



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO**

TEMA:

“EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE PELÍCULAS DE ALMIDÓN-CELULOSA
DE CÁSCARA DE PLÁTANO MACHO CON NANOCELULOSA Y MEZCLA DE
ACEITES ESENCIALES”

AUTORES:

GUZMÁN WONG BOLÍVAR DANIEL

BONILLA FARFÁN MARÍA GABRIELA

TUTORA:

ING. DOLORES AUGUSTA JIMÉNEZ SÁNCHEZ, MSC

GUAYAQUIL – ECUADOR

NOVIEMBRE 2021

REPOSITORIONACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TRABAJO DE TITULACIÓN

| | | | |
|---|--|---|----|
| TÍTULO Y SUBTÍTULO: | EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE PELÍCULAS DE ALMIDÓN-CELULOSA DE CÁSCARA DE PLÁTANO MACHO CON NANOCELULOSA Y MEZCLA DE ACEITES ESENCIALES | | |
| AUTOR(ES) (apellidos/nombres): | GUZMÁN WONG BOLÍVAR DANIEL BONILLA FARFÁN MARÍA GABRIELA | | |
| REVISOR(ES)/TUTOR(ES) (apellidos/nombres): | ING. DESIREÉ ALEJANDRA ÁLVAREZ MACÍAS ING. DOLORES AUGUSTA JIMÉNEZ SÁNCHEZ, MSC | | |
| INSTITUCIÓN: | UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL | | |
| UNIDAD/FACULTAD: | INGENIERIA QUIMICA | | |
| MAESTRÍA/ESPECIALIDAD: | | | |
| GRADO OBTENIDO: | TITULO DE INGENIERO QUIMICO | | |
| FECHA DE PUBLICACIÓN: | | No. DE PÁGINAS: | 99 |
| ÁREAS TEMÁTICAS: | TECNOLOGIA, PROCESOS Y DESARROLLO INDUSTRIAL | | |
| PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS: | <i>Celulosa, aceites esenciales, películas, nanocelulosa, nanoarcillas, almidón.</i> | | |
| RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras): | <p>El propósito de este trabajo es evaluar las propiedades físicas, químicas y microbiológicas de las películas de almidón-celulosa de la cáscara de plátano macho usando tres factores en su formulación: nanocelulosa, nanoarcilla y mezcla de aceites esenciales. Primero se obtuvo el almidón-celulosa de la cáscara de plátano macho como materia prima, luego se elaboraron películas de almidón-celulosa, y finalmente se adicionó nanocelulosa, nanoarcilla y mezcla de aceites esenciales con diferentes concentraciones, teniendo un total de 20 formulaciones. Las películas se las evaluaron realizándose análisis cualitativos y cuantitativos. En los análisis cualitativos se pudo obtener la composición de la película (FTIR), en los análisis cuantitativos se pudo obtener la humedad, permeabilidad, solubilidad, además de su hidrofobicidad, en los análisis mecánicos la nanocelulosa tiene un rol importante en las propiedades de las películas, teniendo los mejores resultados las películas que tenían nanocelulosa en su formulación, y en los análisis microbiológicos se obtuvo el halo de inhibición de las muestras con AE, NC y NA de las cuales ninguna presentó, el papel filtro con la mezcla de aceites esenciales sí presentó un buen halo de inhibición de 30.5 mm a 46 mm de diámetro. Se pudo deducir que las películas con mejores propiedades físicas fueron las que tenían la mitad de las concentraciones (m/m) de nanocelulosa y nanoarcilla, en comparación con las otras formulaciones, siendo las películas con 25 mL de nanocelulosa y 0.025 g de nanoarcilla..</p> | | |
| ADJUNTO PDF: | SI (X) | NO | |
| CONTACTO CON AUTOR/ES: | Teléfono: 0998467590 0969562675 | E-mail: bolivar.guzmanw@ug.edu.ec maria.bonillaf@ug.edu.ec | |
| CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: | Nombre: UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL | | |
| | Teléfono: 04 – 229 - 2949 | | |
| | E-mail: http://www.fig.ug.edu.ec | | |

ANEXO V.- RÚBRICA DE EVALUACIÓN TRABAJO DE TITULACIÓN

| Título del Trabajo: EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE PELÍCULAS DE ALMIDÓN-CELULOSA DE CÁSCARA DE PLÁTANO MACHO CON NANOCELULOSA Y MEZCLA DE ACEITES ESENCIALES. Autor(es): BONILLA FARFÁN MARÍA GABRIELA Y GUZMÁN WONG BOLÍVAR DANIEL | | |
|--|----------------|--------------|
| ASPECTOS EVALUADOS | PUNTAJE MÁXIMO | CALIFICACIÓN |
| ESTRUCTURA ACADÉMICA Y PEDAGÓGICA | 4.5 | |
| Propuesta integrada a Dominios, Misión y Visión de la Universidad de Guayaquil. | 0.3 | 0.3 |
| Relación de pertinencia con las líneas y sublíneas de investigación Universidad / Facultad/ Carrera | 0.4 | 0.4 |
| Base conceptual que cumple con las fases de comprensión, interpretación, explicación y sistematización en la resolución de un problema. | 1 | 1 |
| Coherencia en relación a los modelos de actuación profesional, problemática, tensiones y tendencias de la profesión, problemas a encarar, prevenir o solucionar de acuerdo al PND-BV | 1 | 1 |
| Evidencia el logro de capacidades cognitivas relacionadas al modelo educativo como resultados de aprendizaje que fortalecen el perfil de la profesión | 1 | 1 |
| Responde como propuesta innovadora de investigación al desarrollo social o tecnológico. | 0.4 | 0.4 |
| Responde a un proceso de investigación – acción, como parte de la propia experiencia educativa y de los aprendizajes adquiridos durante la carrera. | 0.4 | 0.4 |
| RIGOR CIENTÍFICO | 4.5 | 4.5 |
| El título identifica de forma correcta los objetivos de la investigación | 1 | 1 |
| El trabajo expresa los antecedentes del tema, su importancia dentro del contexto general, del conocimiento y de la sociedad, así como del campo al que pertenece, aportando significativamente a la investigación. | 1 | 0.9 |
| El objetivo general, los objetivos específicos y el marco metodológico están en correspondencia. | 1 | 1 |
| El análisis de la información se relaciona con datos obtenidos y permite expresar las conclusiones en correspondencia a los objetivos específicos. | 0.8 | 0.6 |
| Actualización y correspondencia con el tema, de las citas y referencia bibliográfica | 0.7 | 0.5 |
| PERTINENCIA E IMPACTO SOCIAL | 1 | 4.0 |
| Pertinencia de la investigación. | 0.5 | 0.5 |
| Innovación de la propuesta proponiendo una solución a un problema relacionado con el perfil de egreso profesional. | 0.5 | 0.5 |
| CALIFICACIÓN TOTAL * 10 | | 9.5 |
| * El resultado será promediado con la calificación del Tutor Revisor y con la calificación de obtenida en la Sustentación oral. ** El estudiante que obtiene una calificación menor de 7/10 en una fase de tutoría de titulación, no podrá continuar a las siguientes fases (revisión, sustentación). | | |



Firmado electrónicamente por:
**DOLORES AUGUSTA
 JIMENEZ SANCHEZ**

ING. Augusta Jiménez Sánchez. MSc.

C.I. 1102444484

FECH

A: 13/09/2021

ANEXO VI.- CERTIFICADO DEL DOCENTE-TUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Ciudad.- Guayaquil, 13 de septiembre del 2021.

Sr.

ING. SANDRA EMPERATRIZ PEÑAMURILLO
DIRECTORA DE LA CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL

De mis consideraciones:

Envío a Ud. el Informe correspondiente a la tutoría realizada al Trabajo de Titulación denominado: **EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE PELÍCULAS DE ALMIDÓN-CELULOSA DE CÁSCARA DE PLÁTANO MACHO CON NANOCELULOSA Y MEZCLA DE ACEITES ESENCIALES** de los estudiantes **BONILLA FARFÁN MARÍA GABRIELA Y GUZMÁN WONG BOLÍVAR DANIEL**, indicando que cumplido con todos los parámetros establecidos en la normativa vigente:

- El trabajo es el resultado de una investigación.
- El estudiante demuestra conocimiento profesional integral.
- El trabajo presenta una propuesta en el área de conocimiento.
- El nivel de argumentación es coherente con el campo de conocimiento.

Adicionalmente, se adjunta el certificado de porcentaje de similitud y la valoración del trabajo de titulación con la respectiva calificación.

Dando por concluida esta tutoría de trabajo de titulación, **CERTIFICO**, para los fines pertinentes, que los estudiantes están aptos para continuar con el proceso de revisión final.

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:
DOLORES AUGUSTA
JIMENEZ SANCHEZ

ING. AUGUSTA JIMÉNEZ SÁNCHEZ MSc.
C.I. 1102444484
FECHA: 13/09/202



**LICENCIA GRATUITA INTRANSFERIBLE Y NO
COMERCIAL DE LA OBRA CON FINES NO
ACADÉMICOS**

Nosotros, GUZMAN WONG BOLIVAR DANIEL con C.I. No. 0926930553 y BONILLA FARFAN MARIA GABRIELA con C.I. No. 0704448596 certificamos que los contenidos desarrollados en este trabajo de titulación, cuyo título es “EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE PELÍCULAS DE ALMIDÓN-CELULOSA DE CÁSCARA DE PLÁTANO MACHO CON NANOCELULOSA Y MEZCLA DE ACEITES ESENCIALES” son de nuestra absoluta propiedad y responsabilidad, en conformidad al Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN*, autorizamos la utilización de una licencia gratuita intransferible para el uso no comercial de la presente obra a favor de la Universidad de Guayaquil.

GUZMAN WONG BOLIVAR DANIEL

C.I. 0926930553

BONILLA FARFAN MARIA GABRIELA

C.I. 0704448596

*CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN (Registro Oficial n. 899 - Dic./2016) Artículo 114.- De los titulares de derechos de obras creadas en las instituciones de educación superior y centros educativos.- En el caso de las obras creadas en centros educativos, universidades, escuelas politécnicas, institutos superiores técnicos, tecnológicos, pedagógicos, de artes y los conservatorios superiores, e institutos públicos de investigación como resultado de su actividad académica o de investigación tales como trabajos de titulación, proyectos de investigación o innovación, artículos académicos, u otros análogos, sin perjuicio de que pueda existir relación de dependencia, la titularidad de los derechos patrimoniales corresponderá a los autores. Sin embargo, el establecimiento tendrá una licencia

ANEXO VII.- CERTIFICADO PORCENTAJE DE SIMILITUD

Habiendo sido nombrado **ING. AUGUSTA JIMÉNEZ SÁNCHEZ, MSc.**, tutora del trabajo de titulación certifico que el presente trabajo de titulación ha sido elaborado por **BONILLA FARFÁN MARÍA GABRIELA**, C.C.: 0704448596 y **GUZMÁN WONG BOLÍVAR DANIEL**, C.C.: 0926930553, con mi respectiva supervisión como requerimiento parcial para la obtención del título de INGENIERO QUÍMICO.

Se informa que el trabajo de titulación: **“EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE PELÍCULAS DE ALMIDÓN-CELULOSA DE CÁSCARA DE PLÁTANO MACHO CON NANOCELULOSA Y MEZCLA DE ACEITES ESENCIALES”**, ha sido orientado durante todo el periodo de ejecución en el programa antiplagio (indicar el nombre del programa antiplagio empleado) quedando el 1% de coincidencia.



Urkund Analysis Result

Analysed Document: TESIS URKUND BOLIVAR GUZMAN- MARIA BONILLA
13-09-201.docx (D112510127)

Submitted: 9/13/2021 8:04:00 PM

Submitted By: dolores.jimenezs@ug.edu.ec

Significance: 1 %

Sources included in the report:

<https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7790/1/6132199-2020-1-IQ.pdf>

Instances where selected sources appear:

1



Firmado electrónicamente por:
**DOLORES AUGUSTA
JIMENEZ SANCHEZ**

ING. AUGUSTA JIMÉNEZ SÁNCHEZ MSc.

C.I. 1102444484

FECHA: 13/09/2021

ANEXO VIII.- INFORME DEL DOCENTE REVISOR

Ciudad. - Guayaquil, 21 de septiembre del 2021

ING. SANDRA EMPERATRIZ PEÑA MURILLO
DIRECTOR (A) DE LA CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL

De mis consideraciones:

Envío a Ud. el Informe correspondiente a la **REVISIÓN FINAL** del Trabajo de Titulación **EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE PELÍCULAS DE ALMIDÓN-CELULOSA DE CÁSCARA DE PLÁTANO MACHO CON NANOCELULOSA Y MEZCLA DE ACEITES ESENCIALES** de los estudiantes **BONILLA FARFÁN MARÍA GABRIELA Y GUZMÁN WONG BOLÍVAR DANIEL**. Las gestiones realizadas me permiten indicar que el trabajo fue revisado considerando todos los parámetros establecidos en las normativas vigentes, en el cumplimiento de los siguientes aspectos:

Cumplimiento de requisitos de forma:

El título tiene un máximo de 20 palabras.

La memoria escrita se ajusta a la estructura establecida.

El documento se ajusta a las normas de escritura científica seleccionadas por la Facultad. La investigación es pertinente con la línea y sublíneas de investigación de la carrera.

Los soportes teóricos son de máximo 5 años. La propuesta presentada es pertinente.

Cumplimiento con el Reglamento de Régimen Académico:

El trabajo es el resultado de una investigación.

El estudiante demuestra conocimiento profesional integral. El trabajo presenta una propuesta en el área de conocimiento.

El nivel de argumentación es coherente con el campo de conocimiento.

Adicionalmente, se indica que fue revisado, el certificado de porcentaje de similitud, la valoración del tutor, así como de las páginas preliminares solicitadas, lo cual indica el que el trabajo de investigación cumple con los requisitos exigidos.

Una vez concluida esta revisión, considero que los estudiantes **BONILLA FARFÁN MARÍA GABRIELA** y **GUZMÁN WONG BOLÍVAR DANIEL** están aptos para continuar el proceso de titulación. Particular que se comunica a usted para los fines pertinentes.

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:

DESIREE
ALEJANDRA
ÁLVAREZ MACÍAS

DESIREE ÁLVAREZ MACÍAS

Docente Revisor

C.I. 0921996203

FECHA: 21/09/2021

ANEXO IX.- RÚBRICA DE EVALUACIÓN MEMORIA ESCRITA TRABAJO DE TITULACIÓN

| Título del Trabajo: EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE PELÍCULAS DE ALMIDÓN-CELULOSA DE PLÁTANO MACHO CON NANOCELULOSA Y MEZCLA DE ACEITES ESENCIALES. | | | |
|---|-----------------------|---------------------|--------------------|
| Autor(es): BONILLA FARFÁN MARÍA GABRIELA Y GUZMÁN WONG BOLÍVAR DANIEL | | | |
| ASPECTOS EVALUADOS | PUNTAJE MÁXIMO | CALIFICACIÓN | COMENTARIOS |
| ESTRUCTURA Y REDACCIÓN DE LA MEMORIA | 3 | 3.00 | |
| Formato de presentación acorde a lo solicitado | 0.6 | 0.60 | |
| Tabla de contenidos, índice de tablas y figuras | 0.6 | 0.60 | |
| Redacción y ortografía | 0.6 | 0.60 | |
| Correspondencia con la normativa del trabajo de titulación | 0.6 | 0.60 | |
| Adecuada presentación de tablas y figuras | 0.6 | 0.60 | |
| RIGOR CIENTÍFICO | 6 | 6.00 | |
| El título identifica de forma correcta los objetivos de la investigación | 0.5 | 0.50 | |
| La introducción expresa los antecedentes del tema, su importancia dentro del contexto general, del conocimiento y de la sociedad, así como del campo al que pertenece | 0.6 | 0.60 | |
| El objetivo general está expresado en términos del trabajo a investigar | 0.7 | 0.70 | |
| Los objetivos específicos contribuyen al cumplimiento del objetivo general | 0.7 | 0.70 | |
| Los antecedentes teóricos y conceptuales complementan y aportan significativamente al desarrollo de la investigación | 0.7 | 0.70 | |
| Los métodos y herramientas se corresponden con los objetivos de la investigación | 0.7 | 0.70 | |
| El análisis de la información se relaciona con datos obtenidos | 0.4 | 0.40 | |
| Factibilidad de la propuesta | 0.4 | 0.40 | |
| Las conclusiones expresan el cumplimiento de los objetivos específicos | 0.4 | 0.40 | |
| Las recomendaciones son pertinentes, factibles y válidas | 0.4 | 0.40 | |
| Actualización y correspondencia con el tema, de las citas y referencia bibliográfica | 0.5 | 0.50 | |
| PERTINENCIA E IMPACTO SOCIAL | 1 | 1.00 | |
| Pertinencia de la investigación/ Innovación de la propuesta | 0.4 | 0.40 | |
| La investigación propone una solución a un problema relacionado con el perfil de egreso profesional | 0.3 | 0.30 | |
| Contribuye con las líneas / sublíneas de investigación de la Carrera/Escuela | 0.3 | 0.30 | |
| CALIFICACIÓN TOTAL* | 10 | 10.00 | |
| * El resultado será promediado con la calificación del Tutor y con la calificación de obtenida en la Sustentación oral. | | | |
| ** El estudiante que obtiene una calificación menor de 7/10 en una fase de tutoría de titulación, no podrá continuar a las siguientes fases (revisión, sustentación). | | | |



Firmado electrónicamente por:
DESIREE
ALEJANDRA
ÁLVAREZ MACÍAS

DESIREE ÁLVAREZ MACÍAS

Docente Revisor

C.I. 0921996203

FECHA: 21/09/2021

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación va para Dios, mi madre Susy Carol Wong y mi padre Omega Bolívar Guzmán, quienes confiaron en mis capacidades desde un principio, haciendo creer en mí y así poder ejercer la carrera.

A Mi hermano Mgtr. Juan Andrés Guzmán, que es un ejemplo a seguir y del que estoy muy orgulloso.

A mi tía Lidia Wong, que está enferma, a mi tía Jessica Wong y su hija Isabellita, a mi prima Dra. Bianca Araujo, al igual que mi hermano, estoy muy orgulloso de ella.

A mis tres sobrinas, Bianca Estela, Rubí Leonela y Alejandra, a las tres las quiero con todo mi corazón, siendo un pilar importante y así poder seguir adelante en la vida.

A mi abuelita Lupe Salinas (+), que falleció en el 2017, luego de una grave enfermedad, ahora me está cuidando desde el cielo.

Bolívar Daniel Guzmán Wong

DEDICATORIA

El presente trabajo de Titulación va dedicado a Dios, la Virgen María y al Hermanito Gregorio, por bendecirme y así poder cumplir mi sueño de ser profesional.

A mis padres y hermanos quienes amo, ellos son mi mayor inspiración, ejemplo de lucha, perseverancia y pilar fundamental en mi vida, con su amor y sacrificio he logrado mis metas, éste triunfo va para ustedes.

A mis angelitos, que desde el cielo sé que me cuidan, hace 14 años mi abuelito Ángel Bonilla y hace 11 meses mi mami (abuelita) María Deifilia Farfán.

A mi abuelita María Francisca Chaves.

María Gabriela Bonilla Farfán

AGRADECIMIENTO

Doy gracias a Dios por haberme permitido vivir y así poder haber hecho todo lo que he alcanzado hasta ahora.

Agradezco a mis padres Susy Carol y Omega Bolívar, que fueron los que me ayudaron en toda mi carrera.

Agradezco a mi abuelita Lupe Salinas (+) por haberme cuidado cuando mis padres vivían en España.

Agradezco a mis tías Lidia Natacha y Jessica Constancia.

A mi hermano mayor Mgtr. Juan Andrés, y a mi prima la Dra. Bianca Natacha.

Estoy muy agradecido con mi tutora la Ing. Augusta Jiménez, por ayudarme en la investigación y además de haberse preocupado por mis avances, es una excelente docente y persona, este trabajo de titulación no se podría haber hecho sin su apoyo.

Bolívar Daniel Guzmán Wong

AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitamente a Dios, a la Virgen María y al Hermanito Gregorio por su protección, bendición y por ser mis mayores guías durante esta etapa de mi vida.

A mis padres Gonzalo Bonilla y Grimaneza Farfán, quienes mediante sus consejos y valores me han enseñado a ser una persona correcta, me impulsaban cada día con sus palabras de motivación de dar todo de mí, y les doy gracias también por su apoyo incondicional y confianza.

A mis hermanos(a) Abg. Tatiana, Diego y Bryan, por estar presente siempre en cada etapa de mi vida y mucho más cuando los he necesitado.

A mi abuelito(as) Ángel Bonilla (+), María Farfán (+) y María Chaves, que de alguna manera han aportado en mi vida estando pendientes de mí.

A mis mejores amigas, Ing. Jessica Guacho, Ing. Carmen Contreras, Mariuxi Caiza y Dra. Karina Ruiz a quienes quiero, les agradezco por haber estado en los buenos y malos momentos de esta etapa de mi vida.

También agradezco profundamente a mi tutora Ing. Augusta Jiménez por impartimos sus conocimientos, apoyo y colaboración, y así hacer posible la realización de este trabajo.

Finalmente hago extensivo mi sincero agradecimiento a la Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Química, Carrera de Ingeniería Química, que me brindó la oportunidad de formarme profesionalmente.

María Gabriela Bonilla Farfán



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA
CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA



“EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE PELÍCULAS DE ALMIDÓN-CELULOSA DE CÁSCARA DE PLÁTANO MACHO CON NANOCELULOSA Y MEZCLA DE ACEITES ESENCIALES”

AUTORES: Guzmán Wong Bolívar Daniel, Bonilla Farfán María Gabriela
TUTORA: Ing. Augusta Jiménez Sánchez, MSC

RESUMEN

El propósito de este trabajo es evaluar las propiedades físicas, químicas y microbiológicas de las películas de almidón-celulosa de la cáscara de plátano macho usando tres factores en su formulación: nanocelulosa, nanoarcilla y mezcla de aceites esenciales. Primero se obtuvo el almidón-celulosa de la cáscara de plátano macho como materia prima, luego se elaboraron películas de almidón-celulosa, y finalmente se adicionó nanocelulosa, nanoarcilla y mezcla de aceites esenciales con diferentes concentraciones, teniendo un total de 20 formulaciones. Las películas se las evaluaron realizándose análisis cualitativos y cuantitativos. En los análisis cualitativos se pudo obtener la composición de la película (FTIR), en los análisis cuantitativos se pudo obtener la humedad, permeabilidad, solubilidad, además de su hidrofobicidad, en los análisis mecánicos la nanocelulosa tiene un rol importante en las propiedades de las películas, teniendo los mejores resultados las películas que tenían nanocelulosa en su formulación, y en los análisis microbiológicos se obtuvo el halo de inhibición de las muestras con AE, NC y NA de las cuales ninguna presentó, el papel filtro con la mezcla de aceites esenciales sí presentó un buen halo de inhibición de 30.5 mm a 46 mm de diámetro. Se pudo deducir que las películas con mejores propiedades físicas fueron las que tenían la mitad de las concentraciones (m/m) de nanocelulosa y nanoarcilla, en comparación con las otras formulaciones, siendo las películas con 25 mL de nanocelulosa y 0.025 g de nanoarcilla.

Palabras claves: celulosa, aceites esenciales, películas, nanocelulosa, nanoarcillas, almidón.

Palabras claves: aceites esenciales, almidón, celulosa, nanoarcilla, nanocelulosa, películas.

