



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO®



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE TEZIUTLÁN

Tesis



“Análisis de solubilidad y resistencia del biofilm comestible
a base de residuos agroindustriales”

PRESENTA:

ROCÍO DEL CARMEN RIVERA MERINO

CON NÚMERO DE CONTROL

17TE0298

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

CLAVE DEL PROGRAMA ACADÉMICO

IIAL-2010-219

DIRECTOR (A) DE TESIS:

M.E.M. ALEJANDRA ARAGÓN PARRA

“La Juventud de hoy, Tecnología del Mañana”

TEZIUTLÁN, PUEBLA, OCTUBRE 2021



PRELIMINARES

Agradecimientos

A mi abuelo:

El señor Nicolás Merino Amaro

por apoyarme incondicionalmente en cada proyecto
iniciado con los recursos materiales necesarios y por
todo su cariño.

A mi asesora:

Mtra. Alejandra Aragón Parra por creer en mí y
guiarme de una forma excepcional, no solo
en este trabajo, sino también a lo largo de la carrera.

A Efrén Garza Espinoza:

Por la experiencia y conocimiento compartido
sin reserva.

Resumen

Los biofilm comestibles se presentan como una oportunidad en el conjunto de estrategias ambientales demandadas por la sociedad, pero este sector aún se encuentra en desarrollo y es importante pasar las barreras que limitan su uso, pues no todos cuenta con las mismas propiedades físicas- mecánicas, como solubilidad y resistencia en agua, permeabilidad, resistencia térmica y transparencia (Pacheco Gina, 2014). El objetivo de este proyecto ha sido evaluar las propiedades físicas – mecánicas (solubilidad y resistencia) del biofilm hecho a base de residuos agroindustriales por medio del análisis experimental, para determinar su aplicación en los diferentes tipos de alimentos.

El trabajo de investigación fue de tipo cuantitativo, pues se manipularon variables numéricas para realizar la parte estadística. Contando con una variable independiente (temperatura) y variable dependiente (tiempo de resistencia), teniendo como base el análisis estadístico un análisis de varianza (ANOVA) y de comparación TUKEY, para poder comprobar o refutar la hipótesis.

Para llevar a cabo la prueba se elaboró el biofilm, posteriormente se recortaron rectángulos de 2x3 cm aproximadamente, en total 30 muestras, las pruebas se realizaron por triplicado. Se evaluó tomando el tiempo de la solubilidad en agua, primero a temperatura ambiente (10°C, 20°C, 30 °C y 40°C) y después a temperaturas altas (50°C, 60°C, 70°C, 80°C, 90°C y 100°C), todas estas pruebas se llevaron a cabo en un vaso de acero vitrificado con 80 ml de agua destilada. Se observó que las temperaturas 60°C y 70°C están en los grupos E y F, lo que significa que sus diferencias entre las medias que comparten una letra no son estadísticamente significativas. En la gráfica de intervalos de tiempo vs temperatura se observa que hay un momento en que el rango de temperaturas de 50°C a 80°C no tiene diferencia significativa y hay una relación que es entre menos temperatura (temperatura ambiente) aplicada mayor es el tiempo de resistencia.

Palabras clave: Solubilidad, resistencia, biofilm.

Introducción

La diferencia entre un recubrimiento comestible (RC) y un biofilm es su aplicación, los recubrimientos comestibles se aplican de forma líquida a los alimentos y así se aplica el secado, mientras que el biofilm son preformadas desde un principio, para llevarlas a solidificación y así ser manipuladas en forma de láminas (Valencia Chamorro, Palou, Del Rio, & Pérez Gago, 2011).

La producción de café destaca en México por su importancia social, económica y ambiental. El café es el séptimo cultivo con mayor superficie cultivada y ocupa el 12° lugar como generador de valor (Financiera rural, 2014). Por ende, la industria del café genera gran cantidad de residuos que dependen del tipo de proceso aplicado al grano de café. Estos residuos normalmente son vertidos en cuerpos de agua, que estos al estar compuestos de proteínas y azúcares pueden causar la fermentación en los cuerpos de agua. Si los residuos se dejan descomponer sobre el suelo de manera descontrolada pueden causar problemas fitosanitarios o contaminación cruzada, además de necesitar de largos tiempos y gran cantidad de oxígeno para su degradación (Novita, 2016).

La pulpa de café está compuesta por proteína (7.5–15.0%), grasa (2.0–7.0%) y carbohidratos (21–32%), y estos pueden usarse como materia prima para nuevos procesos, a través de la extracción de estos componentes (Figuerola Hernandez, Pérez Soto & Godín, 2017). Los biofilm pueden ser elaborados a partir de polisacáridos, proteínas y lípidos, solos o en combinación con otros componentes para aprovechar las ventajas de estos (Sánchez-González et al., 2011), lo que hace a los residuos del café una excelente opción para el desarrollo de estos.

La preocupación y motivación por contribuir de manera positiva con la investigación en el sector y con el medio ambiente, impulsó a desarrollar un polímero de grado alimenticio capaz de solidificar y tener un aporte antimicrobiano, que funciona como barrera físico-química a partir de las pectinas presentes en los residuos de café. Anteriormente se han realizado pruebas de permeabilidad y retención térmica, que concluyen que el film biodegradable

muestra un comportamiento similar al de la película sintética, la diferencia de permeabilidad (WVTR) de 11, 222, 42.44 g./m² y es más efectiva que una bolsa biodegradable, además de no presentar diferencias significativas (Espinoza, 2020).

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos de las pruebas de solubilidad en agua que es la propiedad física que evalúa el comportamiento ante la presencia de agua y de resistencia en agua que es la propiedad mecánica que determina la resistencia y rigidez del biofilm antes de llegar a una ruptura, con el objetivo de evaluar las propiedades físicas – mecánicas (solubilidad y resistencia) del biofilm hecho a base de residuos agroindustriales por medio del análisis experimental, para determinar su aplicación en los diferentes tipos de alimentos.

Índice general

PRELIMINARES	1
Agradecimientos.....	1
Resumen	1
Introducción	1
Índice general.....	3
Capítulo I Generalidades del proyecto.....	7
1.1 Datos de la institución.....	8
1.1.1 Misión y Visión.....	8
1.1.2 Macrolocalización y microlocalización.....	8
1.2 Planteamiento del problema	9
1.3 Objetivos.....	11
1.3.1 Objetivo general.....	11
1.3.2 Objetivos específicos.....	11
1.4 Justificación	12
Capítulo II Marco Teórico.....	13
2.1 Películas comestibles (PC)/ Biofilm.....	14
2.2 Recubrimientos comestibles (RC).....	14
2.3 Películas comestibles (PC)/ Biofilm y recubrimientos comestibles (RC).....	15
2.3.1.- Películas comestibles (PC) y recubrimientos comestibles (RC) como envases primarios.....	15
2.3.1.1.- RC y PC en productos de IV gama.....	16
2.3.1.2.- RC y PC en productos de V gama	16
2.4 Residuos generados por la industria cafetalera	17
2.4.1.- Residuos de café por beneficio seco.....	17
2.4.2.- Residuos de café por beneficio húmedo.....	17

2.5 Descripción de las propiedades físicas de biofilm/PC.....	18
2.5.1.- Espesor	18
2.5.2.- Solubilidad en agua.....	19
2.5.3.- Opacidad.....	19
2.5.4.- Permeabilidad al vapor de agua.....	19
2.6 Descripción de las propiedades mecánicas de biofilm/PC.....	20
2.6.1.- Resistencia a la tensión y elongación.....	20
2.6.2.- Resistencia al agua	20
2.8 Metodologías para determinar la solubilidad en agua de biofilm/PC.....	21
2.8.1.- Solubilidad en agua por coeficientes en el modelo de regresión y Ftest	21
2.8.1.1.- Coeficientes en el análisis de regresión y Ftest.....	22
2.8.2.- Solubilidad en agua por el procedimiento de diferencia mínima significativa de Fisher (LSD).....	23
2.8.2.1.- Procedimiento de diferencia mínima significativa de fisher (ISD).....	24
2.8.3.- Solubilidad en agua por un análisis de varianza (ANOVA)	24
2.8.3.1.- Análisis de varianza (ANOVA).....	25
Capitulo III Desarrollo y Metodología	27
3.1 Procedimiento y descripción de las actividades realizadas.....	28
3.1.1 Prueba de resistencia al agua.	28
3.2 Alcance y enfoque de investigación	29
3.3 Hipótesis.....	29
3.4 Diseño y metodología de la investigación	29
3.5 Selección de la muestra	30
3.6 Recolección de datos.....	30
3.7 Análisis de datos	31
Capitulo IV Resultados	32

