres vivos cuando estos son desechados al ambiente ya que son productos muy poco biodegradables causando un problema de contaminación ambiental, que además es acentuado por un alto nivel de producción de estos en la industria del plástico, principalmente la de empaques. En el presente trabajo se busca la elaboración de un material compuesto a partir de almidón proveniente de plátano macho y aceite de silicón como uso alternativo ante los plásticos convencionales.

Hasta el momento no hay información reportada en la literatura sobre películas elaboradas con almidón de plátano macho/silicón.

## 7.-HIPÓTESIS

A partir de la síntesis del composito almidón plátano macho/aceite de silicón en presencia de KOH, se obtendrá un material capaz de formar películas que posean características diferentes a las de los materiales de partida.

## 8.-OBJETIVOS

### 8.1.-Objetivo general

Llevar a cabo la obtención de un compuesto de almidón de plátano macho mediante la mezcla física con aceite de silicón en presencia de KOH, para posteriormente evaluar las propiedades térmicas, mecánicas y la conductividad eléctrica del compuesto por medio de la caracterización química.

### 8.2.-Objetivos particulares

1. Encontrar las condiciones óptimas tales como proporciones en masa (concentración), temperatura y tiempo para llevar a cabo la síntesis del compuesto almidón/silicón.
2. Caracterizar el compuesto almidón/silicón utilizando técnicas instrumentales como espectroscopía Infrarroja con reflectancia total atenuada (FTIR-ATR), resonancia magnética nuclear (RMN), análisis termogravimétrico (TGA), calorimetría diferencial de barrido (CDB), espectroscopía Raman, microscopía electrónica de barrido (MEB), difracción de rayos X (DRX) y perfil de pasting.
3. Elaborar las películas a partir del compuesto almidón plátano macho/silicón y almidón nativo y realizar su caracterización morfológica, estructural y térmica.
4. Evaluar las propiedades mecánicas y conductividad eléctrica de las películas de almidón /compuesto.

## 9.-METODOLOGÍA

### 9.1 Materiales

La extracción del almidón de plátano macho fue llevada a cabo previamente a este trabajo en la Universidad del Papaloapan campus Tuxtepec, siguiendo la metodología reportada en la literatura [30-31]. Cabe mencionar que el plátano macho fue proporcionado por la Agroindustria “Mundo Nuevo” ubicada en Tuxtepec, Oaxaca, México.

Se encontró que este fruto contiene un  $91.59\% \pm 0.67$  de almidón, de los cuales el  $38.0\% \pm 0.39$  es de amilosa. Este alto contenido de amilosa facilitó la modificación física del almidón con el aceite de silicón mediante la interacción de los grupos hidroxilos presentes en ambas estructuras.

### 9.2.-Síntesis del composito almidón de plátano macho/silicón utilizando un diseño experimental (método I)

Para determinar las condiciones de síntesis y combinación de las variables en el proceso de modificación, se estableció un diseño experimental, con el objetivo de poder definir las condiciones óptimas para el proceso de modificación propuesto, utilizando el software DEXING-Expert 7.0.0.

En el diseño experimental se tomaron en cuenta tres variables: la **temperatura**, la cual se fijó en el rango de  $130\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ , la segunda variable fue la **concentración**

del aceite de silicón, la cual se tomó en un intervalo de 0.5g – 1.5g y, por último, tercera variable fue el **tiempo** de mezclado, el cual abarcó un intervalo de 0h – 24h.

El programa DEXING-Expert 7.0.0, arrojó un diseño experimental que se presenta en la **Tabla 2**.

**Tabla 2.** Diseño experimental para la obtención del composito almidón de plátano macho/aceite de silicón.

No. Experimento	Aceite (g)	Tiempo (h)	Temperatura (°C)
1	1	14	140
2	1.5	14	130
3	1	24	150
4	1	14	140
5	0.5	24	140
6	0.5	14	150
7	1	4	150
8	1.5	14	150
9	0.5	4	140
10	0.5	24	130
11	1	14	140
12	1	24	130
13	1.5	24	140
14	1	4	130
15	1.5	4	140

El número total de experimentos que se realizaron fue de 15 experimentos de acuerdo a los datos obtenidos del software Dexing-Expert 7.0.0.

### 9.3.-Síntesis del composito almidón/silicón utilizando un método sencillo (método II)

La modificación física del almidón de plátano macho se realizó de la siguiente manera: en viales de vidrio se agregó 1g de almidón de plátano macho, 0.05g de KOH y 0.05g a 1.5g de aceite de silicón. Posteriormente, el vial se colocó en un baño de aceite con agitación constante variando la temperatura de mezclado de 130°C a 150°C, tal como se presenta en la **Tabla 3**.

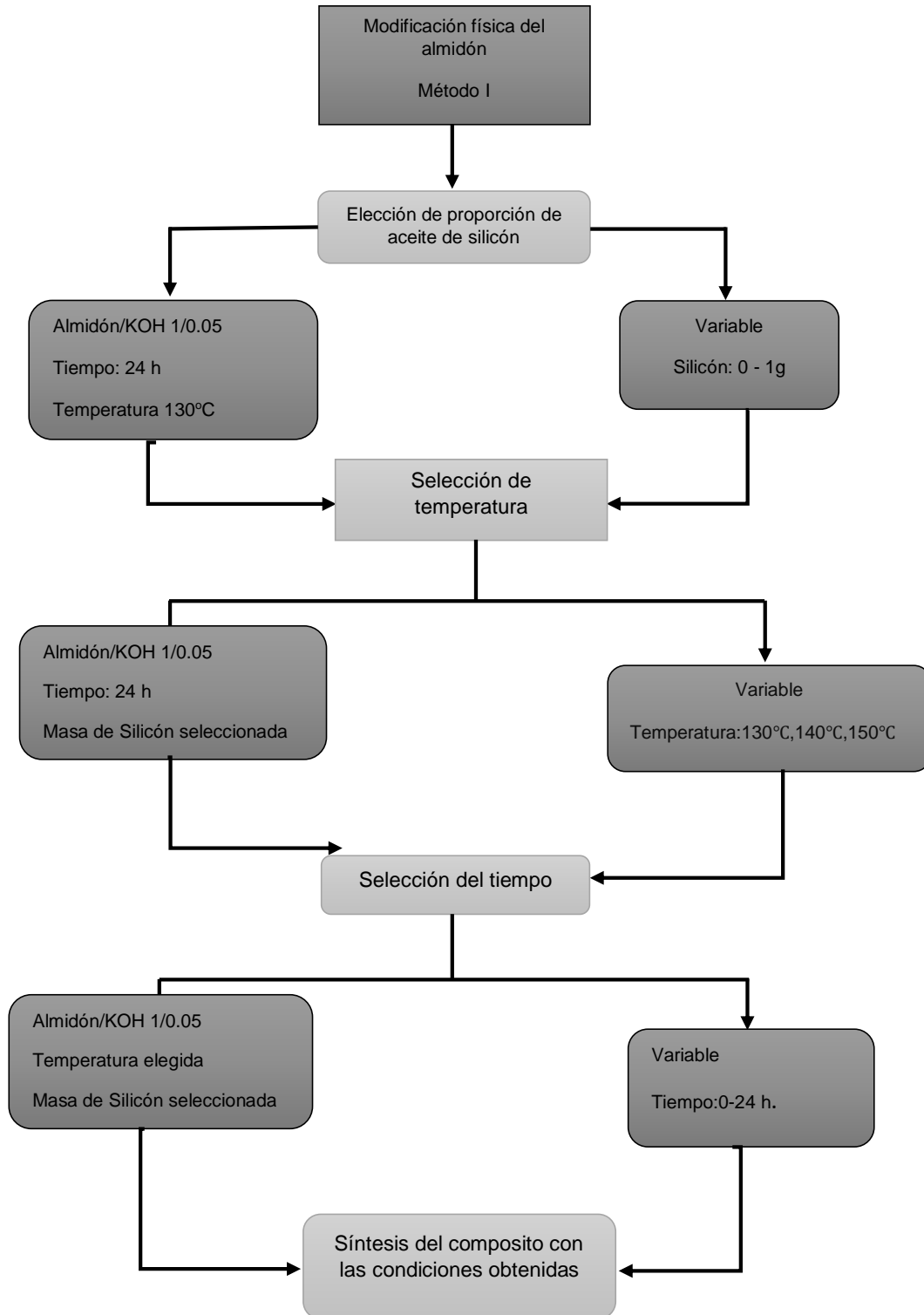
**Tabla 3.** Proporciones en masa de aceite de silicón/almidón de plátano macho, así como las temperaturas que se utilizaron para determinar las condiciones de síntesis del composito.

Exp.	Temperatura (°C)	Almidón (g)	Aceite (g)				Tiempo (h)
			0.5	0.75	1	1.5	
1	130	1	0.5	0.75	1	1.5	24
2	140	1	0.5	0.75	1	1.5	24
3	150	1	0.5	0.75	1	1.5	24

El producto obtenido se lavó con agua destilada y se secó en un horno a una temperatura de 37 °C durante un tiempo de 24 h. Para la elección de proporción en masa de aceite, así como el tiempo y la temperatura de síntesis del composito, se obtuvo el rendimiento a partir de la relación % masa/masa.



En el **Esquema 1** se presenta el proceso de síntesis del composito almidón/aceite de silicón por el método I. El producto seco se evaluó por diferentes técnicas instrumentales tales como espectroscopía de Infrarrojo con transformada de Fourier y reflectancia total atenuada (FTIR-ATR), esta técnica ayudó a identificar los grupos funcionales presentes en el composito; Resonancia magnética nuclear de Silicio (RMN  $^{29}\text{Si}$ ), permitió identificar si hubo una reacción química o mezcla; calorimetría diferencial de barrido (CDB), permitió identificar presencia de cambios de fase; difracción de rayos X (DR-X), permitió analizar la cristalinidad del almidón; espectroscopía Raman, permitió identificar grupos funcionales; análisis por pasting, permitió estudiar la reología del composito; análisis termogravimétrico (TGA), permitió determinar temperaturas de degradación, estos análisis permitieron caracterizar el composito almidón/aceite de silicón.

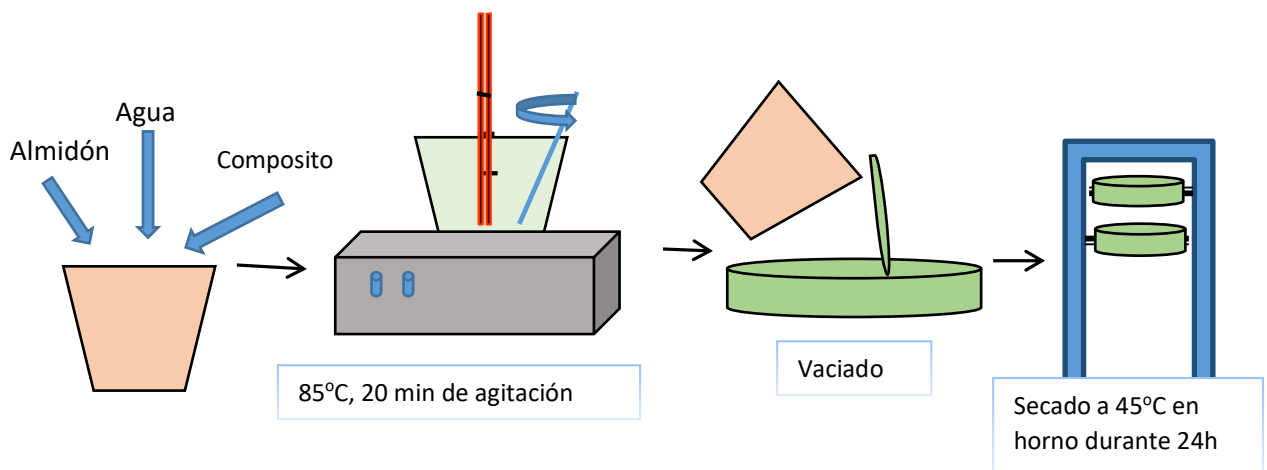


**Esquema 1.** Proceso de síntesis del composito almidón de plátano macho/aceite de silicón utilizando el método I.

#### 9.4.-Elaboración de películas a partir del compuesto/almidón de plátano macho

A partir del producto sintetizado se elaboraron películas de almidón de plátano macho con el compuesto almidón de plátano macho/aceite de silicón, utilizando el método casting. Este método consistió en realizar una mezcla de almidón/composito en 95 mL de agua, agregando un 1.8g de glicerol como aditivo para facilitar la formación de las películas, esta mezcla se llevó a una temperatura de 85 °C con agitación constante durante un tiempo de 20 minutos, posteriormente la mezcla se vació en una charola, la cual se colocó en un horno a una temperatura de 45 °C durante 24 h para su secado.

En el **Esquema 2** se ilustra de manera general el método casting para la formación de las películas. Además, se utilizó glicerol como aditivo para facilitar la formación de las películas.



**Esquema 2.** Elaboración de las películas por el método casting.

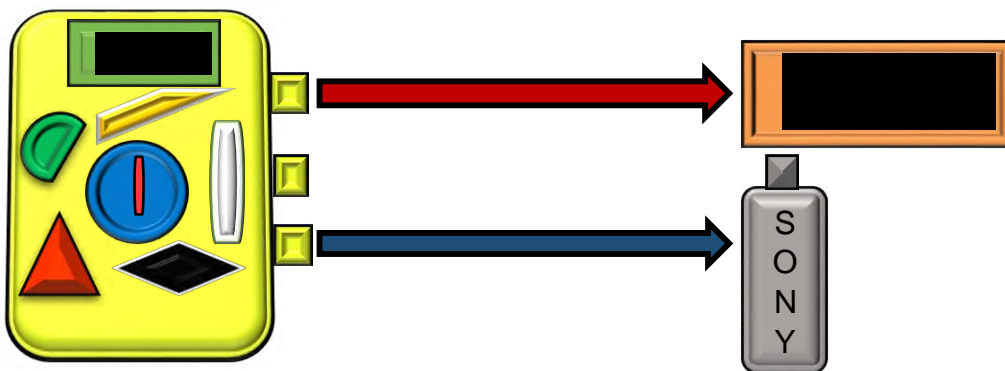
En la **Tabla 4** se indican las formulaciones que se utilizaron para realizar las películas por el método casting. Las películas se realizaron por duplicado para su caracterización.