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL



FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA

CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA



"EVALUATION OF THE PROPERTIES OF STARCH-CELLULOSE FILMS OF MALE BANANA PEEL WITH NANOCELLULOSE AND MIX OF ESSENTIAL OILS"

AUTHORS: Guzmán Wong Bolívar Daniel, Bonilla Farfán María Gabriela

TUTOR: Eng. Augusta Jiménez Sánchez, MSC

ABSTRACT

The purpose of this work is to evaluate the physical, chemical and microbiological properties of the starch-cellulose films of the male banana peel using three factors in their formulation: nanocellulose, nanoclay and mixture of essential oils. First, the starch-cellulose was obtained from the male banana peel as raw material, then starch-cellulose films were made, and finally nanocellulose, nanoclay and a mixture of essential oils with different concentrations were added, having a total of 20 formulations. The films were evaluated by performing qualitative and quantitative analyzes. In the qualitative analyzes the composition of the film (FTIR) could be obtained, in the quantitative analyzes it was possible to obtain the humidity, permeability, solubility, in addition to its hydrophobicity, in the mechanical analyzes nanocellulose has an important role in the properties of the films, having the best results the films that had nanocellulose in their formulation, and in the microbiological analyzes the inhibition halo of the samples with AE, NC and NA was obtained, of which none presented, the filter paper with the mixture of essential oils it did present a good inhibition halo of 30.5 mm to 46 mm in diameter. It could be deduced that the films with the best physical properties were those with half the concentrations (m/m) of nanocellulose and nanoclay, compared to the other formulations, being the films with 25 mL of nanocellulose and 0.025 g of nanoclay.

Keywords: cellulose, essential oils, films, nanocellulose, nanoclay, starch.

ÍNDICE

| | |
|---|------|
| PORTADA..... | i |
| DEDICATORIA | vii |
| AGRADECIMIENTO | ix |
| RESUMEN | xi |
| ABSTRACT..... | xii |
| ÍNDICE DE TABLAS | xvi |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | xvi |
| ÍNDICE DE GRÁFICOS..... | xvii |
| ÍNDICE DE ANEXOS | xvii |
| INTRODUCCIÓN | 20 |
| CAPÍTULO I | 21 |
| 1. El Problema..... | 21 |
| 1.1 Tema | 21 |
| 1.1.1 Planteamiento del Problema | 21 |
| 1.2 FORMULACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN | 21 |
| 1.2.1 Formulación del problema de investigación..... | 21 |
| 1.2.2 Sistematización del problema | 22 |
| 1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN..... | 22 |
| 1.3.1 Justificación Teórica | 22 |
| 1.3.2 Justificación Metodológica | 22 |
| 1.3.3 Justificación Práctica | 23 |
| 1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN | 23 |
| 1.4.1 Objetivo general..... | 23 |
| 1.4.2 Objetivos específicos | 23 |
| 1.5 DELIMITACIONES DEL ESTUDIO..... | 24 |
| 1.6 HIPOTESIS | 24 |

| | |
|--|----|
| 1.7 Variables | 25 |
| 1.7.1 Variable Independiente | 25 |
| 1.7.2 Variable dependiente | 25 |
| 1.7.3 Operacionalización de las variables..... | 26 |
| CAPÍTULO II..... | 28 |
| 2. MARCO REFERENCIAL | 28 |
| 2.1 Antecedentes..... | 28 |
| 2.2 MARCO TEORICO | 29 |
| 2.2.1 Película almidón-celulosa | 29 |
| 2.2.2 Características de las películas..... | 29 |
| 2.2.3 Propiedades de la Película | 29 |
| 2.2.4 Recursos necesarios para la obtención del almidón-celulosa | 30 |
| 2.2.5 Composición del almidón-celulosa..... | 31 |
| 2.2.6 Aditivos de la película almidón-celulosa..... | 31 |
| 2.2.7 Aceites esenciales presente en la película almidón-celulosa | 32 |
| 2.3 Marco Conceptual..... | 33 |
| 2.4 Marco Contextual | 35 |
| 2.5 Marco Legal..... | 35 |
| CAPITULO III..... | 37 |
| 3. MARCO METODOLÓGICO | 37 |
| 3.1 Metodología de la investigación..... | 37 |
| 3.1.1 Materia prima, materiales equipos y reactivos utilizados para la obtención del almidón-celulosa..... | 37 |
| 3.1.2 Método para la obtención del almidón-celulosa | 37 |
| 3.1.3 Diagrama de Proceso de la Obtención del Almidón-celulosa | 39 |
| 3.2 Diseño Experimental de la Película..... | 40 |
| 3.2.1 Determinación de formulaciones para la película almidón-celulosa. | 40 |

| | |
|---|----|
| 3.2.2 Materia Prima, materiales, equipos y reactivos | 41 |
| 3.2.3 Método para la obtención de la película almidón-celulosa..... | 41 |
| 3.2.4 Diagrama de proceso de la elaboración de película de almidón-celulosa | 43 |
| 3.2.5 Caracterización de las películas almidón-celulosa | 44 |
| 3.3 Pruebas físicas..... | 49 |
| 3.4 Pruebas mecánicas | 51 |
| 3.5 Prueba funcional | 51 |
| 3.6 Prueba ópticas | 51 |
| 3.7 Prueba microbiológica | 52 |
| CAPITULO IV..... | 53 |
| 4. RESULTADOS..... | 53 |
| 4.1 Pruebas físicas..... | 53 |
| 4.2 Prueba mecánica | 58 |
| 4.3 Prueba funcional | 61 |
| 4.4 Prueba óptica..... | 62 |
| 4.5 Prueba microbiológica | 65 |
| CAPÍTULO V..... | 67 |
| 5.1 CONCLUSIONES | 67 |
| 5.2 RECOMENDACIONES | 68 |
| BIBLIOGRAFÍA | 69 |
| ANEXOS | 78 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Operacionalización de las variables..... | 26 |
| Tabla 2. Normativas Nacionales | 35 |
| Tabla 3 Formulación de las películas..... | 40 |
| Tabla 4 Formulación de la mezcla de los aceites esenciales..... | 41 |
| Tabla 5. Características de las películas..... | 44 |
| Tabla 6. Humedad del almidón-celulosa..... | 53 |
| Tabla 7. Halo de inhibición en el análisis microbiológico..... | 65 |
| Tabla 8. Peso de las películas de almidón-celulosa | 89 |
| Tabla 9. Porcentaje de la humedad de las películas de almidón celulosa..... | 90 |
| Tabla 10. Espesor de las películas de almidón-celulosa | 91 |
| Tabla 11. Porcentaje de solubilidad de las películas de almidón-celulosa | 92 |
| Tabla 12. Opacidad de las películas de almidón-celulosa | 93 |
| Tabla 13. Permeabilidad al vapor de agua en las películas de almidón-celulosa | 94 |
| Tabla 14. Análisis mecánico de la formulación 16..... | 95 |
| Tabla 15. Análisis mecánico de la formulación 17..... | 96 |
| Tabla 16. Análisis mecánico de la formulación 20..... | 97 |
| Tabla 17. Prueba de la gota..... | 98 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Localización de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad de Guayaquil | 24 |
|---|----|

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 1. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados de Humedad de la película almidón-celulosa..... | 54 |
| Gráfico 2. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados de espesor de la película almidón-celulosa | 55 |
| Gráfico 3. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados de solubilidad | 56 |
| Gráfico 4. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados de opacidad..... | 57 |
| Gráfico 5. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados de permeabilidad. | 58 |
| Gráfico 6. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados de Fuerza máxima | 59 |
| Gráfico 7. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados de Esfuerzo máximo de tracción . | 59 |
| Gráfico 10. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados de % de Elongación..... | 61 |
| Gráfico 11. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados de Prueba de la gota..... | 62 |
| Gráfico 12. Análisis FTIR de la película, formulación 1 | 63 |
| Gráfico 13. Análisis FTIR de la película, formulación 20..... | 64 |
| Gráfico 14. Comparación de la película de la formulación 1 y 20 en el análisis FTIR | 64 |
| Gráfico 15. Análisis FTIR de la mezcla de aceites esenciales..... | 65 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | |
|---|----|
| ANEXO 1. Recepción y resultado del análisis mecánico..... | 78 |
| ANEXO 2. Materia prima para la obtención del almidón-celulosa..... | 79 |
| ANEXO 3. Almidón-celulosa para la elaboración de las películas | 80 |
| ANEXO 4. Calentamiento del almidón-celulosa para la mezcla de los aditivos..... | 80 |
| ANEXO 5. Almidón-celulosa vista desde un microscopio | 81 |
| ANEXO 6. Colocación en la estufa para obtener la película..... | 81 |
| ANEXO 7. Nano arcilla, alcohol y aceite esencial, puesta en ultrasonido | 82 |
| ANEXO 8. Espectrofotómetro para la medición de opacidad de la película | 82 |
| ANEXO 9. Tomas de datos gravimétricos en la balanza analítica | 83 |

| | |
|---|----|
| ANEXO 10. Toma de datos del espesor de la película con un micrómetro | 83 |
| ANEXO 11. Manipulación de las muestras para el análisis de solubilidad..... | 84 |
| ANEXO 12. Muestras en el secador para la toma de datos de permeabilidad | 85 |
| ANEXO 13. Imagen empleada para el análisis de gota..... | 85 |
| ANEXO 14. Portamuestra para la película en el análisis del FTIR..... | 86 |
| ANEXO 15. Espectrofotómetro utilizado para el análisis FTIR..... | 86 |
| ANEXO 16. Portamuestra del aceite esencial para el análisis FTIR..... | 87 |
| ANEXO 17. Cultivo de bacterias realizado en el análisis microbiológico..... | 87 |
| ANEXO 18. Respuesta de las muestras ante la presencia de microorganismo | 88 |
| ANEXO 19. Identificación de cultivos en el agar de mueller-hinton..... | 88 |
| ANEXO 20..... | 89 |
| ANEXO 21..... | 90 |
| ANEXO 22..... | 91 |
| ANEXO 23..... | 92 |
| ANEXO 24..... | 93 |
| ANEXO 25..... | 94 |
| ANEXO 26..... | 95 |
| ANEXO 27..... | 98 |

ABREVIATURAS, SIGLAS Y SIMBOLOS

| | |
|------------------------------|----------|
| Nanocelulosa | NC |
| Nanoarcilla | NA |
| Mezcla de aceites esenciales | AE |
| Gramos | g |
| Hora | h |
| Segundos | s |
| Grados centígrados | °C |
| Grados de ángulo | ° |
| Milímetros | mm |
| Metros | m |
| Centímetros | cm |
| Temperatura | T |
| Porcentaje | % |
| Pascales | MPa |
| Gama | γ |
| Relación masa/masa | m/m |
| Relación volumen/volumen | v/v |

INTRODUCCIÓN

Los residuos del plátano son ricos en almidón-celulosa el cual se utiliza en las industrias de: adhesivos, alimentos (espesante), polímeros (recubrimiento biodegradable), farmacéutica, papeleras, textil y en tratamientos de agua. El fruto del plátano macho puede contener entre un 70-80% de almidón-celulosa, la cáscara puede contener hasta un 50% de la cual gran parte es desechada sin obtener algún beneficio (Hernández, Morales, Marín, & Pasqualino, 2015).

Las películas son de gran importancia por sus propiedades físicas, ya que pueden perfeccionar la calidad y vida útil en los alimentos cuando se los utilizan como empaques (Escobar, Márquez, Repiso, Sala., & Silvera, 2008). Por esta razón una de las aplicaciones en la industria alimentaria es el envasado de productos alimenticios (Silvestre, Duraccio, & Cimmino, 2011).

Los plásticos son materiales que causan problemas de contaminación en el medio ambiente por su gran producción y corta vida útil, además de que son sintéticos y tóxicos, es por esto que la presente investigación tiene como finalidad el de realizar nuevos materiales que permitan elaborar plásticos de origen natural, ya que su uso es fundamental en nuestra sociedad (Saavedra & Alvarado, 2020). En el presente proyecto se evaluarán las propiedades de las películas obtenidas a partir del almidón-celulosa de la cáscara de plátano macho con nanocelulosa, nanoarcilla y mezcla de aceites esenciales, para esto se le realizaron pruebas cualitativas, cuantitativas y microbiológicas.

CAPÍTULO I

1. El Problema

1.1 Tema

“Evaluación de las propiedades de películas de almidón-celulosa de cáscara de plátano macho con nanocelulosa y mezcla de aceites esenciales”

1.1.1 Planteamiento del Problema

Los plásticos provenientes del petróleo son considerados contaminantes por su lenta degradación, una alternativa amigable con el medio ambiente para su reemplazo es la elaboración de biopolímeros a partir de almidón-celulosa de la cáscara de plátano macho. En Ecuador existe una gran cantidad de residuos de cáscara de plátano que conforma el 30% de la fruta, sería una alternativa poder darles un valor distinto y novedoso a estos residuos y hacer una película de almidón-celulosa para la conservación de los alimentos (Jiménez, y otros, 2019).

Al utilizar residuos de la cáscara de plátano para la producción del almidón-celulosa se puede desarrollar un plástico que lograría una reducción importante en la contaminación ambiental, empleando recursos renovables y así reducir el uso de materiales de plásticos derivados de hidrocarburos (Castillo, y otros, 2015).

El almidón-celulosa obtenido de la cáscara del plátano macho por ser un residuo de origen vegetal, económico y de fácil obtención son aprovechados para la elaboración de películas, en donde su principal compuesto es el almidón y la celulosa pero presenta debilidades en sus propiedades físicas y mecánicas, esta desventaja se podría mejorar al adicionar nanocelulosa, nanoarcilla y mezcla de aceites esenciales, por sus características hidrofóbicas y antimicrobianas (Carrión & Diaz, 2020).

1.2 FORMULACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1 Formulación del problema de investigación

¿Cuál de las formulaciones aplicadas para la elaboración de las películas de almidón-celulosa con nanocelulosa, nanoarcilla y mezcla de aceites esenciales presentarán buenas propiedades?

1.2.2 Sistematización del problema

¿Se podrá evaluar las propiedades de las películas almidón-celulosa con las formulaciones ya establecidas?

¿Las películas de almidón-celulosa con mezcla de aceites esenciales inhibirán el crecimiento microbiológico?

1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 Justificación Teórica

El uso de plásticos tradicionales producidos de los derivados del petróleo ha causado severos problemas ambientales por la acumulación excesiva de residuos, esto se debe por la falta de conocimientos que tienen las personas al reciclaje y la mala clasificación de los desechos a nivel doméstico e industrial (Ortega, 2016).

Además, se ha aumentado la demanda de los plásticos por la necesidad que tienen las personas de conservar sus alimentos y que sus propiedades y características sean óptimas, por estas razones los investigadores han sido impulsados a desarrollar nuevas técnicas de conservación de los alimentos, también es fundamental protegerlos de los microorganismos que causan el deterioro del producto vinculadas con la pérdida de calidad sensorial y nutricional (Ancos, Gonzales, Colina, & Sánchez, 2015).

El uso de las películas y su efectividad se debe por su estructura, desarrollo de elaboración y tratamiento de adaptación en el producto han sido muy óptimos (Martínez, Harper, Pérez, & Chaparro, 2002). Esto se da por la flexibilidad y elasticidad que tienen las películas de almidón-celulosa (Dutta, Tripathi, Mehrotra, Dutta, & Stakiotakis, 2009).

1.3.2 Justificación Metodológica

La utilización del almidón-celulosa para la elaboración de películas tiene una gran importancia por ser fácil de reciclar, económico, comestible y accesible para la elaboración de la película. Es fundamental evaluar sus propiedades ya que este factor ayuda a maximizar la efectividad de la película Anchundia (2017).

Las películas que están hechas con nanocelulosa poseen en sus propiedades mecánicas alta resistencia ($>200\text{MPa}$), alta rigidez ($\approx 20\text{GPa}$) y tensión alta, es 8 veces mayor que el acero inoxidable en la relación de resistencia / peso (Hisour, 2018)

La nanoarcilla aumenta las irregularidades en el área del film, retardando la evaporación de los aditivos, impidiendo la liberación rápida del aceite esencial, además que limita el paso del agua, (permeabilidad), oxígeno, evitando interacciones de agua y/o gases no deseados, la aplicación de la nanoarcilla para la elaboración de las películas va a favorecer las propiedades de estas (Izquierdo, 2014).

Por esta razón se evaluaron las propiedades de las películas de almidón-celulosa con nanocelulosa, nanoarcilla y mezcla de aceites esenciales para análisis físicos, mecánicos y microbiológicos, para posibles usos en el futuro (Anchundia, Santacruz, & Coloma, 2017).

1.3.3 Justificación Práctica

En la actualidad han aumentado el interés de desarrollar películas a base de almidón-celulosa contando con una gran variedad de posibles usos, siendo una opción el poder ser utilizada en la industria alimentaria, es una buena opción por ser accesible, rentable y por las propiedades físicas que tienen las películas de almidón-celulosa (Ibargüen, Pinzón, & Arbelaéz, 2015). Es por esto que se llevará a cabo el presente trabajo, por los beneficios de las películas almidón-celulosa para su posible uso en la conservación de alimentos y así lograr que la sociedad las utilice y beneficiarse al obtener un producto de buena calidad, siendo verificado por las evaluaciones de sus propiedades Ibargüen (2015).

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 Objetivo general

Evaluar las propiedades de películas de almidón-celulosa de cáscara de plátano macho con nanocelulosa, nanoarcilla y mezcla de aceites esenciales.

1.4.2 Objetivos específicos

- Obtener las materias primas que se utilizarán en la elaboración de las películas de almidón-celulosa.
- Analizar las propiedades físicas, mecánicas y microbiológicas con la adición de

nanocelulosa, nanoarcilla y mezcla de aceites esenciales en las películas de almidón-celulosa obtenidas de la cáscara de plátano macho.

- Evaluar la influencia de la adición de nanocelulosa, nanoarcilla y mezcla de aceites esenciales en las películas de almidón-celulosa obtenidas de la cáscara de plátano macho.

1.5 DELIMITACIONES DEL ESTUDIO

El presente trabajo presentará la evaluación de las propiedades de películas de almidón-celulosa de cáscara de plátano macho con nanocelulosa, nanoarcilla y mezcla de aceites esenciales, la cual tuvo un tiempo de 5 meses, tanto para la parte escrita como por la experimental, se desarrolló en el laboratorio de Química Analítica perteneciente a la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad de Guayaquil.

Figura 1. Localización de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad de Guayaquil



Fuente: (Google Maps, 2021)

1.6 HIPOTESIS

Hi: La evaluación de las propiedades de las películas de almidón-celulosa de cáscara de plátano macho se logrará con la adición de nanocelulosa, nanoarcilla y mezcla de aceites esenciales.

Ho: La evaluación de las propiedades de las películas de almidón-celulosa de cáscara de plátano macho no se logrará con la adición nanocelulosa, nanoarcilla y mezcla de aceites esenciales.

Ha: La evaluación de películas de almidón-celulosa de cáscara de plátano macho con nanocelulosa, nanoarcilla y mezcla de aceites esenciales favorecerán a sus propiedades.

1.7 Variables

1.7.1 Variable Independiente

- Cantidad de nanocelulosa
- Cantidad de nanoarcilla
- Cantidad de mezcla de aceites esenciales

1.7.2 Variable dependiente

Propiedades de respuesta de las películas de almidón- celulosa con nanocelulosa y mezcla aceites esenciales. Para ello se utilizó análisis cualitativos, cuantitativos y microbiológicos.

1.7.3 Operacionalización de las variables

Tabla 1. Operacionalización de las variables

| Tipo de variable | Variable | Análisis | Descripción | Unidad |
|--------------------|--|--------------------|---|-----------------------|
| DEPENDIENTE | Propiedades de respuesta de las películas de almidón- celulosa, con nanocelulosa y aceites esenciales. | Humedad | De acuerdo a Jiménez (2019) se determina el porcentaje de humedad, dando a conocer el contenido de agua que posee la muestra. | Porcentaje (%) |
| | | Espesor | De acuerdo a Anchundia (2017) este método sirve para obtener el espesor de una muestra de películas de almidón-celulosa de manera directa. | Milímetros (mm) |
| | | Solubilidad | De acuerdo a la metodología (Gontard, Guilbert, & Cuq, 1992) la solubilidad es una propiedad de las películas donde se conoce el comportamiento de la película en contacto con el agua. | Porcentaje (%) |
| | | Opacidad | De acuerdo a (Han & Floros, 1997) por medio de un espectrofotómetro y el espesor de la película se puede obtener la opacidad. | 1/milímetros (mm-1) |
| | | Permeabilidad | De acuerdo con la normativa (ASTM-E96-80, 2015) este método ayuda a determinar la permeabilidad que tiene la película de almidón-celulosa. | gm/sm ² Pa |
| | | Análisis mecánicos | De acuerdo a la normativa (ASTM-D88-18, 2018), mide la fuerza elasticidad y alargamiento, que se necesita en una muestra hasta su punto de ruptura | MPa |

| | | |
|---------------------------|---|-------------------------|
| Espectroscopia Infrarroja | Es la técnica de caracterización de la estructura de polímeros, análisis cualitativo, basada en vibraciones y grupos funcionales de átomos, analiza los enlaces existentes, y mide la absorción infrarroja, ancho de onda de un material (Yañez & Pacheco, 2018). | $1/\gamma cm^{-1}$ |
| Prueba Gota a Gota | De acuerdo a (Kwok & Neumann W, 1999) este método indica la hidrofobicidad de la película midiéndola a través del ángulo. | Grados (°) |
| Prueba Microbiológica | Se realiza este método, para conocer las respuestas de inhibición de las muestras ante microorganismos. (Carrillo, 2020). | Halo de inhibición (mm) |

Elaborado por autores

CAPÍTULO II

2. MARCO REFERENCIAL

2.1 Antecedentes

Desde el siglo XII Y XIII en China se usaban las películas para salvaguardar los alimentos y así alargar su tiempo de vida útil (Labuza & Contrera, 1981). Las películas como recubrimientos de alimentos se han aplicado con el pasar de los siglos por la necesidad de conservar los alimentos (Pavlath, 2009). Las películas poseen características particulares, como la de evitar que hallan pérdidas de humedad y disminuir el crecimiento de los microorganismos. Al analizar todas estas propiedades se puede lograr una vía segura para que cualquier alimento sea colocado dentro de ella y así prolongar la vida útil del alimento (Oropeza, Montes, & Padrón, 2016).

Las frutas y vegetales que después de ser consumidos se obtienen residuos como son sus cáscaras que son desechadas, esto pasa con la cáscara de plátano macho y es un residuo potencial ya que el plátano es uno de los principales frutos que produce Ecuador, es considerada materia prima para varios procesos, por ello se busca extraer almidón-celulosa de su cáscara la misma que constituye como materia prima usada para la elaboración de películas y así poder ser utilizada para conservar los alimentos (Chávez & Rodríguez, 2016).

Al almidón-celulosa también se lo puede extraer de los residuos de plantas como: plátano macho, papa y entre otras, es desecho orgánico que por su alto contenido de almidón es aprovechado y aplicado para la elaboración de las películas almidón-celulosa (Salas, 2015).

Hay estudios que buscan desarrollar plásticos amigables con el medio ambiente, los cuales son materiales que han sido extraídos de residuos vegetales, frutas y legumbres, que sean renovables y aprovechables a nivel mundial como es el almidón-celulosa, el cual tiene su ventaja al ser natural frente a los plásticos que se obtienen a partir del petróleo (González, Hernández, & Padrón, 2017).

2.2 MARCO TEORICO

2.2.1 Película almidón-celulosa

Las películas de almidón-celulosa tienen como principal característica el de proteger y mejorar la vida útil de los productos alimenticios (Lin & Zhao, 2007). Las películas son empleadas desde hace años en la industria de alimentos, su composición depende de las materias primas de desechos para su elaboración (Mero & Valencia, 2018). La aplicación de ciertos aditivos a las películas de almidón-celulosa para mejorar sus propiedades comprobando que la adición de nanocelulosa refuerza a la película haciéndola más resistente al almidón-celulosa (Islas, González, & Gúzman, 2020).

2.2.2 Características de las películas

Adicionalmente, las películas están constituidas de diferentes materias primas, especialmente de: almidón y celulosa, que contribuyen a tener propiedades como la flexibilidad, y tienen características imprescindibles para conservar el producto en el cual es aplicada (Santiago, 2015).

Las películas tienen que presentar las siguientes características (Parzanese, 2011).

- Tener propiedades mecánicas para prevenir pérdidas fractura y roturas del material.
- Capacidad de adherirse fácilmente a la superficie de los alimentos a aplicar.
- Tener propiedades que no alteren con el alimento a recubrir.
- Ser resistente y hacia las diversas situaciones de los alimentos no perecer.