5.1 Análisis de los resultados.....	33
Capítulo V Conclusiones.....	37
5.1 Conclusiones, experiencia profesional y personal adquirida.....	38
5.2 Conclusiones relativas a los objetivos.....	38
5.3 Conclusiones relativas al objetivo general	38
5.4 Aportaciones originales	39
5.5 Limitaciones del modelo planteado	39
5.6 Recomendaciones.....	39
Capítulo VII Fuentes de Información.....	40
Capitulo VIII ANEXOS	48
8.1 Como referenciar este trabajo	51

Índice De Imágenes

Imagen 1. Muestras en rectángulos de la PC	28
Imagen 2 Toma de temperaturas para recopilación de datos	31
Imagen 3. Gráfica de intervalos de Tiempo vs. Temperatura.....	34
Imagen 4. Biofilm en prueba de resistencia y solubilidad a una temperatura de 30°C	49

Índice De Tablas

Tabla 1. Tiempos por triplicado de resistencia al agua.....	30
Tabla 2. Análisis de varianza.....	33
Tabla 3. Resumen del modelo.....	33
Tabla 4. Medias.....	33
Tabla 5. Información agrupada utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%..	34

Capítulo I

Generalidades del proyecto

1.1 Datos de la institución

El Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán es una institución de educación superior tecnológica atenta a las demandas de la sociedad, y a los principios de la Ley de Educación del Estado de Puebla, se consolida como una Institución cuyo objetivo es lograr una educación de calidad, moderna y eficaz, orientada al servicio, acercándola a las necesidades e intereses de la población, que promueva el uso transparente y eficiente de los recursos humanos, materiales y financieros de que disponga, y que cumpla puntualmente con sus programas de trabajo.

1.1.1 Misión y Visión

Misión: formar Profesionales que se constituyan en agentes de cambio y promuevan el desarrollo integral de la sociedad, mediante la implementación de procesos académicos de calidad.

Visión: Llegar a ser la Institución de Educación Superior Tecnológica más reconocida en el Estado de Puebla, que ofrezca un proceso de Enseñanza – Aprendizaje certificado, comprometido con la excelencia académica y la formación integral del Alumno, contribuyendo al desarrollo sustentable, económico, político y social de nuestro Estado.

1.1.2 Macrolocalización y microlocalización

Macrolocalización: ubicada en la ciudad de Teziutlán, municipio correspondiente al estado de Puebla.

Microlocalización: con domicilio en Fracción I y II, Aire Libre S/N, C.P 73960.

1.2 Planteamiento del problema

Actualmente todo el mundo atraviesa una gran problemática de contaminación de agua, aire y suelo, esto en su mayoría es consecuencia de los grandes residuos generados diariamente y a los cuales no se les da el tratamiento adecuado. Esto comienza desde la manera en la que se desechan, pues se mezclan y juntan todas las variedades de residuos presentes en la basura (Cristán, F. et al., 2003).

Con un enfoque más específico, en México los residuos y desechos que causan la contaminación ambiental, son generados por los procesos de producción de maquinarias, bienes de inversión y de consumo. La composición de la basura en México es; desechos orgánicos (47%), papel (14%), otros (14%), plásticos (11%), materiales peligrosos (10%), metales (2%), vidrio (2%) de acuerdo con el informe del medio ambiente, 2017. A pesar de que el plástico no ocupa el mayor porcentaje en la composición de la basura, representa uno de los mayores problemas ambientales, considerando que al año los residuos plásticos son alrededor de 1,121,000 toneladas, recolectándose únicamente el 12% de plástico desechado (Instituto Nacional de Ecología, 1998).

Por otro lado, la generación de desechos causada por la producción a grande escala que lleva a cabo la industria de los alimentos, también representa una complicación ambiental. Uno de los grandes ejemplos es la industria cafetalera, pues a pesar de la importancia económica del café para el país, en sus diferentes etapas de proceso productivo se generan aproximadamente 784,000 toneladas al año de biomasa residual y este alto volumen de residuos son vertidos en cuerpos de agua o se dejan descomponer sobre el suelo de manera no controlada, lo que trae como consecuencia la asfixia de la biota acuática provocada por la mayor demanda de oxígeno de los microorganismos presentes en los residuos así como la fermentación acuática según Álvarez, 2011 y también pueden causar problemas fitosanitarios o contaminación cruzada, además de necesitar de largos tiempos y gran cantidad de oxígeno para su degradación (Novita, 2016).

Las películas comestibles se presentan como una oportunidad en el conjunto de estrategias ambientales demandadas por la sociedad, pero este sector aún se encuentra en desarrollo y es importante pasar las barreras que limitan su uso, pues no todos cuentan con las mismas propiedades físicas- mecánicas, como solubilidad y resistencia en agua, permeabilidad, resistencia térmica y transparencia (Pacheco Gina, 2014).

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Evaluar las propiedades físicas – mecánicas (solubilidad y resistencia) del biofilm hecho a base de residuos agroindustriales por medio del análisis experimental, para determinar su aplicación en los diferentes tipos de alimentos.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar el tiempo de resistencia a diferentes temperaturas, para los datos de solubilidad en agua del biofilm.
- Realizar un análisis de varianza (ANOVA) para observar la relación entre las propiedades físicas - mecánicas del biofilm.

A continuación, veremos la importancia del proyecto basado en las necesidades que justifican la misma actividad.

1.4 Justificación

Algunos fabricantes de envases plásticos han lanzado al mercado diferentes opciones de plásticos biodegradables en los últimos años. Después de haber pasado las fases de desarrollo y homologación de aplicaciones durante varios años, estos han demostrado ser adecuados para introducirse comercialmente a ciertos sectores.

En la previsión mundial se espera que la capacidad instalada global sea de un 75%, ya que existe una combinación de factores que está aumentando el crecimiento y aceptación de estos como la conciencia de los consumidores por cuidar del medio ambiente adquiriendo productos amigables con este y las leyes gubernamentales que se están gestando en varios países fomentando el uso de productos biodegradables.

De acuerdo con Expansión, 2017 en México se desaprovecha el 34% de su producción de comida, el cual serviría para atender a más de 7.4 millones de mexicanos con deficiencia alimentaria. Por medio de un estudio nombrado "Perdidas y desperdicios alimentarios en México" se concluyó que 79 alimentos representativos de la canasta alimentaria de México, con un aproximado de 20.4 millones de toneladas son de desperdicio al año.

La carne de res y cerdo, camarones, leche, aguacate, tomate, papa, mango y fresa, son los alimentos que presentan mayor pérdida y esto implica grandes impactos ambientales por el uso excesivo de agua y la generación de dióxido de carbono (Expansión, 2017). Este proyecto tiene impacto ecológico, pues estamos contribuyendo a la liberación de residuos que traen como consecuencia grandes impactos ambientales, impacto en diferentes sectores principalmente el sector primario al dar un mayor alcance de vida a los alimentos e impactar socialmente al disminuir así la deficiencia alimentaría causada por el desaprovechamiento de estos.

Capítulo II

Marco Teórico

2.1 Películas comestibles (PC)/ Biofilm

Una película comestible es una capa preformada elaborada con materiales comestibles que se aplican sobre los alimentos para prolongar su vida útil, generalmente elaboradas de biopolímeros (McHugh, 2000), que pueden ser de fuentes diferentes como la biomasa (carbohidratos principalmente polisacáridos y proteínas), monómeros bio-derivados (lípidos y ácido láctico) según Vilpoux et al; 2004 y microorganismos (polihidroxicanoatos (PHA)) (Yu et al, 2006).