**Tabla 4.** Formulación de las películas de almidón y almidón/composito.

Película (Pel.)*	Almidón (%)	Composito (%)
1	100	-
2	60	40
3	80	20
4	86	14
5	90	10
6	95	5

### 9.5.-Conductividad eléctrica de las películas

La corriente eléctrica de las películas se determinó mediante un multímetro digital marca Bork y una pila de 1.49V marca SONY, de acuerdo al **Esquema 3**.



**Esquema 3.** Determinación de la corriente eléctrica de las películas.



## 9.6.-Propiedades mecánicas de las películas

Las pruebas mecánicas incluyeron la determinación de la resistencia a la tracción, el porcentaje de alargamiento en la rotura y el módulo elástico utilizando un analizador de textura TAXT-Plus (Stable Micro Systems, Surrey, Reino Unido), equipado con el software Exponent lite (versión 4.0), operado de acuerdo con el método estándar ASTM D 882-95a [32].

## 10.-RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 10.1.-Síntesis del composito almidón de plátano macho/aceite de silicón utilizando un diseño experimental (método I)

Se determinó el rendimiento del nanocomposito después del proceso de síntesis y se evaluó el efecto de la concentración de aceite, tiempo y temperatura de reacción, como se muestra en la **Tabla 5**.

**Tabla 5.** Matriz del diseño experimental con valores sin codificar y su respuesta (rendimiento %) en el proceso de síntesis.

Experimento No.	Aceite (g)	Tiempo (h)	Temperatura (°C)	Rendimiento (%)
1	1.00	14	140	36.41
2	1.50	14	130	38.34
3	1.00	24	150	61.12
4	1.00	14	140	19.21
5	0.50	24	140	40.75
6	0.50	14	150	74.24
7	1.00	4	150	42.12
8	1.50	14	150	44.77
9	0.50	4	140	59.17
10	0.50	14	130	45.13
11	1.00	14	140	36.15
12	1.00	24	130	42.44
13	1.50	24	140	55.35
14	1.00	4	130	43.93
15	1.50	4	140	28.70

Como puede apreciarse, el rendimiento aumenta sustancialmente a medida que incrementa el tiempo de reacción (4h -24h).

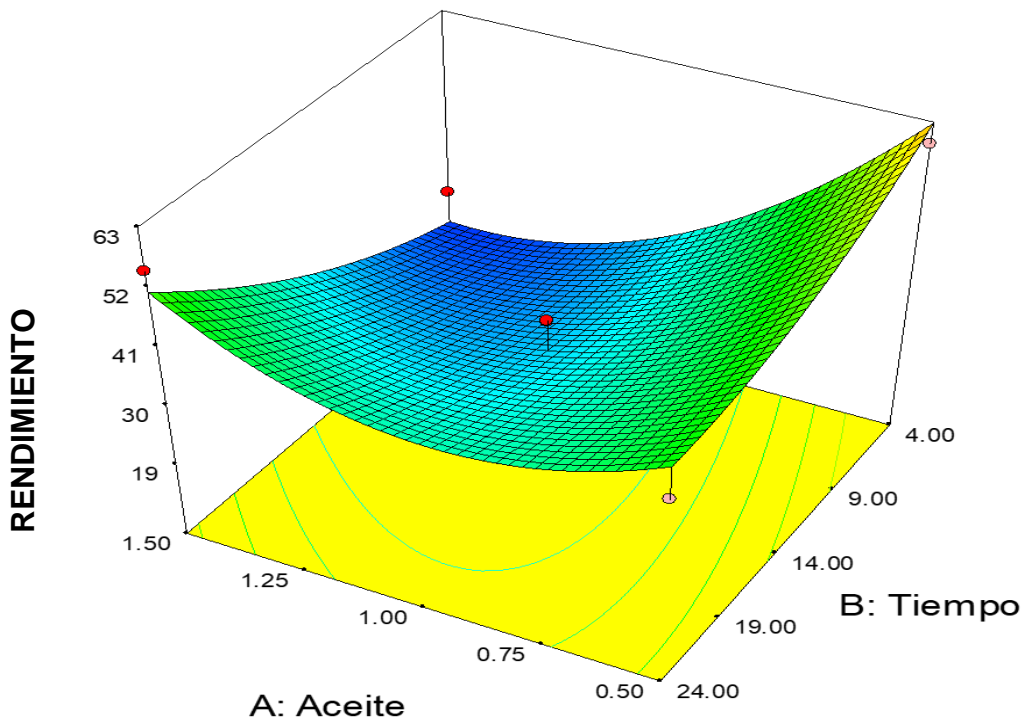
Los rendimientos más altos se obtuvieron en el experimento tres con un rendimiento del 61.12%, así como en el experimento 6 se obtuvo un rendimiento del 74.24%, ambos experimentos presentan una temperatura de 150 °C, sin embargo, entre

estos dos porcentajes (el rendimiento más bajo y el rendimiento más alto) existe una diferencia de casi el doble de tiempo, dado que el rendimiento más bajo (61.2%) tiene una relación de proporción de aceite del doble con respecto a la proporción de aceite del rendimiento más alto (experimento 3 y experimento 6). Se puede observar que existe una relación directa entre el porcentaje de aceite de silicón utilizado y el tiempo de reacción, es decir, aumenta proporcionalmente cuando la temperatura es de 150 °C (experimento 3 y experimento 6). Esto quiere decir, que se favorece más la interacción física entre el almidón y el silicón, cuando se utiliza más calor en la síntesis.

Por otro lado, el experimento 4, presenta el rendimiento más bajo en relación a los 14 experimentos restantes con un porcentaje de un 19.21 %, con un tiempo de reacción de 14 h a una temperatura de 140 °C con una proporción de aceite de silicón equivalente a 1g. En los experimentos 13 y 15 al aumentar el tiempo de reacción manteniendo la temperatura y la masa constantes aumenta el rendimiento, lo que indica que tanto el aumento de temperatura como el de tiempo favorecen la obtención de un mayor rendimiento debido a que alcanza la energía requerida para su interacción.

Las variables fueron evaluadas, de acuerdo con las siguientes relaciones: (AB) aceite/tiempo, (AC) aceite/temperatura, (BC) tiempo/temperatura, los resultados obtenidos establecieron que las condiciones adecuadas para un mayor rendimiento en la síntesis del composito almidón de plátano macho/aceite de silicón a una

temperatura de 150°C en un tiempo de 14 h y una concentración de aceite de silicón de 0.5g y se muestran a continuación en la **Figura 9**.

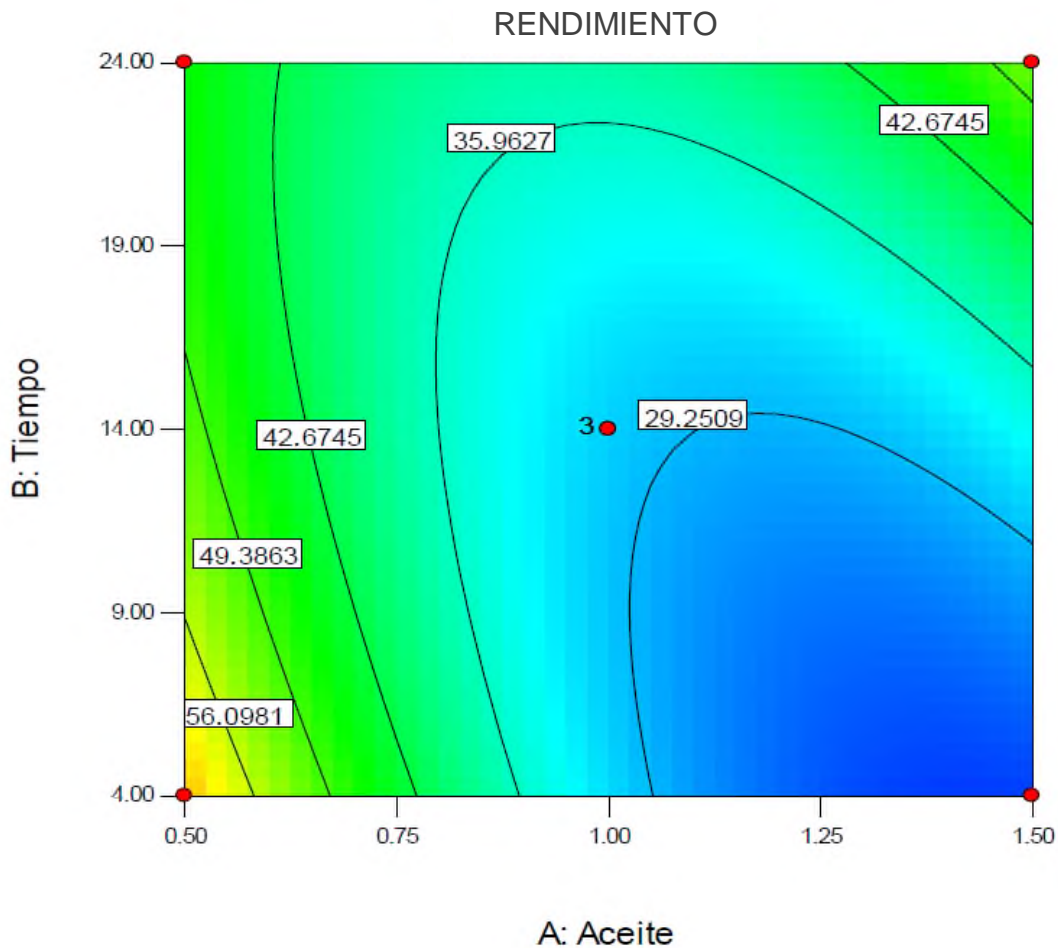


**Figura 9.** Gráfica de superficie de respuesta obtenida a partir de las variables de concentración de aceite y tiempo.

La gráfica de superficie respuesta generada a partir de los experimentos donde el rendimiento de reacción (Y), depende simultáneamente de dos variables: proporción de aceite de silicón y tiempo. Esta gráfica permitió obtener a partir de las variables consideradas manteniendo la temperatura constante: que el máximo

rendimiento de reacción se obtiene cuando el tiempo de reacción es equivalente a 14h.

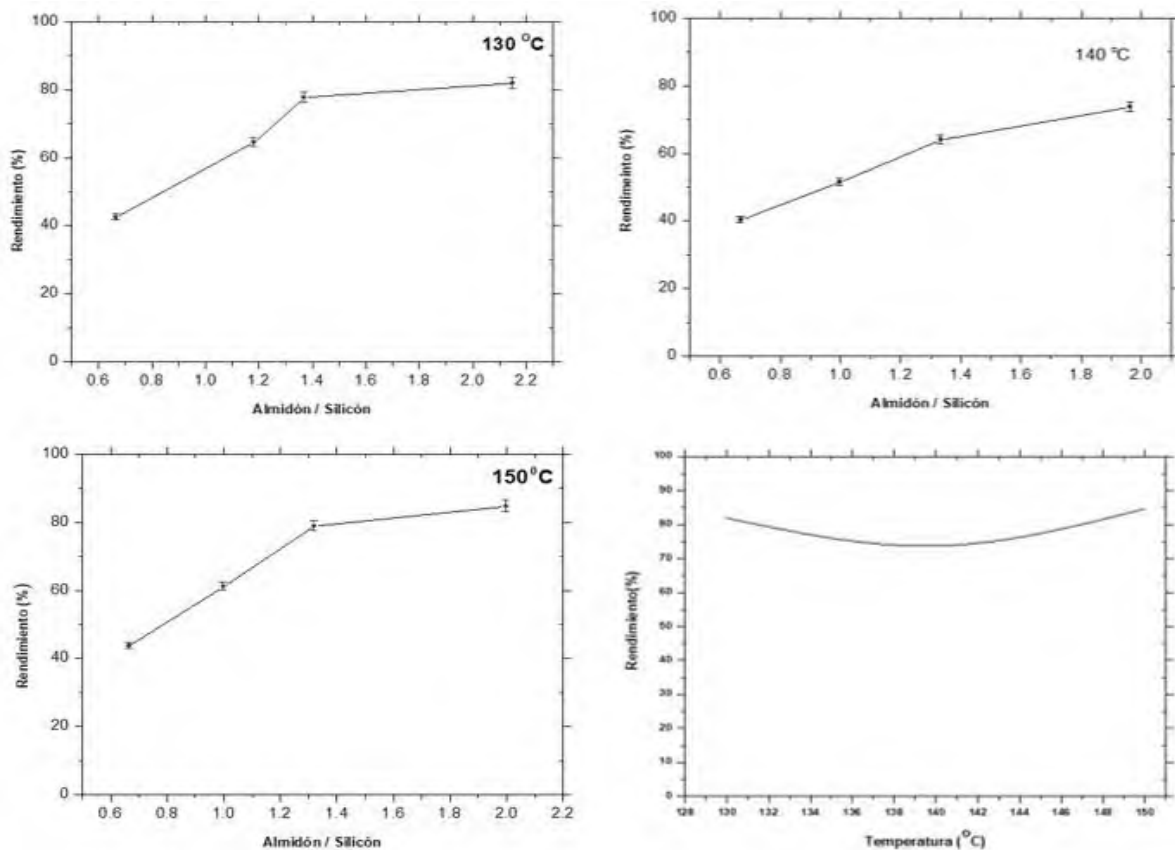
Así mismo, en la **Figura 10** se presentan las curvas del contorno de la superficie de respuesta, las cuales permiten conocer la ubicación del valor óptimo que produce la superficie de respuesta para el rendimiento de reacción, en función de las variables, donde se confirma que el valor de mayor rendimiento es del 74.24%.



**Figura 10.** Gráfica de contornos del efecto de la concentración de aceite y tiempo de reacción sobre el rendimiento

## 10.2.-Determinación de la temperatura y la relación adecuada almidón de plátano macho/aceite de silicón (método II)

Se llevó a cabo la síntesis del composito almidón de plátano macho/ aceite de silicón y se determinaron las condiciones adecuadas de temperatura y la relación en masa de almidón de plátano macho/aceite de silicón. En la **Figura 11** se presenta el comportamiento del rendimiento frente la relación almidón de plátano macho/aceite de silicón, así como también el efecto de la temperatura en relación al rendimiento de la síntesis.