2.2.3 Propiedades de la Película

Solubilidad

Es una propiedad física, importante para saber si la película se descompone con facilidad en el agua, a mayor solubilidad la película soporta menos el agua, es importante esta propiedad porque describe su función, asegurando que se colocará en alimentos con humedad alta o baja (Feijo, 2019).

Espesor

Según (Parque & Chian, 1995) las películas aumentan la resistencia a medida que la masa del recubrimiento aumenta el espesor, se incrementa en la superficie inferior de la cubierta la presión parcial de vapor de agua (Solis, 2016).

Permeabilidad

Es una de las propiedades más importantes ya que muestra en un sistema alimenticio y lo que hay alrededor el control de la movilidad del vapor de agua que posee la película (Gennadios, Weller, & Gooding, 1994).

Propiedades ópticas

Son todas aquellas propiedades que se las puede observar a simple vista, haciendo referencia también la forma, el tamaño y las características de superficie rugosidad, manchas y defectos de la película (Argeta, 2019)

2.2.4 Recursos necesarios para la obtención del almidón-celulosa

Plátano macho

Pertenece a la familia de las *Musáceas*, su nombre científico es *Musa Acuminata*, fruto de origen del sureste de Asia y las Islas del Pacífico, se lo encuentra en varios países de clima tropical considerada la especie de planta más antigua del mundo, de mucho interés para las economías de varios países, especialmente en Ecuador. Hay grupos genómicos la cual facilita la clasificación de las plantas musáceas comestibles, los cuales son: AA, BB, AB, BB, AAA, ABB, AAB, AAAB, AAAA y ABBB (Montoya, Quintero, & Lucas, 2015).

En Ecuador los residuos de plátano macho (*Musa paradisiaca L.*) se producen en grandes cantidades, dado por la elaboración de productos de exportación, consumo nacional o por productos tradicionales y en la alimentación animal. Constituye una acción de interés nacional debido a la creación de empleo, con 12 % de la población económicamente activa Jiménez (2019).

Cáscara de Plátano

La cáscara cuenta con el 30 % del total de la fruta, de la cual gran parte van a la basura, por ese motivo se da la contaminación en el medio ambiente La cáscara de plátano macho es

apropiada para elaborar las películas de almidón-celulosa porque contienen 12 % de almidón y 46,05 % de hemicelulosa y celulosa Jiménez (2019).

2.2.5 Composición del almidón-celulosa

Almidón

El almidón es una materia prima que cuenta con un gran campo de aplicaciones, como por ejemplo; empaques, adhesivos, papeleras, alimentos, etc. En la industria alimentaria se lo utiliza como gelificante, espesante y estabilizante. (Hernández, Torruco, G., Chel, & Betancur, 2008). El plátano macho es más rico en almidón en comparación al maduro que son ricos en azúcares, porque se produce un rompimiento en los azúcares del almidón conforme el plátano vaya madurando, (Bejarano, 2018).

El almidón forma parte de la elaboración de la película como materia prima por su capacidad de plastificarse. En cuestión de que solamente para su composición sea almidón con agua tendrá una apariencia quebradiza, por ello se deformaría con facilidad, pero será duro por su gran esfuerzo de tensión que tiene hacia el rompimiento, teniendo fundamentos para adicionar plastificantes, posibilitando a tener más flexibilidad (Trujillo, 2014).

Celulosa

Es el compuesto orgánico de mayor abundancia en la naturaleza y de gran importancia en la industria. Esta químicamente compuesta de la D-glucosa la cuales se unen entre sí por enlaces β -1,4, además de tener enlaces de hidrógeno que une sus moléculas entre sí, sus propiedades como material estructural de la pared celular. Es aprovechada como fuente de diversos productos (Guarnizo, Martínez, & Valencia, 2009).

2.2.6 Aditivos de la película almidón-celulosa

Nanocelulosa

Es una fibra natural que se la puede obtener de la celulosa derivada de los cereales entre ellos: cascarillas de trigo, soya, arroz, residuos de cultivos, como el bagazo de yuca, bagazo de caña, cáscara de café y hojas de piña (Phanthong, y otros, 2018)

La nanocelulosa es obtenida usualmente de dos maneras, dependiendo del método de extracción y de la fuente de la que se inicia. Una de ellas es la celulosa nanofibrilar (NCF), está conformada de partes cristalinas y amorfas alternadas, la otra es el de Whiskers de

celulosa, o celulosa nanocristalina (NCC) que es fundamentalmente una nanopartícula cristalina con una estructura de ovalada similar a un grano de arroz, se la extrae a través de la hidrólisis ácida controlada por: plantas, animales, bacterias o tunicados (Carchi, 2014)

Nanoarcilla

Es la arcilla modificada a través del manejo controlado a nivel nanométrico, con un planteamiento determinado para cada aplicación la hace compatible con una variedad de materiales orgánicos, la característica híbrida que tiene la nanoarcilla hace que sea repulsiva al agua, pudiendo absorber en un rango del 40 % al 70 % de su peso con los aceites, logrando así disminuir la absorción de agua. El poder de purificar aguas es la capacidad de lograr absorber moléculas de aceites, por cantidades mínimas de 10 ppm disminuyendo el gasto del método por carbón activado, y de otros métodos físicos y químicos usados hoy en día (Perugachi, Paredes, & Cornejo, 2013).

Aceite Esencial

Son mezclas de sustancias extraídas de las plantas, ya que tiene como característica principal su composición química y naturalidad aromática. Existen alrededor de 4000 aceites esenciales, aunque claramente todas las plantas no contienen esta sustancia, de las cuales algunas tienen una baja concentración que se hace imposible su extracción (Ortuño, 2006).

La clasificación está de acuerdo con la naturaleza química, firmeza y origen en los aceites esenciales, por su origen son: artificiales, naturales y sintéticos, por su naturaleza química se dividen por el predominio de los componentes y el tipo de mezcla de los compuestos, por último, la firmeza se clasifica en: bálsamos, líquidos volátiles y esencias fluidas. Porque poseen propiedades antivirales, antifúngicas y antimicrobianas, los aceites esenciales tienen una gran demanda (Rivas, Rivas, & Gamboa, 2015).

2.2.7 Aceites esenciales presente en la película almidón-celulosa

Aceite Esencial de Orégano

El orégano (*Origanum Vulgare L.*) además de que sea utilizado como condimento tiene propiedades antibacteriales ya que son muy activos frente a la mayoría de las bacterias dañinas como: *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium*, etc. Hay datos sobre el resultado antimutagénico y anticarcinogénico del orégano, recomendando como una buena alternativa para prevenir y

tratar las enfermedades crónicas como el cáncer. Se clasificó al orégano incluso más que la vitamina E, como la hierba con una máxima actividad antioxidante en una reciente investigación, son fundamentales porque tienen la cualidad de proteger contra el daño oxidativo a las células, los principales compuestos químicos que le da su propiedad antioxidante: Timol, r-cimeno, y-terpineno y carvacrol, aparte tiene más flavonoides que ayudan a la acción antioxidante (Moreno & Patiño, 2010).

Aceite Esencial de Geranio

Es rico en geraniol con (13,4 %), el cual es el componente primordial del aceite de geranio (Raya, 2018). El geraniol tiene propiedades antibacterianas y antifúngicas, impidiendo el crecimiento de tales microorganismos (Antropocene, 2019).

Aceite Esencial de Eucalipto

Tiene como función ayudar la disminución del uso de conservadores químicos para un producto, siendo así una buena opción para que los alimentos puedan conservar su propiedad antifúngica contra los hongos (Trejo, Trejo, Pascual, & Lira, 2015).

Aceite Esencial de Albahaca

Es usado por su efecto antioxidante lo cual ha permitido utilizarlo como aditivo y su efecto inhibidor ayuda a disminuir la contaminación en los alimentos por bacterias, especialmente en productos de embutidos y enlatados (Sakkas & Papadopoulou, 2015).

2.3 Marco Conceptual

Plátano Macho

El plátano macho es una fruta de consumo diario por su gran valor nutritivo debido a su alto contenido en carbohidrato, lípidos y proteína (Casallas, 2010). En Ecuador se produce 6 millones de toneladas de plátano macho, con 120 mil hectáreas para su producción Jiménez (2019).

Cáscara de Plátano

Residuo del fruto del plátano macho, tiene compuestos químicos activos contra radicales libres y para la obtención de sustancias antimicrobianas y antioxidantes es una fuente potencial (Blasco & Gómez, 2014). Contiene 12 % de almidón y 46,05 % de hemicelulosa y celulosa, siendo la cáscara el 30% de la fruta Jiménez (2019).

Película de almidón-celulosa

Para su proceso se usa materias primas de origen industrial ricas en almidón-celulosa, se busca remplazar empaques sintéticos con características de descomposición y sencillas de producir (López, y otros, 2018).

Almidón

Se halla entre los polímeros más numerosos, únicamente superado por la celulosa y la quitina. Es el primer carbohidrato de almacenamiento, de las plantas como, cereales, leguminosas y tubérculos. Dado a su accesibilidad, biodegradabilidad y pequeño costo, el almidón puede ser aplicado en la industria alimenticia, farmacéutica, textil y del papel (Juárez, 2019).

Celulosa

Es el constituyente principal de los tejidos vegetales, y la base estructural de los vegetales Carchi (2014).

Nanocelulosa

Es una fibra natural que se la puede obtener de la celulosa derivada de los cereales, entre ellos: cascarillas de trigo, soya, arroz, residuos de cultivos, como el bagazo de yuca, bagazo de yuca, bagazo de caña, cáscara de café y hojas de piña Carchi (2014).

Nanoarcilla

Son un nuevo tipo de silicatos inorgánicos que se le pueden agregar a los polímeros, y por sus propiedades ayudan a mejorar las propiedades de las películas (Rosales, y otros, 2009).

Aceites Esenciales

Se lo puede extraer de varias partes de las plantas como: frutos, brotes, madera, semillas, corteza, hierbas, flores, raíces y hojas, siendo líquidos aromáticos aceitosos, se los extrae a través de métodos como son: extracción con solventes volátiles, enflorado o enfleurage, destilación con vapor de agua y con fluidos supercríticos (Mamani, 2016).

Alcohol Etanol

Es también conocido como alcohol etílico, es un líquido incoloro e inflamable, cuando se lo mezcla con agua se obtiene una mezcla azeotrópica (Sousa, 2009).

2.4 Marco Contextual

En los últimos años entre la sociedad científica y tecnológica se ha suscitado un mayor interés en la producción, caracterización y utilización de las películas, y así poder ser usadas en algunas aplicaciones (Tarréz, 2017). Por esta razón ha crecido el interés en las películas, para que realicen algunos requerimientos que ayudan con el control de las causas de deterioro del alimento, sin ignorar que estas necesidades dependerán de la calidad del alimento al cual le interesa incorporar como envoltorio (Montalvo, López, & Palou, 2012).

2.5 Marco Legal

Con el fin de evaluar las propiedades de películas de almidón-celulosa de cáscara de plátano macho, con nanocelulosa, nanoarcilla y mezcla de aceites esenciales, se fundamenta en las normativas legales presentes en la siguiente tabla.

Tabla 2. Normativas Nacionales

| NORMAS NACIONALES | | | |
|---------------------------|---|---|--|
| Norma | Nombre | | Descripción |
| INEN-ISO 4593 2014 | PLÁSTICOS. PELÍCULAS Y HOJAS DE DETERMINACIÓN ESPESOR DIRECTA CON | PELÍCULAS Y PLÁSTICO. DEL MEDICIÓN MICRÓMETRO | Método de ensayo que se utiliza para determinar el espesor de una muestra de hojas o películas de plástico por medición directa. En películas u hojas gofradas este método no se las puede aplicar en ellas. (ISO 4593:1993, IDT) |
| ASTM E96 | TRANSMISIÓN DE MATERIALES POR VAPOR DE AGUA. MÉTODOS DE PRUEBA ESTÁNDAR | DE | La determinación de la transmisión del vapor de agua puede realizarse con los métodos de ensayo, los materiales que permitan el paso del vapor de agua pueden ser importantes, como lo son el papel, películas plásticas, otros materiales laminados, tableros de fibra, yeso y productos de yeso, productos de madera y |

plásticos.

| | | | | |
|------------------|--|-------------------------------------|------------|---|
| ASTM D882 | MÉTODO ESTÁNDAR DE PROPIEDADES DE LÁMINAS DELGADAS | DE PARA LAS DE TRACCIÓN DE PLÁSTICO | PRUEBA LAS | Este método de prueba cubre la determinación de las propiedades de tracción de los plásticos en forma de láminas y películas delgadas que sean menor a 1,0 mm de espesor. |
|------------------|--|-------------------------------------|------------|---|

Nota= Fuente: (INEN-ISO 4593:2014) ASTM-E96-80 (2015) ASTM-D88-18 (2018)

Elaborado por autores

CAPITULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Metodología de la investigación

El presente trabajo de titulación está basado en metodologías experimentales de autores que son: Jiménez (2019), Anchundia (2017), Gontard (1992), Han (1997) y Kwok (1999), y normativas ASTM E96-80 (2015) y ASTM D882-18 (2018), realizando análisis cualitativos, cuantitativos y microbiológicos, para la verificación e interpretación de los resultados se utilizó el programa de computadora estadístico Minitab® 19.1 porque está diseñado para ejecutar funciones estadísticas, además que se puede combinar su uso con Microsoft Excel en los análisis estadísticos.

3.1.1 Materia prima, materiales equipos y reactivos utilizados para la obtención del almidón-celulosa

- La materia prima que se utilizó fue la cáscara del plátano macho.
- Los materiales que se utilizaron fueron: colador de tela para café, recipiente de plástico y un cuchillo metálico de la marca Tramontina.
- Los equipos utilizados fueron: Balanza Cuisine F1976, Licuadora Oster y Molino manual Victoria.
- Los reactivos que se usaron fueron: Agua, Hipoclorito de sodio al 5 % e Hidróxido de Sodio al 5 %

3.1.2 Método para la obtención del almidón-celulosa

Se utilizó el método realizado por Jiménez (2019).

Recepción: se compró 3 USD de plátano macho.

Pesado: se pesó el plátano macho.

Lavado: se procedió a lavar el plátano macho, con agua y cepillo para lavar ropa.

Pelado: se extrajo la cáscara del plátano macho con un cuchillo de cocina.

Pesado: se pesó la cáscara de plátano macho.

Molienda: se molió la cáscara de plátano macho en un molino manual.

Tratamiento químico: con la solución de hidróxido de sodio (sello rojo al 5 % m/m) en relación de 1 kg de cáscara/3 L de hidróxido de sodio, se lo dejó reposar durante 24 h en un recipiente de plástico. Es importante que sea de plástico porque el hidróxido de sodio daña el metal.

Lavado: se lavó en un colador de café y con abundante agua, para eliminar el hidróxido de sodio, se terminó de filtrar hasta que ya no salga el agua jabonosa.

Tratamiento químico: se puso una solución con hipoclorito de sodio al 5 % en relación 1 kg de muestra: 100 mL de solución. La solución es de 50 mL de NaOCl al 5 % + 50 mL de agua (relación 1/1 v/v), se dejó con la solución por 8 horas en un recipiente de plástico.

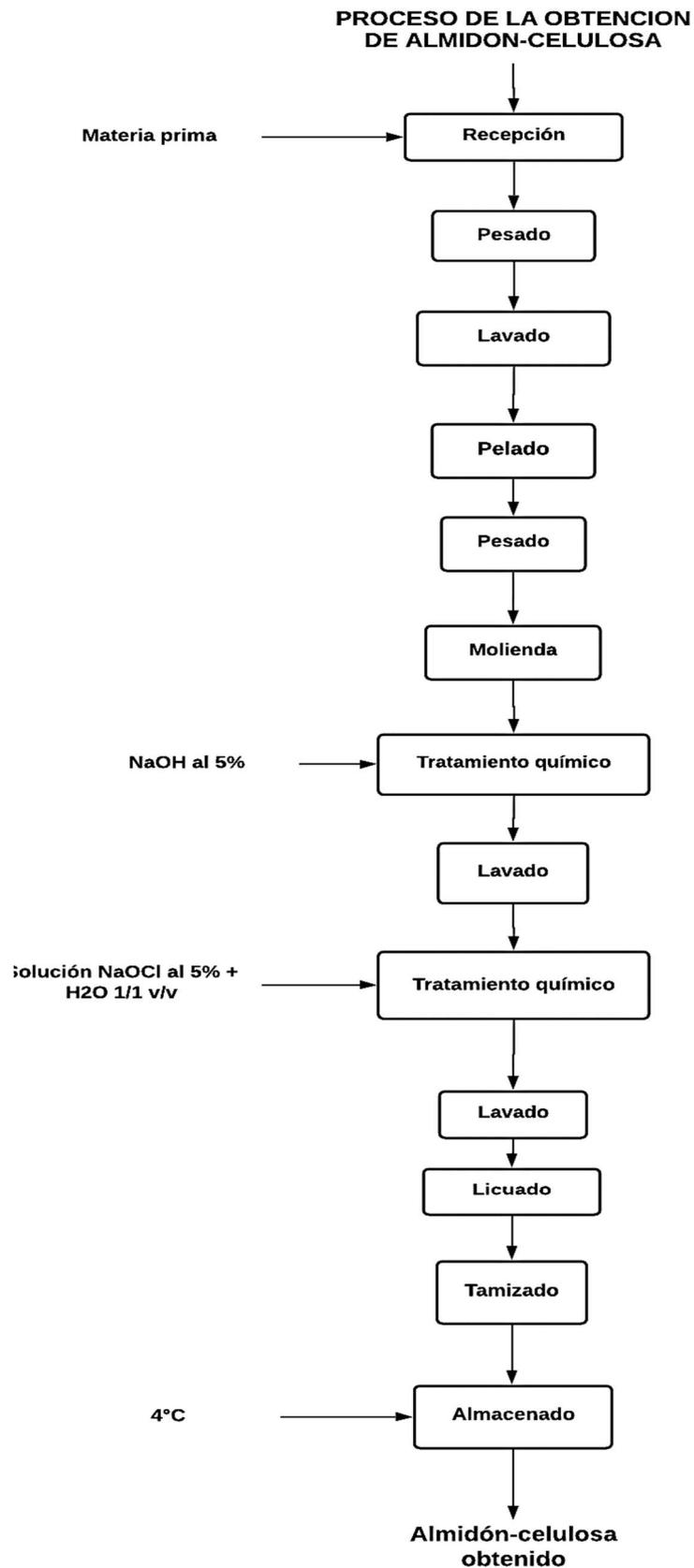
Lavado: se elimina la solución con un colador de café y con abundante agua hasta eliminar el hipoclorito de sodio (se termina el lavado hasta que no tenga el olor de cloro el agua que sale del filtro), si la muestra no tiene un tono blanco se repite el proceso.

Licuada: se mezcla el almidón-celulosa con agua (relación 1 kg de muestra/ 200 mL de agua), se lo licua en una licuadora de cocina durante 1 minuto.

Tamizado: para la homogenización y eliminación de gránulos, se tamizó el almidón-celulosa.

Almacenado: se lo almacena en una refrigeradora a temperatura de 4 °C.

3.1.3 Diagrama de Proceso de la Obtención del Almidón-celulosa



Elaborado por autores

3.2 Diseño Experimental de la Película

3.2.1 Determinación de formulaciones para la película almidón-celulosa.

Una vez obtenida la muestra de almidón-celulosa, se realizaron pruebas preliminares para determinar las formulaciones, seleccionando así las mejores para la elaboración de la película, para dicho desarrollo tuvieron variables que son la cantidad de la nanocelulosa, nanoarcilla y aceite esencial.

Tabla 3 Formulación de las películas

| Muestra | Almidón (g) | Nanocelulosa (mL) | Agua destilada (mL) | Glicerina (g) | Nanoarcilla (g) | Mezcla de los Aceites Esenciales (g) | Disolución (mL) |
|---------|-------------|-------------------|---------------------|---------------|-----------------|--------------------------------------|-----------------|
| 1 | 25 | 0 | 75 | 0.4 | 0 | 0 | 100 |
| 2 | 25 | 50 | 25 | 0.4 | 0 | 0 | 100 |
| 3 | 25 | 25 | 50 | 0.4 | 0.025 | 0 | 100 |
| 4 | 25 | 25 | 50 | 0.4 | 0.025 | 0 | 100 |
| 5 | 25 | 0 | 75 | 0.4 | 0.05 | 0 | 100 |
| 6 | 25 | 50 | 25 | 0.4 | 0.05 | 0 | 100 |
| 7 | 25 | 25 | 50 | 0.4 | 0 | 0.125 | 100 |
| 8 | 25 | 0 | 75 | 0.4 | 0.025 | 0.125 | 100 |
| 9 | 25 | 25 | 50 | 0.4 | 0.025 | 0.125 | 100 |
| 10 | 25 | 25 | 50 | 0.4 | 0.025 | 0.125 | 100 |
| 11 | 25 | 50 | 25 | 0.4 | 0.025 | 0.125 | 100 |
| 12 | 25 | 50 | 25 | 0.4 | 0.025 | 0.125 | 100 |
| 13 | 25 | 25 | 50 | 0.4 | 0.05 | 0.125 | 100 |
| 14 | 25 | 25 | 50 | 0.4 | 0.05 | 0.125 | 100 |
| 15 | 25 | 0 | 75 | 0.4 | 0 | 0.25 | 100 |
| 16 | 25 | 50 | 25 | 0.4 | 0 | 0.25 | 100 |
| 17 | 25 | 25 | 50 | 0.4 | 0.025 | 0.25 | 100 |
| 18 | 25 | 25 | 50 | 0.4 | 0.025 | 0.25 | 100 |
| 19 | 25 | 0 | 75 | 0.4 | 0.05 | 0.25 | 100 |
| 20 | 25 | 50 | 25 | 0.4 | 0.05 | 0.25 | 100 |

Elaborado por autores

La mezcla de los aceites esenciales está compuesta por: aceite esencial de eucalipto, orégano, albahaca y geranio.

Tabla 4 Formulación de la mezcla de los aceites esenciales

| MEZCLA DE LOS ACEITES ESENCIALES (μL) | | | |
|---------------------------------------|---------|----------|---------|
| EUCALIPTO | ORÉGANO | ALBAHACA | GERANIO |
| 13 | 959 | 2 | 25 |

Elaborado por autores

3.2.2 Materia Prima, materiales, equipos y reactivos

- La materia prima se utilizó: Almidón-celulosa obtenido de la cáscara de plátano macho, Nanocelulosa, Nanoarcilla y Mezcla de aceites esenciales (eucalipto, orégano, albaca y geranio)
- Los materiales que se utilizaron fueron: Vaso de precipitación, Caja Petri, Probeta, Pipeta, Agitador, Espátula, Micropipeta, Varilla agitadora y Vasos de precipitación.
- Los equipos utilizados fueron: Balanza analítica Sartorius CP224S, Estufa, Hornilla eléctrica, Mezclador vertical, Bañera ultrasonido Sunshine SS-968 y Congelador.
- Los reactivos que se usaron fueron: Agua destilada, Alcohol etílico al 96% y Glicerina.

3.2.3 Método para la obtención de la película almidón-celulosa

Se utilizó el método realizado por Jiménez (2019) con algunas modificaciones.

Mezclado: se mezcló en un vaso de precipitación el almidón-celulosa con el agua destilada, con una varilla agitadora durante 60 s.

Tratamiento térmico: en una hornilla eléctrica se calentó la mezcla de almidón-celulosa con agua destilada, con agitación constante, una vez llegado al punto de ebullición de 100 °C se sigue agitando durante 60 s para luego retirarlo.

Enfriamiento: con un flujo de agua, se hace un baño maría a la mezcla de almidón-celulosa y agua, terminar el proceso hasta que llegue a una temperatura de 40 °C la mezcla.

Mezclado: se le adicionó glicerina, nanocelulosa y la mezcla de aceites esenciales (eucalipto, orégano, albaca y geranio); la cual se la obtuvo agregando nanoarcilla, alcohol

etílico al 96 % y los aceites esenciales, agitando en una bañera de ultrasonido durante 15 min a 50 W; una vez obtenida la mezcla, se agitó con una mezcladora vertical de mano por 6 min.