Estudios previos han demostrado que las películas elaboradas a base de carbohidratos presentan mejores propiedades mecánicas y de barrera contra los compuestos no polares, pero deficientes propiedades de barrera contra la humedad (Parra et al, 2004). Las películas comestibles a base de proteínas son una buena barrera contra el oxígeno, dióxido de carbono y algunos compuestos aromáticos, pero sus propiedades mecánicas no son muy eficientes (Lee et al, 2001).

2.2 Recubrimientos comestibles (RC)

A un recubrimiento se le conoce como una matriz transparente continua, comestible y delgada, que se estructura alrededor de un alimento generalmente mediante la inmersión del mismo en una solución formadora del recubrimiento con el fin de preservar su calidad y servir de empaque (material de envoltura), muy empleado en la industria de alimentos y que además puede ser consumido como parte del mismo, por ser proveniente de polímeros biodegradables, no tóxicos y que ayudan a incrementar la calidad de los alimentos durante su conservación (Sánchez-González et al., 2011). Pueden ser elaborados a partir de polisacáridos, proteínas y lípidos, solos o en combinaciones que logren aprovechar las ventajas de cada uno de estos, dichas formulaciones pueden incluir, conjuntamente plastificantes y emulsificantes. Presentan propiedades de barrera como transferencia de distintas sustancias, adecuada permeabilidad al vapor de agua,

solutos y una permeabilidad selectiva a gases y volátiles, desde el alimento hacia el exterior y viceversa (Sánchez-González et al., 2011).

2.3 Películas comestibles / Biofilm y recubrimientos comestibles

La diferencia entre un RC y un PC es su aplicación, los RC se aplican de forma líquida a los alimentos y así se aplica el secado, mientras que los PC son preformadas desde un principio, para llevarlas a solidificación y así ser manipuladas en forma de láminas (Valencia Chamorro, Palou, Del Rio, & Pérez Gago, 2011).

2.3.1.- Películas comestibles y recubrimientos comestibles como envases primarios

Debido a una sociedad moderna, los envases han jugado un papel importante para cubrir las necesidades de alimentación de nosotros los consumidores. Los desarrollos de sus funciones se abarcan por su clasificación correspondiente, envases primarios, secundarios y terciarios. Los envases primarios son los que tienen contacto directo con los alimentos, los envases secundarios contienen varios de los envases primarios y los envases terciarios sirven para distribuir, unificar y proteger los productos a lo largo de la cadena comercial.

En los envases primarios se encuentran los que son de materiales flexibles, elaborados a base de películas plásticas, papel, hojas de aluminio, laminaciones y otros materiales flexibles como co- extrucciones. Este tipo de envases no resiste la estiba, pero facilita la manipulación del producto y dentro de esta clasificación se encuentran las películas y recubrimientos comestibles (Solano-Doblado et al., 2018). El papel de los RC y PC como envases primarios son aplicados principalmente en los productos de gama IV y V.

2.3.1.1.- RC y PC en productos de IV gama

En champiñones de IV gama recubiertos con quitosano (componente muy estudiado por sus propiedades para formar películas y recubrimientos y por sus características antimicrobianas) se reportó menor pardeamiento y menor crecimiento antimicrobiano, así como la reducción en el incremento de contenido de fenoles totales (Eissa, 2007).

La combinación de choques térmicos (1.5 minutos y 50°C) junto con RC de quitosano con carboximetil celulosa (CMC), reportaron reducciones en la pérdida de peso y mayor retención del color característico del brócoli de IV gama comparado a las muestras no recubiertas (Ansorena et al., 2011).

El mucílago del nopal fue empleado como material de un RC aplicado en kiwi de IV gama, que fue almacenado en un refrigerador por 12 días, al final los productos recubiertos presentaron mayor firmeza que los que no fueron recubiertos y no hubo cambios con respecto a la aceptación del sabor (Allegra et al., 2016).

2.3.1.2.- RC y PC en productos de V gama

Se ha descrito el uso de quitosano en recubrimientos para carnes asadas (Beverly et al., 2008) y de alginato sódico combinado con lisozima y nisina en salmón ahumado (Datta et al., 2008). Estos evitan el crecimiento de microorganismos alterantes y la contaminación por microorganismos patógenos, gracias a la liberación progresiva de antimicrobianos u antioxidantes de la matriz polimérica (lo que los vuelve envases activos) (Iberoamericana et al., 2015).

Un estudio realizado por Hernández et al., 2019 han demostrado que las películas comestibles de almidón de malanga (contenido superior de 80% de almidón en la malanga) presentan características típicas de películas comestibles de otros almidones, siendo homogéneas, delgadas, flexibles e incoloras, lo que permite aplicarlas sobre productos cárnicos y con la adición de diferentes compuestos bioactivos sobre la PC de manera indirecta se obtiene una disminución en la

degradación proteica y lipídica de la carne, que logra alargar la vida de anaquel de estos.

2.4 Residuos generados por la industria cafetalera

Una diferencia principal del café con respecto a otros productos agrícolas, es que este se debe transformar en el campo para después ser comercializado, por ello, el fruto cosechado se debe procesar para obtener la semilla. Para su transformación existen dos vías que es el beneficio seco y el beneficio húmedo (Montero et al., 2009: 5)

2.4.1.- Residuos de café por beneficio seco

Si el proceso aplicado es en seco, los residuos obtenidos son piel, mucilago, pulpa y cascarilla (todos aglomerados en la cascarilla de café) (Wong-Paz et al., 2013). Este proceso es el más antiguo y simple, pues consta de la cosecha, el secado (al sol), el morteadado (eliminación de la cascarilla o pergamino de los granos), la clasificación y el ensacado. En México entre el 10 y 15% (SAGARPA, et al., 2011), se procesa por esta vía y la especie a la que se aplica principalmente es la *Coffea Canephora* (Puerta, 1999: 79).

2.4.2.- Residuos de café por beneficio húmedo

El proceso aplicado en húmedo permite recuperar los residuos de piel, mucilago, pulpa y cascarilla, en tres fracciones, en una fracción recupera la piel y la pulpa, en la segunda fracción el mucilago y las azúcares solubles, en la tercera fracción la cascarilla (Wong-Paz et al., 2013). El beneficio húmedo es todo lo contrario al proceso de beneficio seco, pues en el beneficio húmedo se necesitan de muchas fuentes de agua y generan subproductos como la pulpa y el aguamiel que generan implicaciones ambientales (López, 2009: 6).

El inicio del proceso de este inicia con la recepción, donde los frutos se meten a un sifón lleno de agua con el fin de evitar que el fruto se caliente y comience a fermentar. Se eliminan todas sus impurezas y se seleccionan por su densidad;

posteriormente va la separación de la pulpa del grano de café, una vez despulpados los granos, pasan a la fermentación, que es donde el mucilago se separa del grano; consecutivamente se da paso al lavado, este debe ser lavado las veces que sea necesario para eliminar todas las impurezas que queden del mucilago. El secado es la etapa posterior, que consiste en llevar la humedad del grano de un 52% hasta un 12%, al finalizar el secado, se necesita de por lo menos 24 horas para homogenizar la humedad (Aguilar et al., 2014).

Este proceso industrial es considerado un factor que deteriora el medio ambiente, debido a que normalmente no se cuenta con un sistema de tratamiento eficiente (Álvarez et al., 2011: 35). Pese a ello el proceso de beneficio húmedo no se puede omitir, pues este le da una excelente calidad al café (aroma, sabor, cuerpo y acidez) y además es el primer paso en la cadena agroindustrial (Produce y ITESM, 2003: 4).

2.5 Descripción de las propiedades físicas de biofilm/PC

Las propiedades físicas de las películas comestibles elaboradas son tales como opacidad, solubilidad en agua, densidad, espesor, humedad, capacidad de retención de agua (CRA), interacción de la matriz polimérica (FTIR), permeabilidad y propiedades sensoriales (Anchundia et al., 2016).

2.5.1.- Espesor

Se denomina espesor al grosor de un elemento y que también puede vincularse a la densidad de una sustancia (Wordreference, 2017). A medida que el grosor de las PC aumenta, la resistencia de transferencia de masa a través de ella se incrementa, junto con la presión parcial del vapor de agua en equilibrio en la superficie inferior de la cubierta (Park y Chinnan, 1995, citado por Morales., 2011).