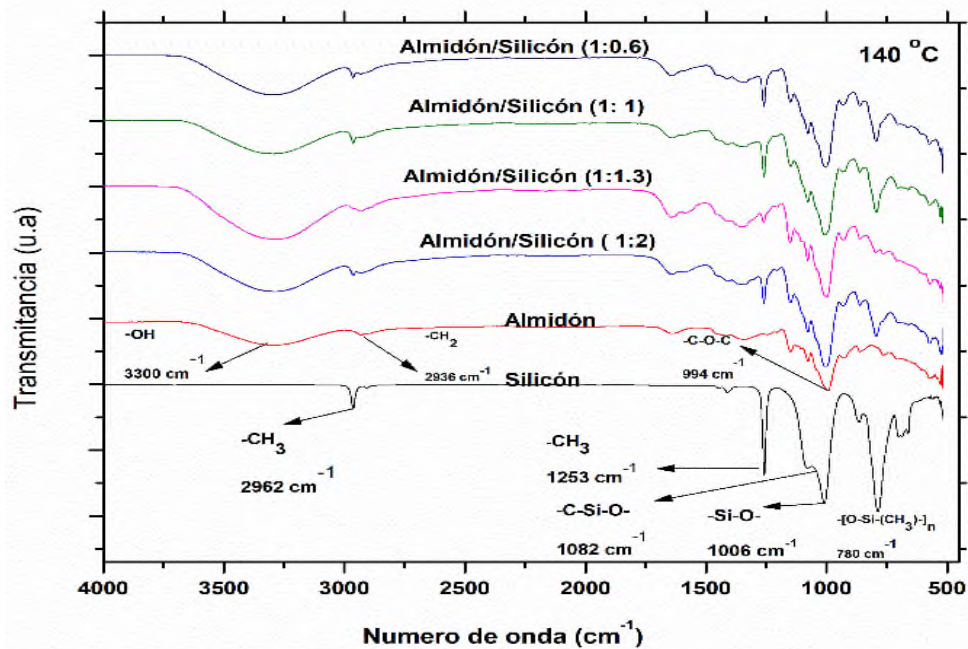


**Figura 11.** Comportamiento del rendimiento frente la relación almidón plátano macho/aceite de silicón. a) 1g de almidón/0.5g de aceite a una temperatura de 130 °C, b) 1g de almidón/0.5g de aceite a una temperatura de 140 °C, c) 1g de almidón/0.5g de aceite a una temperatura de 150 °C, d) Muestra el rendimiento mínimo de la reacción con respecto a la temperatura.

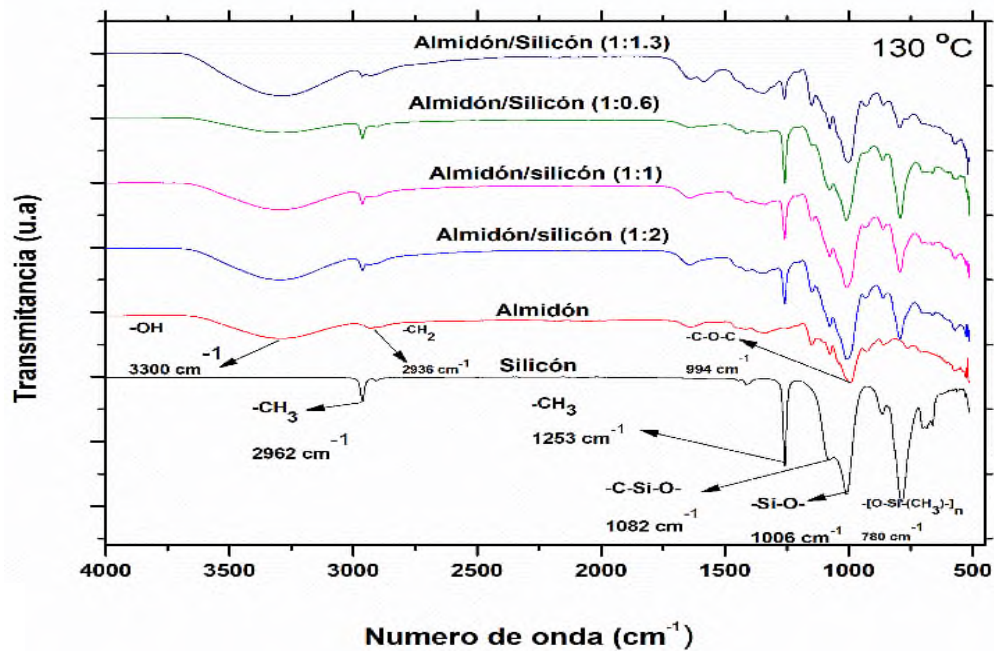
En las **Figuras 11a, 11b y 11c**, se observa una tendencia similar en el comportamiento del rendimiento cuando aumenta la relación en masa almidón plátano macho/aceite de silicón, todas las figuras presentan rendimiento mayor al 40 % para la relación mínima de almidón plátano macho/aceite de silicón (1g/1.5g), sin embargo, el máximo rendimiento alcanzado fue para la temperatura de 150 °C con un valor de 84.63 % a una relación en masa de almidón plátano macho/aceite de silicón (1g/0.5g) respectivamente, mientras que a las temperaturas de 130 °C y 140 °C se alcanzaron los rendimientos de 81.88 % y 80.56 % respectivamente, para la misma relación en masa, esto se puede apreciar en la **Figura 11d**. Aunque la diferencia del rendimiento entre estas tres temperaturas no es grande, se eligió la temperatura de 150 °C debido a que esta presentó el mayor rendimiento.

### **10.3.-Análisis por espectroscopía Infrarroja (IR)**

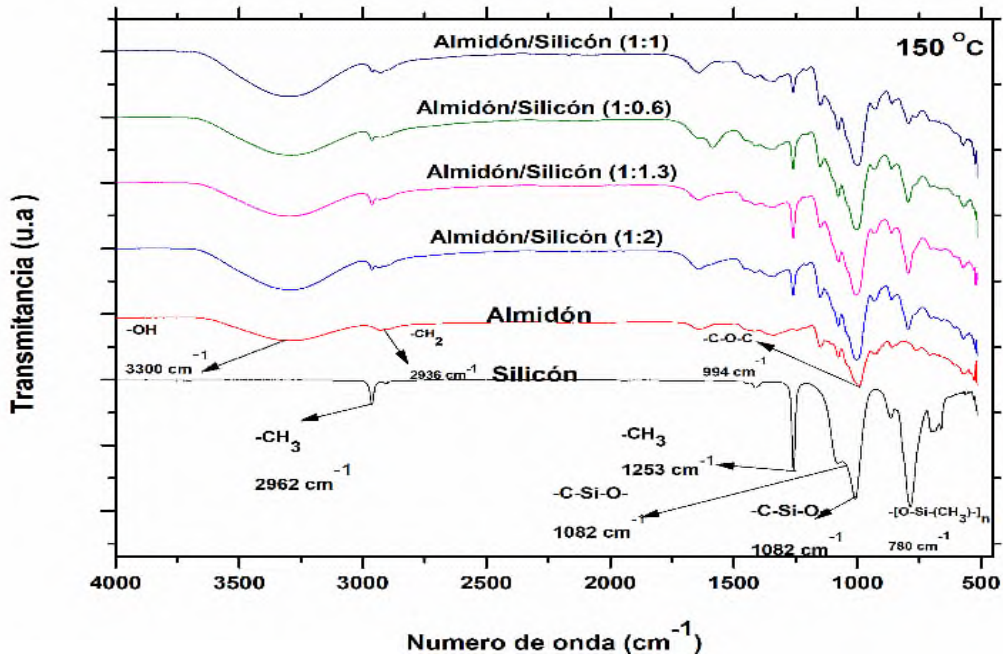
Los resultados obtenidos del rendimiento en relación al % masa/masa fueron analizados por espectroscopía Infrarroja, en la **Figura 12** se presentan los espectros del almidón nativo, silicón y del compuesto. El almidón presenta las señales de vibración a 3300  $\text{cm}^{-1}$  correspondiente a las vibraciones características de los grupos hidroxilo (OH), en 2930  $\text{cm}^{-1}$  representa las señales del grupo metileno ( $\text{CH}_2$ ), presenta señales en 994  $\text{cm}^{-1}$  señales correspondientes al enlace  $-\text{C}-\text{O}$ , respectivamente, tal como se ha reportado en la literatura.



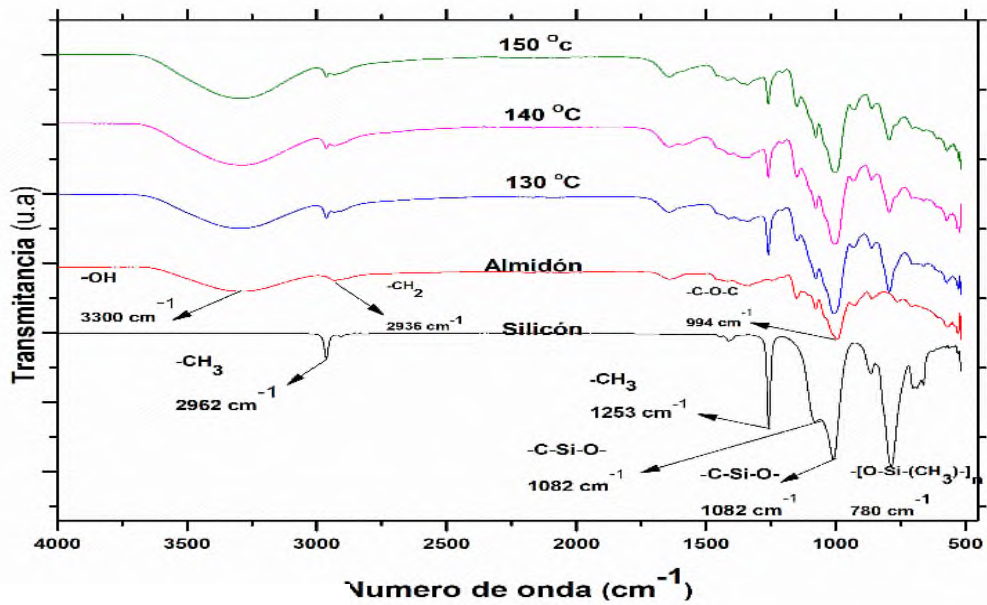
a)



b)



c)



d)

**Figura 12.** Espectros de FTIR del almidón de plátano y del compuesto almidón de plátano macho/aceite de silicón (a, b, c) y temperatura (c).

El espectro del silicón presenta las principales señales a  $2965\text{ cm}^{-1}$  que corresponden a las vibraciones de tensión del grupo metilo, las señales a  $1080\text{ cm}^{-1}$  que representan señales de alargamiento y  $1000\text{ cm}^{-1}$  señales de tensión correspondientes al enlace  $\text{-C-Si-O-}$  finalmente las señales a  $780\text{ cm}^{-1}$  corresponden a la señal de vibración del almidón nativo y del silicón que se presentan para todas las temperaturas.

En los espectros del composito obtenidos a diferentes relaciones en masa de almidón plátano macho/aceite de silicón y temperaturas de síntesis se encuentran las señales tanto del almidón como la del silicón. Además, se observa que conforme aumenta la concentración de silicón (**Figura 12 a-c**) la señal a  $3300\text{ cm}^{-1}$  va disminuyendo y la señal a  $1577\text{ cm}^{-1}$  que corresponden al  $\text{O-CH}_3$  va aumentando, de igual forma la señal de  $780\text{ cm}^{-1}$  y  $1000\text{ cm}^{-1}$  del enlace C-Si. Por lo tanto, la relación en masa de almidón de plátano macho/aceite de silicón con mayores intensidades en el espectro de Infrarrojo fue la de 1g/0.5g.

El efecto de la temperatura tiene una tendencia similar, es decir, conforme aumenta la temperatura la intensidad de estas señales aumenta como se observa en la **Figura 12d**. Por ejemplo, la señal que corresponde a los grupos hidroxilos en  $3300\text{ cm}^{-1}$  la intensidad de estas señales aumenta como se observa en el espectro su intensidad es mayor a la temperatura de síntesis de  $150^\circ\text{C}$  en comparación con las otras dos temperaturas.

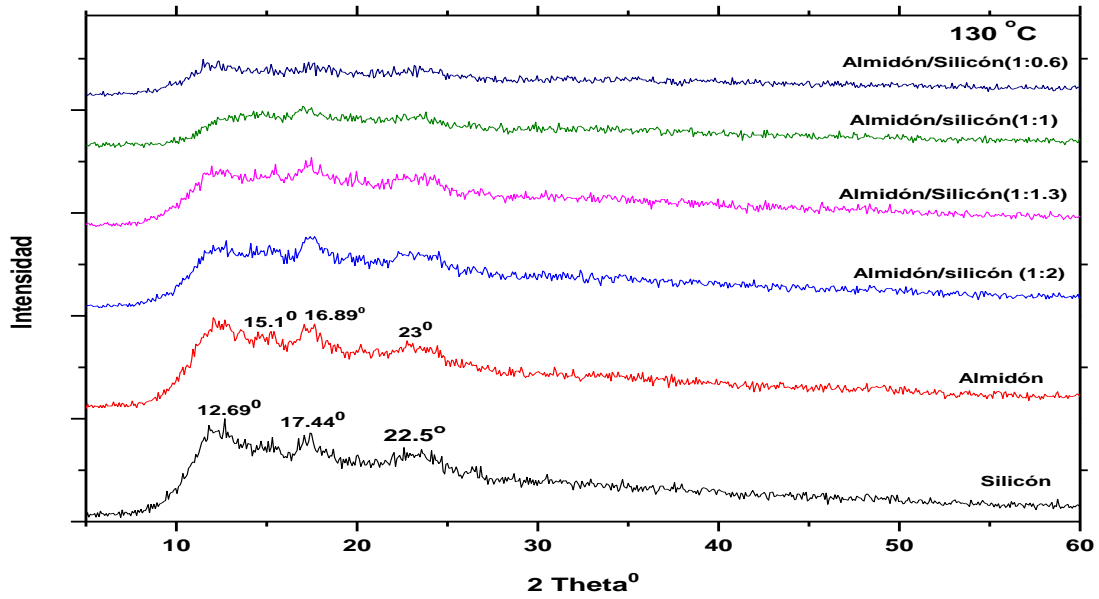
Por lo tanto, a partir de estos resultados se eligió una temperatura de 150 °C y una relación en masa de almidón plátano macho/aceite de silicón de 1g/0.5g para la síntesis del composito almidón plátano macho/aceite de silicón para obtener un rendimiento del 84.63%.