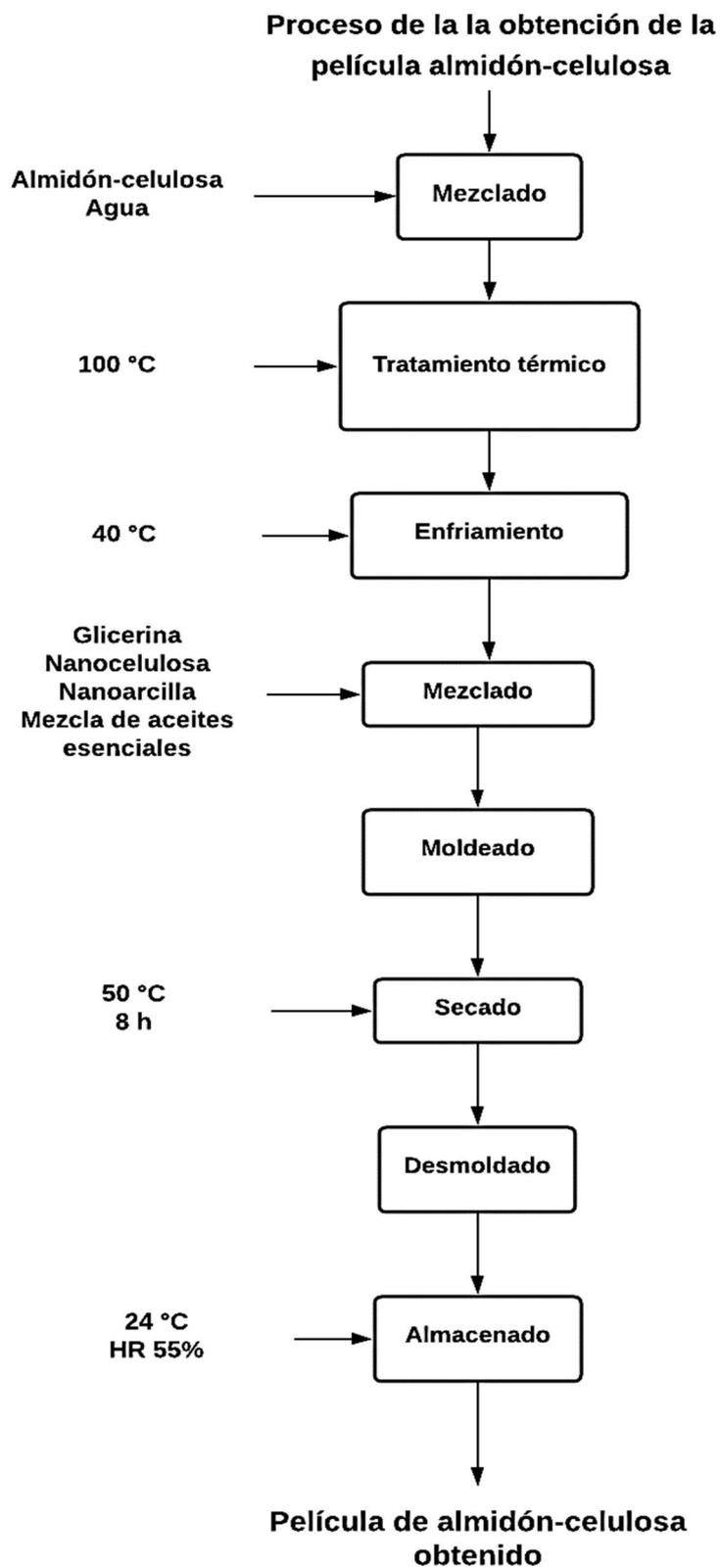
Moldeado: a la mezcla homogénea obtenida, se las colocó en 4 cajas Petri, 25 g de la mezcla homogénea en cada caja Petri.

Secado: se llevó a la estufa las cajas Petri que contenían la mezcla homogénea, a 50 °C durante 8 horas.

Desmoldado: se procedió a desmoldar cuidadosamente la película almidón-celulosa de las cajas Petri.

Almacenado: se lo almacena en un secador, temperatura ambiente y humedad relativa del 55 %.

3.2.4 Diagrama de proceso de la elaboración de película de almidón-celulosa



Elaborado por autores

3.2.5 Caracterización de las películas almidón-celulosa

Se observaron todas las películas de almidón-celulosa, en donde se tomó consideración el olor del aceite esencial, la rugosidad del film, presencia de burbujas, cortes en los bordes, su estado luego de ser estabilizada en el secador por 3 días, la consistencia y la presencia de nanoarcilla. Todo esto se observó de cada película, con una rigurosa observación.

Tabla 5. Características de las películas

| Muestra | Repetición | Olor | Rugosidad de la película | Burbujas | Cortes en los bordes | Estado de la película | Consistencia | Presencia de nanoarcilla |
|---------|------------|------|--------------------------|--------------|----------------------|-----------------------|--------------|--------------------------|
| 1 | 1 | NA | Alto | Grandes | Bajo | Intacta | Alto | NA |
| | 2 | NA | Alto | Grandes | Bajo | Intacta | Alto | NA |
| | 3 | NA | Alto | Grandes | Sin | Intacta | Alto | NA |
| | 4 | NA | Alto | Grandes | Sin | Intacta | Alto | NA |
| 2 | 1 | NA | Bajo | Muy pequeñas | Sin | Intacta | Alto | NA |
| | 2 | NA | Bajo | Muy pequeñas | Sin | Intacta | Alto | NA |
| | 3 | NA | Medio | Muy pequeñas | Sin | Intacta | Alto | NA |
| | 4 | NA | Medio | Muy pequeñas | Sin | Intacta | Alto | NA |
| 3 | 1 | NA | Bajo | Pequeñas | Sin | Intacta | Alto | Bajo |
| | 2 | NA | Bajo | Pequeñas | Sin | Intacta | Alto | Bajo |
| | 3 | NA | Bajo | Pequeñas | Sin | Intacta | Alto | Bajo |
| | 4 | NA | Bajo | Pequeñas | Sin | Intacta | Alto | Bajo |
| 4 | 1 | NA | Bajo | Muy pequeñas | Bajo | Intacta | Alto | Bajo |
| | 2 | NA | Bajo | Muy pequeñas | Alto | Intacta | Alto | Bajo |
| | 3 | NA | Bajo | Muy pequeñas | Medio | Intacta | Alto | Bajo |
| | 4 | NA | Bajo | Muy pequeñas | Bajo | Intacta | Alto | Bajo |

| Muestra | Repetición | Olor | Rugosidad de la película | Burbujas | Cortes en los bordes | Estado de la película | Consistencia | Presencia de nanoarcilla |
|---------|------------|------|--------------------------|--------------|----------------------|--------------------------------|--------------|--------------------------|
| 5 | 1 | NA | Bajo | Pequeñas | Medio | Intacta | Alto | Bajo |
| | 2 | NA | Bajo | Pequeñas | Medio | Intacta | Alto | Medio |
| | 3 | NA | Bajo | Pequeñas | Bajo | Intacta | Alto | Alto |
| | 4 | NA | Bajo | Pequeñas | Sin | Intacta | Alto | Medio |
| 6 | 1 | NA | Bajo | Pequeñas | Sin | Intacta | Alto | Medio |
| | 2 | NA | Bajo | Pequeñas | Medio | Intacta | Alto | Bajo |
| | 3 | NA | Bajo | Pequeñas | Alto | Intacta | Alto | Medio |
| | 4 | NA | Bajo | Pequeñas | Bajo | Intacta | Alto | Medio |
| 7 | 1 | Sin | Bajo | Pequeñas | Sin | Intacta | No | Alto |
| | 2 | Sin | Alto | Pequeñas | Alto | No rota, arrugada y con huecos | Bajo | NA |
| | 3 | Sin | Sin | Pequeñas | Medio | Intacto | Alto | NA |
| | 4 | Sin | Sin | Muy pequeñas | Alto | Fina y con huecos | Medio | NA |
| 8 | 1 | Sin | Alto | Pequeñas | Bajo | Intacta | Alto | Alto |
| | 2 | Sin | Alto | Pequeñas | Bajo | Intacta | Alto | Alto |
| | 3 | Sin | Alto | Pequeñas | Alto | Intacta | Alto | Alto |
| | 4 | Sin | Alto | Pequeñas | Alto | Intacta | Alto | Alto |

| Muestra | Repetición | Olor | Rugosidad de la película | Burbujas | Cortes en los bordes | Estado de la película | Consistencia | Presencia de nanoarcilla |
|----------------|-------------------|-------------|---------------------------------|-----------------|-----------------------------|------------------------------|---------------------|---------------------------------|
| 9 | 1 | Bajo | Medio | Grandes | Sin | Intacta | Medio | Bajo |
| | 2 | Bajo | Bajo | Pequeñas | Sin | Intacta | Medio | Bajo |
| | 3 | Bajo | Medio | Sin | Sin | Intacta | Bajo | Bajo |
| | 4 | Bajo | Medio | Sin | Sin | Intacta | Bajo | Bajo |
| 10 | 1 | Bajo | Bajo | Grandes | Sin | Intacta | Medio | Bajo |
| | 2 | Bajo | Bajo | Grandes | Sin | Intacta | Medio | Bajo |
| | 3 | Bajo | Bajo | Grandes | Sin | Intacta | Bajo | Bajo |
| | 4 | Bajo | Bajo | Grandes | Sin | Intacta | Bajo | Bajo |
| 11 | 1 | Bajo | Bajo | Pequeñas | Bajo | Intacta | Bajo | Bajo |
| | 2 | Bajo | Bajo | Sin | Medio | Intacta | Bajo | Bajo |
| | 3 | Bajo | Bajo | Pequeñas | Sin | Intacta | Bajo | Bajo |
| | 4 | Bajo | Bajo | Pequeñas | Sin | Intacta | Bajo | Bajo |
| 12 | 1 | Bajo | Bajo | Pequeñas | Sin | Intacta | Alto | Bajo |
| | 2 | Bajo | Bajo | Sin | Sin | Intacta | Alto | Bajo |
| | 3 | Bajo | Bajo | Pequeñas | Sin | Intacta | Alto | Bajo |
| | 4 | Bajo | Bajo | Grandes | Sin | Intacta | Alto | Bajo |
| 13 | 1 | Bajo | Medio | Pequeñas | Sin | Intacta | Alto | Bajo |
| | 2 | Bajo | Medio | Grandes | Sin | Intacta | Alto | Bajo |
| | 3 | Bajo | Medio | Grandes | Sin | Intacta | Alto | Bajo |
| | 4 | Bajo | Medio | Grandes | Sin | Intacta | Alto | Bajo |

| Muestra | Repetición | Olor | Rugosidad de la película | Burbuj as | Cortes en los bordes | Estado de la película | Consistencia | Presencia de nanoarcilla |
|----------------|-------------------|-------------|---------------------------------|------------------|-----------------------------|------------------------------|---------------------|---------------------------------|
| 14 | 1 | Bajo | Medio | Grandes | Sin | Intacta | Alto | Bajo |
| | 2 | Bajo | Alto | Grandes | Sin | Intacta | Alto | Bajo |
| | 3 | Bajo | Medio | Grandes | Sin | Intacta | Alto | Bajo |
| | 4 | Bajo | Alto | Grandes | Sin | Intacta | Alto | Bajo |
| 15 | 1 | Sin | Bajo | Pequeñas | Sin | Intacta | Alto | Bajo |
| | 2 | Sin | Bajo | Pequeñas | Sin | Intacta | Alto | Bajo |
| | 3 | Sin | Bajo | Pequeñas | Sin | Arrugada | Alto | Bajo |
| | 4 | Sin | Bajo | Pequeñas | Sin | Intacta | Alto | Bajo |
| 16 | 1 | Medio | Medio | Pequeñas | Sin | Intacta | Alto | NA |
| | 2 | Medio | Bajo | Pequeñas | Sin | Intacta | Alto | NA |
| | 3 | Bajo | Bajo | Pequeñas | Bajo | Intacta | Alto | NA |
| | 4 | Bajo | Bajo | Pequeñas | Medio | Intacta | Alto | NA |
| 17 | 1 | Alto | Medio | Pequeñas | Sin | Intacta | Alto | Bajo |
| | 2 | Medio | Medio | Pequeñas | Sin | Intacta | Alto | Bajo |
| | 3 | Bajo | Medio | Pequeñas | Sin | Intacta | Alto | Bajo |
| | 4 | Medio | Medio | Pequeñas | Sin | Intacta | Alto | Bajo |
| 18 | 1 | Alto | Medio | Pequeñas | Sin | Intacta | Alto | Bajo |
| | 2 | Bajo | Medio | Pequeñas | Sin | Intacta | Alto | Bajo |
| | 3 | Alto | Medio | Pequeñas | Sin | Intacta | Alto | Bajo |
| | 4 | Bajo | Bajo | Muy Pequeñas | Sin | Intacta | Alto | Bajo |

| Muestra | Repetición | Olor | Rugosidad de la película | Burbujas | Cortes en los bordes | Estado de la película | Consistencia | Presencia de nanoarcilla |
|---------|------------|-------|--------------------------|--------------|----------------------|-----------------------|--------------|--------------------------|
| 19 | 1 | Bajo | Medio | Muy Pequeñas | Sin | Intacta | Medio | Medio |
| | 2 | Bajo | Medio | Muy Pequeñas | Sin | Intacta | Alto | Medio |
| | 3 | Bajo | Medio | Pequeñas | Sin | Intacta | Alto | Medio |
| | 4 | Medio | Medio | Pequeñas | Sin | Intacta | Alto | Medio |
| 20 | 1 | Medio | Alto | Muy Pequeñas | Sin | Intacta | Alto | Alto |
| | 2 | Bajo | Medio | Muy Pequeñas | Sin | Intacta | Alto | Alto |
| | 3 | Bajo | Medio | Muy pequeñas | Sin | Intacta | Alto | Alto |
| | 4 | Bajo | Alto | Sin | Sin | Intacta | Alto | Alto |

Elaborado por autores

Nota= Muestra* Es la formulación de las películas, en total hay 20.

NA* No aplica, significa que no tiene en su formulación el elemento para que pueda cumplir con esa característica.

Olor alto* Se lo puede percibir sin acercarse a la película el olor del aceite esencial.

Olor medio* Hay que acercarse a la película a menos de 5cm para percibir el olor del aceite esencial.

Olor bajo* Se tiene que acercarse a la película y olerlo con mucho detenimiento, se percibe muy poco el olor del aceite esencial.

Rugosidad alta* Al tocar la película se siente que está rugosa.

Rugosidad media* Al tocar la película se siente un poco rugosa.

Rugosidad baja* AL tocar la película se siente muy poca rugosa, casi lisa.

Burbujas grandes* A simple vista se puede ver que las burbujas alcanzan los 5mm.

Burbujas pequeñas* Las burbujas se puede ver si se lo observa con detenimiento.

Burbujas muy pequeñas* Apenas se pueden ver las burbujas, se lo tiene que observar con mucho detenimiento.

Cortes en los bordes alto* Los bordes de las películas están muy destruido, superando el 50%.

Cortes en los bordes medio* Los bordes de las películas están casi destruidos, siendo menos del 50% pero más del 25%.

Cortes de los bordes bajo* Los bordes de las películas están casi intactos, siendo la destrucción entre un 25% a 5%.

Estado de la película* Se refiera a la apariencia que tiene la película, tanto la vista como al tacto.

Consistencia alta* No se deforma la película al ser tocada.

Consistencia media* Hay una leve deformación de la película al ser tocada.

Consistencia baja* Se deforma la película totalmente al ser tocada.

Presencia de nanoarcilla alta* A la simple vista y al tacto se puede apreciar la nanoarcilla. Se siente arenoso, y se ve formas de arena.

Presencia de nanoarcilla media* Se tiene que ver y tocar con un poco de detenimiento para poder apreciar su presencia.

Presencia de nanoarcilla baja* No se puede apreciar al ver la película, pero si con un toqueteo prolongado.

El color amarillo significa que la formulación sigue un patrón favorable a una característica de la película.
El color naranja significa que la formulación sigue un patrón medio favorable a una característica de la película.
El color rojo significa que la formulación sigue un patrón no favorable a una característica de la película.
Elaborado por autores

3.3 Pruebas físicas

Humedad

Se utilizó el método Jiménez (2019) con algunas modificaciones, consiste en dejar secar la muestra por 24 h en una estufa a 105 °C, para luego pesarla cada hora, hasta que su peso sea constante se utilizó la balanza analítica Sartorius CP224S. Se hicieron 3 repeticiones para el almidón-celulosa y 3 repeticiones para la película almidón-celulosa.

Para el cálculo de la humedad se aplicó la siguiente fórmula:

$$\% \text{Humedad} = 100 - \left(\frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \right) \times 100$$

Espesor

Se utilizó el método de Anchundia (2017) con un micrómetro electrónico se tomaron 10 mediciones en cada película, se hicieron 3 repeticiones por cada formulación. El espesor se lo tomó en mm.

Solubilidad

Se utilizó el método de Gontard (1992), con algunas modificaciones, se cortó 3 tiras de 0.5cmx2cm con un peso ya conocido de cada formulación. Se hicieron tres pesos, el primer peso se hizo a la tira, el segundo peso se hizo a la tira que se agitó durante 15 min con 80 mL de agua destilada y filtrada, y por último el tercer peso que se hizo una vez estando 24 h en la estufa a 85 °C, siendo el peso final.

Para el cálculo la solubilidad se aplicó la siguiente fórmula:

$$\% \text{Solubilidad} = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100$$

En donde:

P_i = Peso inicial

P_f = Peso final

Opacidad

Se utilizó el método de Han (1997), se hicieron cortes rectangulares y con la ayuda de un espectrofotómetro ThermoSpectronic a 600nm se midió la absorbancia, se tomó cuatro medidas a cada corte, luego con un micrómetro digital se tomó el espesor con el método de Anchundia (2017), tomando tres medidas a cada tira

Para el cálculo de opacidad se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Opacidad} = \frac{\text{Absorbancia}}{x}$$

En donde:

x = espesor de la película (mm)

Permeabilidad al vapor de agua

Se utilizó la normativa E96-80 ASTM (2015), a las muestras se cortaron círculos de 3 centímetros de diámetro para luego ser colocada en la parte superior de recipientes de plásticos, que contenían agua destilada, con un peso ya conocido fueron colocados en un secador durante 24 h, controlando la humedad relativa a 55 °C y temperatura ambiente con un termohigrómetro, la humedad relativa se logró agregando silicagel en el fondo del desecador, se tomaron los pesos cada 24 h durante 3 días.

Para el cálculo de permeabilidad se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$\text{PVA} = \frac{\Delta m - I}{A - \Delta t - \Delta p}$$

En donde:

$\frac{\Delta m}{\Delta p}$ = humedad perdida por unidad de tiempo (g s-1)

A= Área de la película que estuvo expuesta a la transferencia de humedad (m²)

I= Espesor de la película en m.

Δp = Diferencia de presión de vapor de agua que hay entre los dos lados de la película (Pa)

Se utilizó esta ecuación para poder obtener Δp :

$$\Delta p = \frac{\Delta RH}{100} = \text{PVAP SAT}$$

En donde:

ΔRH = Gradiente de humedad relativa entre el entorno y la celda.

PVAP SAT= En 25 °C es igual a 3160 Pa, es la presión de vapor saturado de agua pura.

3.4 Pruebas mecánicas

Fuerza máxima, esfuerzo máximo de tracción, módulo de elasticidad, desplazamiento y porcentaje de elongación.

Se utilizó la normativa ASTM D882-18 (2018). Método de prueba estándar para propiedades de tracción de láminas plásticas delgadas. Se lo realizó con Máquina de ensayos universal Polímeros Metrotest 50 KN modelo MTE 50, zona calibrada de 100 mm, velocidad de ensayo de 10mm/min. Tomando de la muestra 16, 17 y 20, se consideró la fuerza máxima, el esfuerzo máximo de tracción, módulo de elasticidad, desplazamiento y el porcentaje de elongación. En la siguiente tabla se puede apreciar los datos de la tracción. Se escogió estas muestras porque en su formulación la Muestra 16 no cuenta con nanoarcilla, pero sí con la concentración máxima de nanocelulosa (50 mL), la Muestra 17 tiene 0.025 g de nanoarcilla y 25 mL de nanocelulosa, y la Muestra 20 tiene las concentraciones máximas de nanocelulosa (50 mL) y de nanoarcilla (0.05 g).

3.5 Prueba funcional

Prueba de la gota

Se utilizó el método Kwok (1999), consiste en dejar caer con una pipeta Pasteur una gota de agua con colorante natural (100 microlitros) a una distancia de 5 cm de la película almidón-celulosa, midiendo el ángulo de la gota con la ayuda de una fotografía ampliada, esta técnica se repitió 3 veces para cada película.

3.6 Prueba ópticas

Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)

La metodología se hizo por la técnica de espectrometría infrarroja en donde los films de la muestra 1 y 20, y el aceite esencial, fueron colectados mediante un espectrofotómetro FT-IR, Marca Perkin Elmer, modelo Spectrum 100. Cada corrida fue medida sumando 12 scans con resolución de 4 cm⁻¹, en el rango de 4500 - 450 cm⁻¹ para las películas, y en el rango de

4500 - 650 cm^{-1} , en el caso de la mezcla de aceites esenciales. El programa que se utilizó fue Spectrum versión 10.4.2.279, y para la visualización de la espectrometría se usó el programa Spectragryph v1.2.15, se tomó en cuenta la transmitancia.

3.7 Prueba microbiológica

Determinación de la actividad antimicrobiana utilizando el método de Kirby Bauer

Primero se obtuvo 2 bacterias y 1 hongo, las bacterias fueron: *Listeria Monocytogenes* ATCC 35152, y las *Pseudomonas* sp. ATCC 13867, el hongo fue: el *Aspergillus Brasiliensis* ATCC 1604. Estos se los almacenó en un caldo a temperatura de 4 °C.

Para el over night, la bacteria *Listeria* ATCC 35152 se usó el agar BHI, las *Pseudomonas* sp. ATCC 13867 fue el agar Sangre, y los *Aspergillus Brasiliensis* ATCC 1604, el agar Papa Dextrosa. Cada agar se lo utilizó en cajas Petri, de 8 centímetros de diámetro. Los agares se los obtuvieron en Laboratorio NOVA, ubicados en la ciudad de Quito. Se los dejaron en una estufa por 18 horas a 37 °C.

Al día siguiente se realizó la espectrofotometría para medir las concentraciones de los microorganismos en solución salina con 0.08 de absorbancia. Para la manipulación de los microorganismos se utilizó como material de laboratorio un asa.

En los agares de Müller-Hinton se utilizó 9 cajas Petri de 8 centímetros de diámetro, para cada microorganismo se usó 3 agares para luego poner 4 pedazos de las muestras con dimensiones de 6mm de diámetro, la primera muestra fue de la formulación número 1, la segunda muestra fue la formulación número 16, la tercera muestra fue de la formulación 20, y la cuarta muestra fue de un papel filtro, para análisis cuantitativo sin cenizas, de la marca ALBET LabScience, que se esterilizó en autoclave a 105 °C durante 20 min, para evitar que se mojara, se lo cubrió con papel de aluminio. Se colocó encima del papel filtro 10 microlitros de la mezcla de aceites esenciales, una vez hecho esto se lo colocó en una estufa a 37 °C durante 24 h, para poder ver el halo de inhibición de las muestras en milímetros se utilizó una regla de medición Carrillo (2020).