2.5.2.- Solubilidad en agua

Esta es la propiedad física que se emplea para determinar si la película o biopelícula se descompone fácilmente, si esta presenta una mayor solubilidad existe una menor resistencia al agua, lo que representa una tendencia mayor a la degradación e indica la funcionalidad de esta, como puede ser su uso en alimentos de alta o baja humedad. Al realizar esta prueba se busca evaluar el comportamiento de la película o biopelícula ante la presencia de agua, determinando sus posibles usos. Si presentan un alto porcentaje de solubilidad pueden ser aptas para alimentos con bajo contenido de humedad y si su porcentaje de solubilidad no es alto son aptas para alimentos con alto contenido de humedad de acuerdo con Alvarenga, Lissette, Peña, Arnoldo, Amaya y Elisa (2018).

2.5.3.- Opacidad

La opacidad de un material es su capacidad de no transmitir luz, con una transmitancia de luz igual a 0, con materiales en capa fina, esta es una variable dependiente del espesor del material. También se entiende como la condición en la que una materia impide parcial o totalmente el paso del haz de luz (SEMARNAT, 2006).

2.5.4.- Permeabilidad al vapor de agua

La permeabilidad es la capacidad de un material para permitir que un fluido lo atraviese sin alterar su estructura interna. Un material es permeable cuando deja pasar a través de él, una cantidad considerable de fluido en un tiempo dado y un material es impermeable cuando la cantidad de fluido es despreciable. La velocidad del fluido depende de la estructura del material (tamaño de poros, sección y espesor de la película), densidad del fluido considerado (dependiente de la temperatura), presión del fluido y el tiempo de exposición.

La permeabilidad al vapor de agua es la cantidad de vapor (gramos) que pasa por unidad de superficie (m²) de un material de espesor unitario (mm) por unidad de

tiempo (h) cuando entre sus paredes existe una diferencia de presión unitaria (kPa) (Carballo, E y Martínez, E., 2010).

2.6 Descripción de las propiedades mecánicas de biofilm/PC

Las propiedades mecánicas usualmente evaluadas para caracterizar las películas comestibles son la resistencia a la tensión, elongación y resistencia al agua. Estas propiedades en gran medida dependen de sus propiedades a nanoescala (García et al., 2018).

Es importante que el recubrimiento comestible tenga unas buenas propiedades mecánicas, pues, por mucho que dé resultados óptimos en las propiedades de barrera, de nada serviría si éste no va a conservar una mínima integridad durante el manejo, el embalaje y el transporte (Dhall, 2016).

Las propiedades mecánicas de los recubrimientos y películas comestibles dependen en gran medida del tipo de material empleado en su elaboración, especialmente de su grado de cohesión, es decir, la habilidad del polímero para formar muchos puentes moleculares entre las cadenas poliméricas y que éstos sean estables. Se conoce que un aumento del contenido de plastificante conducirá a una disminución de la fuerza de tensión y del módulo elástico (Guerrero Beltran y Vázquez Briones, 2013).

2.6.1.- Resistencia a la tensión y elongación

Es la fuerza requerida para romper la película por estiramiento; la elongación que implica el grado al cual la película puede estirarse antes de romperse; módulo de Young que mide la rigidez y la compresibilidad de un material estructural (Porta et al., 2016).

2.6.2.- Resistencia al agua

Esta es una propiedad mecánica adecuada para determinar su resistencia y rigidez del biofilm que puede soportar antes de su ruptura (Ocaña L, 2020).

Los biofilm a partir de polímeros naturales, tales como los polisacáridos (almidón y derivados de la celulosa, alginatos, pectinas, gelano, carragenano, entre otros), así como aquellos a base de proteínas, muestran una baja resistencia al agua (Guerrero Beltran y Vázquez Briones, 2013).

La solubilidad al ser una medida de la integridad del biofilm en un medio acuoso y generalmente a mayor solubilidad en agua la resistencia al agua es menor (Roblejo, J., 2009, citado por Abrajan, M., 2008).

2.7 Metodología para determinar la resistencia al agua de biofilm/PC.

El método descrito por Blanco et al., 2013; las biopelículas se fijan en celdas calibradas con área de 16cm², se vierte 5 ml de agua destilada sobre la superficie del biofilm y se registra la deformación de este por el efecto del agua (cm), el tiempo que el agua comienza a filtrarse a través del biofilm y el tiempo que tarda en romperse (pruebas por triplicado). Con límite de aceptabilidad de > 42 horas para ser considerado como irrompible (esta prueba tuvo un enfoque diferente al de este estudio).

2.8 Metodologías para determinar la solubilidad en agua de biofilm/PC

La solubilidad es una medida de la integridad de los recubrimientos en un medio acuoso. Generalmente, mayor solubilidad indica menor resistencia al agua. Esta propiedad afecta la futura aplicación de los recubrimientos (Roblejo, J., 2009, citado por Abrajan, M., 2008)

2.8.1.- Solubilidad en agua por coeficientes en el modelo de regresión y Ftest

De acuerdo con la metodología establecida por Collar et al., 2008, se debe cortar las películas en tres círculos con 2 cm de diámetro cada uno de estos, pesar las

muestras, posteriormente sumergir en 50 ml de agua destilada; luego agitar lenta y periódicamente durante 24 horas a 25°C. El contenido de masa de las muestras iniciales y finales se va a determinar secando las muestras a 105°C por 24 horas, esto se debe realizar por triplicado. Modelo de coeficientes de regresión y Ftest se empleó para solubilidad en agua (sol) resistencia a la tracción (TS), alargamiento a la rotura (ELO) y módulo de elasticidad (EM) de películas.

Los valores P y los coeficientes en el análisis de regresión trabajan juntos para indicar qué relaciones en su modelo son estadísticamente significativas y la naturaleza de esas relaciones (Frost, 2017). Un coeficiente de regresión describe el tamaño de la relación entre un predictor y la variable de respuesta. Los coeficientes son los números por los cuales se multiplican los valores del término en una ecuación de regresión y tienen un intervalo de confianza (IC) de 95% (Tabla de coeficientes para Ajustar modelo de regresión, 2019).

2.8.1.1.- Coeficientes en el análisis de regresión y Ftest

Los coeficientes describen la relación matemática entre cada variable independiente y la variable dependiente . Los valores p de los coeficientes indican si estas relaciones son estadísticamente significativas (Frost, 2017).

El análisis de regresión es una forma de estadística inferencial . Los valores p ayudan a determinar si las relaciones que observa en su muestra también existen en la población más grande . El valor p para cada variable independiente prueba la hipótesis nula de que la variable no tiene correlación con la variable dependiente. Si no hay correlación, no hay asociación entre los cambios en la variable independiente y los cambios en la variable dependiente. En otras palabras, no hay evidencia suficiente para concluir que existe un efecto a nivel poblacional (Frost, 2017).

Si el valor p de una variable es menor que su nivel de significancia , los datos de la muestra proporcionan suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula para toda la población. Sus datos a favor de la hipótesis de que no es una correlación no cero. Los cambios en la variable independiente están asociados con cambios en la variable dependiente a nivel de población. Esta variable es estadísticamente significativa y probablemente una adición valiosa a su modelo de regresión. Por otro lado, un valor p que es mayor que el nivel de significancia indica que no hay evidencia suficiente en su muestra para concluir que existe una correlación distinta de cero (Frost, 2017).

2.8.2.- Solubilidad en agua por el procedimiento de diferencia mínima significativa de Fisher (LSD)

De acuerdo a Alvarenga, Lissette, Peña, Arnoldo, Amaya y Elisa (2018), el proceso para realizar la prueba de solubilidad en agua de la biopelícula es, recortar las muestras en rectángulos de aproximadamente 3x4 cm para colocar en un desecador por 24 horas; posteriormente pesar e introducir en un vaso de precipitado con 80 ml de agua destilada con agitación constante y a temperatura ambiente durante una hora, una vez cumplido el tiempo necesario, se debe filtrar y para llevarlas a peso constante se deben colocar en la estufa a 60°C.