Comprobando los dos métodos (I y II) para sintetizar el composito almidón plátano macho/aceite de silicón, ambos métodos coinciden en que el mayor rendimiento se alcanza cuando se utiliza una temperatura de 150 °C, una proporción en masa de almidón de plátano macho/aceite de silicón de 1g/0.5g, sin embargo, el método I predice que este se obtiene a un tiempo de 14 h mientras que el segundo método determina que este rendimiento se obtiene a un tiempo de 24 h. Además, hay una diferencia de aproximadamente el 10 % entre ambos porcentajes de rendimiento, siendo mayor el obtenido a 24 h (74.24 % vs 84.63 %). Tomando en cuenta el tiempo de la mezcla y el gasto eléctrico (uso de la parrilla de calentamiento) se decidió que el tiempo de mezclado fuera de 14 h.

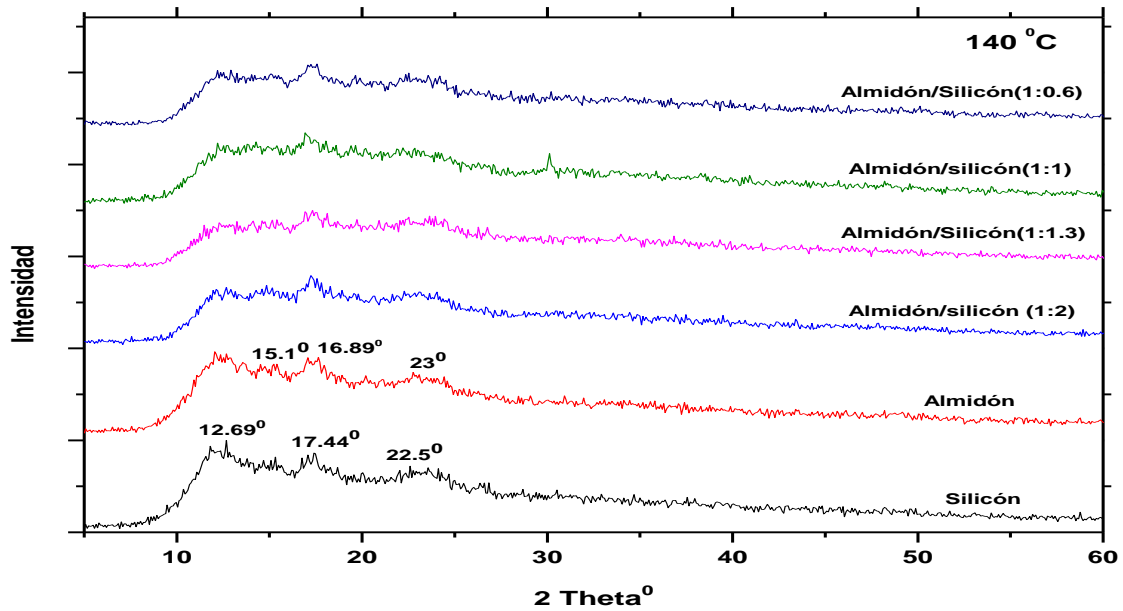
#### **10.4.-Análisis por Difracción de Rayos X (DR-X)**

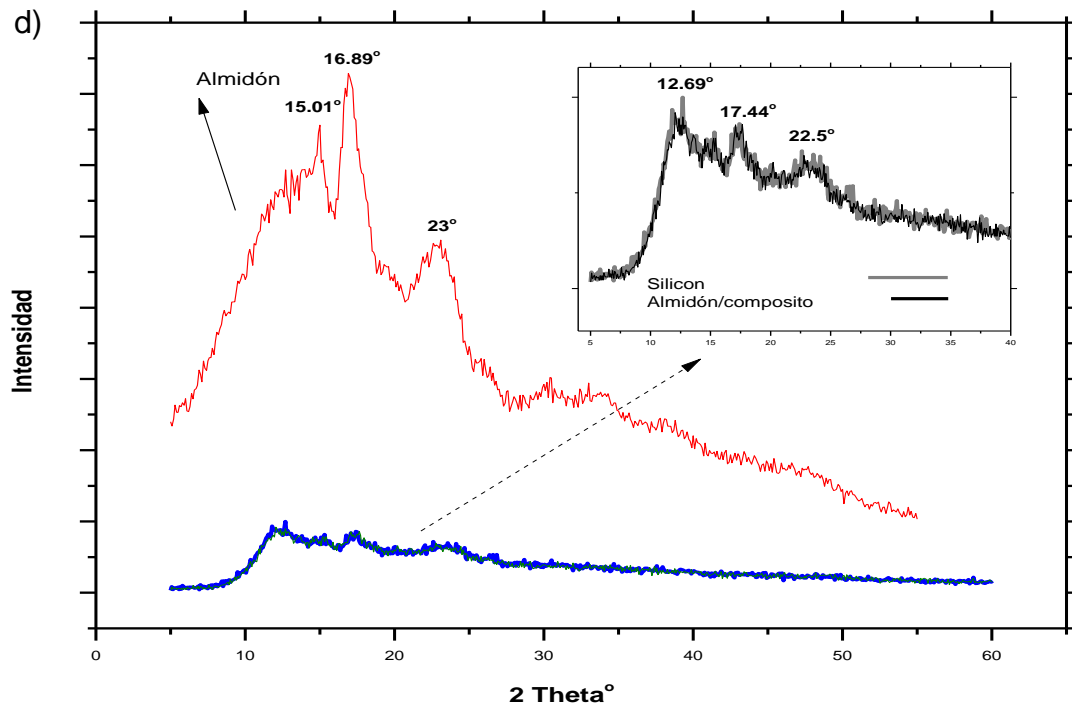
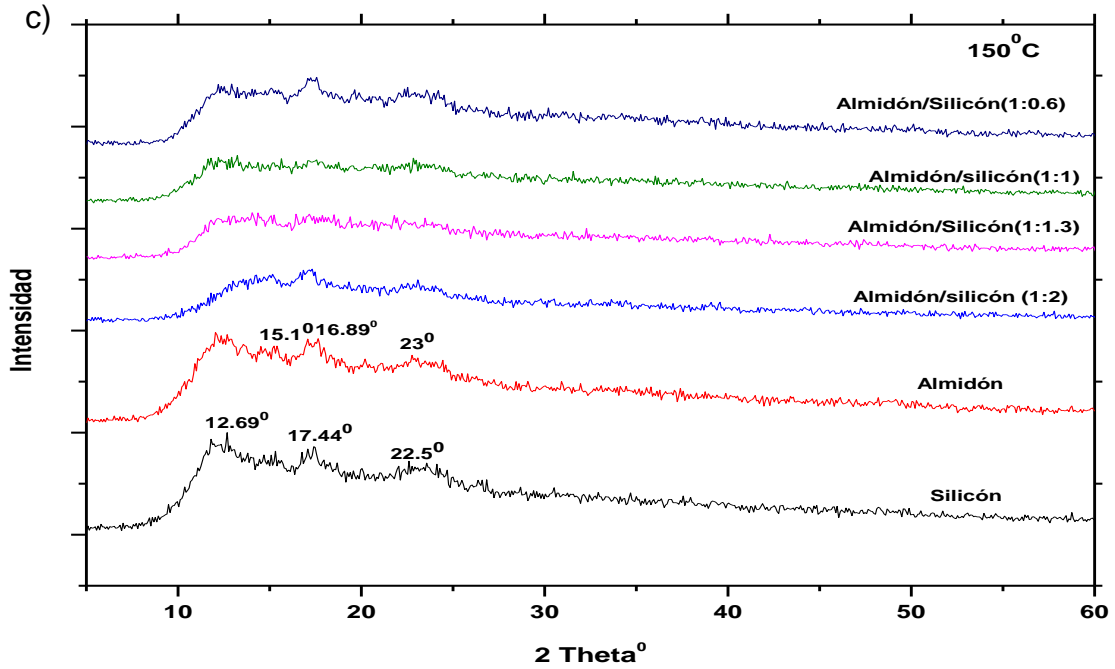
En el difractograma de la **Figura 13** se observan los picos característicos del almidón  $2\theta=15.01^\circ$ ,  $16.89^\circ$  y  $23.0^\circ$  y del aceite de silicón  $2\theta=12.69^\circ$ ,  $17.44^\circ$  y  $22.50^\circ$ , estos valores están de acuerdo con los valores reportados en otras investigaciones [3, 4, 12].

a)



b)





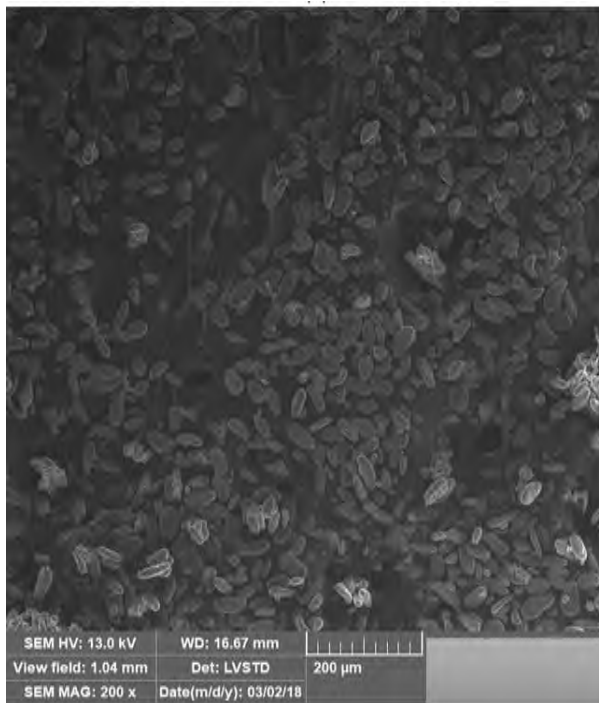
**Figura 13.** Difractograma del almidón y del compuesto almidón de plátano macho/aceite de silicón a diferentes temperaturas (a, b, c) y en las condiciones determinadas (d).

En el composito almidón de plátano macho/aceite de silicón en cada una de las temperaturas evaluadas aparentemente no se presentan los picos del almidón, solamente se observan los picos característicos del aceite de silicón, lo cual quiere decir que probablemente toda la superficie del gránulo del almidón quedó cubierta por silicón, el cual es el que experimenta y difracta la energía de los rayos X. Al aumentar la relación en masa del almidón/aceite de silicón manteniendo constante la temperatura se observa en la **Figura 13** una disminución en la intensidad de los picos del aceite de silicón. Esto significa que en cualquiera de las relaciones utilizadas se generó un material amorfo y se acentúa cuando aumenta la relación en masa de almidón/aceite de silicón. Estos resultados concuerdan con el análisis de SEM e indica que probablemente la cristalinidad presente en el gránulo de almidón permanece intacta durante la síntesis del composito, debido a que el aceite envolvió su superficie, además de proteger a este del calor utilizado.

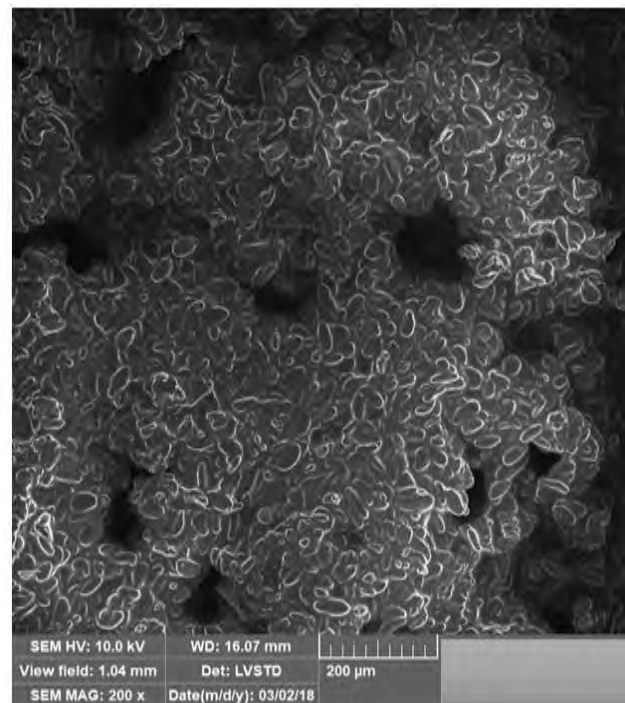
### **10.5.-Análisis por Microscopía Electrónica de Barrido (SEM)**

La morfología de los gránulos de almidón de plátano presentados en las micrografías de la **Figura 14**, representan el antes y el después de los gránulos al interactuar físicamente con el aceite de silicón. Los gránulos de almidón de plátano macho presentan típicamente una morfología elíptica como se observa en la **Figura 14a** con un tamaño de 5-50 micras, estos resultados son similares a los reportados en la literatura por otros investigadores [5-6].