CAPITULO IV

4. RESULTADOS

4.1 Pruebas físicas

Humedad

Tabla 6. Humedad del almidón-celulosa

| PESO INICIAL (g) | PESO FINAL (g) | % Humedad | Desviación estándar |
|-------------------------|-----------------------|------------------|----------------------------|
| 2 | 0.0424 | 97.88% | 0.00265565 |
| 2 | 0.0527 | 97.37% | |
| 2 | 0.0498 | 97.51% | |

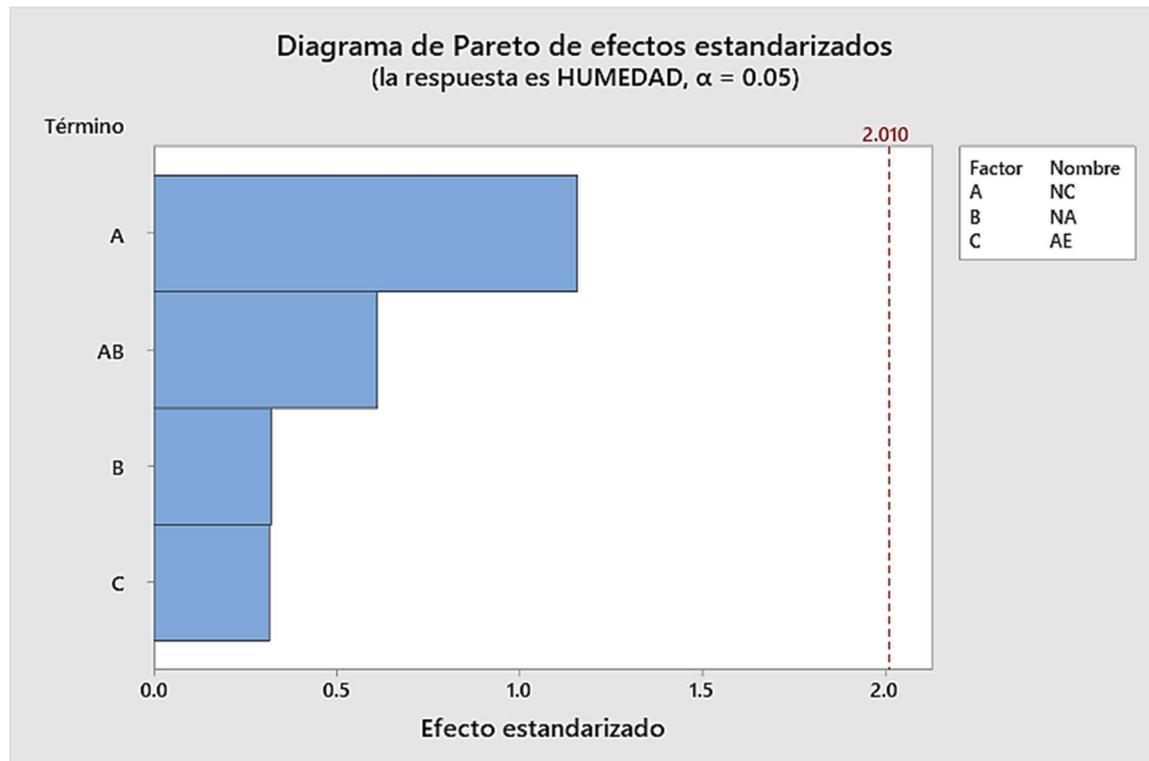
Elaborado por autores

La desviación estándar del almidón-celulosa tiene como valor 0.266 %, estando en el grado de confianza del 99.74 %.

El rango de la humedad en las películas almidón-celulosa es del 1.5 % al 9.2 %, siendo la formulación 6 la más baja y la formulación 19 la más alta. El coeficiente de variación tiene un rango de 9 % a 115 %, teniendo poca variabilidad para la formulación 9, variabilidad aceptable para las formulaciones: 14 y 20, variabilidad excesiva pero tolerable para las formulaciones: 4, 8, 16 y 19, y variabilidad excesiva en las formulaciones: 1, 2, 3, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 13, 15, 17 y 18. Se puede apreciar estos resultados en el Anexo 21.

En el diagrama de Pareto de efectos estandarizados para humedad se puede observar que ninguno presenta variaciones significativas en las películas de almidón-celulosa.

Gráfico 1. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados de Humedad de la película almidón-celulosa



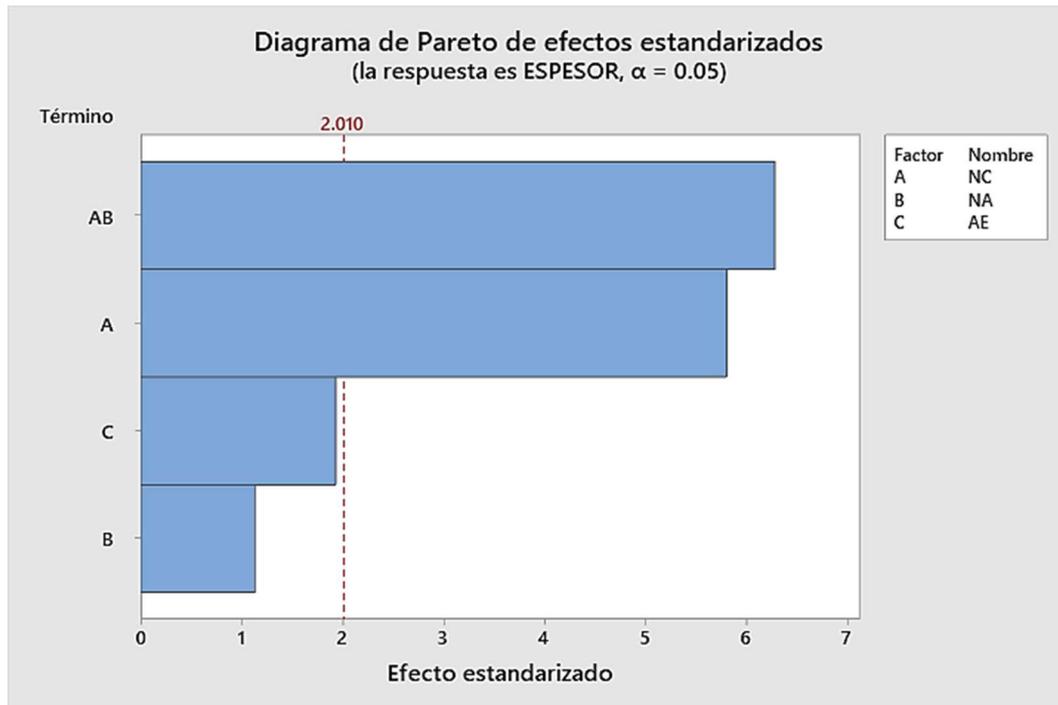
Elaborado por autores

Espesor

El rango del espesor en las películas almidón-celulosa es del 0.058 mm al 0.125 mm, siendo la formulación 9 la más baja y la formulación 8 la más alta. El coeficiente de variación tiene un rango de 8.4 % a 115 %, teniendo poca variabilidad para la formulación 4 y 5, y variabilidad aceptable para las demás formulaciones. Se puede apreciar estos resultados en el Anexo 22.

En el diagrama de Pareto de efectos estandarizados para espesor se puede observar que la mezcla de la nanocelulosa (A) con la nanoarcilla (B) (AB), tiene un principal efecto, además la nanocelulosa (A) tiene un efecto considerable también en el espesor de las películas de almidón-celulosa.

Gráfico 2. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados de espesor de la película almidón-celulosa



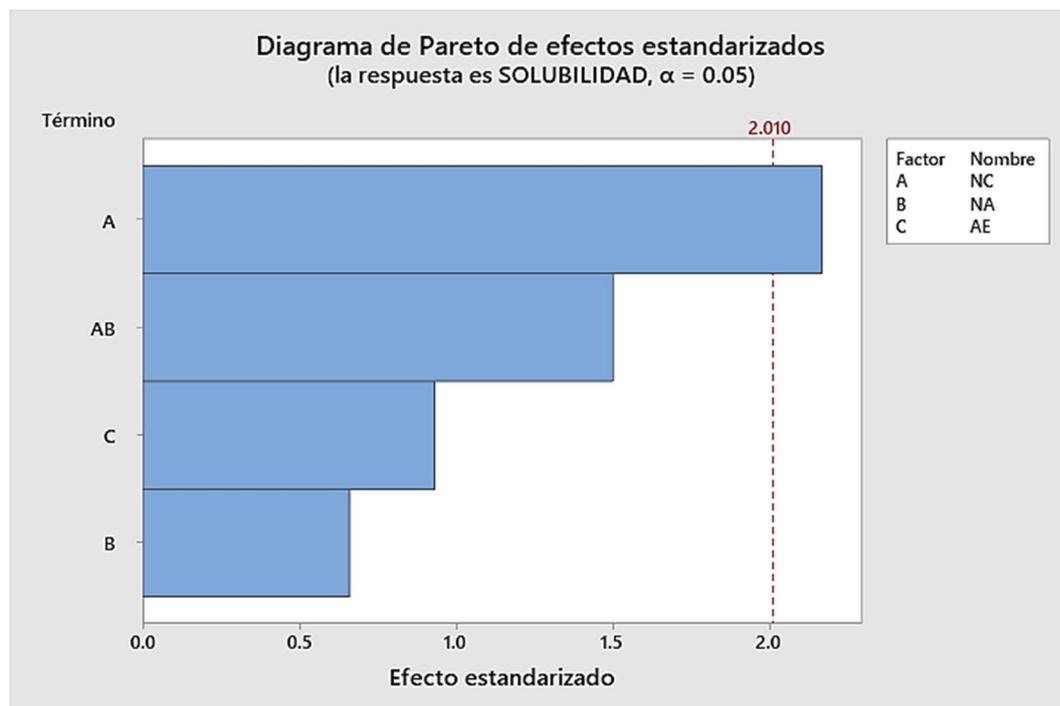
Elaborado por autores

Solubilidad

El rango de la solubilidad en las películas de almidón-celulosa es del 6.11 % al 17.72 %, siendo la formulación 11 la más baja y la formulación 1 la más alta. El coeficiente de variación tiene un rango de 9.31 % al 72.76 %, teniendo poca variabilidad para la formulación 2 y 14, variabilidad aceptable para la formulación: 3, 4, 6, 7, 9, 10, 13, 15, 16 y 20, variabilidad excesiva pero tolerable para las formulaciones: 1, 11, 12, 17, 18 y 19, y variabilidad excesiva para las formulaciones 5 y 8. Se puede apreciar estos resultados en el Anexo 23.

En el diagrama de Pareto de efectos estandarizados para solubilidad se puede observar que la nanocelulosa (A) tiene un efecto de variación significativa en la solubilidad de las películas de almidón-celulosa.

Gráfico 3. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados de solubilidad



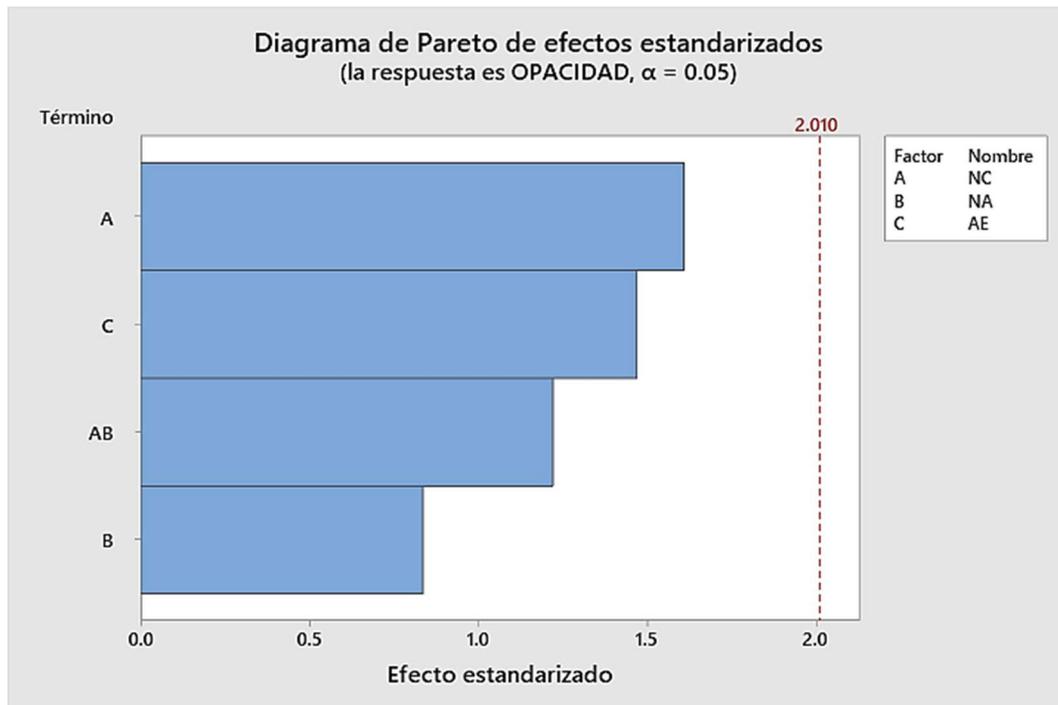
Elaborado por autores

Opacidad

El rango de opacidad en las películas de almidón-celulosa es de 4 mm⁻¹ a 11.5 mm⁻¹, siendo la formulación 8 la más baja y la formulación 3 la más alta. El coeficiente de variación tiene un rango de 1.63 % al 38.26 %, teniendo poca variabilidad para las formulaciones: 2, 3, 4, 7, 15, 16, 18, 19 y 20, variabilidad aceptable para las formulaciones: 1, 5, 8, 9, 10, 12, 13, 14 y 17, y variabilidad excesiva pero tolerable para las formulaciones: 6 y 11. Se puede apreciar estos resultados en el Anexo 24.

En el diagrama de Pareto de efectos estandarizados para la opacidad se puede observar que ninguno presenta variaciones significativas en la opacidad de la película de almidón-celulosa.

Gráfico 4. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados de opacidad



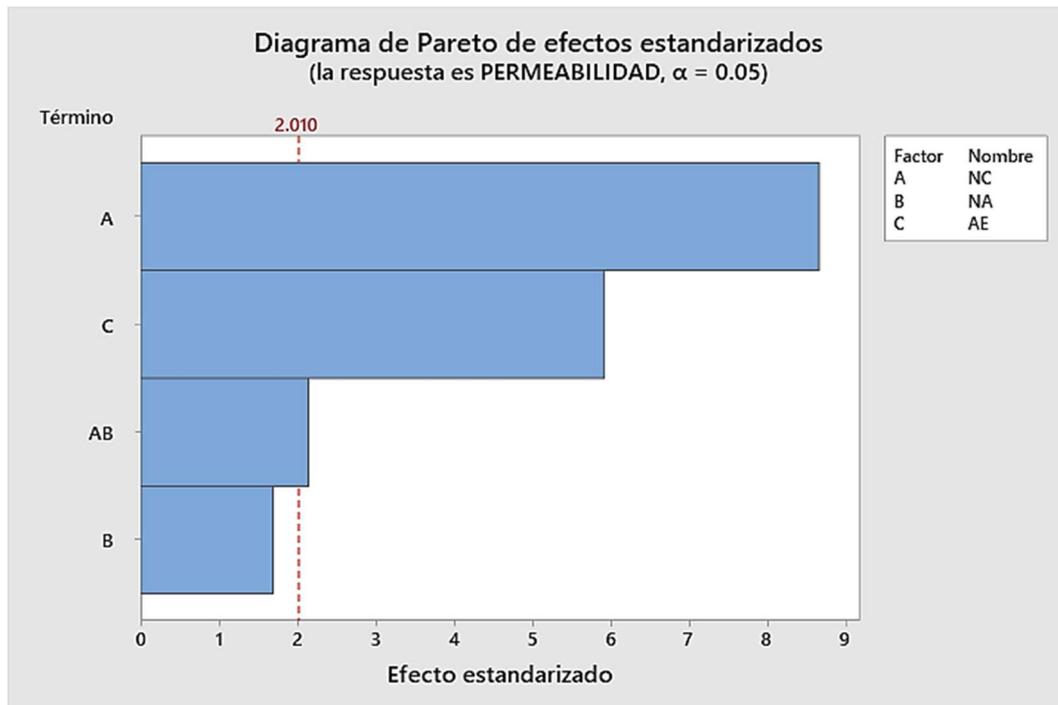
Elaborado por autores

Permeabilidad al vapor de agua

El rango de la permeabilidad en las películas de almidón-celulosa es de $1.31E-06$ (g m/s m² Pa) a $1.53E-05$ (g m/s m² Pa), siendo la formulación 6 la más baja y la formulación 8 la más alta. El coeficiente de variación tiene un rango de 2.24 % al 61,28 %, teniendo poca variabilidad para las formulaciones: 3, 5, 7, 9, 18 y 19, variabilidad aceptable para las formulaciones: 1, 4, 8, 10, 11, 13, 15, 16, 17 y 20, variabilidad excesiva pero tolerable para las formulaciones: 12 y 14, y variabilidad excesiva en las formulaciones 2 y 6. Se puede apreciar estos resultados en el Anexo 25.

En el diagrama de Pareto de efectos estandarizados para la permeabilidad al vapor de agua se puede observar que la nanocelulosa (A) tiene un principal efecto en la permeabilidad de las películas de almidón-celulosa, le sigue la mezcla de los aceites esenciales (C) que también tiene un efecto importante en la película, y por último la nanocelulosa con la nanoarcilla (AB).

Gráfico 5. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados de permeabilidad.



Elaborado por autores

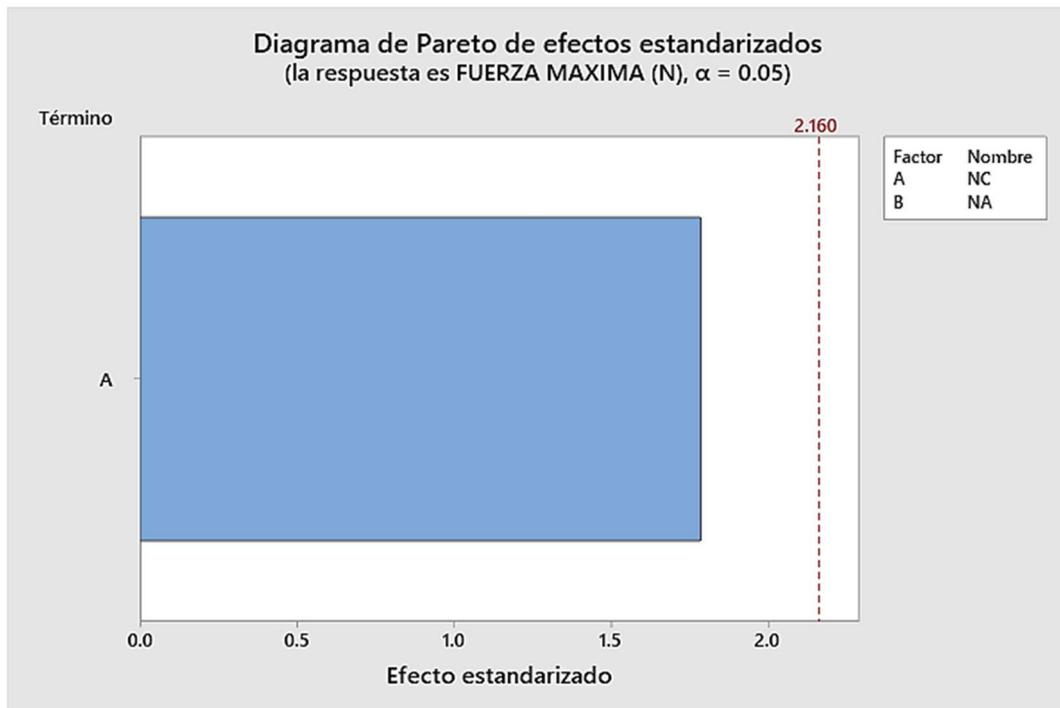
4.2 Prueba mecánica

Fuerza máxima, esfuerzo máximo de tracción, módulo de elasticidad, desplazamiento y porcentaje de elongación.

Las muestras tienen un rango de fuerza máxima de 9 N a 16 N, siendo la muestra de la formulación 20 la más alta. El esfuerzo máximo de tracción cuenta con un rango de 0.2 MPa a 0.3 MPa. El módulo de elasticidad en las tres muestras, va de 0.06 MPa a 0.3 MPa, siendo la formulación 1 con el mayor rango. El desplazamiento inicia con 120 (formulación 1), para finalizar con 430 en la formulación 17. % de Elongación va de 100 en la formulación 1, 225 en la formulación 20, para terminar con 375 en la formulación 17. Se puede apreciar estos resultados en el Anexo 26.

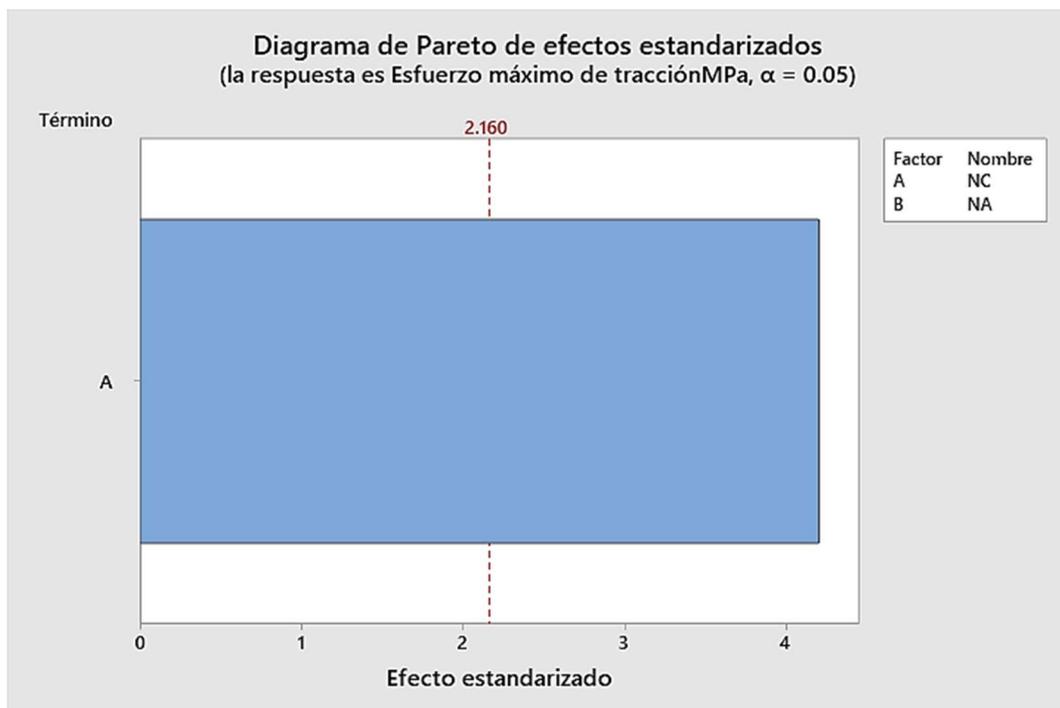
En los diagramas de Pareto de efectos estandarizados (Gráfico 6, 7, 8, 9, 10), la nanocelulosa (A) tiene un efecto importante en las propiedades mecánicas de las películas y la nanoarcilla no presenta ningún efecto en los análisis mecánicos de las películas de almidón-celulosa.