Para determinar la materia seca no soluble en agua, hay que restar el primer peso de las muestras sometidas al desecador por 24 horas, menos el peso de la materia seca que se solubilizó en agua durante una hora y se expresa como porcentaje de la materia prima seca inicial.

Mediante el procedimiento de diferencia mínima significativa de Fisher (LSD), se determinaron los % de solubilidad en agua y este procedimiento cuenta con un 95% de nivel de confianza (Alvarenga et al., 2018).

2.8.2.1.- Procedimiento de diferencia mínima significativa de fisher (ISD)

El método LSD de Fisher se utiliza en ANOVA para crear intervalos de confianza para todas las diferencias en parejas entre las medias de los niveles de los factores, controlando al mismo tiempo la tasa de error individual en un nivel especificado. Posteriormente el método de LSD de Fisher utiliza la tasa de error individual y varias comparaciones para calcular el nivel de confianza simultáneo para todos los intervalos de confianza. Este nivel de confianza simultáneo es la probabilidad de que todos los intervalos de confianza contengan la diferencia verdadera. Es importante considerar la tasa de error por familia al realizar comparaciones múltiples, porque la probabilidad de cometer errores de tipo I para una serie de comparaciones son mayores que la tasa de error de cualquier comparación individual. Utilizando el método LSD de Fisher, usted especifica que cada comparación debe tener una tasa de error individual de 0.05 (equivalente a un nivel de confianza de 95%) (Soporte de Minitab, 2019).

2.8.3.- Solubilidad en agua por un análisis de varianza (ANOVA)

La metodología utilizada por Palma-Rodríguez et al., 2017 dice que; se deben cortar piezas de cada película con dimensiones de 2 cm por 3 cm, las cuales se van a almacenar en un desecador a una humedad relativa cercana al 0% (provisto por sílica de gel) durante siete días. Los pesos de las películas cortadas se deben registrar y, posteriormente, se deben colocar en un vaso de precipitado con 80 ml de agua destilada con agitación continua 125 rpm, a una temperatura de 60 °C. Terminada la agitación, filtrar las piezas de las películas y secar en una estufa de aire forzado a 60 °C por 2 h. Después pesar, para finalmente determinar el porcentaje de materia soluble (% solubilidad), para calcular con la fórmula:

$$\text{Solubilidad (\%)} = \left(\frac{\text{Peso inicial seco}}{\text{Peso final seco} + \text{Peso inicial seco}} \right) 100$$

Se usó un diseño completamente al azar y se realizó un análisis de varianza (ANOVA), para probar el efecto de la solubilidad, permeabilidad al vapor de agua y las propiedades mecánicas de las películas elaboradas. Las medias de los tratamientos fueron comparadas mediante la prueba de Tukey con un intervalo de confianza del 95%.

2.8.3.1.- Análisis de varianza (ANOVA)

Un análisis de varianza prueba la hipótesis de que las medias de dos o más poblaciones son iguales. Los ANOVA evalúan la importancia de uno o más factores al comparar las medias de la variable de respuesta en los diferentes niveles de los factores. La hipótesis nula establece que todas las medias de la población (medias de los niveles de los factores) son iguales mientras que la hipótesis alternativa establece que al menos una es diferente (Soporte de Minitab, 2019).

Para ejecutar un ANOVA, debe tener una variable de respuesta continua y al menos un factor categórico con dos o más niveles. Los análisis ANOVA requieren datos de poblaciones que sigan una distribución aproximadamente normal con varianzas iguales entre los niveles de factores. Sin embargo, los procedimientos de ANOVA funcionan bastante bien incluso cuando se viola el supuesto de normalidad, a menos que una o más de las distribuciones sean muy asimétricas o si las varianzas son bastante diferentes. Las transformaciones del conjunto de datos original pueden corregir estas violaciones.

El método de Tukey se utiliza en ANOVA para crear intervalos de confianza para todas las diferencias en parejas entre las medias de los niveles de los factores mientras controla la tasa de error por familia en un nivel especificado. Es importante considerar la tasa de error por familia cuando se hacen comparaciones múltiples, porque la probabilidad de cometer un error de tipo I para una serie de

comparaciones es mayor que la tasa de error para cualquier comparación individual. Para contrarrestar esta tasa de error más elevada, el método de Tukey ajusta el nivel de confianza de cada intervalo individual para que el nivel de confianza simultáneo resultante sea igual al valor que usted especifique.

Capitulo III

Desarrollo y Metodología

3.1 Procedimiento y descripción de las actividades realizadas

3.1.1 Prueba de resistencia al agua.

Esta prueba tiene como objetivo evaluar el comportamiento del biofilm ante la presencia de agua, en este caso comparar la diferencia de resistencia que hay entre cada temperatura y evaluar la importancia del factor/ factores, al comparar los tiempos de resistencia del biofilm con las diferentes temperaturas que van desde temperaturas ambiente hasta altas temperaturas.

Para llevar a cabo la prueba se elaboró el biofilm, luego se recortaron rectángulos de 2x3 cm aproximadamente, en total 30 muestras, pues las pruebas se realizaron por triplicado. Se evaluó tomando el tiempo de la solubilidad en agua, primero a temperatura ambiente (10°C, 20°C, 30 °C y 40°C) y después a temperaturas altas (50°C, 60°C, 70°C, 80°C, 90°C y 100°C), todas estas pruebas se llevaron a cabo en un vaso de acero vitrificado con 80 ml de agua destilada.

Imagen 1. Muestras en rectángulos de la PC



Fuente: Propia, medidas basadas en el procedimiento empleado por

Alvarenga et al., 2018.

3.2 Alcance y enfoque de investigación

El análisis de realizado al biofilm demuestra que la resistencia de la PC se ve afectada por la diferencia de temperatura, pero en cualquiera de éstas el biofilm presenta 100% de solubilidad en agua.

3.3 Hipótesis

La resistencia del biofilm comestible disminuye conforme aumenta la temperatura manteniendo la solubilidad del 100%.

3.4 Diseño y metodología de la investigación

El trabajo de investigación fue de tipo cuantitativo, pues se manipularon variables numéricas para realizar la parte estadística. Contando con una variable independiente (temperatura) y variable dependiente (tiempo de resistencia), ósea que se acudió a este tipo de investigación porque el tiempo es determinante para comprender la relación de causa y efecto en el fenómeno (resistencia).

Teniendo como base el análisis estadístico un análisis de varianza (ANOVA) y de comparación TUKEY, para poder comprobar o refutar la hipótesis, donde la variable de respuesta es el tiempo de resistencia (lo que se quiere obtener) y como factor la temperatura, en este caso es un ANOVA de un solo factor.

Las muestras tomadas del biofilm comestible hecho a base de residuos agroindustriales, tuvieron un tamaño de 2 x 3 cm aproximadamente, medidas basadas en el procedimiento empleado por Alvarenga et al., 2018., todas las muestras por triplicado en temperaturas que van desde 10°C hasta 100°C. Los resultados obtenidos fueron analizados en Minitab 19, por el método antes mencionado.

3.5 Selección de la muestra

La selección de la muestra consistió en la elaboración del biofilm comestible, para después acoplarlo en pequeñas muestras con mismo tamaño.

3.6 Recolección de datos

Las muestras recortadas del biofilm comestible hecho a base de residuos agroindustriales, fueron introducidas dentro de un vaso de acero vitrificado con un contenido de 80 ml de agua purificada, a 10 temperaturas diferentes.