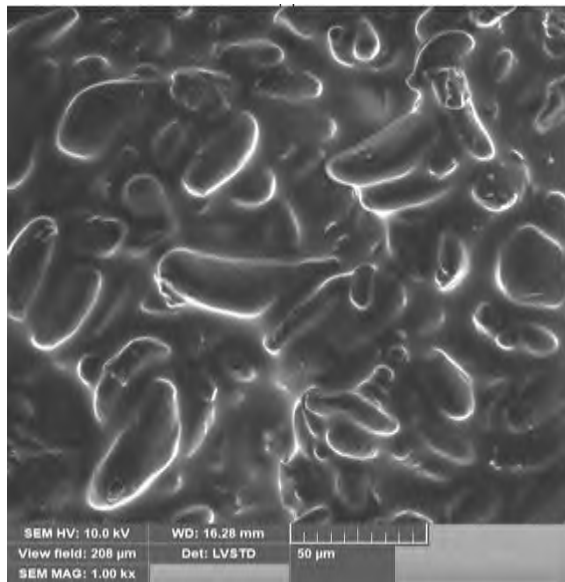
En la micrografía del composito almidón de plátano macho/aceite de silicón que aparece en la **Figura 14b** se observa que todos los gránulos de almidón quedaron adheridos unos con otros e inmersos en la matriz del polímero de silicio. En la micrografía no se observan daños en la morfología de los gránulos de almidón en el composito como se observa en la **Figura 14c**. El aceite de silicón cubre la superficie de los gránulos y forma apilamientos de estos como se aprecia en la **Figura 14d**, lo cual favorecería su protección frente a posibles cambios de temperatura y sustancias químicas.



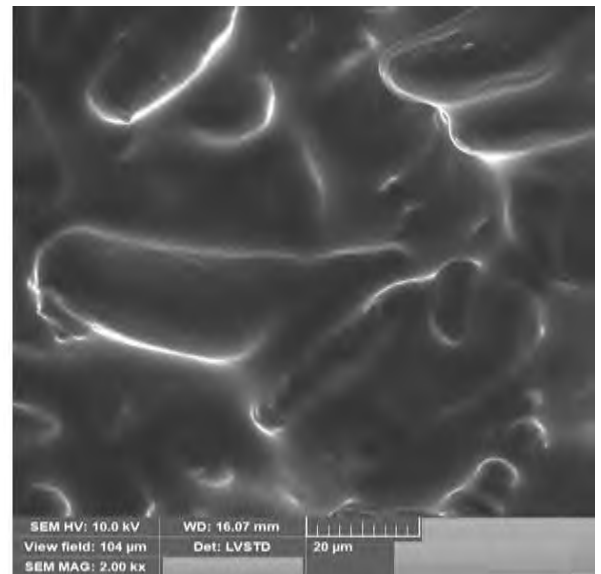
a)



b)



c)



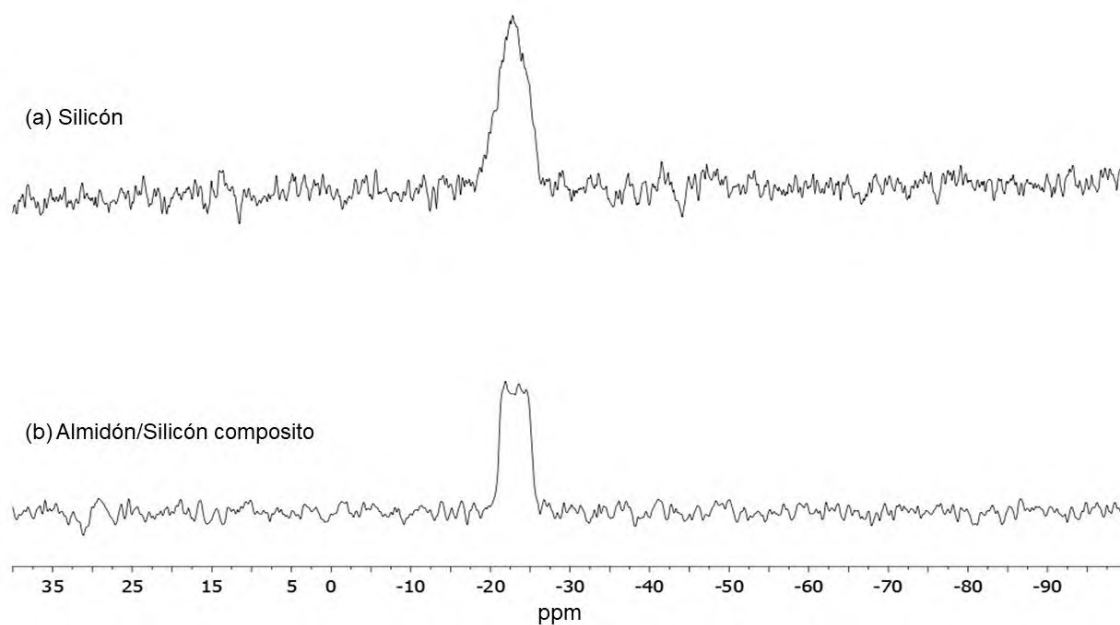
d)

**Figura 14.** Micrografía (a) almidón nativo de plátano macho y compuesto de almidón de plátano macho/aceite de silicón (b, c y d).

Además, este recubrimiento que tienen los gránulos favorece más la interacción electrostática entre los grupos OH del almidón con el grupo Si-O del aceite de silicón.

### 10.6.-Análisis por Resonancia Magnética Nuclear (RMN)

El espectro de  $^{29}\text{Si}$  RMN del aceite de silicón y del composito almidón plátano macho/aceite de silicón presenta solo un desplazamiento químico a -20.62 ppm y -19.77 ppm, respectivamente, podemos observarlo a continuación en la **Figura 15**.



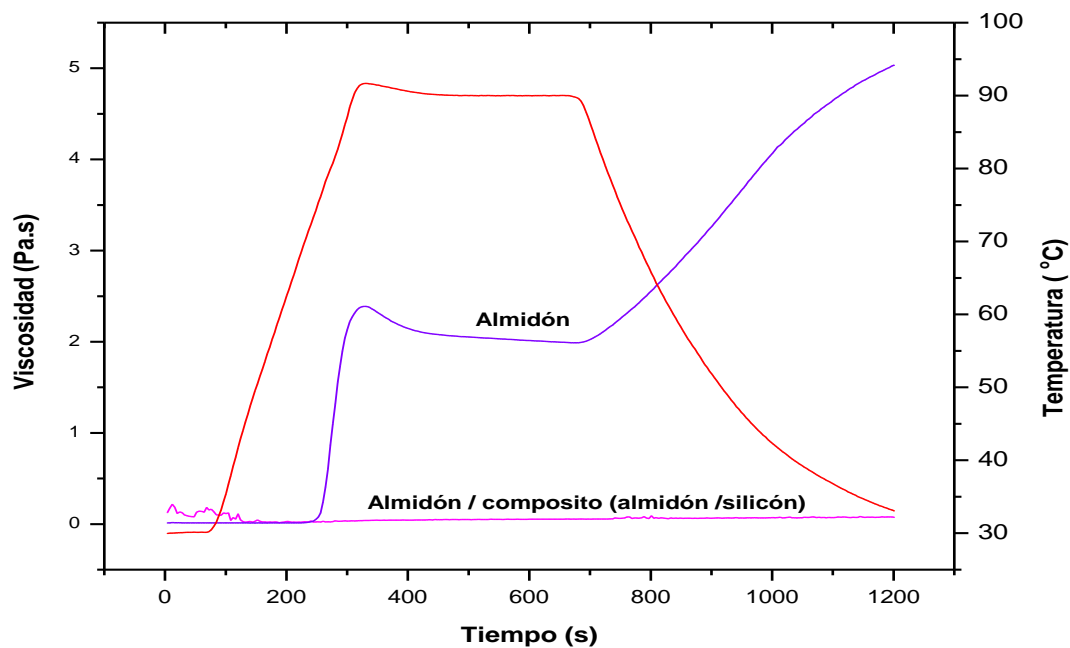
**Figura 15.** Espectro de  $^{29}\text{Si}$  de RMN del almidón de plátano y del composito de almidón de plátano macho/aceite de silicón.

Este desplazamiento químico corresponde a la unidad monomérica del poli(dimetilsiloxano). El espectro del silicón presenta una diferencia de aproximadamente una unidad desplazada a campo bajo con el desplazamiento químico del composito almidón/silicón además su pico es más agudo.

Esto puede deberse a la interacción electrostática del almidón con el grupo del Si – O composito. Este resultado de  $^{29}\text{Si}$  RMN indica también que no hubo una reacción química entre el silicio y el almidón, ya que no se observa otro pico diferente al del aceite de silicón.

### 10.7.-Análisis por Pasting

El perfil de formación de pasta del almidón y del composito almidón plátano macho/aceite de silicón se presenta en la **Figura 16**. El almidón presentó un valor máximo de viscosidad 2.38 Pa.s, el cual es más alto con respecto a otras fuentes de almidón como el maíz (0.075 Pa.s), cebada (0.02 Pa.s), el mango (0.18 Pa.s) y la yuca (1.07 Pa.s) reportadas por otros investigadores [12, 17].



**Figura 16.** Pasting del almidón de plátano y del composito de almidón de plátano macho/aceite de silicón.

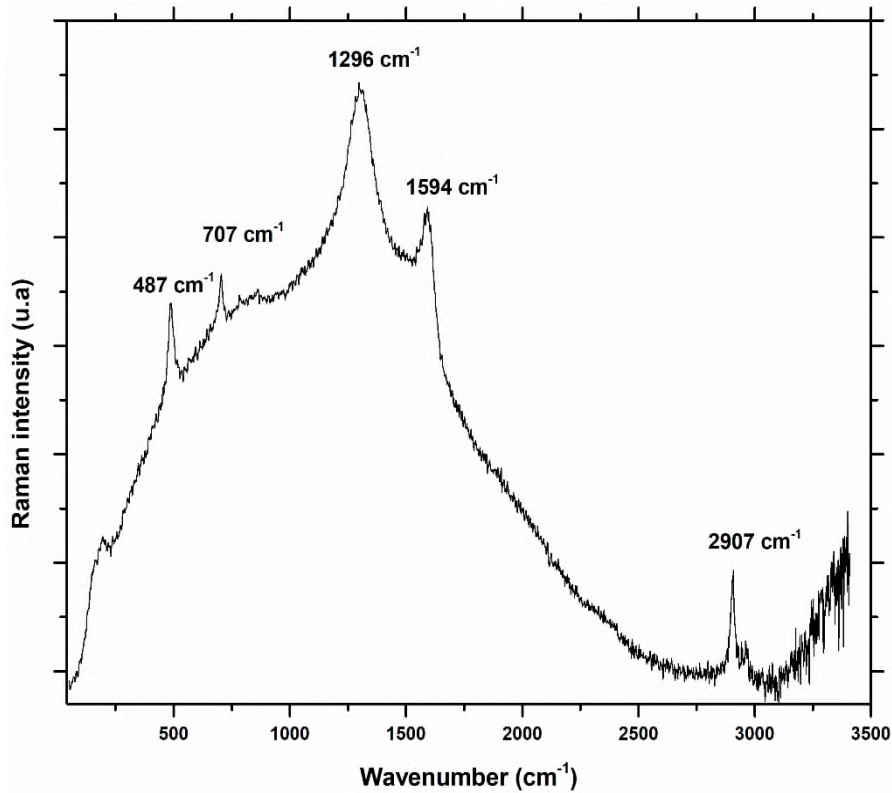
Esto se debe a que el almidón de plátano tiene un alto contenido de amilosa (34.8 %) con respecto a otras fuentes, por ejemplo, maíz (29 %) y la papa (21 %), la cual se sabe que favorece la formación de películas [16-19].

Posteriormente al pico de máxima viscosidad, se observa el exceso de esta debido a la retrogradación del almidón. El composito almidón plátano macho/aceite de silicón tiene una viscosidad de (0.052 Pa.s), este valor representa una disminución de la viscosidad del almidón del 97.81 %.

Esto significa que los gránulos del composito tienden a no hincharse libremente y a romperse en comparación con los gránulos del almidón, es decir, químicamente tienen poca interacción con el agua, lo cual le proporciona resistencia a la degradación por hidrólisis acuosa. Estos resultados concuerdan con lo reportado en la literatura [7].

## 10.8.-Análisis por Espectroscopía Raman

El espectro Raman del aceite de silicón se presenta en la **Figura 17**. El aceite de silicón presenta dos modos vibracionales del grupo  $-\text{Si}-\text{CH}_3$  en  $2709 \text{ cm}^{-1}$  y en  $1296 \text{ cm}^{-1}$ . La señal de vibración a  $707 \text{ cm}^{-1}$  corresponde al grupo  $\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$ .



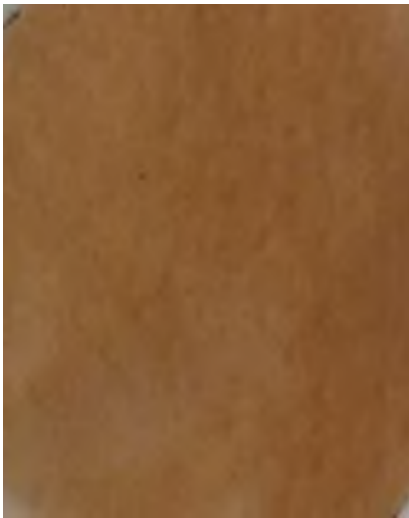
**Figura 17.** Espectro Raman del compuesto almidón de plátano macho/aceite de silicón.

El almidón presenta una señal de vibración correspondiente al enlace –C-O-C- que se observa en 487 cm<sup>-1</sup> también del enlace Si-O-Si [12]. El número de onda a 1600 cm<sup>-1</sup> corresponde al modo vibracional del grupo hidroxilo (O-H). Estos modos vibracionales del espectro Raman son típicos del aceite de silicón y del almidón tal como se ha reportado por otros investigadores [9-11].

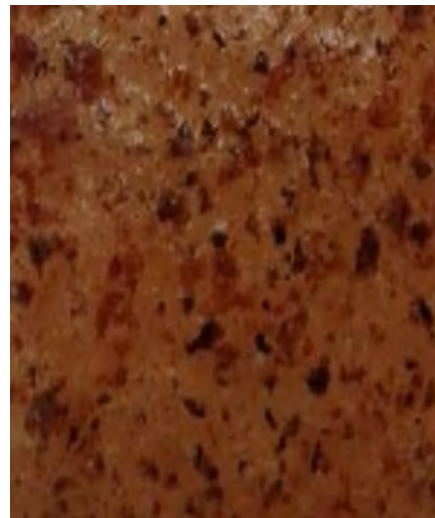
### 10.9.-Películas de almidón y del composito almidón plátano macho/aceite de silicón

La película de almidón y la película del composito fueron elaboradas por el método casting y en la **Figura 18** se presentan las fotografías de algunas de ellas.