Gráfico 6. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados de Fuerza máxima



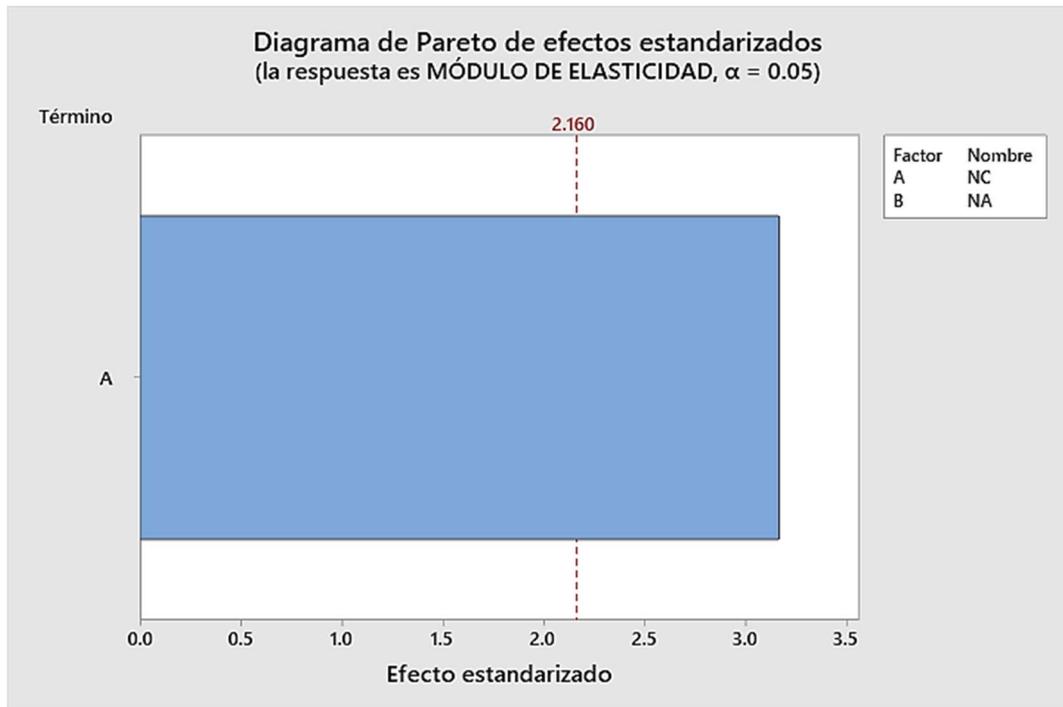
Elaborado por autores

Gráfico 7. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados de Esfuerzo máximo de tracción



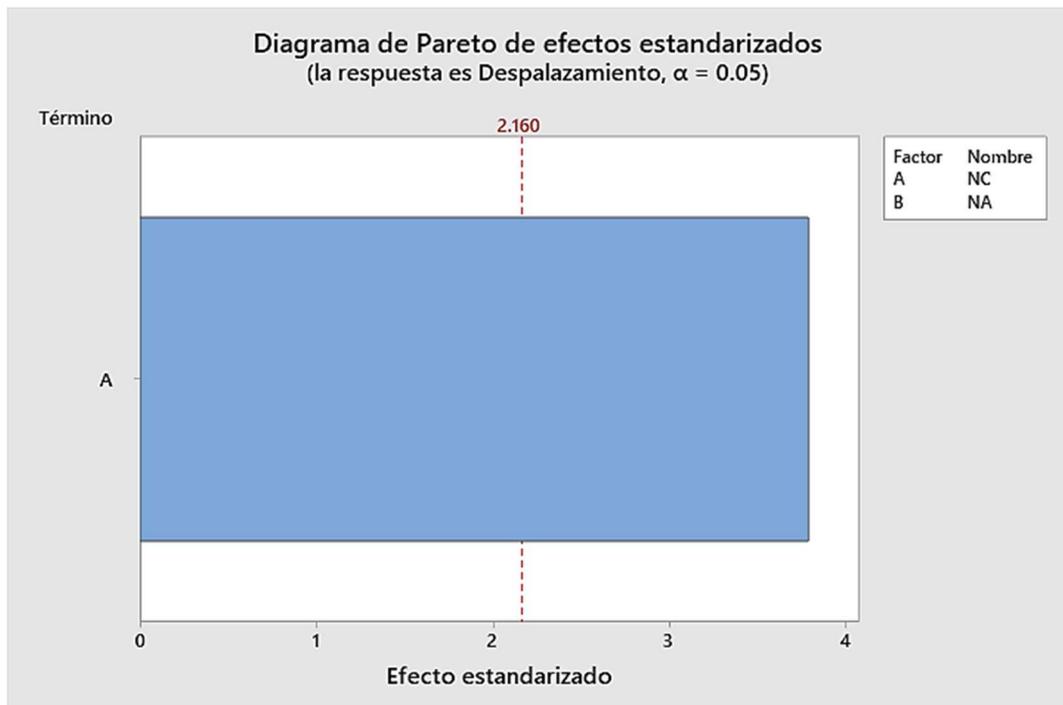
Elaborado por autores

Gráfico 8. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados de Módulo de elasticidad



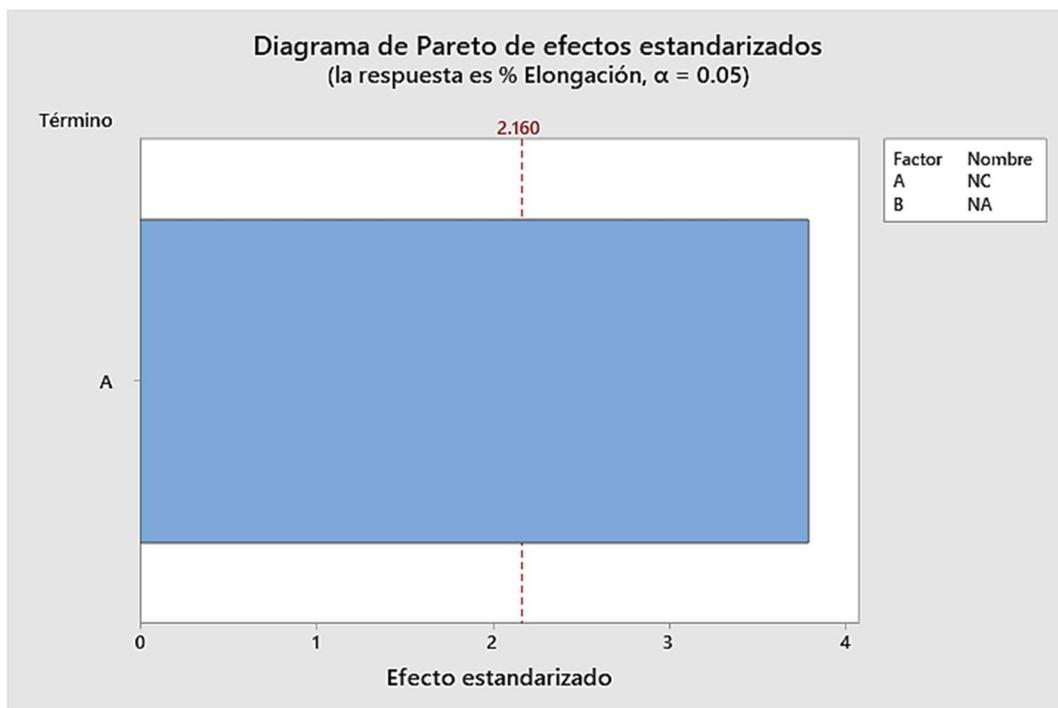
Elaborado por autores

Gráfico 9. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados de Desplazamiento



Elaborado por autores

Gráfico 10. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados de % de Elongación



Elaborado por autores

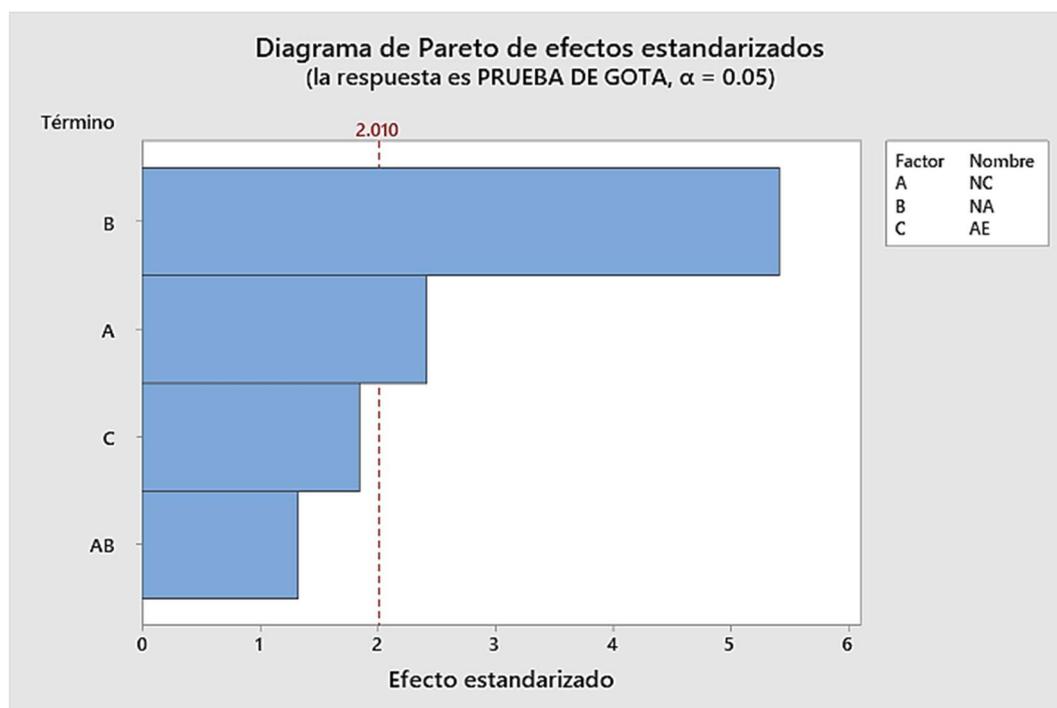
4.3 Prueba funcional

Prueba de la gota

El rango del ángulo de la gota en las películas de almidón-celulosa es de 41.6° a 77.5° , siendo la formulación 20 la más baja y la formulación 7 la más alta. El coeficiente de variación tiene un rango de 5.57 % al 28.84 %, teniendo poca variabilidad para las formulaciones: 2, 5, 7, 8, 15, 18 y 19, y variabilidad aceptable para las formulaciones: 1, 3, 4, 6, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17 y 20. Se puede apreciar estos resultados en el Anexo 27.

En el diagrama de Pareto de efectos estandarizados para la prueba de la gota se puede observar que la nanoarcilla (B) y la nanocelulosa (A) tienen efectos en la hidrofobicidad de las películas de almidón-celulosa.

Gráfico 11. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados de Prueba de la gota



Elaborado por autores

4.4 Prueba óptica

Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)

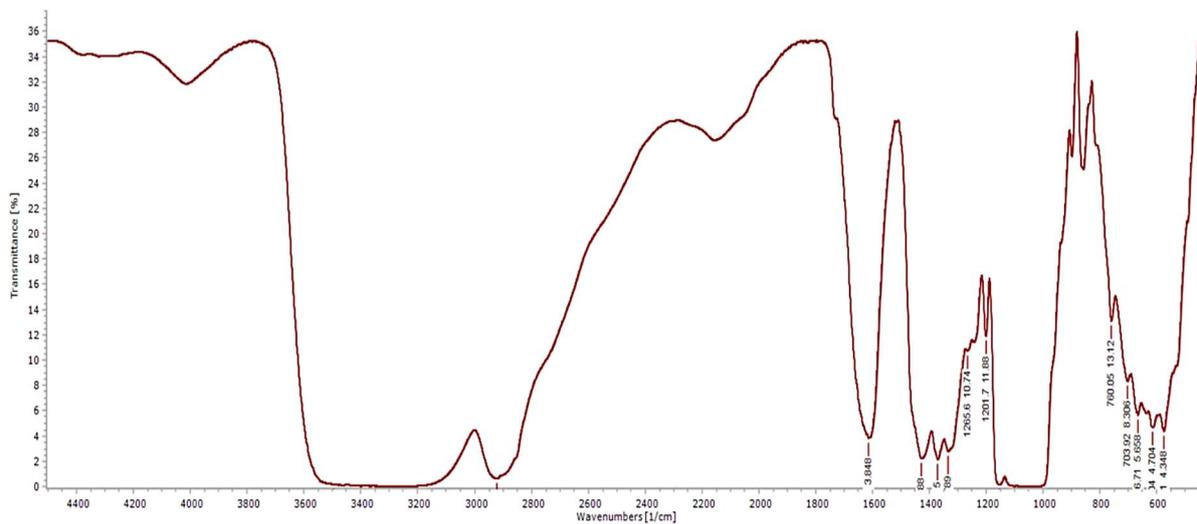
La película 1 presenta una frecuencia de 2150 cm^{-1} , también muestra una vibración de estiramiento de un $-\text{CH}_2-$ siendo éste un alcano, cuyo estiramiento es asimétrico, asimismo observamos las bandas de 1613 cm^{-1} que nos indica una flexión del agua, lo que quiere decir que el almidón es higroscópico, y en 1374 cm^{-1} encontramos vibraciones de flexión $-\text{CH}$. Tenemos una intensa banda a 1200 cm^{-1} SE identifica las bandas a 1613 cm^{-1} , señalando flexión al agua, 1435 cm^{-1} (scissoring del grupo CH_2 en la celulosa) características de los polisacáridos. Analizando los datos antes mencionados, nos señala que las longitudes de ondas, pertenecen a los grupos funcionales presente en la amilosa y amilopectina, su diferencia es que una es de estructura lineal, y la otra es de estructura ramificada, aunque las dos están compuestas por moléculas de glucosa (Campo, 2018).

La película 20 se localiza a 2157 cm^{-1} , con una frecuencia, también se identifica las bandas a 1613 cm^{-1} , al igual que en la formulación 1, señalando flexión al agua, 1435 cm^{-1}

(scissoring del grupo CH₂ en la celulosa), 1371 cm⁻¹ (bending del grupo C-H), esto se debe a la naturaleza similar de los componentes que conforman, tanto al almidón como a la nanocelulosa, se identificó un pequeño cambio por presencia de nanocelulosa y aceite esencial, en la película compuestas a través del incremento de la intensidad de la banda perteneciente al estiramiento OH (Corsello, 2015). En la película de la formulación 20 no existen diferencias considerables con la película de la formulación 1, esto se debe a que el aceite esencial no está presente y la nanocelulosa puede verse opacada por las moléculas grandes de celulosa

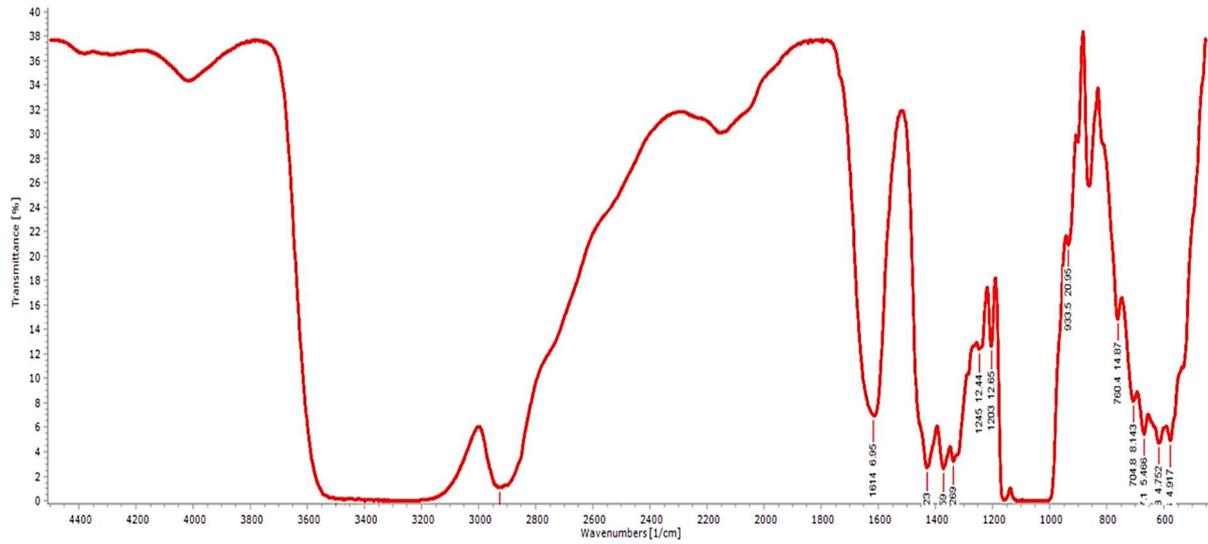
El aceite esencial presentó fenoles, en las bandas entre 3021 y 3403 cm⁻¹, el cual pertenece al grupo funcional -OH y también vemos entre 1592 y 1620 cm⁻¹, unas bandas aromáticas (Mendoza, 2018).

Gráfico 12. Análisis FTIR de la película, formulación 1



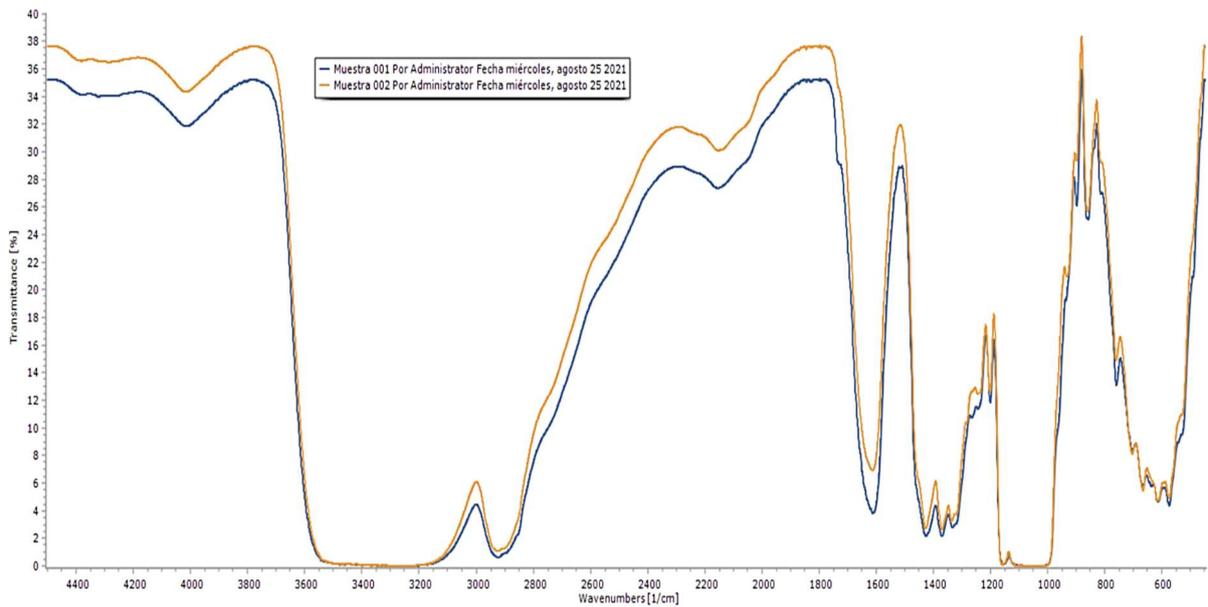
Elaborado por autores

Gráfico 13. Análisis FTIR de la película, formulación 20



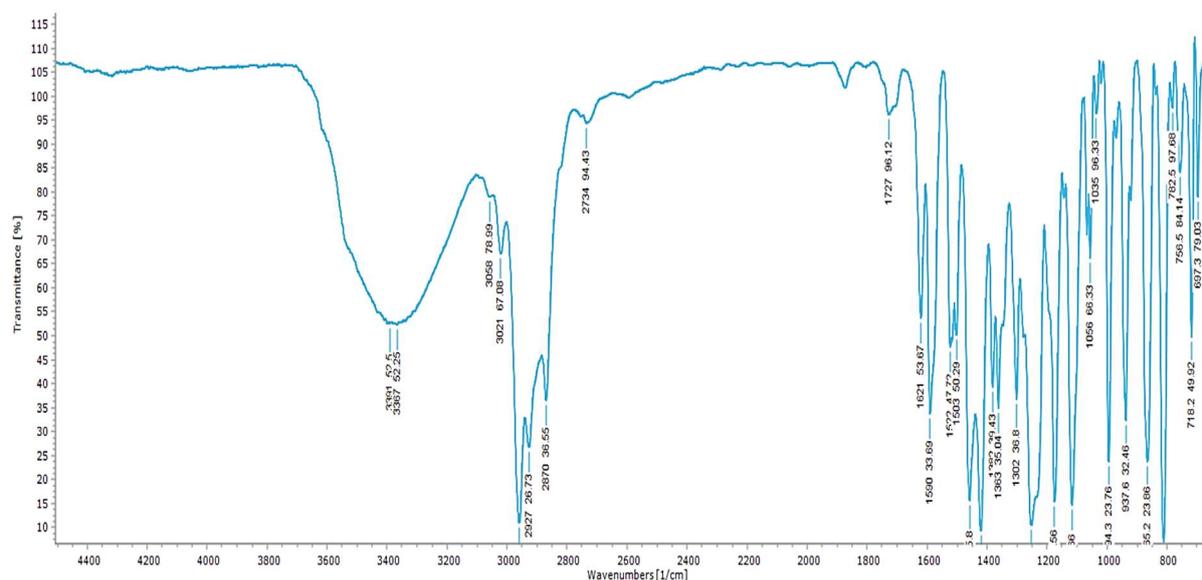
Elaborado por autores

Gráfico 14. Comparación de la película de la formulación 1 y 20 en el análisis FTIR



Elaborado por autores

Gráfico 15. Análisis FTIR de la mezcla de aceites esenciales



Elaborado por autores

4.5 Prueba microbiológica

Determinación de la actividad antimicrobiana utilizando el método de Kirby-Bauer

Las características de las películas en la formulación 1, 16 y 20 no tuvieron ninguna respuesta hacia los microorganismos ya que no se presentó halo de inhibición. El papel filtro con el aceite esencial tiene un rango de halo de inhibición que va de los 30.5 mm hasta los 46 mm, siendo un buen antimicrobiano.

Tabla 7. Halo de inhibición en el análisis microbiológico

| Microorganismo | Repetición | Halo de inhibición (mm) | | | |
|------------------------|------------|-------------------------|----------------|----------------|----------------------------------|
| | | Formulación 1 | Formulación 16 | Formulación 20 | Papel filtro con aceite esencial |
| Listeria | 1 | N | N | N | 30.5 |
| Monocytogenes | 2 | N | N | N | 31 |
| ATCC 35152 | 3 | N | N | N | 40 |
| Pseudomonas sp. | 1 | N | N | N | 35 |
| ATCC 13867 | 2 | N | N | N | 38.5 |
| | 3 | N | N | N | 43.5 |

| Microorganismo | Repetición | Formulación 1 | Formulación 16 | Formulación 20 | Papel filtro con aceite esencial |
|-----------------------|------------|------------------|-------------------|-------------------|--|
| Aspergillus | 1 | N | N | N | 45 |
| Brasiliensis | 2 | N | N | N | 46 |
| ATCC 1604 | 3 | N | N | N | 44 |

Nota= N no presentó halo de inhibición.

Elaborado por autores

CAPÍTULO V

5.1 CONCLUSIONES

- Se pudo obtener el almidón-celulosa a partir de la cáscara de plátano macho, en el microscopio se pudieron observar ambos componentes (Anexo 5), al tener un promedio de humedad del 97.59 % la hace útil para la elaboración de las películas por su medio acuoso y así poder adicionar la nanocelulosa, nanoarcilla y mezcla de aceites esenciales en su formulación.
- En el espesor las películas con nanocelulosa y nanoarcilla y las que sólo tenían nanocelulosa tenían variaciones significativas, en la solubilidad las películas de almidón-celulosa que tenían nanocelulosas en su formulación tenían variaciones significativas, en la permeabilidad las películas que tenían nanocelulosas, aceites esenciales y nanocelulosa con nanoarcilla tenían variaciones significativas al vapor de agua, en los análisis mecánicos se puede observar a través de los Diagramas de Pareto que la nanocelulosa mejora las características mecánicas de las películas en los siguientes tipos de pruebas: Esfuerzo máximo de tracción, Módulo de elasticidad, Desplazamiento y Porcentaje de Elongación, y por último en la prueba de la gota, la hidrofobicidad de las películas tenía variaciones significativas las que tenían nanocelulosa, nanoarcilla y mezcla de aceites esenciales. En la humedad, opacidad y fuerza máxima ningún factor tenía variaciones significativas en las películas.
- La nanocelulosa y la nanoarcilla sí cambian las propiedades de las películas de almidón-celulosa, puesto que la mejor formulación es con 25 mL de NC y 0.025 g de NA, esto es favorable para las características físicas y mecánicas de las películas, entra con estos parámetros las películas que tuvieron las siguientes formulaciones: 3, 4, 9, 10, 17 y 18, todos cumplen con tales concentraciones de la nanocelulosa y nanoarcilla. El aceite esencial no estuvo presente en las películas por el análisis FTIR y microbiológico, en el FTIR salió idéntico los picos de bajadas en la transmitancia de la formulación 1 (0 g AE) con la formulación 20 (0.25 g AE), y en el análisis microbiológico se comportó la formulación 16 (0.25g AE; 0g NA) y la formulación 20 (0.25 g; 0.5 g NA) igual a la formulación 1 (0 g AE; 0 g NA), sin ningún halo de inhibición, la nanoarcilla no retuvo la mezcla del aceite esencial en las películas, pero también se dedujo que el AE si es un buen inhibidor de microorganismo, ya que en la muestra con el papel filtro tenía un halo de inhibición de 30.5 mm a 46 mm, siendo un buen tipo de inhibidor tanto en las bacterias como en los hongos.

5.2 RECOMENDACIONES

- Crear otros tipos de usos para el almidón-celulosa proveniente de la cáscara de plátano macho, puesto a que es un residuo y en Ecuador se lo utiliza como materia prima, se estará reduciendo el impacto ambiental que implica el desechar.
- Usar el aceite esencial utilizado en esta tesis para estudios microbiológicos, ya que posee excelentes propiedades antimicrobianas.
- Utilizar este estudio para futuras investigaciones, empleándolas para temas similares.
- Usar otros tipos de retención para el aceite esencial en las películas de almidón-celulosa.

BIBLIOGRAFÍA

- Anchundia, K., Santacruz, S., & Coloma, J. (2017). Caracterización Física de películas comestibles a base de la cáscara de plátano (*Musa Paradisiaca*). *Scielo. Revista chilena de nutrición.*, 43(4). Obtenido de <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182016000400009>
- Ancos, B., Gonzales, D., Colina, C., & Sánchez, C. (2015). Uso de películas /recubrimiento comestible en los productos de IV y V Gama. *Iberoamericana de Tecnología Postcosecha.*, 16(1), 8-17. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10261/139238>
- Antropocene. (10 de 08 de 2019). *Antropocene*. Obtenido de <https://antropocene.it/es/2019/08/10/geraniolo/>
- Argeta, M. (2019). ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UNA BIOPELÍCULA A PARTIR DE ALMIDÓN DE PLÁTANO VERDE (*Musa paradisiaca*) INCORPORANDO ACEITE ESENCIAL DE ORÉGANO (*Origanum sp.*) COMO INHIBIDOR MICROBIANO EN LA PRESERVACIÓN DE FRESAS EMPACADAS. *Tesis de Grado. Universidad de El Salvador. Facultad de Ingeniería Química*. Obtenido de <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/20435>
- ASTM-D88-18. (2018). Método de prueba estándar para las propiedades de tracción de láminas plásticas delgadas. doi:10.1520/D0882-18
- ASTM-E96-80. (2015). Standard test methods for water vapor transmission of materials. West Conshohocken ASTM. doi:<https://doi.org/10.1520/STP22959S>
- Bejarano, N. (2018). ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE UN BIOPOLIMERO A PARTIR DEL CONTENIDO DE ALMIDON DE CASCARA DE PLATANO. *Tesis de Grado. Universidad Nacional de San Agustí de Arequipa. Facultad de Ingeniería en Procesos*. Obtenido de <http://190.119.145.154/bitstream/handle/UNSA/7578/MTbemanl.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Blasco, G., & Gómez, J. (2014). Propiedades funcionales del plátano (*Musa sp.*). *Rev. Med. UV*. Obtenido de https://www.uv.mx/rm/num_anteriores/revmedica_vol14_num2/articulos/propiedades.pdf

- Carchi, D. (2014). Aprovechamiento de residuos agrícolas provenientes del cultivo de banano para obtener nanocelulosa. *Tesis de Grado. Universidad de Cuenca. Facultad de Ciencia Químicas*. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/5292>
- Carrillo, E. (2020). EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD INHIBITORIA DE MEZCLA DE ACEITES ESENCIALES DE ALBAHACA (*Ocimum basilicum*) Y ORÉGANO (*Origanum vulgare*) EN *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes* y *Salmonella typhimurium*. *Tesis de Pregrado. Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Química*. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/50594/1/BINGQ-IQ-20P03.pdf>
- Carrión, M., & Diaz, M. (2020). EVALUACIÓN DE LA INCORPORACIÓN DE ACEITE ESENCIAL EN LA FORMULACIÓN DE PELÍCULA A BASE DE ALMIDÓN DE CÁSCARA DE PLÁTANO. *Tesis de Grado. Universidad Técnica de Machala. Facultad de Ciencias Químicas y de Salud*. Obtenido de <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/15656>
- Casallas, L. (2010). EVALUACIÓN DE LOS ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS DEL BANANO COMÚN (*Musa sapientum*) TRANSFORMADO POR ACCIÓN DE LEVADURA *Candida guilliermondii*. *Tesis de Grado. PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA*. Obtenido de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/8650/tesis605.pdf;sequence=1>
- Castillo, R., Escobar, E., Fernández, D., Guitiérrez, R., Morcillo, J., Nuñez, N., & Peñaloza, S. (2015). Bioplástico a Base de la Cáscara de Plátano. *Journal of Undergraduate Research, 1-4*. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/234019621.pdf>
- Chávez, Á., & Rodríguez, A. (2016). Aprovechamiento de residuos orgánicos. *Academia y Virtualidad.*, 9(2), 66. doi:<http://dx.doi.org/10.18359/ravi.2004>
- Dutta, P., Tripathi, S., Mehrotra, G., Dutta, J., & Stakiotakis, E. (2009). Plastificantes. *Journal Food Chemical, 114, 1173*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.11.047>
- Escobar, D., Márquez, R., Repiso, L., Sala, A., & Silvera, C. (2008). Elaboración, caracterización y comparación de películas comestibles en base a aislado de proteínas de suero lácteo (WPI). *Proyectos Alimentarios. Laboratorio Tecnológico del*

Uruguay. Universidad Católica del Uruguay. Obtenido de
<http://ojs.latu.org.uy/index.php/INNOTEC/index>

Feijo, J. (2019). PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE PELÍCULAS COMESTIBLES ELABORADAS A BASE DE ALMIDÓN DE BANANO. *Tesis, Ecuador-Machala*. Recuperado el 31 de 03 de 2020, de
http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/14105/1/T2894_CRIOLLO%20FEIJOO%20JULIANA%20LISBETH.pdf

Gennadios, A., Weller, C. L., & Gooding, C. H. (1994). Measurement errors in water vapor permeability of highly permeable, hydrophilic edible films. *Journal of food engineering*, 21(4), 395-409. doi:[https://doi.org/10.1016/0260-8774\(94\)90062-0](https://doi.org/10.1016/0260-8774(94)90062-0)

Gontard, N., Guilbert, S., & Cuq, J.-L. (1992). Edible wheat gluten films: influence of the main process variables on film properties using. *Journal Food Science*, 57(1). doi:<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1992.tb05453.x>

González, A., Hernández, I., & Padrón, A. (2017). Películas biodegradables a base de almidón: propiedades mecánicas, funcionales y biodegradación. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*. Obtenido de
https://www.academia.edu/29685056/Pel%C3%ADculas_biodegradables_a_base_de_almid%C3%B3n_propiedades_mec%C3%A1nicas_funcionales_y_biodegradaci%C3%B3n

Google Maps. (2021). Obtenido de
<https://www.google.com/maps/place/Facultad+de+Ingenier%C3%ADa+Qu%C3%ADmica/@-2.1819078,-79.9014681,17z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x902d6de7a9edb003:0x119fa42e0ed501c7!8m2!3d-2.1819132!4d-79.8992794>

Guarnizo, A., Martínez, P., & Valencia, H. (2009). PRETRATAMIENTOS DE LA CELULOSA Y BIOMASA PARA LA SACARIFICACIÓN. *Scientia Et Technica*, XV(42), 284-289. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84916714053>

Han, J., & Floros, J. (1997). *Casting antimicrobial packaging films and measuring their physical properties and antimicrobial*. doi:<https://doi.org/10.1177/875608799701300405>

- Hernández, F., Morales, Y., Marín, L., & Pasqualino, J. (2015). Extracción de almidón a partir de residuos de piel de plátano. *ResearchGate*. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/303541238>
- Hernández, Torruco, U., G., J., Chel, A., & Betancur. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Food Science and Technology*, 28(3), 718-726. doi:<https://doi.org/10.1590/S0101-20612008000300031>
- Hisour. (2018). Obtenido de <https://www.hisour.com/es/nanocellulose-39643/>
- Ibargüen, A., Pinzón, M., & Arbelaez, L. (2015). ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE PELICULAS COMESTIBLES A BASE DEL GEL DE ALOE VERA (*Aloe barbadensis* Miller L.). *Alimentos Hoy*, 23(36). Obtenido de <https://alimentos hoy.acta.org.co/index.php/hoy/article/viewFile/351/301>
- INEN-ISO 4593:2014. (s.f.). PLÁSTICOS. PELÍCULAS Y HOJAS DE PLÁSTICO. DETERMINACIÓN DEL ESPESOR POR MEDICIÓN DIRECTA CON MICRÓMETRO (ISO 4593:1993, IDT). *NORMA TÉCNICA ECUATORIANA*. Obtenido de https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/NTE_INEN_ISO_4593.pdf
- Islas, J., González, R., & Gúzman, S. (2020). Nanofibras de celulosa obtenidas a partir de residuos de plátano macho y su aplicación como reforzamiento de películas biodegradables. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 5, 681-686. Obtenido de <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume5/5/10/139.pdf>
- Izquierdo, G. (2014). EFECTO DE LA ADICIÓN, TIPO Y CONCENTRACIÓN DE NANOARCILLA. *Tesis de Maestría. Universidad Pública de Navarra. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos*, 27. Obtenido de <https://hdl.handle.net/2454/12224>
- Jiménez, A., Hernández, K., Collahuazo, Y., Áviles, R., Pino, J., & y García, M. (2019). PELÍCULA COMESTIBLE APARTIR DE LA CÁSCARA DE PLÁTANO MACHO (*MUSA PARADISIACA*.L). *Ciencia y Tecnología de los Alimentos*, 29(3). Obtenido de <https://www.revcitecal.iiia.edu.cu/revista/index.php/RCTA/article/download/76/64/12>

- Juárez, M. (2019). INFLUENCIA DEL TIPO DE SOLVENTE Y LA CONCENTRACIÓN DEL EXTRACTO DE MELICOCOCUS BIJUGATUS SOBRE PELÍCULAS ANTIMICROBIANAS DE QUITOSANO-ALMIDÓN. *Tesis de Maestría en Ciencias en Ingeniería Química del Instituto Tecnológico en Ciudad Madero*.
Obtenido de
<http://repositorio.tecnm.mx:8080/jspui/bitstream/123456789/26/1/INFLUENCIA%20DEL%20TIPO%20DE%20SOLVENTE%20Y%20LA%20CONCENTRACION%20DEL%20EXTRACTO%20DE%20MELICOCOCUS%20BIJUGATUS%20SOBRE%20PELICULAS%20ANTIMICROBIANAS%20DE%20QUITOSANO-ALMIDON.p>
- Kwok, D., & Neumann W. (1999). *Contact angle measurement and contact angle interpretation. Adv Colloid Interfac.* doi:[https://doi.org/10.1016/S0001-8686\(98\)00087-6](https://doi.org/10.1016/S0001-8686(98)00087-6)
- Labuza, T., & Contrera, R. (1981). *Cereal Food World*. 335-343. Obtenido de
<https://www.scirp.org/reference/referencespapers.aspx?referenceid=2868262>
- Lin, D., & Zhao, Y. (2007). Innovations in the development and application of edible coatings for fresh and minimally processed fruits and vegetables. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 6(3), 60–75. doi:
<https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2007.00018.x>
- López, V., Castillo, A., Farenzena, S., Pintos, E., Rodríguez, S., García, A., & Villar, A. (2018). Película biodegradable de almidón de maíz termoplástico y quitosano con actividad antimicrobiana empleada como envase activo. *Revista Matéria*, 23(2).
Obtenido de
<https://www.scielo.br/j/rmat/a/G7gw6Gg33H73TQy54SQpj3p/?format=pdf&lang=es>
- Mamani, R. (2016). Efecto antimicrobiano del aceite esencial de orégano (*Origanum vulgare*) sobre *Escherichia coli* 0157:H7, *Listeria monocytogenes* y *Salmonella* spp. En la carne de cuy (*Cavia porcellus*). *Tesis de Grado de la Universidad del Altiplano. Facultad de Ciencias Agrarias*. Obtenido de
http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/3457/Mamani_Nina_Ruthy_Suana.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Martínez, M., Harper, C., Pérez, F., & Chaparro, M. (2002). Platicos biodegradables. *Journal of Food Sciencie*. doi:10.1126/sciadv.1700782
- Mero, M., & Valencia, J. (2018). ELABORACIÓN DE UN RECUBRIMIENTO COMESTIBLE PARA FILETES DE TILAPIA ROJA (*OREOCHROMIS SP*) A PARTIR DE ALMIDÓN DE YUCA (*MANIHOT ESCULENTA CRANTZ*) Y ACEITE ESENCIAL DE ROMERO (*ROSMARINUS OFFICINALIS*). *Tesis de Grado. Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Química*. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/33220>
- Montalvo, C., López, A., & Palou, E. (2012). Películas comestibles de proteína: características, propiedades y aplicaciones. *Tema Selecto de Ingeniería de Alimentos*, 6-2, 32-46. Obtenido de file:///C:/Users/acer/Downloads/Pelliculas_comestibles.pdf
- Montoya, J., Quintero, V., & Lucas, J. (2015). Caracterización de harina y almidón de frutos de banano Gros Michel (*Musa acuminata AAA*). *Acta Agronómica*, 64(1), 11-21. doi:<http://dx.doi.org/10.15446/acag.v64n1.38814>
- Moreno, H., & Patiño, N. (2010). Elaboración de un recubrimiento comestible antimicrobial y antioxidante a partir de aceite de orégano (*origanum vulgare*) aplicado a la ensalada primavera minimamente procesada de la empresa Defrescura. Obtenido de https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1148&context=ing_alimentos
- Oropeza, R., Montes, A., & Padrón, C. (2016). Películas biodegradables a base de almidón: propiedades mecánicas. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 7(1), 65-93. Obtenido de <http://oaji.net/articles/2017/4924-1495587302.pdf>
- Ortega, J. (2016). Estudio de las propiedades fisicoquímicas y funcionales de la harina de banano (*Musa acuminata AAA*) de rechazo en el desarrollo de películas biodegradables. *Tesis de Pregrado. Faculta de Ingeniería en Alimentos*. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/22874/1/AL599.pdf>
- Ortuño, M. (2006). *Manual Práctico de Aceites Esenciales, Aroma y Perfume* (1era ed.). Aiyana. Obtenido de <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=cW5TsDKqx9wC&oi=fnd&pg=PA5&dq=aceites+esenciales&ots=LoSWLZiHlp&sig=mcLdTfUWi-zGVQqF2zfVsfO5GE0#v=onepage&q&f=false>

- Parque, H., & Chian, M. (1995). Gas and water vapor barrier properties of edible films form protein of cellulose based edible films. (I. 2. Solis, Ed.) *J Food Sci.*, 1361-1364. doi:[https://doi.org/10.1016/0260-8774\(94\)00029-9](https://doi.org/10.1016/0260-8774(94)00029-9)
- Parzanese, M. (2011). Películas y recubrimientos comestibles. *Tecnologías para la Industria Alimentaria. Alimentos Argentinos.*, 7 (11). Obtenido de http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/sectores/tecnologia/Ficha_07_PelículaComestible.pdf
- Pavlat, A. E. (2009). Edible films and coatings: why, what, and how?. In *Edible films and coatings for food applications. New York, NY, USA: Springer Science+Business Media, LLC*, 1-23. doi:https://doi.org/10.1007/978-0-387-92824-1_1
- Perugachi, B., Paredes, V., & Cornejo, M. (2013). Las Nanoarcillas y sus potenciales aplicaciones en el Ecuador. *Revista Tecnológica - ESPOL*, 19(1). Obtenido de <http://rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/213>
- Phanthong, P., Reubroycharoen, P., Hao, X., Xu, G., Abudula, A., & Guan, G. (2018). Nanocellulose: Extraction and application. *Carbon Resources Conversion*, 1(1), 32-43. doi:10.1016/j.crcon.2018.05.004
- Raya, M. (2018). Efectividad in vivo e in vitro de aceite y extractos de geranio (*Pelargonium graveolens*) en el control de hongos fitopatógenos. *Tesis de Grado*. Obtenido de http://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/7187/TFG_RAYA%20TORRES%2c%20MARIA%20ELENA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Rivas, K., Rivas, C., & Gamboa, L. (2015). Composición química y actividad antimicrobiana del aceite esencial de albahaca (*Ocimum basilicum* L.). *Multiciencias*, 15(3), 281-289. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/904/90444727006.pdf>
- Rosales, C., Perera, R., Matos, M., Contreras, V., Palacios, J., Nuñez, K., . . . Pastor, J. (2009). NANOARCILLAS Y SU APLICACIÓN EN POLÍMEROS. *Suplemento de la Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, S2(1), 27-28. Obtenido de [eResearchgate.net/profile/Carmen-Rosales/publication/265982390_NANOARCILLAS_Y_SU_APLICACION_EN_POLIMEROS/links/54bd5f0b0cf218da9391b014/NANOARCILLAS-Y-SU-APLICACION-EN-POLIMEROS.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Carmen-Rosales/publication/265982390_NANOARCILLAS_Y_SU_APLICACION_EN_POLIMEROS/links/54bd5f0b0cf218da9391b014/NANOARCILLAS-Y-SU-APLICACION-EN-POLIMEROS.pdf)

- Saavedra, O., & Alvarado, L. (2020). Evaluación de la modificación de almidón de la cáscara de plátano (*Musa balbisiana*) por el método de oxidación para la obtención de una película bioplástica. *Tesis de Grado*. Obtenido de http://45.5.174.45/bitstream/10819/8255/1/Evaluaci%3%b3n%20de%20la%20modificaci%3%b3n%20de%20almid%3%b3n_Oriana%20Doria%20S_2020.pdf
- Sakkas, H., & Papadopoulou, C. (2015). Antimicrobial Activity of Basil, Oregano, and Thyme Essential Oils. *The korean society for microbiology and biothechnology*. doi: <http://doi.org/10.4014/jmb.1608.08024>
- Salas, L. (2015). Aguacate simbolo de juventud, belleza y salud. *ProHass*. Obtenido de http://www.avocadosource.com/WAC8/Section_07/SalasLopezL2015.pdf
- Santiago, M. (2015). Elaboración y caracterización de películas biodegradables obtenidas con almidón nanoestructurado. *Maestría en Ciencias Alimentarias. Universidad Veracruzana*. Obtenido de <http://cdigital.uv.mx/handle/123456789/1001>
- Silvestre, C., Duraccio, D., & Cimmino, S. (2011). Food packaging based on polymer nanomaterials. *Progress in Polymer Science*. 36(12): 1766-1782. doi:<https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2011.02.003>
- Solis, I. (2016). ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE PELÍCULAS COMESTIBLES ELABORADAS CON HIDROXIPROPILMETILCELULOSA (HPMC). *Tesis, México*. Recuperado el 31 de 03 de 2020, de <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/65172/Elaboraci%F3n+de+pel%EDculas+comestibles+HPMC.pdf;jsessionid=4AFE6F83C14650323AFCA62F84DC5D2F?sequence=1>
- Sousa, G. (2009). Metanol y Etanol. *Maestría en Ingeniería*. Obtenido de <http://profesores.fi-b.unam.mx/13prof/Carpeta%20energ%EDA%20y%20ambiente/MetanolEtanol.pdf>
- Tarréz, J. (2017). Gluconasa para la fabricación de micro/nanocelulosa: propiedades y aplicaciones. *Tesis Doctoral. Universitat de Girona*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10803/>
- Trejo, V., Trejo, M., Pascual, S., & Lira, A. (2015). EXTRACCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE EUCALIPTO Y SU APLICACIÓN COMO AGENTE ANTIFÚNGICO EN UN ENVASE ACTIVO PARA CONSERVACIÓN DE

FRAMBUESA. *Rev. Iber. Tecnología Postcosecha.*, 16(2), 228-233. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81343176012>

Trujillo, C. (2014). Obtención de películas biodegradables a partir de almidón de yuca (manihot esculente crantz) doblemente modificado para uso en empaque de alimentos. Obtenido de <http://repositorio.unamad.edu.pe/handle/UNAMAD/65>

Yañez, & Pacheco, N. (2018). Elaboración de películas a partir de las fracciones minoritarias de zeína de maíz criollo azu. *Tesis de Grado*. Obtenido de <https://repositorioinstitucional.buap.mx/bitstream/handle/20.500.12371/7307/130618TL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ANEXOS

ANEXO 1. Recepción y resultado del análisis mecánico

| LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES | | | | |
|---|---------------------------|---------------------------|---|--------------------|
| ENSAYO DE TRACCIÓN DE MATERIALES POLIMÉRICOS | | | | |
| INFORME DE RESULTADOS N°: 092693055320210817-ETP | | | | |
| DATOS GENERALES | | | | |
| DATOS INFORMATIVOS | | | | |
| N° de proforma: RM_2021_022. | | | | |
| Empresa/Cliente: Bolívar Daniel Guzmán Wong. | | | | |
| RUC/C.I.: 0926930553. | | | Ciudad: Guayaquil. | |
| Dirección: Manzana 3032. | | | | |
| Teléfono: +593998467590. | | | Correo: daniel_guzmanwong@hotmail.com. | |
| DATOS DEL ENSAYO: | | | | |
| Lugar de Ejecución del Ensayo: Laboratorio de Resistencia de Materiales. | | | | |
| Dirección: Ambato, Catiglatá, Toronto y Río de Janeiro. | | | | |
| Método de ensayo: ASTM D882-18. - Método de prueba estándar para propiedades de tracción de láminas plásticas delgadas. | | | | |
| Tipo de ensayo: Cuantitativo. | | | Zona Calibrada: 100 mm. | |
| Equipo utilizado: Máquina de ensayos universal Polimeros Metrotest 50 KN. | | | | |
| Modelo: MTE 50. | | | Serie: 8210M002 ¹ | |
| Velocidad de ensayo: 10 mm/min. | | | Precarga: 0 KN. | |
| Fecha Inicio de Ensayo: 2021/08/24. | | | Fecha Finalización de Ensayo: 2021/08/24. | |
| Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en probetas: <i>Láminas plásticas con 25gr de almidón-celulosa, 50ml de nanocelulosa, 25ml de agua destilada, 0,25gr de aceite esencial y nanoarcilla.</i> Las probetas fueron recibidas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H. Gobierno Provincial de Tungurahua. | | | | |
| OBJETOS DE ENSAYO | | | | |
| Número de Probetas cuantificadas | | | | |
| N° | Identificación del grupo | Designación de Grupo | Nanoarcilla | Probetas a Ensayar |
| 1 | 092693055320210817-ETP 01 | O16 | 0 gr. | 2 |
| 2 | 092693055320210817-ETP 02 | O17 | 0,025 gr. | 2 |
| 3 | 092693055320210817-ETP 03 | O20 | 0,050 gr. | 2 |
| | | | Total | 6 |
| Nota: La fabricación de las probetas en tipo, cantidad y configuración es responsabilidad del cliente. | | | | |
| Observaciones: Ninguna. | | | | |
| | | | | |
| Elaborado por: | | Aprobado por: | | |
| Ing. Fernando Tibán R. | | Ing. Jorge Rodas B. MEng. | | |

Resultados:

| Probeta | Identificación de probeta | Temperatura (°C) | Humedad Relativa (%) | Dimensiones (mm) | | Fuerza máxima (N) | Esfuerzo máximo de tracción (MPa) | Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa) | % Elongación (Calculado) |
|-------------------------------|-----------------------------|------------------|----------------------|------------------|---------|-------------------|-----------------------------------|---|--------------------------|
| | | | | Ancho | Espesor | | | | |
| 1 | 092693055320210817-ETP 01-1 | 21,7 | 55,4 | 24,98 | 0,06 | 8,00 | 5,34 | 60,54 | 8,82 |
| 2 | 092693055320210817-ETP 01-2 | 21,7 | 55,4 | 24,92 | 0,06 | 8,00 | 5,35 | 63,06 | 8,49 |
| Promedio \bar{x} | | | | | | 8,000 | 5,344 | 61,801 | 8,651 |
| Desviación estándar S_{n-1} | | | | | | 0,000 | 0,009 | 1,777 | 0,234 |
| Coeficiente de variación CV | | | | | | 0,000 | 0,170 | 2,876 | 2,706 |

| Probeta | Identificación de probeta | Temperatura (°C) | Humedad Relativa (%) | Dimensiones (mm) | | Fuerza máxima (N) | Esfuerzo máximo de tracción (MPa) | Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa) | % Elongación (Calculado) |
|-------------------------------|-----------------------------|------------------|----------------------|------------------|---------|-------------------|-----------------------------------|---|--------------------------|
| | | | | Ancho | Espesor | | | | |
| 3 | 092693055320210817-ETP 02-1 | 21,9 | 58,1 | 24,98 | 0,06 | 10,00 | 6,67 | 61,89 | 10,78 |
| 4 | 092693055320210817-ETP 02-2 | 21,9 | 58,1 | 24,94 | 0,06 | 10,00 | 6,68 | 88,40 | 7,56 |
| Promedio \bar{x} | | | | | | 10,000 | 6,677 | 75,144 | 9,170 |
| Desviación estándar S_{n-1} | | | | | | 0,000 | 0,008 | 18,741 | 2,277 |
| Coeficiente de variación CV | | | | | | 0,000 | 0,113 | 24,940 | 24,830 |

| Probeta | Identificación de probeta | Temperatura (°C) | Humedad Relativa (%) | Dimensiones (mm) | | Fuerza máxima (N) | Esfuerzo máximo de tracción (MPa) | Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa) | % Elongación (Calculado) |
|-------------------------------|-----------------------------|------------------|----------------------|------------------|---------|-------------------|-----------------------------------|---|--------------------------|
| | | | | Ancho | Espesor | | | | |
| 5 | 092693055320210817-ETP 03-1 | 22,5 | 61,1 | 24,94 | 0,06 | 10,00 | 6,68 | 74,19 | 9,01 |
| 6 | 092693055320210817-ETP 03-2 | 22,5 | 61,1 | 25,01 | 0,06 | 10,00 | 6,66 | 50,95 | 13,08 |
| Promedio \bar{x} | | | | | | 10,000 | 6,673 | 62,567 | 11,044 |
| Desviación estándar S_{n-1} | | | | | | 0,000 | 0,013 | 16,432 | 2,879 |
| Coeficiente de variación CV | | | | | | 0,000 | 0,198 | 26,263 | 26,072 |

ANEXO 2. Materia prima para la obtención del almidón-celulosa



ANEXO 3. Almidón-celulosa para la elaboración de las películas



ANEXO 4. Calentamiento del almidón-celulosa para la mezcla de los aditivos



ANEXO 5. Almidón-celulosa vista desde un microscopio



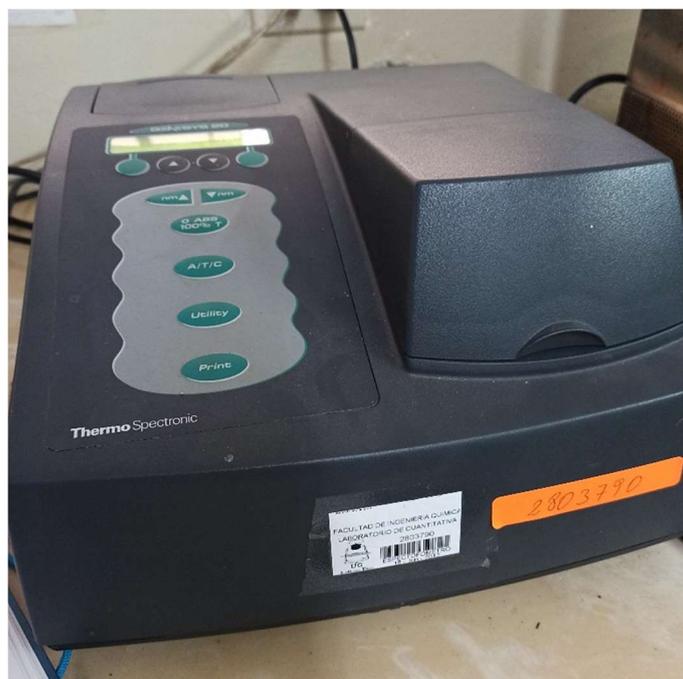
ANEXO 6. Colocación en la estufa para obtener la película



ANEXO 7. Nano arcilla, alcohol y aceite esencial, puesta en ultrasonido



ANEXO 8. Espectrofotómetro para la medición de opacidad de la película



ANEXO 9. Tomas de datos gravimétricos en la balanza analítica



ANEXO 10. Toma de datos del espesor de la película con un micrómetro



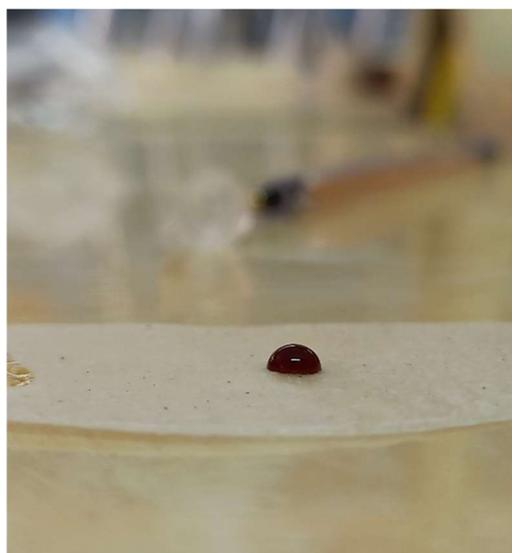
ANEXO 11. Manipulación de las muestras para el análisis de solubilidad



ANEXO 12. Muestras en el secador para la toma de datos de permeabilidad



ANEXO 13. Imagen empleada para el análisis de gota



ANEXO 14. Portamuestra para la película en el análisis del FTIR



ANEXO 15. Espectrofotómetro utilizado para el análisis FTIR



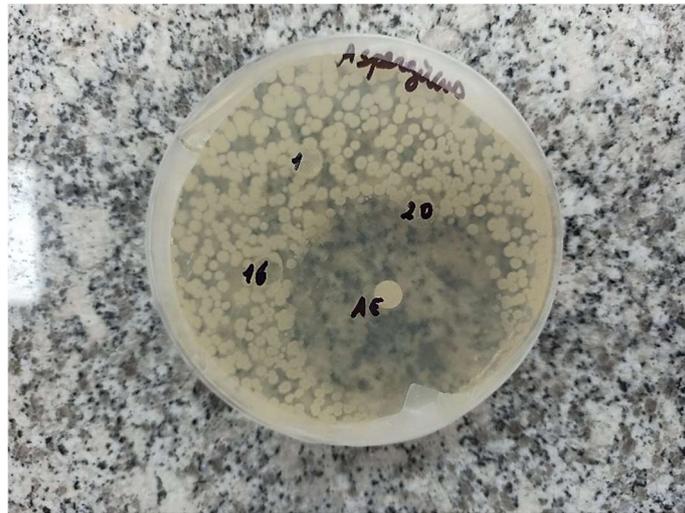
ANEXO 16. Portamuestra del aceite esencial para el análisis FTIR



ANEXO 17. Cultivo de bacterias realizado en el análisis microbiológico



ANEXO 18. Respuesta de las muestras ante la presencia de microorganismo



ANEXO 19. Identificación de cultivos en el agar de mueller-hinton



ANEXO 20

Tabla 8. Peso de las películas de almidón-celulosa

| Muestra | Promedio peso de la película (g) | Desviación estándar | Coefficiente de variación |
|----------------|---|--------------------------------|--------------------------------------|
| 1 | 0.31790 | 0.01627 | 0.05118 |
| 2 | 0.34135 | 0.00866 | 0.02537 |
| 3 | 0.29328 | 0.00488 | 0.01663 |
| 4 | 0.29363 | 0.00514 | 0.01750 |
| 5 | 0.28568 | 0.01716 | 0.06009 |
| 6 | 0.30285 | 0.01665 | 0.05497 |
| 7 | 0.29475 | 0.01548 | 0.05251 |
| 8 | 0.27388 | 0.03650 | 0.13328 |
| 9 | 0.27270 | 0.01095 | 0.04014 |
| 10 | 0.29120 | 0.01764 | 0.06059 |
| 11 | 0.29065 | 0.01102 | 0.03793 |
| 12 | 0.29355 | 0.00640 | 0.02180 |
| 13 | 0.29828 | 0.02078 | 0.06966 |
| 14 | 0.29135 | 0.00936 | 0.03213 |
| 15 | 0.29933 | 0.01187 | 0.03965 |
| 16 | 0.31870 | 0.00956 | 0.02999 |
| 17 | 0.30598 | 0.02283 | 0.07460 |
| 18 | 0.30370 | 0.00836 | 0.02753 |
| 19 | 0.31553 | 0.00915 | 0.02899 |
| 20 | 0.31077 | 0.00441 | 0.01418 |

Elaborado por autores

ANEXO 21**Tabla 9.** Porcentaje de la humedad de las películas de almidón celulosa

| MUESTRA | Promedio de % de Humedad | Desviación Estándar | Coefficiente de Variación |
|----------------|---|--------------------------------|--------------------------------------|
| 1 | 4.750% | 0.04952 | 1.04239 |
| 2 | 3.679% | 0.02237 | 0.60795 |
| 3 | 7.655% | 0.06745 | 0.88101 |
| 4 | 4.634% | 0.02063 | 0.44511 |
| 5 | 6.863% | 0.05707 | 0.83157 |
| 6 | 1.559% | 0.01678 | 1.07677 |
| 7 | 4.592% | 0.05286 | 1.15110 |
| 8 | 4.872% | 0.02369 | 0.48616 |
| 9 | 4.800% | 0.00414 | 0.08632 |
| 10 | 2.668% | 0.02441 | 0.91503 |
| 11 | 7.097% | 0.05012 | 0.70616 |
| 12 | 2.805% | 0.01818 | 0.64805 |
| 13 | 4.727% | 0.03891 | 0.82306 |
| 14 | 0.802% | 0.00093 | 0.11554 |
| 15 | 5.895% | 0.03767 | 0.63901 |
| 16 | 1.748% | 0.00841 | 0.48091 |
| 17 | 2.292% | 0.01536 | 0.67019 |
| 18 | 3.579% | 0.04033 | 1.12688 |
| 19 | 9.285% | 0.03872 | 0.41700 |
| 20 | 6.540% | 0.01703 | 0.26043 |

Elaborado por autores

ANEXO 22

Tabla 10. Espesor de las películas de almidón-celulosa

| Muestra | Promedio Espesor (mm) | Desviación Estándar | Coefficiente De Variación |
|----------------|----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| 1 | 0.08707 | 0.02451 | 0.28154 |
| 2 | 0.07631 | 0.01458 | 0.19108 |
| 3 | 0.06020 | 0.01145 | 0.19027 |
| 4 | 0.06580 | 0.00531 | 0.08075 |
| 5 | 0.06060 | 0.00509 | 0.08399 |
| 6 | 0.07113 | 0.01704 | 0.23956 |
| 7 | 0.06660 | 0.01126 | 0.16903 |
| 8 | 0.12523 | 0.04016 | 0.32071 |
| 9 | 0.05817 | 0.00879 | 0.15110 |
| 10 | 0.06643 | 0.02127 | 0.32024 |
| 11 | 0.06230 | 0.02043 | 0.32788 |
| 12 | 0.06127 | 0.01647 | 0.26874 |
| 13 | 0.11257 | 0.02737 | 0.24312 |
| 14 | 0.07981 | 0.02152 | 0.26965 |
| 15 | 0.07307 | 0.01677 | 0.22946 |
| 16 | 0.06190 | 0.00718 | 0.11598 |
| 17 | 0.06277 | 0.00812 | 0.12934 |
| 18 | 0.06197 | 0.01122 | 0.18102 |
| 19 | 0.07913 | 0.00988 | 0.12482 |
| 20 | 0.07787 | 0.01516 | 0.19464 |

Elaborado por autores

ANEXO 23**Tabla 11.** Porcentaje de solubilidad de las películas de almidón-celulosa

| MUESTRA | PROMEDIO SOLUBILIDAD (%) | DESVIACIÓN ESTÁNDAR | COEFICIENTE DE VARIACIÓN |
|----------------|---|--------------------------------|---|
| 1 | 17.719% | 0.07248 | 0.40907 |
| 2 | 8.313% | 0.00774 | 0.09308 |
| 3 | 9.428% | 0.02953 | 0.31325 |
| 4 | 9.447% | 0.01342 | 0.14209 |
| 5 | 9.376% | 0.06822 | 0.72758 |
| 6 | 8.941% | 0.01840 | 0.20582 |
| 7 | 10.909% | 0.01731 | 0.15869 |
| 8 | 12.440% | 0.07841 | 0.63029 |
| 9 | 12.282% | 0.02417 | 0.19682 |
| 10 | 13.048% | 0.03204 | 0.24552 |
| 11 | 6.105% | 0.02452 | 0.40162 |
| 12 | 9.240% | 0.04038 | 0.43702 |
| 13 | 14.946% | 0.03442 | 0.23029 |
| 14 | 11.383% | 0.01080 | 0.09486 |
| 15 | 12.616% | 0.03324 | 0.26352 |
| 16 | 8.829% | 0.01336 | 0.15129 |
| 17 | 12.655% | 0.04538 | 0.35864 |
| 18 | 12.050% | 0.05829 | 0.48374 |
| 19 | 10.789% | 0.04076 | 0.37781 |
| 20 | 11.592% | 0.02150 | 0.18550 |

Elaborado por autores

ANEXO 24

Tabla 12. Opacidad de las películas de almidón-celulosa

| Muestra | Promedio Absorbancia | Promedio Espesor (mm) | Promedio Opacidad mm-1 | Desviación Estándar de la Opacidad | Coefficiente De Variación de la Opacidad |
|----------------|---------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|---|---|
| 1 | 0.51850 | 0.09550 | 5.42932 | 0.71732 | 0.13212 |
| 2 | 0.40675 | 0.07100 | 5.72887 | 0.54208 | 0.09462 |
| 3 | 0.61575 | 0.05350 | 11.50935 | 0.97101 | 0.08437 |
| 4 | 0.46242 | 0.05867 | 7.88210 | 0.72093 | 0.09146 |
| 5 | 0.47675 | 0.06467 | 7.37242 | 0.84792 | 0.11501 |
| 6 | 0.71467 | 0.11117 | 6.42879 | 2.32007 | 0.36089 |
| 7 | 0.44417 | 0.07483 | 5.93541 | 0.17658 | 0.02975 |
| 8 | 0.53250 | 0.13133 | 4.05457 | 1.02911 | 0.25382 |
| 9 | 0.55092 | 0.08033 | 6.85788 | 0.72395 | 0.10557 |
| 10 | 0.53650 | 0.09650 | 5.55959 | 1.74677 | 0.31419 |
| 11 | 0.48800 | 0.08900 | 5.48315 | 2.09804 | 0.38263 |
| 12 | 0.41858 | 0.06433 | 6.50648 | 1.34466 | 0.20666 |
| 13 | 0.44017 | 0.07050 | 6.24350 | 1.73615 | 0.27807 |
| 14 | 0.60342 | 0.06750 | 8.93951 | 1.53323 | 0.17151 |
| 15 | 0.46000 | 0.06350 | 7.24409 | 0.48381 | 0.06679 |
| 16 | 0.44375 | 0.05983 | 7.41643 | 0.38867 | 0.05241 |
| 17 | 0.38633 | 0.06650 | 5.80952 | 0.68591 | 0.11807 |
| 18 | 0.39708 | 0.06167 | 6.43919 | 0.10461 | 0.01625 |
| 19 | 0.47958 | 0.06150 | 7.79810 | 0.29454 | 0.03777 |
| 20 | 0.45500 | 0.08517 | 5.34247 | 0.16714 | 0.03129 |

Elaborado por autores

ANEXO 25

Tabla 13. Permeabilidad al vapor de agua en las películas de almidón-celulosa

| MUESTRA | PROMEDIO PVA (g m/s m² Pa) | DESVIACIÓN ESTÁNDAR PVA | COEFICIENTE DE VARIACIÓN |
|----------------|--|------------------------------------|-------------------------------------|
| 1 | 7.1179E-06 | 1.0494E-06 | 0.14742998 |
| 2 | 2.3234E-06 | 1.3441E-06 | 0.57849437 |
| 3 | 4.6815E-06 | 3.1914E-07 | 0.06816955 |
| 4 | 4.9817E-06 | 1.5368E-06 | 0.30847854 |
| 5 | 7.5535E-06 | 7.0386E-07 | 0.0931828 |
| 6 | 1.3073E-06 | 8.0119E-07 | 0.61287008 |
| 7 | 7.1904E-06 | 1.6123E-07 | 0.02242323 |
| 8 | 1.5257E-05 | 4.8691E-06 | 0.31914917 |
| 9 | 7.7312E-06 | 6.3623E-07 | 0.08229406 |
| 10 | 7.213E-06 | 1.5669E-06 | 0.21723182 |
| 11 | 2.9369E-06 | 3.4546E-07 | 0.11762985 |
| 12 | 3.3297E-06 | 1.3319E-06 | 0.40001369 |
| 13 | 6.173E-06 | 1.7003E-06 | 0.27544709 |
| 14 | 6.9652E-06 | 2.7126E-06 | 0.38944179 |
| 15 | 1.4388E-05 | 3.003E-06 | 0.20871313 |
| 16 | 4.102E-06 | 6.1722E-07 | 0.15047037 |
| 17 | 7.5959E-06 | 2.3825E-06 | 0.31365552 |
| 18 | 9.0833E-06 | 8.6912E-07 | 0.09568335 |
| 19 | 1.2475E-05 | 1.1474E-06 | 0.09197472 |
| 20 | 4.0958E-06 | 5.0341E-07 | 0.1229074 |

Elaborado por autores

ANEXO 26

Tabla 14. Análisis mecánico de la formulación 16

| Muestra | Repetición | Temperatura (°C) | Humedad Relativa (%) | Dimensiones (mm) | | Fuerza máxima (N) | Esfuerzo máximo de tracción (MPa) | Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa) | Desplazamiento | % Elongación (Calculado) |
|----------------------------------|------------|------------------|----------------------|------------------|---------|-------------------|-----------------------------------|---|----------------|--------------------------|
| | | | | Ancho | Espesor | | | | | |
| 16 | 1 | 24.1 | 45.4 | 21.00 | 1.3 | 11.04 | 0.40 | 0.38 | 122.208 | 106.27 |
| | 2 | 24.1 | 45.4 | 19.66 | 1.3 | 7.89 | 0.31 | 0.20 | 176.525 | 153.50 |
| | 3 | 24.1 | 45.4 | 19.47 | 1.3 | 9.47 | 0.37 | 0.35 | 122.349 | 106.39 |
| | 4 | 24.1 | 45.4 | 19.97 | 1.3 | 7.89 | 0.30 | 0.41 | 84.742 | 73.69 |
| | 5 | 24.1 | 45.4 | 20.02 | 1.03 | 9.47 | 0.46 | 0.55 | 96.675 | 84.07 |
| Promedio | | | | | | 9.152 | 0.370 | 0.378 | 120.500 | 104.782 |
| Desviación estándar | | | | | | 1.318 | 0.066 | 0.124 | 35.325 | 30.717 |
| Coefficiente de variación | | | | | | 14.405 | 17.765 | 32.767 | 29.315 | 29.315 |

Elaborado por autores

Tabla 15. Análisis mecánico de la formulación 17

| Muestra | Repetición | Temperatura (°C) | Humedad Relativa (%) | Dimensiones (mm) | | Fuerza máxima (N) | Esfuerzo máximo de tracción (MPa) | Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa) | Desplazamiento | % Elongación (Calculado) |
|----------------------------------|------------|------------------|----------------------|------------------|---------|-------------------|-----------------------------------|---|----------------|--------------------------|
| | | | | Ancho | Espesor | | | | | |
| 17 | 1 | 23.4 | 45.9 | 20.49 | 2.00 | 11.04 | 0.27 | 0.08 | 371.314 | 322.88 |
| | 2 | 23.4 | 45.9 | 20.02 | 2.00 | 9.47 | 0.24 | 0.08 | 357.560 | 310.92 |
| | 3 | 23.4 | 45.9 | 19.84 | 2.00 | 9.47 | 0.24 | 0.05 | 552.080 | 480.07 |
| | 4 | 23.4 | 45.9 | 20.16 | 2.00 | 9.47 | 0.23 | 0.05 | 598.868 | 520.75 |
| | 5 | 23.4 | 45.9 | 19.37 | 2.00 | 6.31 | 0.16 | 0.07 | 278.086 | 241.81 |
| Promedio | | | | | | 9.152 | 0.228 | 0.064 | 431.582 | 375.288 |
| Desviación estándar | | | | | | 1.728 | 0.039 | 0.017 | 137.092 | 119.210 |
| Coefficiente de variación | | | | | | 18.882 | 17.214 | 25.722 | 31.765 | 31.765 |

Elaborado por autores

Tabla 16. Análisis mecánico de la formulación 20

| Muestra | Repetición | Temperatura (°C) | Humedad Relativa (%) | Dimensiones (mm) | | Fuerza máxima (N) | Esfuerzo máximo de tracción (MPa) | Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa) | Desplazamiento | % Elongación (Calculado) |
|----------------------------------|------------|------------------|----------------------|------------------|---------|-------------------|-----------------------------------|---|----------------|--------------------------|
| | | | | Ancho | Espesor | | | | | |
| 20 | 1 | 23.1 | 46.7 | 19.59 | 2.50 | 15.78 | 0.32 | 0.14 | 259.243 | 225.43 |
| | 2 | 23.1 | 46.7 | 19.86 | 2.50 | 14.2 | 0.29 | 0.27 | 121.273 | 105.45 |
| | 3 | 23.1 | 46.7 | 19.47 | 2.50 | 18.93 | 0.39 | 0.13 | 340.693 | 296.25 |
| | 4 | 23.1 | 46.7 | 19.91 | 2.50 | 14.20 | 0.29 | 0.18 | 183.230 | 159.33 |
| | 5 | 23.1 | 46.7 | 20.91 | 2.50 | 20.51 | 0.39 | 0.12 | 390.685 | 339.73 |
| Promedio | | | | | | 16.724 | 0.335 | 0.168 | 259.025 | 225.239 |
| Desviación estándar | | | | | | 2.865 | 0.053 | 0.062 | 110.368 | 95.972 |
| Coefficiente de variación | | | | | | 17.131 | 15.820 | 37.066 | 42.609 | 42.609 |

Elaborado por autores

ANEXO 27**Tabla 17.** Prueba de la gota

| Muestra | Promedio De Los Ángulos En La Gota (°) | Desviación Estándar | Coefficiente De Variación |
|----------------|---|--------------------------------|--------------------------------------|
| 1 | 65.00 | 4.4721 | 0.0688 |
| 2 | 66.67 | 8.1650 | 0.1225 |
| 3 | 77.50 | 6.8920 | 0.0889 |
| 4 | 45.00 | 10.0000 | 0.2222 |
| 5 | 42.50 | 6.1237 | 0.1441 |
| 6 | 49.17 | 5.8452 | 0.1189 |
| 7 | 73.33 | 4.0825 | 0.0557 |
| 8 | 45.83 | 7.3598 | 0.1606 |
| 9 | 53.33 | 4.0825 | 0.0765 |
| 10 | 47.50 | 5.2440 | 0.1104 |
| 11 | 45.83 | 3.7639 | 0.0821 |
| 12 | 45.00 | 6.3246 | 0.1405 |
| 13 | 53.33 | 8.1650 | 0.1531 |
| 14 | 41.67 | 5.1640 | 0.1239 |
| 15 | 53.33 | 15.3840 | 0.2884 |
| 16 | 62.50 | 10.3682 | 0.1659 |
| 17 | 49.17 | 11.1430 | 0.2266 |
| 18 | 51.67 | 5.1640 | 0.0999 |
| 19 | 44.17 | 4.9160 | 0.1113 |
| 20 | 56.67 | 5.1640 | 0.0911 |

Elaborado por autores