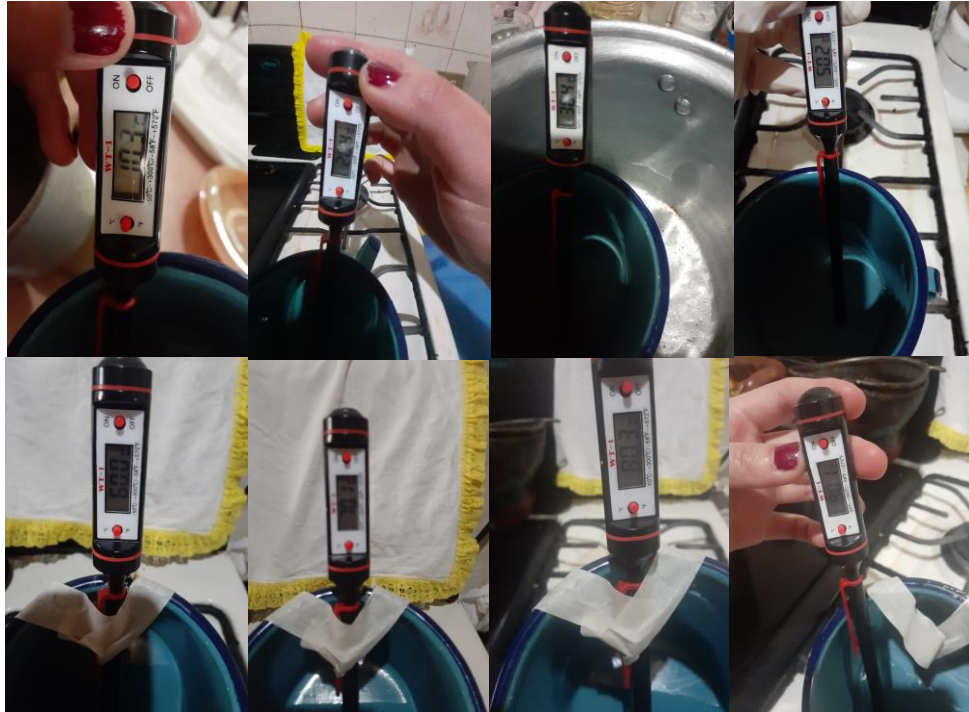
La prueba de resistencia (en base a tiempo en segundos) fue aplicada por triplicado en cada diferente temperatura, con la finalidad de tener una serie de datos para comparación y evaluar la importancia del único factor que es la temperatura, que fue tomada por un termómetro digital tipo pluma WT1 con sonda de 10.5 cms SS, con rango de -50 a 300°C.

Evaluación de Resistencia al agua (Segundos)

<i>Temperatura del agua</i>	Polímero	Polímero	Polímero
10°C	2034.9	2011.88	2016.07
20°C	707.2	700.34	699.16
30°C	374.28	362.64	364.02
40°C	128.38	133.51	146.13
50°C	59.3	60.47	57.17
60°C	57.15	47.09	40.23
70°C	44.46	46.61	42
80°C	30.2	33.32	36.46
90°C	21.42	17.38	14.42
100°C	12.47	12.93	16.89

Tabla 1. Tiempos por triplicado de resistencia al agua.

Imagen 2 Toma de temperaturas para recopilación de datos.



Fuente: Propia, basadas en temperatura ambiente y altas.

3.7 Análisis de datos

Los resultados numéricos que se obtuvieron de la recolección de datos, fueron analizados por el programa Minitab 2019; el cual se basó en el estudio de temperatura como factor independiente y en la variable de respuesta se consideró a el tiempo en segundos en función a la solubilidad del 100% de las muestras.

El análisis estadístico que se realizó fue un análisis de varianza (ANOVA) de un solo factor y prueba de TUKEY para determinar varianzas significativas entre las medias, con un intervalo de confianza del 95%.

Capitulo IV

Resultados

5.1 Análisis de los resultados

Para el análisis de resistencia al agua (segundos) del biofilm comestible, se hizo el análisis de varianza de un solo factor y se obtuvieron los siguientes datos:

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Temperatura	9	10663879	1184875	29498.85	0.000
Error	20	803	40		
Total	29	10664683			

Tabla 2. Análisis de varianza

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
6.33773	99.99%	99.99%	99.98%

Tabla 3. Resumen del modelo

Temperatura	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
10	3	2020.95	12.26	(2013.32, 2028.58)
20	3	702.23	4.34	(694.60, 709.87)
30	3	366.98	6.36	(359.35, 374.61)
40	3	136.01	9.13	(128.37, 143.64)
50	3	58.980	1.673	(51.347, 66.613)
60	3	48.16	8.51	(40.52, 55.79)
70	3	44.36	2.31	(36.72, 51.99)
80	3	33.33	3.13	(25.69, 40.96)
90	3	17.74	3.51	(10.11, 25.37)
100	3	14.10	2.43	(6.46, 21.73)

Desv.Est. agrupada = 6.33773

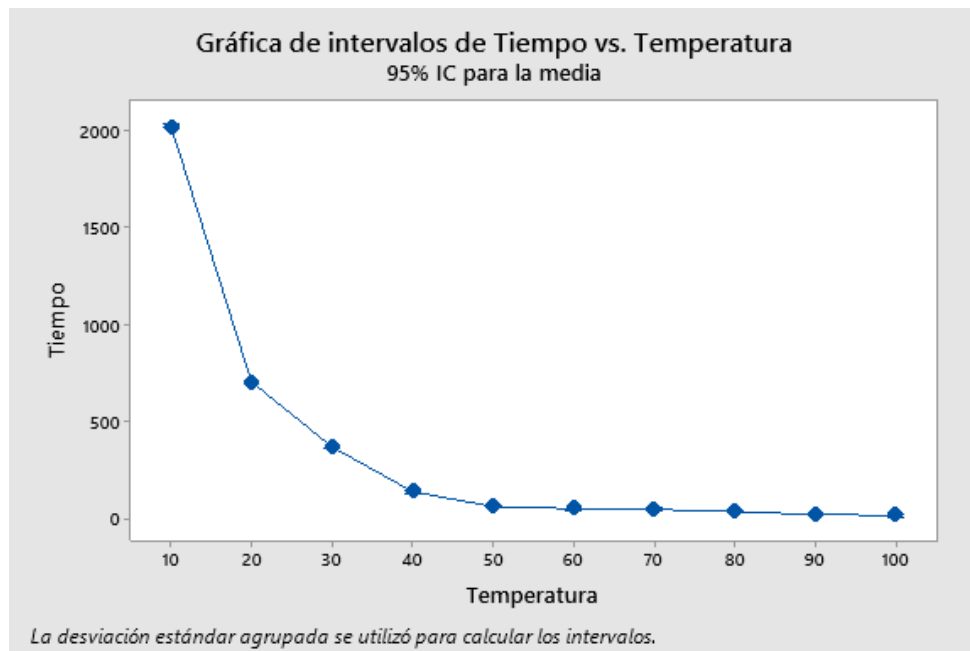
Tabla 4. Medias

Temperatura	N	Media	Agrupación					
10	3	2020.95	A					
20	3	702.23	B					
30	3	366.98	C					
40	3	136.01	D					
50	3	58.980		E				
60	3	48.16		E	F			
70	3	44.36		E	F			
80	3	33.33			F	G		
90	3	17.74				G	H	
100	3	14.10					H	

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Tabla 5. Información agrupada utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Imagen 3. Gráfica de intervalos de Tiempo (seg) vs. Temperatura (°C)



Fuente: Propia, resultados obtenidos de la relación entre tiempo y temperatura.

En la tabla 2 donde se pueden observar a los grados de libertad (GL) que son la cantidad de información en los datos y el análisis los utiliza para estimar los valores de los parámetros de población infinita (Soporte de Minitab, 2019). Lo que se interpretó como que 9 son los grados de libertad de los tratamientos.

Minitab hizo particiones de los GL para error, porque se cumplieron dos condiciones en el análisis de varianza; primero hubo datos que no están incluidos en el modelo, esto porque el predictor continuo (variable continua) no tiene 3 o más valores distintos y no se puede estimar e incluir un término cuadrático en el modelo. También porque los datos contienen replicas en la temperatura (100°C) y tiempo (12 segundos).

Las sumas ajustadas de los cuadrados (SC Ajust.) son medidas de variación para los diferentes componentes del modelo y Minitab separa estas SC Ajust en diferentes componentes (término y error), para el término indica la cantidad cuantificada de variación en los datos de respuesta explicados por cada término en el modelo; para el error cuantifica la variación en los datos que los predictores no explican. La principal aplicación de las SC Ajust es calcular el valor p y R^2 (explica la relación de la variable de respuesta con la variable independiente) mientras mayor sea el R^2 mejor será el ajuste del modelo a sus datos.