Película 1.



Película 2.



Película 3.



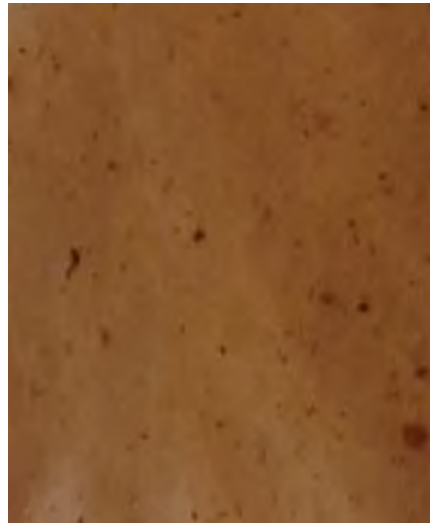
Película 4.



Película 5.



Película 6.



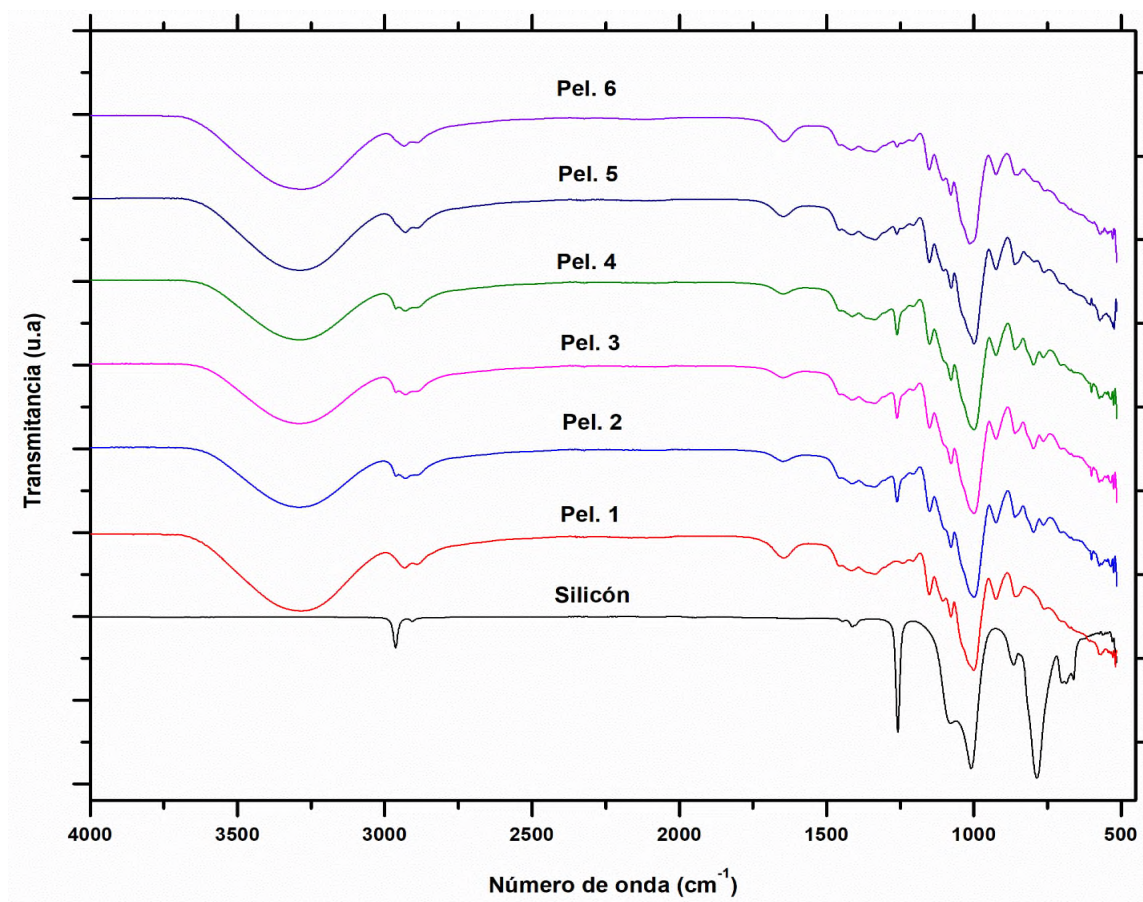
**Figura 18.** Fotografías de la película de almidón de plátano macho (a) y del compuesto almidón de plátano macho/aceite de silicón (b) en condiciones ideales. Fuentes propias tomadas con una cámara casera.

En la fotografía del almidón nativo (**película 1**) se observa una película homogénea y uniforme mientras que la fotografía del compuesto (**película 2**) no presenta homogeneidad debido a la presencia de pequeños agregados a lo largo de la superficie, los cuales van disminuyendo conforme disminuye la concentración de silicón en la formulación de la película. Esto se debe a que algunos de los gránulos de almidón del compuesto no experimentan una absorción de agua que provoque su hinchamiento y su posterior fractura, es decir, su proceso de gelatinización. El aceite de silicón envuelve a estos gránulos provocando que estos gránulos interactúen entre sí por medio de fuerzas de atracción débiles, como pueden ser las fuerzas de Van der Waals, generando los agregados con esa coloración.

La fotografía de la película 2 del composito fue la película con mayor concentración del composito con un 40 % mientras que la película 6 tiene un 5% de este, por lo que se puede concluir que el composito queda incorporado en las películas de almidón.

### 10.10.-Análisis de FTIR de las películas del composito

En la **Figura 19** se presentan los espectros de FTIR de la película de almidón y de los compositos almidón plátano macho/aceite de silicón.



**Figura 19.** Espectros de FTIR de la película de almidón y de las películas de los compositos almidón de plátano macho/aceite de silicón.

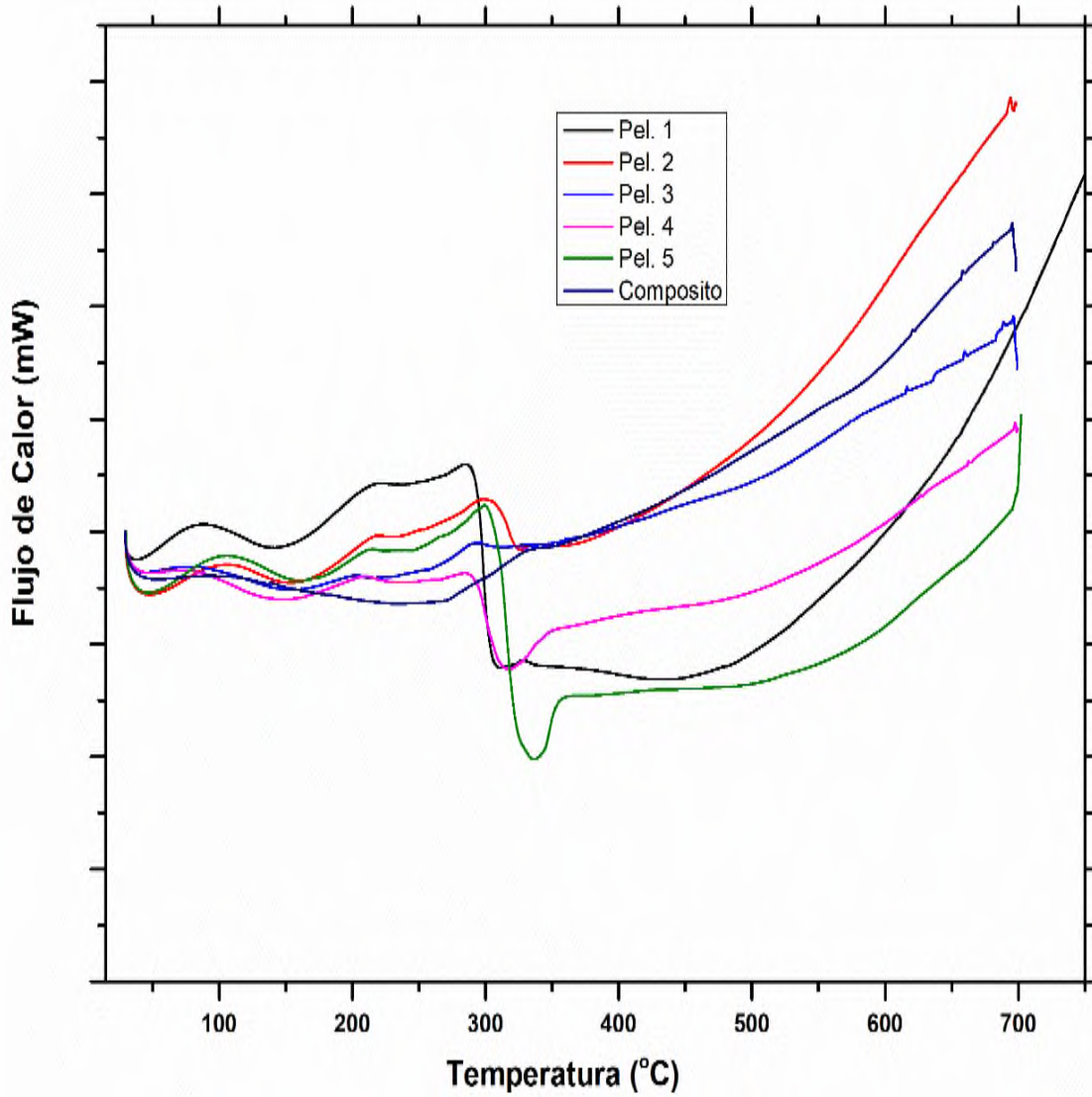
A partir de los espectros de FTIR de la película de almidón plátano macho/aceite de silicón película 1 y del silicón, se observan las bandas características de estos en las películas del composito. La señal de vibración del grupo metilo unido al silicio ( $\text{CH}_3\text{-Si-}$ ) en el composito se observa en  $1253\text{ cm}^{-1}$ . Esta señal se observa a partir de un porcentaje mayor al 5 % del composito.

La intensidad de esta señal de vibración aumenta cuando aumenta la cantidad del composito en la formulación de la película, para un porcentaje igual al 5 % no se observa esta señal. Un comportamiento similar presenta la señal de vibración del grupo funcional  $\text{-O-Si-CH}_3$ , la cual se observa claramente en  $760\text{ cm}^{-1}$  en la película 2 y en la película 3, en las demás películas esta disminuye. A partir de estos resultados se concluye que el composito almidón plátano macho/aceite de silicón está presente en las películas de almidón y que la intensidad de estas está en función de la cantidad de composito utilizado en la formulación de la película.

### **10.11.-Análisis térmico de las películas de almidón y del composito**

#### **10.11.1.-Análisis por calorimetría diferencial de barrido (CDB)**

En la **Figura 20** se presenta el comportamiento térmico de la absorción y/o liberación de calor de la película del composito almidón plátano macho/aceite de silicón.



**Figura 20.** Termograma de CDB de la película de almidón y las películas del composito almidón de plátano macho/aceite de silicón.

El almidón de plátano macho presenta una curva de absorción de calor muy pronunciada a los 319 °C. En todos los termogramas de las películas del composito se observa esta absorción, pero con una intensidad variable entre cada uno de ellos.

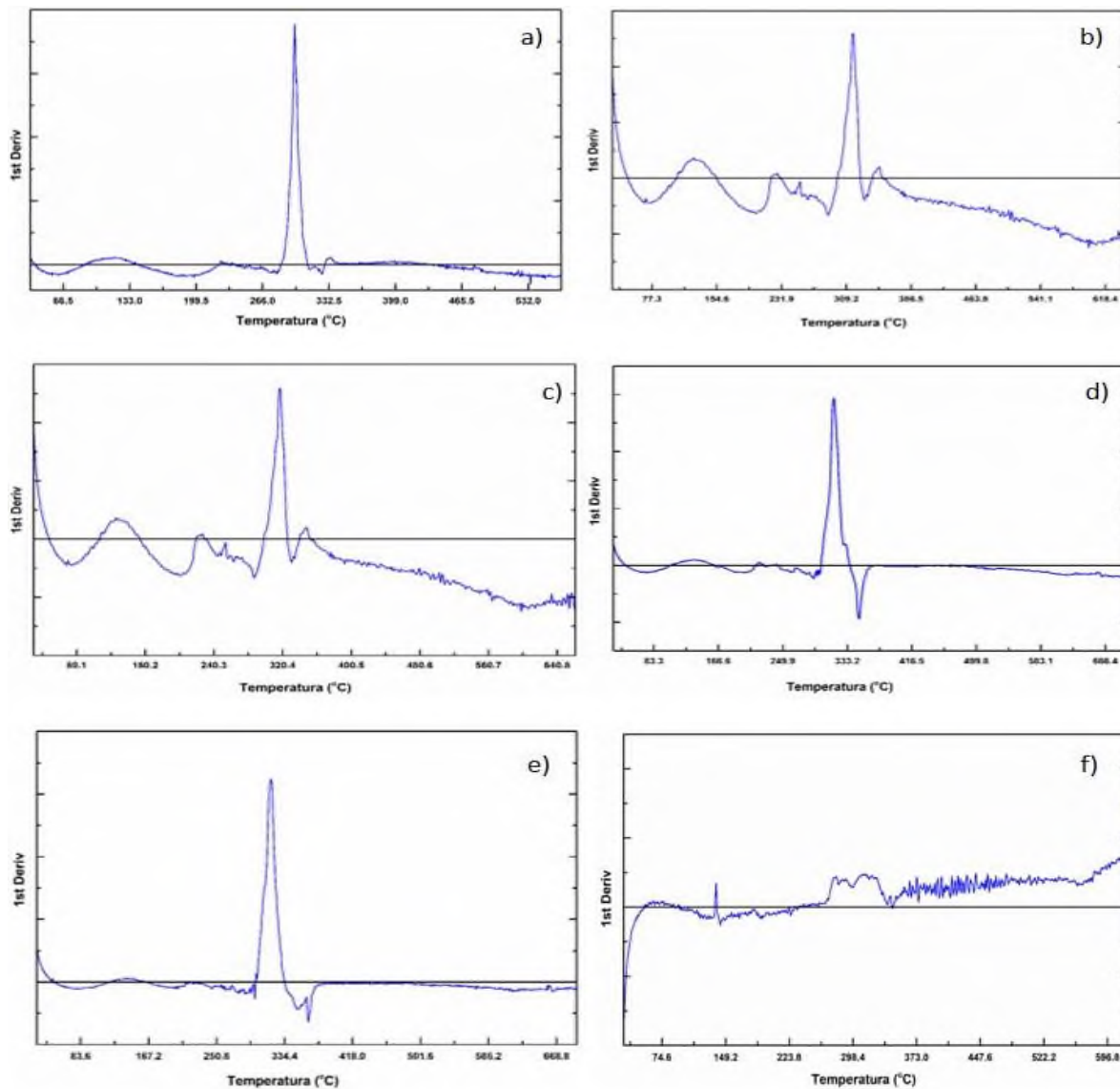
La derivada de estos termogramas permitió observar mejor este comportamiento, el cual se muestra en la **Figura 21**, en la **Tabla 6** se presentan los resultados de las derivadas de los termogramas.

**Tabla 6.** Resultados de CDB de las películas de almidón y del composito almidón de plátano macho/aceite de silicón.

Muestra	Temperatura de absorción de calor (°C)			
	Agua	Glicerol	Almidón	Almidón/silicio
Película 1	96	224	307	-
Película 2	126	226	318	350
Película 3	124	226	324	350
Película 4	103	219	323	-
Película 5	103	208	328	-
Composito	137	-	267 - 335	

La primera temperatura de absorción de calor corresponde a la evaporación del agua, la segunda corresponde a la eliminación del glicerol, la tercera corresponde a la degradación del almidón y la última corresponde al almidón mezclado con el silicón. En las películas 4 y 5 no se aprecia con claridad la señal correspondiente a la temperatura de 350 °C, debido a que en la formulación de estas películas la cantidad de composito almidón plátano macho/silicón fue menor del 20 %. Sin embargo, estas películas presentan cambios significativos en las temperaturas de absorción observadas con respecto a la película del almidón y del composito.

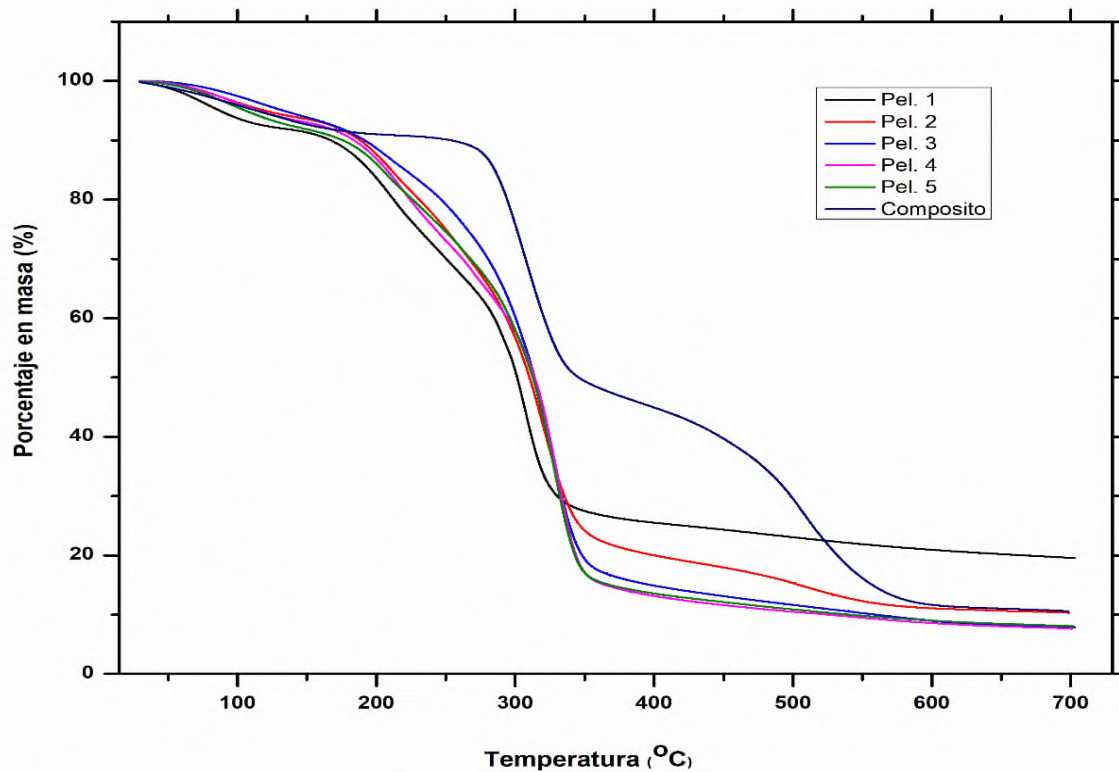
En todas las películas del composito, la temperatura de absorción del almidón que corresponde a su descomposición aumentó. En el caso del composito almidón plátano macho/aceite de silicón sintetizado se observan varias curvas de absorción en el intervalo de 267 – 335 °C con la misma intensidad. Estos resultados permiten concluir que la presencia del silicón en las películas del almidón genera cambios en las temperaturas de absorción.



**Figura 21.** Termograma de las películas: almidón (a), composito 40% (b), composito 20 % (c), composito 12 % (d), composito 10 % (e) y composito polvo (f).

### 10.11.2.-Análisis termogravimétrico TGA

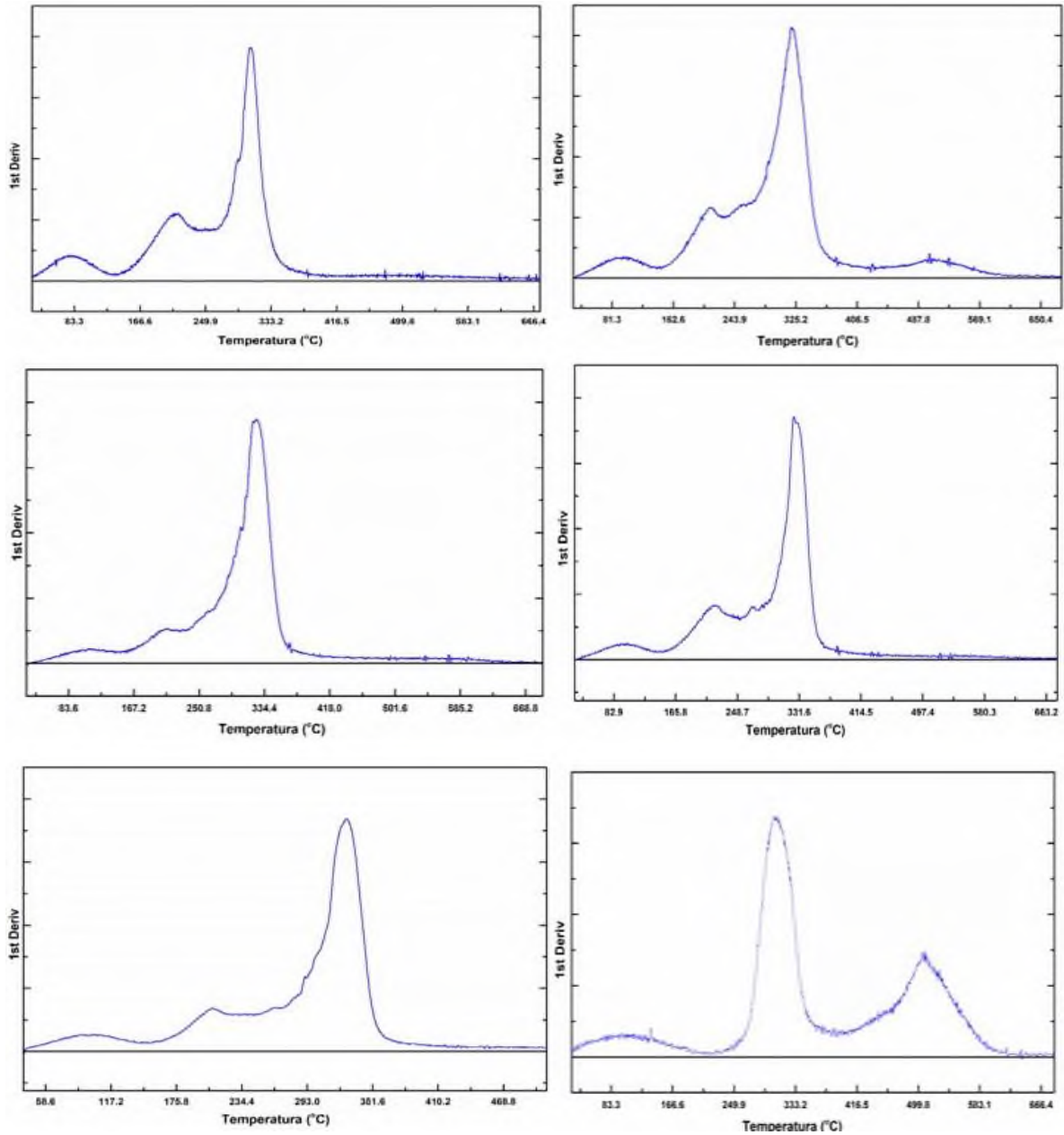
En la **Figura 22** se presentan los termogramas de TGA de la película de almidón y las películas del compuesto y en la **Figura 23** se presenta la primera derivada de los termogramas de la **Figura 22**.



**Figura 22.** Termogramas de TGA de la película de almidón t del compuesto almidón de plátano macho/aceite de silicón.

En los termogramas se puede apreciar que las películas 2 y 3 presentan un comportamiento térmico similar al del compuesto en polvo en comparación con las otras películas. Esto probablemente se debe a que son las películas 2 y 3 las películas con mayor contenido de compuesto, esto es, 40 y 20 %, respectivamente.

El el termograma del almidón (**Figura 22**) presenta tres temperaturas de degradación 80 °C, 216 °C y 307 °C, que corresponden a las temperaturas de descomposición del agua, glicerol y almidón, respectivamente.

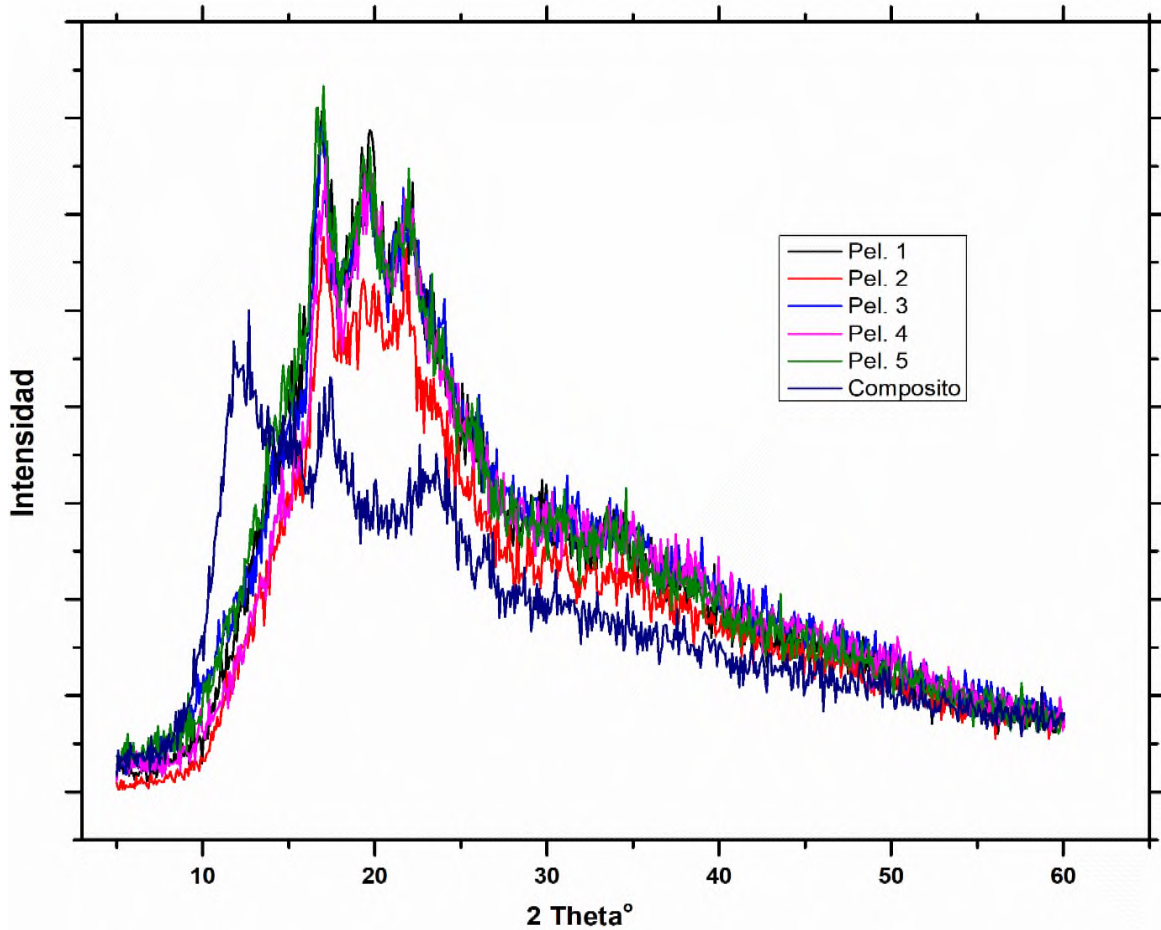


**Figura 23.** Termogramas de las películas de almidón (a), compuesto 40 % (b), compuesto 20 % (c), compuesto 12 % (d), compuesto 10 % (e) y compuesto polvo (f).

En la **Figura 23f** se observa el comportamiento térmico del composito almidón plátano macho/aceite de silicón usado en la formulación de las películas, en este termograma al menos tres productos degradados son observados durante el calentamiento, a 103 °C, 305 °C y 508 °C. Estos productos degradados probablemente corresponden al agua, almidón y aceite de silicón, respectivamente. La temperatura a 508 °C se observa con buena intensidad en el termograma de la película 2 y con una intensidad débil en el termograma de la película 3, en el resto de las películas no se observa. En las **Figuras 23b a 23e**, la temperatura de degradación del almidón aumenta hasta un valor de 328 °C, por lo que se puede concluir que el composito aporta mayor estabilidad térmica al almidón. Con respecto a la masa residual, las películas del composito presentan un valor menor con respecto a las películas del almidón, aproximadamente 10 % vs 19 %. Estos resultados por TGA están de acuerdo con los obtenidos en el análisis por CDB.

### 10.11.3.-Análisis por Difracción de Rayos X (DR-X)

En la **Figura 24** se muestran los difractogramas de las películas del composito almidón plátano macho/aceite de silicón comparadas con el almidón y composito (sintetizado).



**Figura 24.** Difractograma de rayos X de la película de almidón y de las películas del composito almidón de plátano macho/aceite de silicón.

Los picos característicos del composito sintetizado aparecen a  $2\theta=12.69^\circ$ ,  $17.30^\circ$  y  $22.53^\circ$ , estos no se observan en las películas del composito, sólo se observan los picos correspondientes al almidón a  $2\theta=15.01^\circ$ ,  $16.91^\circ$ ,  $19.75^\circ$ ,  $22.20^\circ$  y  $23.27^\circ$ . La intensidad de las señales de las películas del composito son directamente proporcionales a la cantidad de composito utilizado en la formulación de la película. La película 2 es la película con mayor cantidad de composito (40 %), por lo tanto, esta presenta picos con una intensidad menor respecto a las otras películas.

Este resultado indica que la presencia del composito en el almidón no afecta su cristalinidad hasta un porcentaje del 20 % de este presente en la película.

#### **10.11.4.-Medición de la conductividad eléctrica de las películas**

En la **Tabla 7** se presentan los resultados de la conductividad eléctrica de las películas de almidón y de las de los compositos.

**Tabla 6.** Valores de la corriente eléctrica de las películas.

<b>Película</b>	<b>Conductividad eléctrica (Voltios)</b>
1	0.44
2	0.68
3	0.60
4	0.53
5	0.47

Observando estos valores, se puede decir que la presencia del composito en la película de almidón favorece la conductividad eléctrica de ésta (película 2-5), dado que el silicio es un material conductor. La película 2 presenta un valor de 0.68V (40



% del composito en la película) mientras que la película 1 (100 % almidón) registra un valor de 0.44V, es decir, si comparamos los valores de las conductividades de las películas 1 y 2 observamos que en la película 2 se presenta un aumento de la conductividad del 54.54 %. Las películas 3, 4 y 5 presentan valores de voltaje menores al de la película 2 pero mayores al de la película 1. Estos resultados indican que el aumento en el valor de la corriente eléctrica está relacionado con la proporción de composito utilizado en la formulación de la película.

A partir de todos los resultados obtenidos en esta investigación se propone como un posible uso del composito como película de recubrimiento de materiales expuestos al calor y la oxidación para la protección de estos.

### **10.11.5.-Propiedades mecánicas de las películas**

Se llevaron a cabo la determinación de la tensión a la fractura (TF), Porcentaje de elongación (E) y Módulo de elasticidad (ME) de la película de almidón y del composito almidón/silicón, los resultados se presentan en la **Tabla 8**.

**Tabla 7.** Propiedades mecánicas de las películas de almidón del composito.

<b>Película</b>	<b>Tensión a la fractura (MPa)</b>	<b>Porcentaje de elongación (%)</b>	<b>Módulo de elasticidad (Mpa)</b>
<b>1</b>	8.8301 ± 0.4175	25.5300 ± 1.5997	112.0417 ± 4.3478
<b>2</b>	11.4290 ± 0.6702	27.1350 ± 1.1045	123.0567 ± 7.6076
<b>3</b>	11.0980 ± 0.5147	28.4050 ± 0.9119	137.3767 ± 5.1124
<b>4</b>	9.9405 ± 0.1909	26.7767 ± 1.4148	139.5033 ± 5.6915
<b>5</b>	9.0108 ± 0.3413	24.8267 ± 0.7600	134.1200 ± 4.0197
<b>6</b>	8.3023 ± 0.2073	20.2050 ± 0.7462	115.4633 ± 3.9203

En esta tabla se puede apreciar que las películas del composito almidón/silicón (películas 2-6) presentan mayores valores de TF, %E y ME con respecto a la película de solo almidón. La película que presenta mayores valores de estas tres propiedades mecánicas es la película 4. Esta película contiene un 15% de composito almidón/silicón en su composición y aumenta en 12.57% TF, en 4.88 % E y en 24.51% ME con respecto a la película 1. Estos resultados son mejores que los reportados en la literatura para modificaciones químicas del almidón de plátano macho [33].

Se observa en la Tabla 8 que al disminuir la cantidad de composito almidón/silicón en las películas (película 2-6), estas tres propiedades disminuyen, tal es el caso de la película 6, la cual contiene 5% del composito, esto quiere decir que el composito favorece la interacción física entre la amilosa del almidón y los grupos hidroxilos del composito. Estos resultados indican que se obtiene un mejor material con respecto a los materiales de solo almidón. Por lo cual, podría usarse como película protectora de materiales sensibles a la oxidación o a la humedad. Por otra parte, haciendo una relación de estos resultados con los obtenidos en su caracterización química, estos corroboran la tendencia en las intensidades de las señales de vibración de los espectros de FTIR del grupo funcional  $-O-Si-CH_3$  observados en las películas.

Por lo que, se puede concluir que este grupo funcional favorece el aumento en las propiedades mecánicas de las películas del composito almidón/silicón, en su resistencia térmica y en su conductividad eléctrica.

## 11.-CONCLUSIONES

Se llevó a cabo la síntesis del composito almidón/silicón. Se utilizaron dos métodos para determinar las condiciones adecuadas para su síntesis, un método matemático y un método experimental. Ambos métodos coinciden al determinar el máximo rendimiento obtenido cuando se utiliza una relación en masa de almidón/silicón de 1g/0.5g, sin embargo, la diferencia entre estos dos métodos está en el tiempo utilizado durante el proceso, el método matemático predice un tiempo total de 14 horas, mientras que el experimental un tiempo de 24 horas. Se sugiere seguir el método II por dar mejor resultados. La caracterización por SEM mostró que los gránulos del almidón tienen un tamaño de gránulo de 5 a 50  $\mu$  y estos quedaron embebidos en el silicón. El análisis por FTIR y Raman permitió identificar los grupos -C-O- y O-Si-CH<sub>3</sub> del almidón y del silicón, en el composito. A partir del análisis por Si se determinó que se obtiene una mezcla almidón/silicón.

De los resultados de Pasting se dedujo que los gránulos del composito tienden a no hincharse libremente y a romperse en comparación con los gránulos del almidón. Se elaboraron las películas del composito sintetizado y se observó que la homogeneidad de estas está en función de la proporción de composito utilizado en la formulación de las películas a menor cantidad de composito mayor homogeneidad. El análisis por FTIR de las películas permitió identificar las señales características del almidón y del silicón presentes en las películas del composito.



A partir de los resultados del análisis térmico se determinó que el composito almidón plátano macho/silicón aporta mayor estabilidad térmica. En cuanto a la cristalinidad de la película de almidón, ésta prácticamente no es afectada por la presencia del composito. Las películas del composito aumentan la conductividad eléctrica del almidón hasta en un 54.54 % y aumenta las propiedades mecánicas de tensión a la fractura, porcentaje de elongación y módulo de elasticidad en 12.57%, 4.88% y 24.51 %, respectivamente.

### **11.1.-Perspectivas**

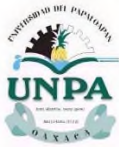
- Llevar a cabo un análisis de permeabilidad a gases y humedad a las películas del composito.
- Realizar un estudio de degradabilidad química y biológica a las películas.
- Proponer más aplicaciones del composito.
- Escalar a nivel industrial (extrusión)

## 12.-REFERENCIAS

1. Ogunsona E. (2018), Advanced material applications of starch and its derivatives. *European Polymer Journal*. 10, 570–581.
2. Ruiz Avilés J. (2005), *Polímeros biodegradables a partir del almidón de yuca*, Universidad EAFIT. ICIPC Medellín.
3. Villalobos Rendon R. (2010), Preparation and characterization of banana starch (*Musa paradisiaca* L.) acetylated to different degrees of substitution. *Afinidad LXVII*, 548.
4. Xueyu Du (2019), Preparation and properties of modified porous starch/carbon black/natural rubber composites, *Composites Part B: Engineering*, pp.156, 1-7.
5. Kuljit Kaur (2019) Studies on the properties and biodegradability of PVA/Trapa natans starch (N-st) composite films and PVA/N-st-g-poly (EMA) composite films, *International Journal of Biological Macromolecules*, 123, pp.826-836.
6. Guorui Z. (2018), Green poly( $\beta$ -hydroxybutyrate)/starch nanocrystal composites: Tuning the nucleation and spherulite morphology through surface acetylation of starch nanocrystal, *Carbohydrate Polymers*, pp.79-88.
7. Ruiloba I. (2018), Bioplastic production from mango seed starch. *Revista De Iniciación Científica*. 4, pp.28-32.
8. Ramírez-Hernández, Aparicio-Saguilán, A., Mata-Mata, J. L., González-García, G., Hernández-Mendoza, H., Báez-García, E., Conde-Acevedo, J. (2018). Clusters of starch-g-PCL and their effect on the physicochemical properties of films. *Starch/starke*, 70, 1700135.
9. Vieira Bezerra C. (2013), Green banana (*Musa cavendishii*) flour obtained in spouted bed – Effect of drying on physico-chemical, functional and morphological characteristics of the starch. *Industrial Crops and Products*. 41, pp. 241–249.
10. BeMiller J.N (2005), Banana starch: production, physicochemical properties, and digestibility a review. *Carbohydrate Polymers*. 59, 443–458.
11. Hernández Alberto C. (2018), Oaxaca potencia en producción de plátano, obtenido de: <http://imparcialoaxaca.mx/oaxaca/197481/oaxaca-potencia-enproduccion-de-platano>, 02/04/2019.
12. Kossman J. (2010), Starch: Its metabolism, evolution, and biotechnological modification in plants. *Annu. Rev. Plant Biol.* 61, 209–234.
13. Corrales María C. (2007), Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca. *Revista EIA*. 8, 57-67.



14. Medina Hernández M. (2008), Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México, *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas. 28(3), 718-726.
15. Espinosa Solís V. (2008), Estudios estructurales de almidón de fuentes no convencionales: mango (*Mangifera indica*) y plátano (*Musa paradisiaca* L.), tesis de maestría. Instituto Politécnico Nacional.
16. Alay Alcázar C. (2015), Physicochemical properties, modifications and applications of starches from different botanical sources. *FoodSci. Technol*, Campinas. 35(2), 215-236.
17. Bhupinder K. (2012), Progress in starch modification in the last decade. *Food Hydrocolloids*. 26, 398-404.
18. Omodunbi-Ashogbon A. (2018), Current research addressing physical modification of starch from various botanica Sources. *Global Nutrition and Dietetics*, 1(1), 001.
19. Dávila Luis J. (2011), Nuevo materiales: aplicaciones estructurales e industriales. ISBN: 978-9978-383-20-9.
20. Santos Palacios A. (2001), Métodos de síntesis de nuevos materiales basados en metales de transición. *Revista Facultad de Ingeniería*. 32, 51-61.
21. Fernández Roa J. (2003), Composites: characteristics and applications in building construction. *Infonnes de la Construcción*, Vol. 54, n° 484.
22. Kumar Malhotra S. (2012), Advances in polymer composites: macro- and microcomposit state of the art, new challenges, and opportunities. *Polymer Composites*. 1.
23. Kondrath Nisha (2010), Characteristics and applications of silicon carbide power devices in power electronics, *Int. journal of electronics and telecommunications*, 56(3), 231-236.
24. Gillespie James R. (1990), *Química*. Reverté, Barcelona, España.
25. Caporossi T. (2014), Silicone oil: different physical proprieties and clinical applications. *BioMed Research International*.
26. Winslow W. (2012), Induced fibrillation of suspensions. *Journal of Applied Physics*. 1137-1140.
27. K. Negita H. (1999), Effect in suspension composed of starch powder and silicone oil. *Journal of Colloid and Interface Science*. 209 pp.251–254.
28. Limei Hao (2009), Mechanical behavior of starch/silicone oil/silicone rubber hybrid electric elastomer. *Reactive and Functional Polymers*. 69(3), 165-169
29. Shaohuang Weng (2009) Facile synthesis of SBA-15/polyaniline nanocomposites with high electrochemical activity under neutral and acidic conditions. *Reactive and Functional Polymers.*, 69(2), 130-136.



## UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN

---

30. ASTM D-882-95a. (American Society for Testing and Materials). 1995. Standard test methods for tensile properties of thin plastic sheeting. Philadelphia, PA, EE.
31. Aparicio-Saguilán, A., Aguirre-Cruz, A., Méndez-Montealvo, G., Rodríguez-Ambríz, S. L., García-Suárez, F. L., Páramo-Calderón, D. E., Bello-Pérez, L. A., The effect of the structure of native banana starch from two varieties on its acid hydrolysis. *LWT- Food Sci. Technol.* 2014, 58, 381-386.
32. Flores-Gorosquieta, E., García-Suárez, F., Flores-Hiucochea, E., Núñez-Santiago, M., Gonzáles-Soto, R., Bello-Pérez, L., Performance starch extraction process of banana fruit (*Musa paradisiaca*). *Pilot plant studies. A. C. V.* 2004, 55, 86-90.
33. Ramírez-Hernández, A., Aparicio-Saguilán, A., Reynoso-Meza, G., Carrillo-Ahumada, J. Multi-objective optimization of process conditions in the manufacturing of banana (*Musa paradisiaca* L.) starch/natural rubber films. *Carbohydr. Polym.* 2017, 157, 1125-1133.