Al igual que las SC Ajust el valor F también es utilizado para determinar el valor p y determinar si el término está asociado con la respuesta, si el valor de F es suficientemente grande indica que el termino es significativo, el cual, si lo es, porque del término depende la resistencia. El valor p es una probabilidad que mide la evidencia en contra de la hipótesis nula (todas las medias son iguales), en este caso el valor de $p=0.000$ menor a 0.05 lo que hace rechazar la hipótesis nula. Los cuadrados medios ajustados (CM Ajust.) son para calcular el valor p del término y del R^2 ajustado (porcentaje de variación en la variable de respuesta).

La tabla 3 y 4 presentan qué tan dispersos están los datos alrededor de la media que es igual a 6.33773; en la tabla 4, cada intervalo es un intervalo de confianza de 95% de la media de un grupo, ósea que se puede estar 95% seguro de que una media de grupo está dentro del intervalo de confianza del grupo.

En la tabla 5 se comparan las medias de los grupos, donde los grupos A, B, C y D presentan diferencias significativas, pues no comparten alguna letra entre si y sus medias son significativamente diferentes entre si principalmente el grupo A (10°C). Por otro lado, las temperaturas 60°C y 70°C están en los grupos E y F, ósea que sus diferencias entre las medias que comparten una letra no son estadísticamente significativas.

En la imagen 3 se observa que hay un momento en que el rango de temperaturas de 50°C a 80°C no tiene diferencia significativa y hay una relación que es entre menos temperatura (temperatura ambiente) aplicada mayor es el tiempo de resistencia, lo que comprueba la hipótesis.

Capítulo V

Conclusiones

5.1 Conclusiones, experiencia profesional y personal adquirida

El presente proyecto es por parte del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, se logra desarrollar y culminar en tiempos de contingencia. Como eje central de estudio, es la medición de la resistencia y solubilidad del biofilm comestible hecho a base de residuos agroindustriales y con base a historia del arte anteriormente publicada, se consigue realizar los análisis para evaluar las propiedades físicas – mecánicas del biofilm y los análisis de datos, aplicando los conocimientos obtenidos a lo largo de la carrera, en el programa Minitab 2019. Obteniendo como resultado la relación de a menor temperatura mayor tiempo de resistencia y a mayor temperatura menor tiempo de resistencia, en ambos casos la solubilidad es del 100%.

5.2 Conclusiones relativas a los objetivos

El método ANOVA empleado, cuenta con el R^2 pronosticado equivalente al 99.98%, que aun que es 1% menor que el R^2 y eso lo hace un método un poco sobreajustado, pero al contar con un porcentaje tan alto de R^2 pronosticado, tiene mayor capacidad de predicción. El tiempo es la variable de respuesta del factor temperatura y este aumenta a temperaturas ambiente y disminuye a temperaturas altas, pero siempre teniendo una solubilidad de 100%.

5.3 Conclusiones relativas al objetivo general

El objetivo se cumple, pues se logra evaluar dos de las principales propiedades físicas (solubilidad) y mecánicas (resistencia) que determinan su funcionalidad que es la de disolverse a temperaturas bajas (10°C en adelante) o temperaturas ambientes, hasta temperaturas considerablemente altas 100°C.

En las bebidas calientes como el café que se prepara a temperaturas de 55 hasta 62°C, donde a esas temperaturas se obtuvieron medias de entre los 48.16 a los 58.980 segundos de resistencia con solubilidad del 100%; pero siempre actuando como protección de la acción física,

química y mecánica, no afectando las propiedades sensoriales del producto y prolongando su vida útil.

Además, al transformar los residuos de la industria cafetalera a un biofilm comestible, se disminuirá la fermentación en los cuerpos de agua y los problemas fitosanitarios o contaminación cruzada causados por estos desechos agroindustriales, además de evitar los largos tiempos y las grandes cantidades de oxígeno para la degradación de estos.

5.4 Aportaciones originales

Las temperaturas de 10°C, 20°C, 30°C y 40°C, son temperaturas con medias significativamente diferentes, en el proceso de triplicado de la toma de tiempos existe mucha variación en la cantidad de segundos entre los diferentes grados, pero incluso si se midiera la resistencia y solubilidad en agua a temperaturas menores de los 10°C, sería mayor la resistencia, pero siempre habría solubilidad en 100%, porque el biofilm está hecho de residuos agroindustriales, polisacáridos (solubles en agua) principalmente el mucilago de *coffe arabica*.

5.5 Limitaciones del modelo planteado

Al estar en etapa de contingencia, no se contó con un ambiente controlado y material específico para laboratorio.

5.6 Recomendaciones

Para investigaciones futuras se sugiere continuar con el análisis de los efectos y comportamientos del biofilm en la vida de anaquel en alimentos con humedades altas (carnes, frutas, hortalizas) y humedades bajas (frutos secos, cereales, carne seca).

Capítulo VII

Fuentes de Información

- Abrajan, M. (2008). "Efecto del método de extracción en las características químicas y físicas del mucílago del nopal (*Opuntia ficus indica*) y estudio de su aplicación como recubrimiento comestible". Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Aguilar, N., Houbroun, E., Rustrian, E., Reyes, L. (2014). Papel amate de pulpa de café (*Coffea arabica*) (Residuo de beneficio húmedo). Ra Ximhai, vol. 10, núm. 3, enero-junio, 2014, pp. 103-117. Universidad Autónoma Indígena de México. El Fuerte, México.
- Allegra, A., Inglese, P., Sortino, G., Settanni, L., Todaro, A. y Liguori, G. (2016). La influencia del recubrimiento comestible de mucílago de *Opuntia ficus-indica* en la calidad de las rodajas de kiwi "Hayward". *Biología y tecnología poscosecha*, 120, 45-51.
- Álvarez, J., et al (2011). "Evaluación de un sistema de tratamiento de aguas residuales del prebeneficiado de café (*Coffea arabica*) implementado en la comunidad Carmen Pampa provincia Nor Yungas del Departamento de La Paz", *Journal of the Selva Andina Research Society*, pp. 34-42.
- Anchundia, K., Santacruz, S., y Coloma, J. (2016). Caracterización física de películas comestibles a base de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*). *Revista Chilena de Nutrición*, 43(4), 9-9. <https://doi.org/10.4067/s0717-75182016000400009>
- Alavrenga, V. L. (2018). "Formulación y caracterización de una biopelícula comestible elaborada a partir de almidón de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) y yuca (*Manihot esculenta*)". Obtenido de UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS.

- Beverlyaa, R., Janes,M., Prinyawiwatkulaa,W. y No, H.K. (2008). Películas de quitosano comestible sobre rosbif listo para comer para el control de *Listeria monocytogenes*. *Microbiología alimentaria*.25: 534–537
- Carballo, E.A y Martinez, E. (2010). "Determinacion de la permeabilidad al vapor de agua por el metodo ASTM E96/E 96M-05 en peliculas de quitosano". Tesis. Facultad de Quimica y Farmacia. San Salvador, El Salvador, Centroamerica.
- Colla, E., Sobral, P. J. A., y Menegalli, F. C. (2006). Películas comestibles de harina de (*Amaranthus cruentus*). influencia de la adición de ácido esteárico, la concentración de plastificante y la velocidad de agitación de la emulsión sobre la permeabilidad al vapor de agua y las propiedades mecánicas. *Revista de química agrícola y alimentaria*, 54, 6645e6653.
- Cristán, F., Arturo, Ize., Gavilán, A. (2003). La situación de los envases de plástico en México *Gaceta Ecológica*, núm. 69, pp. 67-82 Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales Distrito Federal, México:
<https://www.redalyc.org/pdf/539/53906905.pdf>
- Dhall, R. (2016). Avances en recubrimientos comestibles para frutas y verduras frescas. *Ciencia de los alimentos y nutrición*, 436.
- Eissa, H. (2007). Efecto del recubrimiento de quitosano sobre la vida útil y la calidad de los hongos recién cortados. *Revista de calidad alimentaria*, 30(5), 623-645.
- Espinoza, E. (2020). "Aplicación biotecnológica en mucílago de coffe arabica para el desarrollo de un film bio-degradable, sustituto de envolturas plásticas con aplicación en alimentos". *Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán - IIA*, 72.

Expansión. (2017). *Expansión*.

<https://expansion.mx/economia/2017/12/08/mexico-desperdicia-el-34-de-su-produccion-alimentaria-segun-el-banco-mundial>

Figueroa, E., Pérez, F., y Godínez, L. (2017). *La producción y el consumo de café*. México: Ecorfán.

Financiera Rural. (2014). *Panorama del café*. Mayo 2014. Consultado en: [http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Panoramas/PanoramaCafe\(mayo 2014\).pdf](http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Panoramas/PanoramaCafe(mayo%202014).pdf)

Frost, J. (2017). *Cómo interpretar los valores P y los coeficientes en el análisis de regresión: estadísticas de Jim*. Estadísticas de Jim <https://statisticsbyjim.com/regression/interpret-coefficients-p-values-regression/>

Fundación Produce y ITESM [ponencia]. (2003). "Programa estratégico de necesidades de investigación y transferencia de tecnología del estado de Chiapas", Chiapas.

García, M., Delgado, F., Escamilla, M., García, B., y Regalado, C. (2018). *Métodos modernos para la caracterización de películas y recubrimientos comestibles*. *BioTecnología*, 22(1). <https://smbb.mx/wp-content/uploads/2018/06/Garci%CC%81a-et-al-2018.pdf>

Guerrero, J., y Vázquez, M. (2013). *Recubrimientos de frutas con biopelículas*.

Hernández et al., (2019). *Desarrollo de películas y recubrimientos comestibles aplicados a productos cárnicos*. Colpos.mx.

<http://www.colpos.mx/wb/index.php/notas-informativas/desarrollo-de-películas-y-recubrimientos-comestibles-aplicados-a-productos-carnicos>

Iberoamericana, A., Postcosecha, T., y México, S. (2015). Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, 16(1), 8–17.

<https://www.redalyc.org/pdf/813/81339864002.pdf>

Informe del Medio Ambiente. (2015). Semarnat.gob.mx.

<https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/tema/cap7.html>

Instituto Nacional de Ecología (1998). Memorias: Seminario internacional sobre manejo integral de residuos sólidos. SEMARNAP, México.

Lee, K., Shim, J., y Lee H. 2004. Propiedades mecánicas de películas compuestas de gellan y gelatina. Carbohydr Polym 56:251–254.

López, D. (2009). "Efecto del vertido directo de las aguas mieles en la calidad físico-química del agua de la Subcuenca del Río Jigüina, Jinotega", FAREM Estelí / Ciencias Ambientales, Año 1, No. 1, pp. 5-16.

McHugh, T. (2000). Interacciones proteína-lípido en películas y recubrimientos comestibles. Nahrung 44:148-151.

Montero, A., y Sandí, J. (2009). "La contaminación de las aguas mieles en costa rica: un conflicto de contenido ambiental (1840- 1910)", Diálogos Revista Electrónica de Historia, Costa Rica, vol. 10, núm. 1, febrero-agosto, pp. 4-15.

- Morales, M. (2011). "Generalidades y aplicación de películas y recubrimientos comestibles en la cadena hortofrutícola". Tesis. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". Saltillo Coahuila. México.
- Novita, E. (2016). Simulación de biodegradabilidad de aguas residuales de café utilizando café instantáneo. *Agricultura y procedimientos de ciencia agrícola*, 9, 217–229. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2016.02.138>
- Ocaña, L. (2020). "Comparación de la solubilidad y elasticidad en biopelículas elaboradas a partir de harina y almidón de *Musa acuminata* y *Zea mays*", [en línea]: <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/7189>.
- Pacheco, F. (2014). Bioplásticos. México D.F: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Palma, H., Salgad, R., Páramo, D., Vargas, A., y Meza, M. (2017). Caracterización parcial de películas biodegradables elaboradas con almidón de plátano y proteínas séricas de la leche. *Acta Universitaria*, 27(1), 26–33. <https://doi.org/10.15174/au.2017.1215>
- Parra, D., Tadini, C., Ponce, P., y Lugao, A. (2004). Propiedades mecánicas y transmisión de vapor de agua en algunas mezclas de películas comestibles de almidón de yuca . *Carbohydr Polym* 58:475–481.
- Porta, R., Di Pierro, P., Sabbah, M., Regalad, C., Mariniello, L., Kadivar, M., y Arabestani, A. (2016). Mezcla películas de proteínas de pectina y vicia amarga (*Vicia ervilia*): Propiedades y efecto de la transglutaminasa. *Innov. Ciencia de los alimentos. Emerg.* 36:245-251.
- Puerta, I. (1999). "Influencia del proceso de beneficio en la calidad del café", *Cenicafé, Caldas*, pp 78-88, en, consultado el 25 de febrero de 2016.

Roblejo, J. (2009). "Evaluación de la aplicación de coberturas de quitosana en la conservación de tomates". Tesis de Pregrado, Instituto de Farmacia y Alimentos. Universidad de la Habana, La Habana Cuba.

SAGARPA, COFUPRO, UACH, Sistema Producto Café, AMECAFE, INCA RURAL. (2011). Plan de Innovación en la cafeticultura de México. Proyecto Estratégico Fomento Productivo 2010. Estrategia de Innovación hacia la Competitividad en la Cafeticultura Mexicana. México, D.F., noviembre de 2011.

Sánchez, L., Pastor, C., Vargas, M., Chiralt, A., González, C. (2011). "Efecto de los recubrimientos de hidroxipropilmetilcelulosa y quitosano con y sin aceite esencial de bergamota sobre la calidad y seguridad de las uvas almacenadas en frío". *Biología y tecnología poscosecha*, [en línea] DOI doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2010.11.004>, 60(1): 57-63.

SEMARNAT (2006). "Norma oficial mexicana para la medición de la opacidad".

Solano, L., Alamilla, L., y Jiménez, C. (2018). Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados. *TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 21, 30. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2018.0.153>

Soporte de Minitab (2019). Minitab.com. <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/anova/supporting-topics/multiple-comparisons/what-is-fisher-s-isd-method/#:~:text=Utilizando%20el%20m%C3%A9todo%20LSD%20de,de%20confianza%20de%2095%25>).

Tabla de coeficientes para Ajustar modelo de regresión. (2019). Minitab.com. <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling->

[statistics/regression/how-to/fit-regression-model/interpret-the-results/all-statistics-and-graphs/coefficients-table/](#)

- Valencia, S., Palou, L., Del Rio, M., y Pérez, M. (2011). Películas y recubrimientos comestibles antimicrobianos para frutas y verduras frescas y mínimamente procesadas. *Ciencia de los alimentos nutricional*. (51), 872-900.
- Vilpoux, O. y Averous, L. (2004). Plásticos a base de almidón. *Tecnología, uso y potencialidades de los tubérculos almidonados de América Latina*, pp. 521-553.
- Wong, J., Sylvain Guyot, Rodriguez, R., & Aguilar, C. N. (2013). Alternativas Actuales para el Manejo Sustentable de los Residuos de la Industria del Café en México. ResearchGate; unknown.
https://www.researchgate.net/publication/260714119_Alternativas_Actuales_para_el_Manejo_Sustentable_de_los_Residuos_de_la_Industria_del_Cafe_en_Mexico
- Wordreference. (2017). Definición de espesor. <http://www.wordreference.com/definición/espesor> (2/12/217).
- Yu, L., Dean, K. y Li, L. (2006). Mezclas de polímeros y compuestos de recursos renovables, *Progreso en la ciencia de polímeros*,31 (6), pp. 576-602.

Capitulo VIII

ANEXOS

Imagen 4. Biofilm en prueba de resistencia y solubilidad a una temperatura de 30°C



Fuente: Propia

Imagen 5. Biofilm con 100% de solubilidad a 50°C



Fuente: Propia

8.1 Como referenciar este trabajo

Rivera, R. (2021). *Análisis de solubilidad y resistencia en agua del biofilm comestible hecho a base de residuos agroindustriales* [Tesis de licenciatura no publicada]. Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán.