UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN QUÍMICA.

COHORTE 2021

Tema: "Obtención de Bioplástico a partir de semillas de aguacate utilizando un Método Químico".

Trabajo de Titulación, previo a la obtención del Título de Cuarto Nivel de Magister en Química, mención Química - Física

Modalidad del Trabajo de Titulación: Proyectos de desarrollo

Autor: Ing. Ángel Leonel Morales Manzano

Directora: Biof. Rosa Maricela Ormaza Hugo, M.Sc.

Ambato – Ecuador

2024

A La Unidad Académica De Titulación De La Facultad De Ingeniería En Sistemas, Electrónica E Industrial.

El Tribunal receptor del Trabajo de Titulación, presidido por: Ing. Elsa Pilar Urrutia Urrutia, Mg. e integrado por los señores: a Ing. Nelly del Pilar Pazmiño Miranda, Mg. y Química Marcia Eduvijes Buenaño Sánchez, Mg. designados por la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato, para receptar el Trabajo de Titulación con el tema: "Obtención de Bioplástico a partir de semillas de aguacate utilizando un Método Químico" elaborado y presentado por el señor Ing. Ángel Leonel Morales Manzano, para optar por el Titulo de cuarto nivel de Magíster en Química, mención Química - Física; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Titulación, el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la UTA.

Ing. Elsa Pilar Urrutia Urrutia, Mg.

Presidente y Miembro del Tribunal

Ing. Nelly del Pilar Pazmiño Miranda, Mg.

Miembro del Tribunal de la defensa

Química Marcia Eduvijes Buenaño Sánchez, Mg.

Miembro del Tribunal de la defensa

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Titulación presentado con el tema: "Obtención de Bioplástico a partir de semillas de aguacate utilizando un Método Químico", le corresponde exclusivamente a: Ing. Ángel Leonel Morales Manzano, Autor bajo la Dirección de Biof. Rosa Maricela Ormaza Hugo, M.Sc., directora del Trabajo de Titulación, y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.

Firmado electrónicamente por:
ANGEL LEONEL
MORALES MANZANO

Ing. Ángel Leonel Morales Manzano

c.c.: 1804972212

AUTOR

Firmado electrónicamente por:
ROSA MARICELA
ORMAZA HUGO

Biof. Rosa Maricela Ormaza Hugo, M.Sc.

c.c.: 0604030833

DIRECTORA

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Titulación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de mi trabajo, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad.

Ing. Ángel Leonel Morales Manzano

c.c.: 1804972212

INDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PORTADA ..... **i**

A La Unidad Académica De Titulación De La Facultad De Ingeniería En Sistemas, Electrónica E Industrial. ..... **ii**

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN ..... **iii**

DERECHOS DE AUTOR ..... **iv**

INDICE GENERAL DE CONTENIDOS ..... **v**

ÍNDICE DE TABLAS ..... **ix**

ÍNDICE DE FIGURAS ..... **x**

AGRADECIMIENTO ..... **xi**

DEDICATORIA ..... **xii**

RESUMEN EJECUTIVO ..... **xiii**

ABSTRACT **14**

CAPÍTULO I **15**

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN **15**

1.1. Introducción **15**

1.2. Justificación **17**

1.3. Objetivos **18**

1.3.1. General ***18***

1.3.2. Específicos ***18***

CAPITULO II **19**

MARCO TEORICO **19**

a) ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS **19**

b) FUNDAMENTACIÓN CIENTIFICA **21**

2.1. Bioplástico ***21***

2.1.1. Características de los bioplásticos ***22***

2.1.2. Clasificación de los bioplásticos ***23***

2.2. Materias primas usadas para bioplásticos **24**

2.2.1. Almidón ***24***

2.2.2. Celulosa ***25***

2.2.3. Residuos Agrícolas ***26***

2.2.4. Algas *26*
2.3. Aguacate **27**
2.3.1. Semilla de aguacate *28*
2.3.2. Almidón de aguacate *28*
2.3.3. Reacciones para modificación del almidón *29*
2.4. Métodos químicos para la obtención de bioplásticos: **31**
2.4.1 Método Casting *31*
2.4.2 Método de recubrimiento por inmersión (Dip coating) *31*
2.4.3 Polimerización de ácido láctico (PLA): *32*
2.4.4 Polimerización de polihidroxialcanoatos (PHA): *32*
2.4.5 Moldeo por inyección *32*
2.4.6 Métodos de extracción biológica (Bioextracción) *33*
2.5 Propiedades de los bioplásticos **33**
2.5.1 Resistencia *33*
2.5.2 Coeficientes de fricción estático y dinámico *34*
2.5.3 Elongación *34*
2.5.4 Biodegradabilidad *35*
2.5.5 Estabilidad térmica *35*
2.5.6 Biocompatibilidad *35*
2.5. Análisis de la varianza (ANOVA) **36**
CAPITULO III **37**
3. MARCO METODOLÓGICO **37**
3.1. Tipo de investigación **37**
3.2. Población o muestra **37**
3.3. Prueba de Hipótesis - pregunta científica – idea a defender **37**
3.4. Materiales, equipos y reactivos **38**
3.5. Recolección de muestras (semilla de aguacate) **38**
3.6. Extracción de almidón de semilla de aguacate. **38**
3.7. Acetilación del almidón **42**
3.8. Caracterización del almidón **42**

3.8.1. Humedad *42*
3.8.2. pH *43*
3.8.3. Densidad *43*
3.8.4. Temperatura de gelatinización *43*
3.8.5. Bromatología del almidón. *44*
3.9. Obtención de bioplástico por Método químico **45**
3.10. Caracterización de las biopelículas **46**
3.10.1. Espesor *46*
3.10.2. Pruebas mecánicas *46*
3.10.3. Espectroscopia FT-IR *48*
3.10.4. Biodegradación de las biopelículas *48*
3.11. Procesamiento de la información y análisis estadístico: **49**
CAPITULO IV **50**
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN **50**
4.1. Extracción y caracterización del Almidón **50**
4.1.1. Rendimiento y humedad *50*
4.1.2. Temperatura de gelatinización *51*
4.1.3. pH *52*
4.1.4. Densidad *52*
4.1.5. Parámetros bromatológicos. *53*
4.1.6. Espectroscopia FT-IR del Almidón *54*
4.2. Obtención y caracterización de bioplástico **56**
4.2.1. Pruebas mecánicas *57*
4.2.2. Espectroscopia FR-IT del bioplástico. *59*
4.3 Análisis Estadístico **60**
4.3.1 Análisis del rendimiento en la extracción del almidón *60*
4.3.2 Análisis del rendimiento en la obtención y características del bioplástico *63*
4.4 Biodegradabilidad **66**
CAPÍTULO V **69**
CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, BIBLIOGRAFÍA, ANEXOS. **69**

5.1. Conclusiones..... 69
5.2. Recomendaciones..... 70
5.3. Bibliografía..... 71
5.4 Anexos..... 83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1. Análisis bromatológicos 44
Tabla 3-2. Formulaciones aplicadas en la elaboración del bioplástico. 45
Tabla 3-3. Características de probetas (5A y 5B) 47
Tabla 4-1. Rendimiento del almidón obtenido de la pepa de aguacate..... 50
Tabla 4-2. Temperatura de gelatinización del almidón nativo y modificado. 51
Tabla 4-3. pH del almidón nativo y modificado. 52
Tabla 4-4. Densidad del almidón nativo y modificado. 52
Tabla 4-5. Parámetros bromatológicos del almidón nativo y modificado. 53
Tabla 4-6. Resultados del bioplástico obtenido en las diferentes formulaciones. 56
Tabla 4-7. Propiedades mecánicas de los mejores tratamientos del bioplástico. 58
Tabla 4-8. Homogeneidad de varianzas entre variables para extracción de almidón . 60
Tabla 4-9. ANOVA del peso y porcentaje de rendimiento - extracción del almidón . 61
Tabla 4-10. Múltiples comparaciones entre tratamientos para la obtención del almidón, basados en el porcentaje (%) de rendimiento. 62
Tabla 4-11. Homogeneidad de varianzas entre variables en la obtención del bioplástico 63
Tabla 4-12. ANOVA de las características del bioplástico y del rendimiento en la obtención 64
Tabla 4-13. Múltiples comparaciones entre tratamientos según el espesor del bioplástico. 65
Tabla 4-14. Múltiples comparaciones entre tratamientos según el peso del bioplástico. 65
Tabla 4-15. Múltiples comparaciones entre tratamientos según el % de rendimiento en la obtención del bioplástico. 66
Tabla 4-16. Análisis de biodegradabilidad..... 68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3-1. Materiales, equipos y reactivos utilizados..... 38
Figura 3-2. Diagrama de flujo de la obtención de almidón..... 40
Figura 3-3. Diseño experimental extracción de almidón 41
Figura 3-4. Probetas tipo A para aplicación de las pruebas mecánicas (mm)..... 47
Figura 3-5. Esquema universal de la máquina de ensayos mecánicos de tracción. 47
Figura 4-1. Espectro FT-IR de almidón acetilado y nativo..... 55
Figura 4-2. Espectro infrarrojo (FTIR) de bioplástico a) nativo b) modificado. 59

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme llegar hasta aquí, porque a través de su amor me ha demostrado que todo es posible.

A mis padres, a mi hermana, a mi familia, a mi novia y su familia por ser parte de este proceso, por su apoyo y motivación incondicional.

A la Biofísica Rosita Ormaza quien en calidad de directora de este proyecto aportó sus conocimientos y fomento el crecimiento personal y profesional.

A las instituciones que me permitieron utilizar sus laboratorios y desarrollar el conocimiento necesario para la culminación de este proyecto.

DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado a Dios y a todos quienes estuvieron presentes en el trayecto y aportaron ya sea con un consejo, un abrazo o una palabra de motivación

RESUMEN EJECUTIVO

El presente proyecto de desarrollo tuvo como objetivo obtener bioplástico a partir de semilla de aguacate (*Persea americana Mill.*) utilizando un método químico, para esto se obtuvo almidón a partir de semillas de aguacates de producción local. Se generó almidón nativo y también se lo modificó a partir de la incorporación de ácido acético (almidón modificado). Todas las muestras de almidón se sometieron a procesos de caracterización dando valores de densidad promedio de 539,33g/L, 6,71 de pH y temperatura de gelatinización de 79,67 ºC para almidón nativo y 566g/L, 6,93 y 77,33 ºC en el almidón modificado. También se sometieron las muestras a espectroscopia FT-IR para un análisis de grupos funcionales y zonas representativas de las vibraciones moleculares. Para la fabricación del bioplástico se aplicó el método químico denominado casting, con la aplicación de los almidones sintetizados se obtuvieron bioplástico a partir de almidón nativo y modificado. Estas muestras se caracterizaron para determinar espesores que estuvieron entre 0,10 y 0,21 mm, pesos entre 0,13 y 0,38g, rendimiento de hasta 29,39%. Las pruebas evidenciaron valores de esfuerzo máximo de 1,83Mpa, carga máxima de 3,07N, máxima deformación 29,63%, máximo desplazamiento de 5,48 y rotura de carga de 0,52N para bioplástico nativo, mientras que para bioplástico modificado los valores de 10,34MPa, 16,155N y 12,80% y 11,7 mm y 1,94N. Finalmente las pruebas de biodegradabilidad determinaron resultados de 100% de degradación en presencia de agua en tiempos entre 20 y 30 días, con tierra se logró alrededor del 50% de degradación en 30 días, pudiendo obtenerse incluso degradación total en tiempos más largos y finalmente, no se logró degradar las muestras en presencia de aire. A partir de los resultados obtenidos es importante la necesidad de desarrollar reproducibilidad del método y, además, aplicar más pruebas de caracterización y biodegradabilidad de las muestras, pues con ello se podría determinar potenciales aplicaciones al bioplástico propuesto.

DESCRIPTORES: *AGUACATE, BIODEGRADABILIDAD, BIOPLÁSTICO, CASTING, PERSEA AMERICANA MILL.*

ABSTRACT

The objective of this development project was, to obtain bioplastic from avocado seeds (Persea Americana Mill.) using a chemical method; for this, starch was obtained from locally produced avocado seeds. Native starch was generated and modified by the incorporation of acetic acid (modified starch). All starch samples were subjected to characterization processes giving average density values of 539.33g/L, 6.71 pH and gelatinization temperature of 79.67 ºC for native starch and 566g/L, 6.93, and 77 .33 ºC in the modified starch. The samples were also subjected to FT-IR spectroscopy for analysis, of functional groups and representative zones of molecular vibrations. The chemical method called casting was applied; with the synthesized starches, bioplastic was obtained from native and modified starch. These samples were characterized to determine thicknesses between 0.10 and 0.21 mm, and weights between 0.13 and 0.38g, yielding up to 29.39%. The tests showed values of maximum stress of 1.83Mpa, maximum load of 3.07N, maximum deformation of 29.63%, maximum displacement of 5.48, and load breakage of 0.52N for native bioplastic, while for modified bioplastic the values of 10.34MPa, 16.155N and 12.80% and 11.7 mm and 1.94N. Finally, the biodegradability tests determined results of 100% degradation in the presence of water in times between 20 and 30 days, with soil around 50% degradation was achieved in 30 days, and even, total degradation could be obtained in longer times and finally, the samples were not able to degrade in the presence of air. Based on the results obtained, it is important to develop reproducibility of the method and, in addition, apply more characterization and biodegradability tests of the samples, since this could determine potential applications to the proposed bioplastic.

KEYWORDS: AVOCADO, BIODEGRADABILITY, BIOPLASTIC, CASTING, PERSEA AMERICANA MILL.

CAPÍTULO I
EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Introducción

La producción de plásticos derivados de fuentes de petróleo se ha constituido en una amenaza para el medioambiente ya que generan contaminación debido al mal manejo al momento de su desecho y los años que tarda en degradarse. En la actualidad el mundo produce alrededor de 380 millones de toneladas de plástico al año (Buteler, 2019), en términos generales un plástico tarda en degradarse alrededor de 180 años (J. I. López et al., 2020). La Organización de las Naciones Unidas menciona que la capacidad de los ecosistemas para adaptarse al cambio climático está disminuyendo debido a que, existe una alteración de los procesos naturales y los hábitats producida por la contaminación por plásticos de un solo uso, además esta contaminación afecta directamente a la capacidad de las personas para producir alimentos y por ende a su bienestar social (ONU, 2020).

En tal virtud se están estudiando nuevas fuentes de origen natural como los biopolímeros para reducir los problemas ambientales provocados por los plásticos convencionales, es así como Moreno et al. (2017) señalan que los biopolímeros son una fuente idónea para la obtención de bioplásticos y se obtienen a partir de fuentes de origen agrícola (proteínas, polisacáridos), animal (gelatina), microbiano (acido poli láctico), marino (quitina). De éstas, una fuente que está aportando significativamente al desarrollo de bioplásticos es el almidón que es un polímero natural biodegradable, renovable y de bajo costo constituido por amilosa (20 – 30 %) y amilopectina (65 – 85 %) de su peso, y por sus excelentes propiedades mecánicas es viable para la elaboración de bioplástico, las fuentes más comunes de almidón son: maíz, yuca, trigo, arroz y papa (Jiménez et al., 2022).

También existen otras fuentes estudiadas para la obtención de almidón menos conocidas como el plátano, mango y el aguacate, de estos se utiliza el pericarpio y la semilla para obtener almidón, el aguacate (Persea americana, Mill), es una fruta que se cultiva en Latinoamérica y está constituida por la cáscara (13,48%), la pulpa (66,71%), la semilla

(18,29%), y su peso aproximado es de 181 g estos valores varían de acuerdo con su variedad (Navarrete et al., 2023). La semilla posee propiedades antioxidantes, gelificantes, espesantes y está constituida aproximadamente de un 20 a 40 % de almidón y puede ser utilizado en la elaboración de plásticos biodegradables (De Dios et al., 2022). El almidón nativo de pepa de aguacate ha sido estudiado en aplicaciones para bioplásticos, sin embargo, estos estudios han demostrado que sus aplicaciones en la obtención de bioplásticos son limitadas debido a que presenta descomposición térmica, baja solubilidad y puede presentar sinéresis (Navarrete et al., 2023), para eliminar estas limitaciones se plantean métodos asociados con la modificación del almidón que pueden ser: químicos, físicos, enzimáticos y genéticos, el más utilizado dentro de la elaboración de bioplástico es el método químico que modifican las propiedades del almidón, un claro ejemplo es la sustitución de los grupos hidroxilos de las cadenas del almidón por grupos acetilo para obtener más enlaces covalentes a través de la acetilación/esterificación con ácido acético glacial (García et al., 2020).

La modificación del almidón le confiere mejores propiedades fisicoquímicas que contribuyen a la obtención de un bioplástico con propiedades físico-mecánicas excepcionales capaces de reemplazar los plásticos derivados del petróleo, (Holguin, 2019). El uso de almidón modificado en la obtención de plástico biodegradable mejora la estructura del material y la resistencia al alargamiento y tracción (Navarrete et al., 2023). Los bioplásticos obtenidos de fuentes naturales de origen vegetal como el almidón representan una alternativa amigable para el medio ambiente, debido a su rápida degradación, menor huella de carbono, eco seguridad y eficiencia energética, además el uso de dichos materiales fomenta el desarrollo y la sostenibilidad, en términos generales ayuda a consumir la biomasa residual y evita la producción de gases de efecto invernadero (Aponte & Soledad, 2022).

En base a lo mencionado se identifica que los plásticos derivados del petróleo son muy utilizados por su gran versatilidad, sin embargo; representan una gran amenaza para el mundo ya que generan problemas medioambientales, económicos y sociales, por lo tanto, esta investigación está enfocada en la obtención de plástico biodegradable de la pepa de

aguacate mediante un método químico, con el fin de proporcionar una alternativa para minimizar la contaminación causada por los plásticos convencionales**.**

1.2. Justificación

Con el avance del mundo el plástico ha aumentado su demanda, esto a su vez se ha constituido en un problema que afecta al medio ambiente tanto acuático como terrestre, además ha contribuido a la muerte de la flora y fauna del planeta (Gbadeyan et al., 2022). Los desechos plásticos son generalmente arrojados en vertederos y ríos a través de los cuales son dirigidos al mar, provocando una contaminación de las aguas y afectando a la salud humana. Gbadeyan et al., (2022), menciona que, debido al consumo excesivo del plástico de fuentes convencionales, la producción actual no sería capaz de abastecer la demanda en los próximos años, por lo cual se están desarrollando investigaciones enfocadas en obtener plásticos de fuentes naturales y renovables con el fin de prevenir o mitigar dicha deficiencia y aprovechar los polímeros orgánicos presentes en el planeta.

Las alternativas más idóneas para solventar los problemas mencionados son los bioplásticos o plásticos biodegradables que surgieron por la necesidad de reemplazar los plásticos convencionales que son difíciles de degradar y causan daños en el medio ambiente. Estos materiales tienen un alto peso molecular, y se elaboran a partir de fuentes naturales, entre las que se destacan la celulosa y el almidón, siendo este último el más utilizado por ser renovable, de bajo costo, alta biodegradabilidad y económicamente rentable en relación con las fuentes derivadas del petróleo (Avellán et al., 2020).

En este contexto, se propone producir un bioplástico a base de almidón proveniente de la pepa de aguacate, el cual logre tener ventajas en comparación con el plástico obtenido de fuentes de petróleo. A nivel del mundo se conoce que por lo menos 1,6 millones de toneladas de semillas y cáscaras de aguacate son desechadas cada año, sin darle un tratamiento ni uso alguno (Salazar-López et al., 2020). Por otro lado, en el Ecuador existen escasas investigaciones basadas en la obtención de bioplástico de pepa de aguacate, además no se tiene información acerca de la elaboración de bioplástico a partir de las pepas de aguacate de los cultivos del cantón Patate, que produce una gran cantidad

de desechos de pepas de aguacate, ya sea en las plazas, mercados o simplemente en el propio árbol del cual el fruto cae, se pudre y queda únicamente el residuo que es la pepa. En ninguno de los casos mencionados existe un adecuado aprovechamiento. Además, la contaminación por plásticos de un solo uso genera problemas medioambientales, económicos y sociales, por lo tanto, esta investigación está enfocada en la obtención de plástico biodegradable de la pepa de aguacate mediante un método químico.

1.3. Objetivos

1.3.1. General

Obtener bioplástico a partir de semilla de aguacate (*Persea americana Mill.*) utilizando un método químico.

1.3.2. Específicos

- Sintetizar el almidón a partir de la pepa de aguacate.
- Caracterizar el almidón sintetizado con el fin de identificar sus propiedades fisicoquímicas.
- Elaborar el bioplástico a partir del almidón mediante método químico.
- Determinar las propiedades físico-mecánicas del plástico biodegradable obtenido de la pepa de aguacate.

CAPITULO II
MARCO TEORICO

a) ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

El cuidado del medio ambiente en la actualidad es una realidad que se debe afrontar, por lo tanto, existe la necesidad de producir bioplásticos de fuentes renovales que contribuyan con dicho fin. Las investigaciones están enfocadas en obtener materiales amigables y que sustituyan los materiales obtenidos de fuentes de petróleo o gas, ya que estos representan una problemática marcada que está deteriorando el planeta (Waldrop, 2021).

Rosenboom et al., (2022) en su investigación menciona que los plásticos convencionales son obtenidos a partir de materiales fósiles, sin embargo, si se extraen de fuentes renovables se llaman bioplásticos, en este caso los monómeros que lo conforman pueden ser sintetizados de fuentes de biomasa, luego son polimerizados. La biomasa también se puede obtener de polímeros no sintéticos tales como el caucho natural, el almidón y las proteínas.

Moreno et al., (2017) en su artículo titulado "*Transformación del almidón de papa, mucílago de nopal y sábila en bioplásticos como productos de valor agregado amigables con el ambiente*", menciona que el almidón es un polisacárido que, si es sometido a ciertos tratamientos químicos con la adición de aditivos, se producen modificaciones que lo convierten en termoplástico. Existen diferentes fuentes con alto contenido de almidón, las más comunes son el arroz, el trigo, la cebada entre otras, sin embargo, si estas fuentes se utilizan para la elaboración de subproductos como bioplásticos, se estaría atentando contra la seguridad alimentaria. En tal virtud, se realizan investigaciones de fuentes no convencionales que ayuden al desarrollo de bioplásticos sin alterar la disponibilidad de almidón y el suministro para el consumo humano.

En relación con esto, Ávila et al., (2022), detallan que el almidón obtenido de la semilla de aguacate presenta excelentes propiedades térmicas, proximales y funcionales, lo que

lo hace idóneo para la elaboración de bioplásticos. Por otra parte (Navarrete et al., 2023) investigaron la obtención de bioplástico a partir de almidón modificado de pepa de aguacate, el procedimiento que llevaron a cabo fue la esterificación para la obtención del almidón modificado, mientras que para la obtención del bioplástico utilizaron el método de fundición y obtuvieron un material de características aceptables que podría sustituir parcialmente los plásticos convencionales y además es amigable con el medio ambiente, es decir biodegradable.

De la misma manera Jiménez et al., (2022), extrajeron almidón de pepa de aguacate de la variedad Hass por método húmedo, y utilizarlo como fuente para elaborar biopelículas, el porcentaje de rendimiento del almidón fue de 11,38 %, además elaboraron biopelículas con almidón nativo y almidón combinado con glicerol, a través de lo cual determinaron que el glicerol aporto significativamente en las propiedades físico-mecánicas de las biopelículas.

Otro recurso renovable estudiado por García, (2015), fue el almidón de maíz, en este caso se obtuvo bioplástico a nivel de laboratorio que presentó biodegradabilidad aceptable, se descompuso en CO_2, agua y humus que son amigables con el medio ambiente, además mencionan que el material obtenido no presentó buena resistencia a la tensión, por lo tanto, no es recomendable utilizar en aplicaciones que requieran alta resistencia, pero se pueden utilizar en materiales plásticos que no requieran esterilización, además concluyeron que el bioplástico obtenido se degrada a 3 meses si se somete a condiciones de 27,1° C y 82 % de temperatura y humedad relativa respectivamente.

Una fuente que presentó características idóneas para la obtención de bioplástico es el almidón de papa, el cual fue investigado por Holguin, (2019), en una primera etapa se realizó la modificación de las propiedades mecánicas del almidón mediante entrecruzamiento con ácido acético (acetilación), y la segunda consistió en elaborar el bioplástico con la adición de plastificante. Un aspecto importante que señalar es que la temperatura, la velocidad y tiempo de secado son factores cruciales ya que de estos depende la estabilidad y elasticidad de las películas, que también son biodegradables. En esta investigación analizaron tres procesos que son el tradicional, almidón modificado y

matriz reforzada de la que se identificó que la última confirió mejores características al bioplástico obtenido. En otra investigación realizada por Ruiloba et al., (2018), se investigó el mango como fuente de almidón y señalan que posee características similares a los almidones comunes, y también que es una fuente viable para la obtención de plásticos que son biodegradables.

Granda & Ramos, (2019), por su parte realizaron una investigación con almidón nativo de papa, pero encontraron varias limitaciones en los bioplásticos obtenidos ya que presentaron propiedades mecánicas desfavorables, entonces realizaron una modificación del almidón con HCl e NaOH, aplicaron glicerina diferentes concentraciones como plastificante y agua lo cual ayudó a mejorar dichas propiedades, sin embargo, detallan también que a mayor contenido de glicerina que fue 12 % se obtiene una deformación de 13,37 % y a 3 % la deformación fue de 44,76 % esto indica que a más plastificante es menor la deformación es decir que influye negativamente en la deformación así como también en la resistencia máxima a la tracción.

En base a las investigaciones detalladas se identifica que, la elaboración de bioplástico utilizando almidón como la principal fuente es viable, además de que se debe realizar una modificación de las propiedades mecánicas del almidón para obtener mejores características del material que se está elaborando, por lo tanto en esta investigación se pretende utilizar las pepas de aguacate (residuos) para sintetizar su almidón, realizar su caracterización, modificarlo mediante acetilación con ácido acético y elaborar un bioplástico, del cual se realizará la determinación de sus propiedades físico-mecánicas.

b) FUNDAMENTACIÓN CIENTIFICA

2.1. Bioplástico

Los bioplásticos son elementos fabricados a partir de materia prima de tipo renovable y/o biodegradable, actualmente son considerados uno de los bioproductos más comercializados y fabricados a partir de biomasa (Vargas-García et al., 2021). En los últimos años su uso y fabricación ha incrementado como respuesta a la gran problemática

ambiental producida por los residuos de materiales plásticos generados a partir de combustibles fósiles, pues estos materiales buscan determinar una rápida biodegradación después de su uso (Meza Ramos et al., 2019).

Todo esto surge como alternativa a los plásticos sintéticos de origen petroquímico, pues se ha determinado que son un gran peligro para todas las formas de vida y el medio ambiente, en general los niveles de contaminación producidos tanto en su fabricación como luego en su forma de desecho es incontrolable (Ali et al., 2024). En este contexto, no solo se busca producir bioplásticos, sino que se lo haga de una manera más sostenible y respetuosa con el medio ambiente, y una de las principales opciones ha sido usar recursos agrícolas como cáscaras de ciertos alimentos como el plátano, papa y diversos almidones como materia prima para la fabricación de estos elementos (Rajesh et al., 2024).

Los bioplásticos poseen muchas propiedades similares a la de los plásticos tradicionales, sin embargo, presentan innovadoras características que los hacen más atractivos para su producción y su uso, como por ejemplo su ya mencionado origen renovable, su biodegradabilidad en diferentes escalas de tiempo, menor nivel de contaminación en todas sus etapas, y sobre todo su versatilidad al momento de ser utilizados (Akgül et al., 2022).

2.1.1. Características de los bioplásticos

Como hemos visto estos elementos llegan a poseer propiedades interesantes al momento de ser considerados tanto en producción como en sus diferentes usos y aplicaciones, entre las principales podemos mencionar:

- **Origen renovable:** Producidos a partir de recursos naturales renovables en lugar de fuentes fósiles, lo que disminuye la huella de carbono
- **Biodegradabilidad:** Algunos bioplásticos son capaces de descomponerse en diferentes entornos, como el compostaje industrial o doméstico, lo que contribuye a reducir la acumulación de residuos

- **Amplia aplicabilidad:** Tienen diversas aplicaciones en sectores como envases y embalajes, agricultura, medicina, entre otros, gracias a sus propiedades similares a las de los plásticos convencionales.

Se puede considerar la división de estos productos establecida por la Organización Europea de bioplásticos, la cual considera tres grupos: los biobasados y no biodegradables como el polietileno y tereftalato de polietileno; luego tenemos los biobasados y biodegradables como el ácido poliláctico (PLA) y polihidroxialcanoatos (PHA's) y por últimos los basados en recursos fósiles y biodegradables como el adipato de polibutileno tereftalato (Vargas-García et al., 2021). En torno a esto también se puede mencionar a algunos de los bioplásticos muy utilizados a nivel biomédico como los ácidos polilácticos, el poli-3-hidroxibutarato, la poliamida 11, el polihidroxiuretano y los biopolímeros como celulosa, proteínas, almidón y lípidos; los cuales han llegado a ser altamente utilizados y se considera con gran posibilidad en generar diversas aplicaciones (Hasan et al., 2024).

2.1.2. Clasificación de los bioplásticos

Una de las formas más común de clasificar a los biopolímeros es en función de su origen, según lo propuesto por el Centro de desarrollo tecnológico de España (LEILA, 2007), se pueden clasificar en:

2.1.2.1. Bioplásticos procedentes de recursos renovables.

En este tipo se incluye a bioplásticos extraídos a partir de biomasa (almidón, celulosa) y también a los que poseen monómeros que se generan a través de fermentación de recursos renovables (PLA (ácido poliláctico), PTT (tereftalato de politrimetileno), PBT (Tereftalato de Polibutileno), poliamidas, entre otros).

2.1.2.2. Polímeros biodegradables basados en monómeros procedentes de la industria petroquímica.

A estos productos se los considera bioplásticos debido a que logran cumplir con los criterios de la norma EN 1342, que determina parámetros de biodegradabilidad, compostaje de plásticos y productos plásticos. En este grupo los principales elementos son los poliésteres alifáticos y los alifáticos - aromáticos entre los que podemos mencionar el alcohol polivinílico y las poliéster-amidas.

2.1.2.3. Bioplásticos sintetizados por vía biotecnológica.

La biotecnología aporta en la formación de bioplásticos de dos maneras, la primera es proporcionando los monómeros necesarios para los procesos de síntesis de los bioplásticos, en donde la polimerización posterior se da por métodos químicos. Por otro lado, es en la síntesis integral de bioplásticos a través de procedimientos biotecnológicos, aquí se debe mencionar la fermentación microbiana. Uno de los principales elementos de este tipo los polihidroxialcanoatos (PHA).

2.2. Materias primas usadas para bioplásticos

Dentro de la industria de fabricación del bioplástico se han venido utilizando diferentes materias primas procedentes de fuentes renovables, las investigaciones se centran en lograr nuevas formulaciones compuestas para generar nuevos polímeros de base biológica, es decir de derivados de diferentes biomasas (Olvera-Sosa et al., 2021). La idea es proporcionar alternativas biodegradables que logren sustituir los plásticos convencionales y además generen un impacto positivo en la economía y el medio ambiente (Crespo et al., 2022).

2.2.1. Almidón

El almidón es un polisacárido que está constituido por amilosa y amilopectina, la amilosa es una estructura lineal que se encuentra unida principalmente por enlaces α (1-4), aunque también pueden estar presentes enlaces α (1-6), mientras que en la amilopectina es una estructura ramificada que está unida de un 94 a 96 % por enlaces α (1-4) y los restantes de enlaces α (1-6) además, la amilopectina es parcialmente soluble en agua caliente

mientras que la amilosa no presenta dicha propiedad (Hernández et al., 2008). El almidón está constituido de un 15 a 20 % de amilosa, mientras que la amilopectina representa del 70 al 80 %, estos porcentajes puede variar de acuerdo con la fuente y si existe tratamientos previos que lo modifican (Villarroel et al., 2018). La fuente principal de este polisacárido son las plantas y se usa para procesos de obtención de bioplásticos (Guan et al., 2024). En general el almidón proviene de alimentos como el maíz, la papa, ciertas frutas, caña de azúcar, y diversas hojas o tallos específicos. Dentro de los principales elementos obtenidos están el PLA (ácido poliláctico) y el PBS (succinato de polibutileno) (Lertsarawut et al., 2024).

Propiedades como su biodegradabilidad, bajo costo, nivel de abundancia, disponibilidad, su comportamiento termoplástico, y sobre todo su capacidad de ser reciclables y renovables, convierte a los almidones en excelentes candidatos para materia prima de los bioplásticos (Kanth et al., 2023). Sin embargo, también debemos considerar los problemas que pueden presentar, entre lo que podemos mencionar su bajo nivel de procesabilidad en fusión, alta grado de solubilidad en agua, fragilidad, lo que genera que sea necesario el uso de plastificante para hacerlos más adecuados para diferentes aplicaciones (Veiga-Santos & Ouros, 2024).

2.2.2. Celulosa

Este elemente se ha convertido en la base para la producción de algunos bioplásticos, los cuales presentan excelentes propiedades. Para obtener la celulosa se puede trabajar con madera o materiales como el bagazo de la caña de azúcar (Hu et al., 2024).

La celulosa es un polisacárido macromolecular compuesto de glucosa, se encuentra en todas las estructuras vegetales y se considera uno de los biopolímeros de mayor abundancia en la tierra (Hu et al., 2024). Dentro de su estructura presenta una red regular de enlaces de hidrógeno inter e intramoleculares, los cuales se organizan en forma de microfibrillas compuestas de zonas cristalinas y amorfas ordenadas (Li et al., 2023). Sus

procesos de extracción muchas veces incluyen métodos químicos, aunque también se lo logra por medio de procesos de extracción mecánicos y quimiomecánico (Kassab et al., 2019).

2.2.3. Residuos Agrícolas

La utilización de ciertos productos para obtener almidón ha llevado a determinar que los residuos agrícolas son una potencial fuente de materia prima para la fabricación de bioplásticos. En muchos países y regiones específicas existen materiales que se eliminan como residuos comunes y actualmente se los considera como material menos contaminante y más sostenible a la hora de usarlos como materia para generar biopolímeros (Ghosal & Ghosh, 2023).

Materiales como la biomasa lignocelulósica se generan a partir de residuos agrícolas y forestales y según estadísticas recientes, estos materiales se encuentran disponibles a nivel del mundo sin necesidad de explotar otros tipos de materiales sino más bien utilizando residuos existentes (Mujtaba et al., 2023). Se cree que alrededor de 181,5 mil millones de toneladas de este tipo de biomasas se producen, de las cuales solo 8,2 mil millones de toneladas se utilizan en diferentes áreas de aplicación y producción de elementos como los bioplásticos y otros bioproductos, llegando a ser renovables y respetuosos con el medio ambiente (Singh et al., 2022).

2.2.4. Algas

En los últimos años la necesidad de reducir el uso de plásticos a base de petróleo ha generado investigaciones de nuevas fuentes, en este caso las algas han llamado la atención al ser consideradas como materia prima óptima para producir bioplásticos (Sealy, 2021). Actualmente se estudia la incorporación de algas como base de segunda y tercera generación para la producción y se los ha aplicado en el desarrollo de envases alimentarios o farmacéuticos (Olvera-Sosa et al., 2021). Algunos envases a base de algas poseen características mecánicas óptimas, entre lo cual resalta la resistencia a la tracción, alargamiento a la rotura, resistencia térmica y permeabilidad al vapor de agua (Lomartire et al., 2023).

Se cree que los polímeros de base biológica y en específico las algas son estructuras adaptables y, además, ofrecerían una alternativa sostenible, pues las microalgas son baratas, fáciles y rápidas de cultivar en comparación con otras fuentes de biomasa, por lo que se las considera buenos candidatos para aplicaciones biomédicas, en ingeniería de tejidos, sistemas de administración de fármacos o incluso en la producción de productos biodegradables (Sealy, 2021).

2.3. Aguacate

El aguacate o Persea americana Mill por su nombre científico, es un árbol de hoja perenne con un agradable fruto que presenta forma de pera, el cual posee cáscara, pulpa y semilla robusta (Salazar-López et al., 2020). Se dice que es originaria Centroamérica (México), actualmente se distribuye en todo el mundo por su variedad de propiedades antioxidantes y gran valor nutricional (Fan et al., 2022).

Su producción y consumo ha ido en aumento debido a sus propiedades funcionales y aspectos nutricionales, siendo aprovechadas en la actualidad el fruto, semilla y hojas del aguacate, y cada uno de los productos que se obtienen de dichas fuentes (Park et al., 2021). El interés de los consumidores ha crecido también porque tanto su fruto como su aceite generan efectos interesantes en la salud, como la reducción de riesgo de enfermedad coronaria, reducción plasmática de lipoproteínas, contribuye a la prevención de cataratas, diabetes y cáncer de próstata (Krumreich et al., 2024).

Por otro lado, su aplicación también se ha dado en otros sectores industriales como la investigación de fabricación de biopolímeros a través de materiales y residuos agrícolas, pues se considera que alrededor de 1,6 millones de toneladas de subproductos del aguacate se desechan cada año, y lo preocupante es que estos subproductos son ricos en compuestos bioactivos, y exhiben gran cantidad de propiedades (Gonçalves et al., 2024). En su mayoría se ha aprovechado el aceite de aguacate, sin embargo, en la actualidad se ha determinado muchas otras aplicaciones para sus subproductos, como en este caso la investigación se centra en la pepa.

2.3.1. Semilla de aguacate

El consumo directo del aguacate y la industrialización de este generan gran cantidad de subproductos como su semilla, la misma que constituye del 13 al 18% de la fruta, y de forma general contiene un 19,5% de fibra dietética, un 69,1% de carbohidratos disponibles, un 4,9% de proteínas, un 3,7% de cenizas y un 3,7% de lípidos (Juarez-Escobar et al., 2021). Los componentes bioactivos de las semillas de aguacate han sido investigados para poder utilizarlos como elementos base de ciertos procesos, como la industria alimentaria y se ha informado que el metabolismo de los aminoácidos y el azúcar que ocurre en la semilla poscosecha puede producir metabolitos de alto valor, presentan altos niveles de ácidos grasos poliinsaturados y compuestos polifenólicos (Zhao et al., 2023).

De forma más específica Salazar-López et al., (2020), determinan que la semilla presenta carbohidratos (42–81%), lípidos (3–15%), proteínas (0,14–9%), fibras (2–4,2%), minerales (1,3–4,3%) otros compuestos bioactivos como ácidos hidroxicinámicos, ácidos hidroxibenzoicos, ácidos orgánicos, derivados de alcoholes fenólicos, flavonoides, proantocianidinas, terpenoides, alcaloides, saponinas, acetogeninas, fitoesteroles y otros compuestos polares y no polares, los cuales se consideran elementos primordiales para ser utilizados como materia prima en diversas industrias.

Por otro lado, la alta producción anual de aguacate a nivel del mundo, general también gran cantidad de desecho, se calcula que son miles de toneladas de semillas de aguacate las que se desechan. Además, América latina y sobre todo Ecuador, producen gran cantidad de este producto y esto lleva a considerar que la utilización de semillas de aguacate sería una alternativa prometedora, que representaría un bajo costo, que determine una producción sostenible y respetuosa con el medio ambiente al desarrollo de elementos poliméricos como los bioplásticos (Amelia et al., 2024).

2.3.2. Almidón de aguacate

Como ya se ha dicho el aguacate posee gran cantidad de propiedades relevantes, por lo tanto, se considera oportuno y adecuado su aprovechamiento y el de sus subproductos,

sobre todo en aplicaciones que se den a partir de su almidón, pues se considera que la semilla, por ejemplo, se compone de alrededor del 29% de almidón, siendo una fuente de este polisacárido, el cual se utiliza en diferentes industrias (Pires et al., 2024).

El almidón de semilla de aguacate se considera un elemento que determina conservación y respeto al medio ambiente, pues básicamente se trabaja con desechos del aguacate, presenta naturaleza cristalina y tiene una alta tasa de rendimiento (>40%), de estructura ovalada, rica en amilosa (42%-48%), además, exhibe una mayor gelatinización, una baja tasa de retrogradación y mejores propiedades funcionales en comparación con otras plantas. Se considera apto para variedad de aplicaciones en las industrias alimentaria y no alimentaria (Oluwajuyitan, 2024).

Existen diferentes métodos para obtener este almidón, en muchos casos depende de los materiales y equipos que se disponga, así como también el uso que se dará al almidón que se produzca.

2.3.3. Reacciones para modificación del almidón

En muchas ocasiones el almidón obtenido de forma directa a partir de diferentes mecanismos o conocido como almidón nativo no presenta las condiciones requeridas, por lo que es importante modificarlo (León-Méndez et al., 2020). Según lo presentado por Mendoza, (2021), la modificación química del almidón se relación de forma directa con ciertas reacciones de los grupos hidroxilo presentes en el almidón. Algunas de las modificaciones químicas se pueden dar por procesos de reacciones vía éter, generación de ésteres, oxidación y la hidrólisis de los grupos hidroxilos, entre otros.

2.3.3.1 Sustitución química.

Constituye una de las estrategias más eficientes para mejorar las propiedades de los almidones nativos, permitiendo que se puedan desarrollar aplicaciones más específicas. Las principales modificaciones están directamente relacionadas con las reacciones de los grupos hidroxilo del polímero de almidón (León-Méndez et al., 2020). La mayoría de las

ocasiones en los almidones el proceso de sustitución se da por reacciones de esterificación, involucrando la sustitución de grupos hidroxilos por grupos éster. El máximo grado de sustitución (GS) es 3 debido a que se presentan tres grupos hidroxilo disponibles por unidad de anhidroglucosa (P. Cuenca et al., 2020).

2.3.3.2 Esterificación química.

La esterificación química es un proceso que incluye una reacción de ataque nucleofílico del oxígeno de la molécula que contiene el grupo OH al carbono insaturado que contiene el grupo carboxílico. Se requiere un catalizador como el NaOH, el cual aumenta la actividad carbonílica por protonación de uno de los oxígenos del agente con el grupo carboxílico, produciendo un enlace éster y una molécula de agua (León-Méndez et al., 2020). Como resultado de este proceso se obtienen los almidones esterificados o estabilizados, este proceso se da mediante la introducción de grupos monofuncionales, como los grupos acetilo, hidroxilo, etc., a lo largo de la estructura del polímero, los cuales sustituyen los enlaces de hidrógeno entre las cadenas, alterando su organización y su carácter hidrofílico, lo cual influye en las características mecánicas y térmicas (Mirzaaghaei et al., 2022).

2.3.3.3 Acidificación química.

La acidificación química del almidón se considera un proceso que logra modificar las propiedades de un almidón, a través de la inclusión de un ácido. Este proceso logra modificar la viscosidad, actúa en la gelificación y determina propiedades específicas en posibles derivados de almidón con propiedades específicas. El ácido aplicado descompone las cadenas de almidón, alterando las uniones de las moléculas de glucosa y modificando así su estructura (Mendoza, 2021).

2.3.3.4 Entrecruzamiento químico

El entrecruzamiento químico es un proceso que en el caso de los almidones precisa el uso de reactivos bi o polifuncionales, a través de los cuales se modifica las propiedades del

almidón. Los productos químicos más utilizados con este fin es el oxicloruro de fósforo, mezclas de anhídrido adípico y anhídrido acético, trimetafosfato de sodio, etc. (Song et al., 2024).

2.4. Métodos químicos para la obtención de bioplásticos:

Los métodos para obtener bioplásticos son muy variados, sin embargo, podemos mencionar algunos de los que se han considerado más interesante durante el desarrollo de este trabajo. A continuación, se detallan algunas técnicas de carácter químico.

2.4.1 Método Casting

También es conocido como "casting solution", se utiliza para estructurar películas delgadas que logran producir polímeros o bioplásticos. Consiste en disolver material específico en un solvente adecuado para lograr formar una solución homogénea, esto luego es vertido en un sustrato plano y se deja secar, logrando formar una película delgada y uniforme. Esta técnica incluye diferentes pasos como la preparación de la solución de polímero, vertido de la solución en un sustrato, secado, recolección y almacenamiento de las películas (Caisapanta, 2022).

Este método se usa ampliamente en la industria para producir películas delgadas de polímeros y bioplásticos, logrando estructuras que pueden presentan grandes propiedades y ser utilizadas en diferentes aplicaciones.

2.4.2 Método de recubrimiento por inmersión (Dip coating)

Es una técnica muy utilizada que consiste en sumergir un sustrato específico en un líquido y retirarlo a una velocidad controlada, generalmente se aplica a nivel industrial para realizar procesos de recubrimiento o estructuración de películas delgadas o biopolímeros, pero también se utiliza a nivel académico. En este tipo de técnica se debe considerar aspectos como el tipo y composición del líquido, las características del sustrato y la

velocidad de retiro; todo esto con el fin de lograr los mejores resultados en los productos obtenidos (Jebali et al., 2024).

2.4.3 Polimerización de ácido láctico (PLA):

El proceso de polimerización de ácido láctico permite obtener bioplásticos con características interesantes, sobre todo su biodegradabilidad y volatilidad, han llamado la atención. Este proceso se da a nivel de laboratorio y requiere de la obtención previo del ácido láctico, lo cual generalmente se hace a partir de fuentes renovables, entre los que se tiene el almidón de maíz, caña de azúcar, etc. Una vez obtenido, éste se polimeriza y produce el ácido poliláctico (PLA), que es un bioplástico (Yusoff et al., 2021).

2.4.4 Polimerización de polihidroxialcanoatos (PHA):

Este proceso implica el uso de diversos microorganismos, entre los más comunes tenemos bacterias y algunos hongos. Tiene como principio principal el hecho de que los microorganismos acumulan PHA a nivel intracelular en forma de gránulos de almacenamiento de energía en etapas en las cuales se encuentran expuestos a condiciones de estrés nutricional, es decir, cuando tienen limitación de nutrientes, exceso de carbono en el medio ambiente, entre otras. Se utiliza también el proceso de fermentación microbiana de fuentes de carbono, como azúcares o aceites vegetales. En este punto, son los microorganismos los que logran sintetizar PHA dentro de sus células y luego son extraídos por diversos procesos en forma de bioplásticos (Medeiros Garcia Alcântara et al., 2023).

2.4.5 Moldeo por inyección

La técnica de moldeo por inyección incluye diferentes materiales como concentrados, sustancias aisladas de proteínas, etc., los cuales mediante condiciones adecuadas de mezclado y moldeo permite obtener bioplásticos con propiedades específicas que permiten ser aplicados en varias actividades. Este método utiliza residuos y productos

excedentes de la industria alimentaria como materia prima. En la mayoría de los casos se logra excelentes propiedades mecánicas y biodegradabilidad (Felix et al., 2017).

2.4.6 Métodos de extracción biológica (Bioextracción)

Los métodos de extracción biológica o conocidos también como bioextracción, han ganado atención debido principalmente a sus propiedades amigables con el medio ambiente, y se han usada para obtener materiales como el polihidroxibutirato (PHB). Básicamente permiten extraer biopolímeros purificados a través de mecanismos biotecnológicos, posteriormente se utiliza agua y ácido acético para un proceso de purificación final (Seghetta et al., 2016). Lo interesante de la técnica es que no usa SDS ni cloroformo, sino que modifica las condiciones de cultivo y las materias primas, logrando reducir la posibilidad de inconvenientes relacionados con la contaminación, logrando reducir costos ambientales debido a productores genéticamente modificados y sobre todo a la optimización del cultivo, llegando a ser ampliamente viables (Haddadi et al., 2019).

2.5 Propiedades de los bioplásticos

Las propiedades de los bioplásticos pueden ser diversas, éstas dependen de manera directa de su composición química, método de obtención, y en algunos casos inclusive de la aplicación que tendrá. Se puede tener propiedades mecánicas y propiedades físico-químicas (D. López & Rojas, 2018).

2.5.1 Resistencia

Una de las propiedades más relevantes de los materiales poliméricos o sus derivados es la resistencia, una propiedad mecánica cuyo significado puede ser ambiguo debido a su variedad de análisis posibles, según Brindis, (2002), podemos determinar los siguientes tipos de resistencia.

- **Resistencia a la tracción**, la cual puntualiza la capacidad de un material para resistir fuerzas de estiramiento axial, lo cual llega a ser importante en materiales que se someterán a tensión o estiramiento.
- **Resistencia a la compresión**. Analiza la capacidad de un material para soportar cargas que lo compacten, esto a una velocidad constante. La prueba para esta propiedad no se da de forma instantánea y en ocasiones no se requieren probetas.
- **Resistencia a la flexión**. Se refiere a la capacidad de un material para lograr soportar diferentes cargas que pueden provocan momentos flectores, esto de forma específica en su sección transversal.
- **Resistencia a la torsión.** Esto se analiza si la estructura logra ser resistente a momentos torsores que actúan sobre su zona transversal.
- **Resistencia al impacto**. Conocida también como tenacidad, y se dice que una muestra presenta resistencia al impacto si no presenta cambios frente a golpes fuertes y repentinos como un martillazo.

En el Sistema Internacional de Unidades las tensiones se miden megapascales (MPa):1MPa=10^6 N/m^2 = 1N/mm^2 = 100 N/cm^2, en otros casos dependiendo de los estudios se puede expresan en gigapascales (GPa):1GPa=10^3 MPa (Brindis, 2002).

2.5.2 Coeficientes de fricción estático y dinámico

Esta propiedad se determinan materiales plásticos en forma de película, determina la relación entre la fuerza de tracción necesaria para iniciar o continuar el deslizamiento entre dos superficies y la fuerza de gravedad que actúa perpendicular sobre las mismas (AIMPLAS, 2017).

2.5.3 Elongación

La elongación es una propiedad que determina la capacidad de un bioplástico para deformarse o estirarse antes de romperse, esto bajo tensión. Se considera una medida de la ductilidad o flexibilidad de un material. En el caso de algunos bioplásticos la elongación puede ser alta, esto significa que son muy flexibles y además, pueden estirarse

significativamente antes de lleguen a romperse; en otros casos presentan elongación baja y por tanto son más rígidos (Brindis, 2002).

2.5.4 Biodegradabilidad

Esta propiedad determina la capacidad de las macromoléculas que forman el bioplástico, en pequeñas moléculas más sencillas y que forman parte de la naturaleza, esto se da mediante la acción de microorganismos. La biodegradación se determina al medir el nivel de producción de dióxido de carbono dentro de en un ambiente controlado, es aquí donde en presencia de un sistema controlado que puede ser compostaje se deposita una cantidad específica de plástico y se evidencia su degradación. Existen normas como norma europea EN13432, que determina cómo debe realizarse este ensayo de biodegradación (Hermida, 2011).

2.5.5 Estabilidad térmica

La estabilidad térmica es conocida como la capacidad que presenta un determinado material para resistir la degradación térmica a altas temperaturas. Esta propiedad se considera importante en aplicaciones específicas en donde se requiere que los bioplásticos estén sometidos a temperaturas elevadas, ya sea en su fabricación o su uso (Hermida, 2011).

2.5.6 Biocompatibilidad

La biocompatibilidad se conoce como la capacidad de un material para interactuar favorablemente con sistemas biológicos, entre los cuales podemos mencionar a tejidos y ciertas células. Esta característica es importante cuando los bioplásticos son utilizados a nivel biomédico, específicamente como implantes, materiales y dispositivos médicos, etc. (Río et al., 2007).

Las mencionadas llegan a ser algunas de las propiedades más importantes de los bioplásticos, su relevancia depende principalmente de las aplicaciones que se vaya a dar a los materiales.

2.5. Análisis de la varianza (ANOVA)

El Análisis de Varianza o ANOVA por sus siglas en inglés (Analysis of Variance) es un método estadístico que comúnmente se emplea para comparar diferencias entre medias de dos o más grupos independientes. Permite analizar la variación de las muestras y el efecto que pueden tener varios factores sobre las mismas. Se puede encontrar los ANOVA de una vía, cuyo resultado muestra el efecto que tiene un parámetro sobre el otro, así como también el ANOVA de dos o tres vías, cuyos resultados pueden evidenciar el efecto que uno, dos o más parámetros tienen sobre la variable resultado (Mohammed Raffic et al., 2023).

Para poder aplicar esta herramienta, las muestras deben ser poblaciones normales y sus varianzas poblacionales iguales. Además, se debe considerar la variable dependiente a estudiar y las variables independientes que definen a los grupos para que sean comparados (Xu et al., 2023). Por lo general se trabaja con una significancia < 0,05 para aceptar la hipótesis alternativa y rechazar la hipótesis nula, mientras que, si se acepta la hipótesis nula, se tendrán que realizar pruebas de contrastes (Sthle & Wold, 1989).

CAPITULO III
3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de investigación

Se realizó una investigación de tipo mixta, es decir se incluye un análisis cualitativo y cuantitativo. Esto debido a que, a nivel de laboratorio se realizaron diferentes pruebas y análisis tanto para la extracción y caracterización del almidón y para las pruebas físico-mecánicas; posterior a esto se realizó un análisis y discusión con bibliografía previamente existente.

3.2. Población o muestra

En nuestro caso la población estuvo formada por 100 aguacates obtenidos en los mercados del cantón Patate de la provincia de Tungurahua.
Mientras que la muestra final estuvo formada por 70 aguacates sanos, se debe considerar que el resto de las frutas no se consideraron por anomalías en su apariencia y estructura, por lo que no se tomaron en cuenta para el muestreo.

3.3. Prueba de Hipótesis - pregunta científica – idea a defender

Hipótesis

Se puede generar plástico biodegradable a partir de almidón obtenido de la semilla de aguacate mediante un método químico.

Pregunta científica

¿Es posible obtener almidón de la semilla de aguacate para elaborar un plástico biodegradable?

Idea para defender

El almidón obtenido de la semilla de aguacate es idóneo para producir plástico biodegradable y aporta a las propiedades físico-mecánicas de éste.

3.4. Materiales, equipos y reactivos

Dentro del proceso de recolección de información, para el desarrollo del presente trabajo se utilizaron diferentes materiales, equipos y reactivos. Los detalles de estos se presentan en la tabla 3-1.

Figura 3-1. Materiales, equipos y reactivos utilizados

Materiales	Equipos	Reactivos
Frutos de aguacate	pH-metro	Metabisulfito de sodio
Vasos de precipitación (1000, 500, 100, 50 y 25 mL)	Plancha de calentamiento con agitación magnética	Sorbitol
Magneto	Termómetro	Glicerol
Soporte universal	Licuadora Oster	Hidróxido de sodio
Fundas Ziploc	Espectrofotómetro de infrarrojo	Ácido clorhídrico.
Espátulas	Balanza infrarroja de humedad	Ácido acético glacial
Pinzas	Equipo para pruebas mecánicas (SHIMADZU AUTOGRAPH).	
Cuchillo		
Papel film	Balanza analítica	
Pie De Rey		

Fuente: Propia (2024).

3.5. Recolección de muestras (semilla de aguacate)

Para el desarrollo de la parte experimental del presente trabajo se recolectaron semillas de aguacate de la variedad Persea americana, esto se realizó en los mercados de las parroquias Sucre y La Matriz, del cantón Patate, provincia de Tungurahua. Logrando recoger 100 semillas.

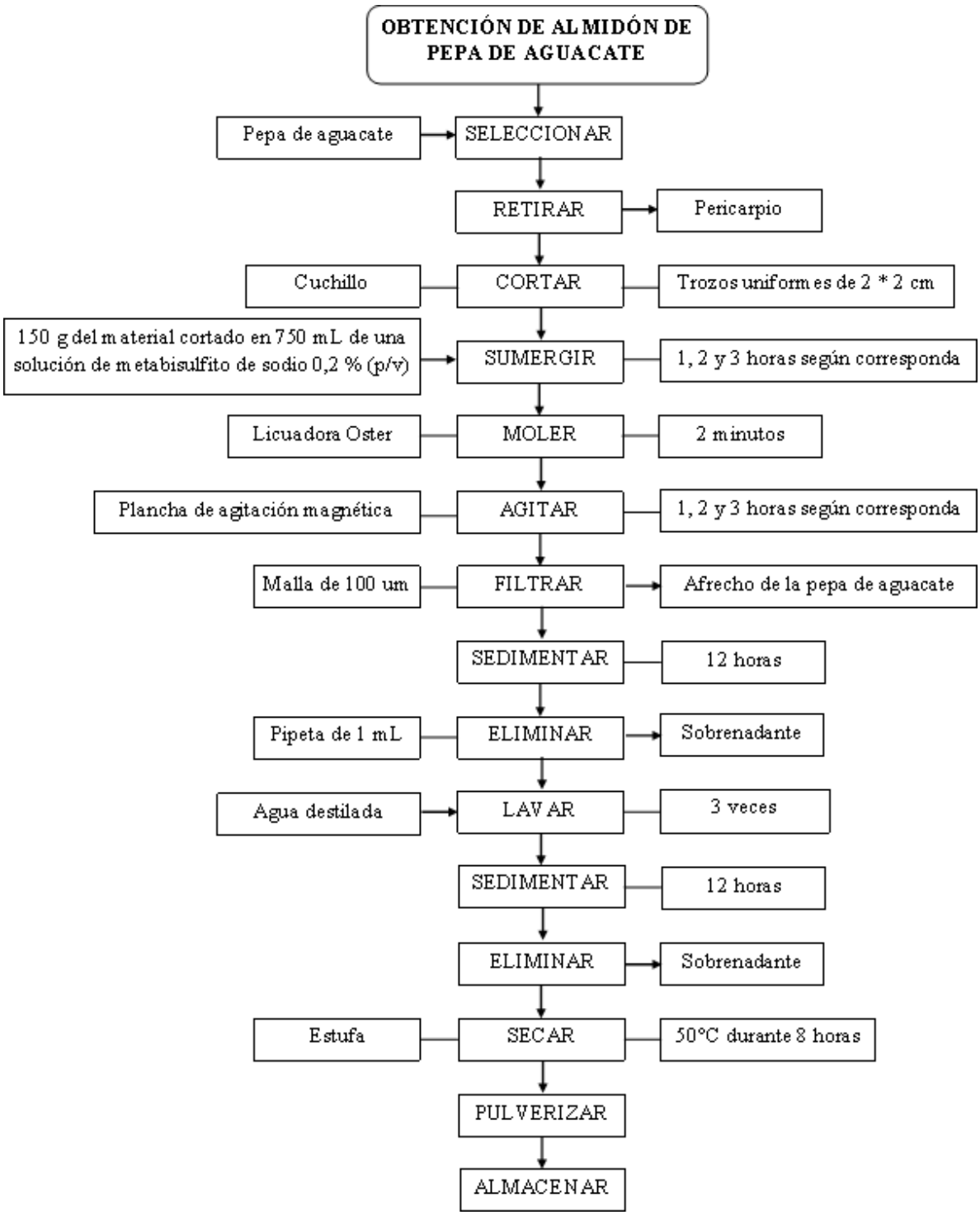
3.6. Extracción de almidón de semilla de aguacate.

De forma inicial se seleccionaron las semillas o pepas de aguacate que se encuentren en buen estado, es decir, libres de golpes, magulladuras o colores extraños. Luego de esto se

lavaron, se secaron durante 5 días a temperatura ambiente y finalmente se retiró el pericarpio.

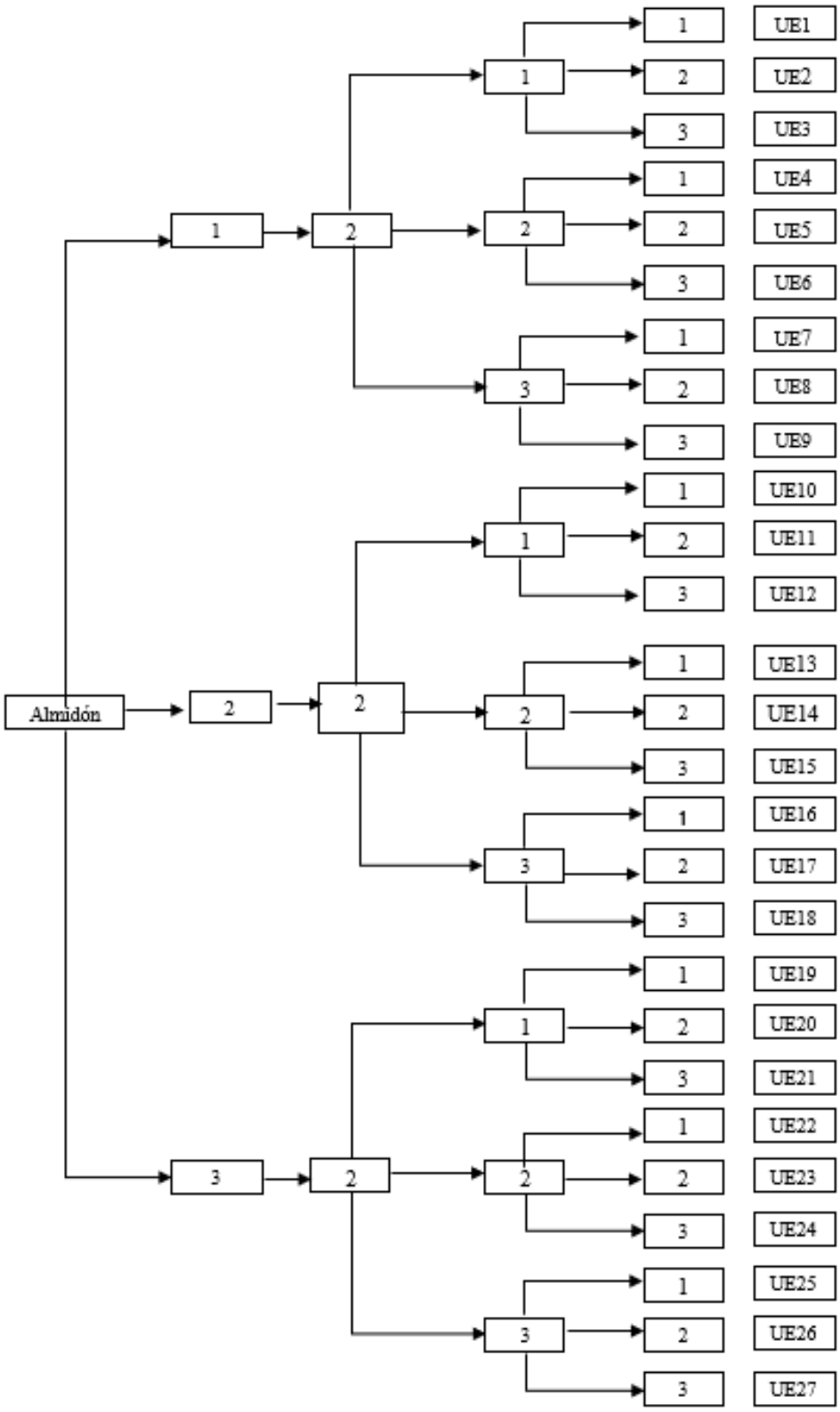
Con las semillas completamente limpias se procedió con la extracción de almidón, para lo cual se aplicó el procedimiento descrito por Navarrete et al., (2023), incluyendo algunas modificaciones. Se consideraron variables como tiempo de sumergido (3), tiempo de molido (1) y tiempo de agitación (3). Las semillas se cortaron de la manera más uniforme posible, luego se tomaron 150 g del material cortado y se sumergió en 750 mL de una solución de metabisulfito de sodio 0,2% (p/v) por tiempos de 1, 2 y 3 horas. La solución fue molida en una licuadora de marca Oster durante 2 min, luego se agitó durante 1, 2 y 3 horas a 100 rpm en una plancha de agitación magnética marca CORNING Stirrer/Hot Plate a temperatura ambiente. La mezcla fue filtrada en un tamiz de malla de 100 µm y se dejó sedimentar durante 12 horas, luego se retiró el sobrenadante y se realizaron 3 lavados con agua destilada, se dejó sedimentar nuevamente por 12 horas, se extrajo el sobrenadante y se secó a 50°C durante 8 horas en una estufa marca Lab-Line modelo 120. Finalmente, el almidón se pulverizó y se guardó en bolsas herméticas. El proceso descrito se puede evidenciar en la figura 3-1. Todo el proceso se realizó en el Laboratorio de Química Instrumental de la ESPOCH. De forma más específica se siguió el diseño propuesto en la figura 3-2, en donde cada una de las unidades experimentales (UE) incluyen un tiempo de sumergido, tiempo de molido, y tiempo de agitación.

Figura 3-2. Diagrama de flujo de la obtención de almidón



Fuente: Propia (2024).

Figura 3-3. Diseño experimental extracción de almidón



Fuente: Propia (2024).

Una vez obtenido el almidón, se procedió a realizar el cálculo de rendimiento, para ello se aplicó la Ec. 3-1.

$$\% \, Rendimiento = \frac{\text{W (g) almidón} * 100 \, \%}{\text{W (g) pepa}} \qquad \textbf{Ec. (3-1)}$$

3.7. Acetilación del almidón

Como ya se dijo anteriormente la modificación del almidón nativo es un paso muy importante para lograr que presente las propiedades deseadas. En el presente estudio la modificación se realizó por acetilación siguiendo la metodología descrita por Navarrete et al., (2023), incluyendo pequeños cambios. Se añadieron 30 g de almidón en un vaso de precipitación de 200mL que contenía 75 mL de agua destilada, se agitó durante 30 min a 500 rpm y temperatura ambiente, luego se añadió gota a gota 2,6 mL de una solución de ácido acético al 5% (v/v) manteniendo un pH entre 8 y 8,5 con ayuda de NaOH al 0,1 N. posteriormente se añadió HCl (1N) para llevar la solución a pH 7, después del tiempo de reacción la mezcla fue lavada con agua destilada, filtrada en un embudo Büchner con papel filtro de 125 mm, se dejó secar durante 24 horas a 40°C y se almacenó en bolsas herméticas.

3.8. Caracterización del almidón.

Una vez que se obtuvo el almidón modificado, fue importante realizar un proceso de caracterización, para esto se realizaron pruebas de humedad, pH, densidad, temperatura de gelatinización, etc. Los detalles de los procesos se mencionan a continuación.

3.8.1. Humedad

Para la determinación de humedad tanto del almidón como del bioplástico se aplicó la metodología descrita por Tulcán, (2020) con ligeras modificaciones. Se utilizó un analizador halógeno de humedad de marca METTLER TOLEDO HB 43 Halogen, a este se añadieron 3g de la muestra molida y seca, se dejó transcurrir el tiempo necesario,

mismo que depende de cada una de las muestras y, se registró el valor de humedad en porcentaje, este procedimiento se realizó por triplicado para cada almidón. Esta prueba se realizó en laboratorio de Química Instrumental de la ESPOCH.

3.8.2. pH

La determinación del pH del almidón se realizó siguiendo la metodología de la norma (NTE INEN 1456, 1986). Se llevó a ebullición 100 mL de agua destilada en un vaso de precipitación de 250 mL, y se agregó una solución preparada previamente que contuvo 2 g de almidón diluidos en 5 mL de agua fría y se dejó ebullir por dos minutos, luego se dejó enfriar y se introdujo el electrodo del pH-metro marca Accument XL 150 (pH/Mv) previamente calibrado, este procedimiento se realizó por triplicado para cada tipo de almidón.

3.8.3. Densidad

La densidad aparente del almidón se determinó a partir de la metodología descrita por Granados et al., (2014), la cual se traduce en lo propuesta en la Ec. (3-2). Se colocó el almidón hasta completar el volumen de 100 mL en una probeta, luego se pesó el contenido de almidón en dicho volumen, a través de una transformación se determinó la densidad en gramos por litro. Este procedimiento se realizó por triplicado para cada tipo de almidón.

$$\rho = \frac{g_{almidón}}{100\ mL} * \frac{1000\ mL}{1\ L} = \rho\ \left(\frac{g}{L}\right) \qquad \textbf{Ec. (3-2)}$$

En donde ρ determina la densidad aparente y $g_{almidón}$ los gramos del almidón utilizado.

3.8.4. Temperatura de gelatinización

La temperatura de gelatinización se determinó a partir de la metodología empleada por Granados et al., (2014), considerando pequeños cambios. Se preparó una solución al 10%

(p/v) de almidón-agua destilada, se tomaron 50 mL de esta solución y se añadieron en un vaso de precipitación de 100 mL, este vaso fue colocado a baño maría en un vaso de precipitación de 1000 mL que contenía 800 mL de agua calentada hasta alcanzar una temperatura constante de 85 °C, esto se realizó en una plancha de calentamiento de marca CORNING Stirrer/Hot Plate. La solución se agitó de manera constante, de forma simultánea y con la ayuda de un termómetro de mercurio se registró la temperatura de gelatinización la cual se observó mediante el cambio del aspecto de la solución hasta que se logró estabilizar formando una pasta, esto se produce por el hinchamiento del almidón. Este procedimiento también se realizó por triplicado para cada tipo de almidón.

3.8.5. Bromatología del almidón.

Los análisis bromatológicos del almidón nativo y modificado se realizaron en el Laboratorio de Servicios de Análisis e Investigación en Alimentos del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) ubicado en la Estación Santa Catalina en la ciudad de Quito. La Tabla 3-2, establece los análisis realizados y las normativas utilizadas para su determinación.

Tabla 3-1. Análisis bromatológicos

Análisis	**Método interno**	**Método de referencia**
Humedad	MO-LSAIA-01.01	U. FLORIDA 1970
Cenizas	MO-LSAIA-01.02	U. FLORIDA 1970
Extracto etéreo (EE)	MO-LSAIA-01.03	U. FLORIDA 1970
Proteína	MO-LSAIA-01.04	U. FLORIDA 1970
Fibra	MO-LSAIA-01.05	U. FLORIDA 1970
Amilosa	MO-LSAIA-04	Marrison y Laignelet 1983
Amilopectina	MO-LSAIA-04	Marrison y Laignelet 1983
Humedad	MO-LSAIA-01.06	

Fuente. Laboratorio de servicio de análisis e investigación en alimentos. (INIAP).

3.9. Obtención de bioplástico por Método químico

Para la obtención de bioplástico se aplicó el Método Casting, mismo que fue descrito en el apartado 2.4.1. Se consideró la metodología descrita por Ruiloba et al., (2018), con ligeras modificaciones. Se calentó agua hasta los 80 °C en una plancha de calentamiento de marca CORNING Stirrer/Hot Plate. Se desarrollaron diferentes formulaciones en base al diseño propuesto en la Tabla 3-3. Para esto, en vasos de precipitación de 50 mL se pesaron relaciones de 1:4 o 1:5 de almidón (nativo o modificado) y agua, se dejó reposar por 5 min y se añadió 1 mL de plastificante (sorbitol o glicerol) por cada g de almidón utilizado. Posteriormente, se colocó el vaso con la mezcla a baño maría, en agua calentada previamente, se agitó constantemente hasta lograr la temperatura de gelatinización, se vertió en cajas Petri de plástico y se secaron a 39 °C durante 24 horas.

Tabla 3-2. Formulaciones aplicadas en la elaboración del bioplástico.

Tipo de almidón	Peso del almidón (g)	Agua (mL)	Plastificante (5 mL)	Unidad Experimental	Tratamiento
Modificado	5	20	Sorbitol	UE1	T1
					T2
					T3
		25		UE2	T4
					T5
					T6
		20	Glicerol	UE3	T7
					T8
					T9
		25		UE4	T10
					T11
					T12
Nativo	5	20	Sorbitol	UE5	T13
					T14
					T15
		25		UE6	T16
					T17
					T18
		20	Glicerol	UE7	T19
					T20
					T21
		25		UE8	T22
					T23
					T24

Fuente: Propia (2024).

3.10. Caracterización de las biopelículas

Una vez que se realizaron los diferentes tratamientos para obtener biopelículas, se determinó que dos de estos resultados presentaron las mejores características y fueron estas muestras las que se sometieron a procesos de caracterización.

3.10.1. Espesor

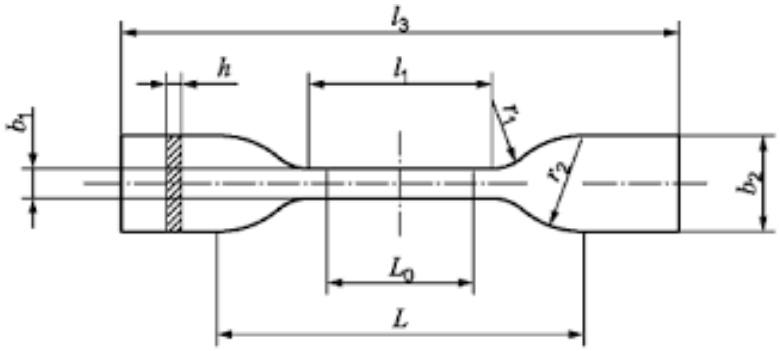
Las láminas de bioplástico obtenidas fueron sometidas al instrumento de medición calibrador Lcd 6 pulgadas micrómetro digital Pie De Rey marca Stainless Hardened del cual se obtuvo una medida directa del espesor en mm.

3.10.2. Pruebas mecánicas

Una vez elaborado el bioplástico se identificó los dos tratamientos que dieron mejores resultados, y a éstos se aplicaron las pruebas de mecánicas. Estas pruebas se realizaron en el Laboratorio de Investigación de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, aplicando la metodología descrita en la norma NTE INEN 2635, 2012 (Ver Anexo I). Se elaboraron diferentes probetas del bioplástico de 65 mm de largo y 25 mm de ancho. En la Figura 3-3 se presenta un esquema de las Probetas tipo A y, además, la Tabla 3-4, determina características más representativas de las probetas 5A y 5B. Las probetas elaboradas fueron colocadas en las mordazas del equipo para pruebas mecánicas SHIMADZU AUTOGRAPH (Figura 3-3).

Una vez posicionadas las muestras se apretaron las mordazas, firme y uniformemente para minimizar el desplazamiento en las muestras durante el proceso en el cual el equipo realiza el análisis y proporciona una medida directa de las propiedades analizadas.

Figura 3-4. Probetas tipo A para aplicación de las pruebas mecánicas (mm).



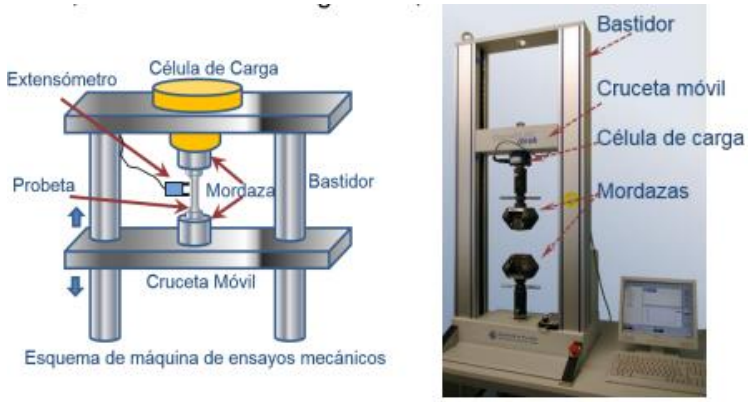
Fuente: (García García, 2019)

Tabla 3-3. Características de probetas (5A y 5B)

	Tipo de probetas	**5A**	**5B**
l_3	Longitud total mínima	≥ 75	≥ 35
b_2	Anchura en los extremos	12,5 ± 1	6 ± 1
l_1	Longitud de la parte estrecha de caras paralelas	25 ± 1	12 ± 0,5
b_1	Anchura de la parte calibrada	4 ± 1	2 ± 0,1
r_1	Radio pequeño	8 ± 0,5	3 ± 0,1
r_2	Radio mayor	12,5 ± 1	3 ± 1
L	Distancia inicial entre mordazas	50 ± 2	20 ± 2
L_o	Longitud de referencia	20 ± 0,5	10 ± 0,2
e	Espesor	2 ± 0,2	1 ± 0,1

Fuente. (Calo, 2022).

Figura 3-5. Esquema universal de la máquina de ensayos mecánicos de tracción.



Fuente: García & Guisasola, (2018).

3.10.3. Espectroscopia FT-IR

Para determinar los grupos funcionales existentes tanto en los almidones como en las dos mejores formulaciones del bioplástico, se utilizó la espectroscopia de infrarrojo por transformada de Fourier (FT-IR). Para este análisis las muestras tuvieron que estar secas y molidas en el caso del almidón, mientras que para el bioplástico se cortó un pequeño cuadrado, el cual se introdujo directamente en el equipo. Este ensayo también fue desarrollado en el Laboratorio de Química Instrumental de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

3.10.4. Biodegradación de las biopelículas

Para determinar el porcentaje de biodegradabilidad se aplicó la metodología de Ledesma et al., (2021). Se consideraron tres medios: tierra, agua y aire. Se cortaron bioplásticos de 2,50 x 2,50 cm y se trataron de la siguiente manera:

- **Tierra:** Se introdujo el bioplástico en tierra a una profundidad de 3 cm.
- **Agua:** Se introdujo el bioplástico en 100 mL de agua destilada.
- **Aire:** Se expuso el bioplástico al aire libre.

Las láminas fueron colocadas en cada uno de los medios y, se realizó una valoración durante un mes, para esto cada tres días se analizó su descomposición a través de la medida de pesos y aplicando la siguiente Ec. (3-3), misma que permite determinar el porcentaje de biodegradabilidad.

$$\%\ Pérdida\ de\ peso = \frac{Pi - Pf}{Pi} * 100\ \% \qquad \textbf{Ec. (3-3)}$$

Donde: Pi=Peso inicial seco de la lámina y Pf = Peso final seco de la lámina

3.11. Procesamiento de la información y análisis estadístico:

Con el objetivo de comprobar la hipótesis planteada, que es: se puede generar plástico biodegradable a partir de almidón obtenido de la semilla de aguacate mediante un método químico, se buscó identificar si existe diferencia significativa en los diferentes tratamientos realizados en cuanto a los procesos de producción del bioplástico. Como ya se dijo se trabajó con diferentes tipos de almidón (nativo y modificado), diferentes tipos de plastificantes (sorbitol y glicerol) y cantidades diferentes de agua. A través del análisis estadístico se buscó demostrar si alguna de las combinaciones realizadas presenta mayor eficacia en la estructuración del bioplástico. Para este análisis se utilizó SPSS, identificando un valor $p<0,05$ como resultado estadístico significativo, logrando generar gráficas de normalidad y homogeneidad de varianza.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Extracción y caracterización del Almidón

Dentro del proceso de extracción del almidón se siguió el proceso propuesto en el apartado 3.6 y 3.7, además uno de los primeros ensayos realizados fue el de la determinación de la humedad en la muestra.

4.1.1. Rendimiento y humedad

Tabla 4-1. Rendimiento del almidón obtenido de la pepa de aguacate.

Tratamiento	UE	(g/mL)		W (g) residuo	W (g) almidón	Rendimiento (%)	Promedio (%)	Desviación	Humedad (%)	Promedio (%)
		Tiempo de sumergido (h)	Tiempo de agitación (h)							
T1	UE1	1	1	103,5	29,28	19,52	19,51	0,37	11,45	11,22
	UE2	1	1	104,9	28,70	19,13			11,00	
	UE3	1	1	105	29,80	19,87			11,21	
T2	UE4	1	2	102	31,50	21,00	20,89	0,32	11,65	11,48
	UE5	1	2	98,5	30,80	20,53			11,45	
	UE6	1	2	95	31,70	21,13			11,34	
T3	UE7	1	3	90,2	35,30	23,53	22,51	0,92	11,15	10,58
	UE8	1	3	91,5	33,40	22,27			10,35	
	UE9	1	3	92,4	32,60	21,73			10,25	
T4	UE10	2	1	100,2	30,50	20,33	21,20	0,84	10,51	10,75
	UE11	2	1	101,9	33,00	22,00			10,34	
	UE12	2	1	100	31,90	21,27			11,40	
T5	UE13	2	2	96,6	30,10	20,07	21,09	0,92	11,83	11,56
	UE14	2	2	98,5	32,00	21,33			11,65	
	UE15	2	2	94,5	32,80	21,87			11,21	
T6	UE16	2	3	103,8	27,50	21,50	21,67	0,29	10,41	10,33
	UE17	2	3	105,2	30,50	22,00			10,05	

	UE18	2	3	99,84	28,50	21,50			10,54	
T7	UE19	3	1	101,99	30,50	20,33	20,16	0,20	10,98	10,51
	UE20	3	1	100	29,90	19,93			10,54	
	UE21	3	1	98,8	30,30	20,20			10,02	
T8	UE22	3	2	99,4	32,40	21,60	20,96	0,67	11,37	11,46
	UE23	3	2	100,4	30,40	20,27			11,48	
	UE24	3	2	100,5	31,50	21,00			11,52	
T9	UE25	3	3	99,5	31,50	21,00	21,08	0,82	11,05	10,89
	UE26	3	3	98,5	32,90	21,93			10,42	
	UE27	3	3	99,1	30,45	20,30			11,21	

Fuente: Propia (2024).

Según los resultados se determinó que el tratamiento más efectivo para la obtención del almidón de semilla de aguacate fue el T3, que incluía las (UE7, UE8, UE9), con un porcentaje de rendimiento de 22,51%, es decir pesos de hasta 35,30g de almidón en relación con los 150g de pepa inicialmente usados. Estos valores fueron muy similares a los obtenidos en otros autores como Martins et al. (2022) y Rafaela Alves Silva et al. (2013), quienes obtuvieron 19,54% y 20,1% respectivamente. Además, se observó que este tratamiento presentó un 10,58% de humedad promedio coincidiendo con estudios previos que como el de Martins et al. (2022) y Rengsutthi & Charoenrein (2011).

4.1.2. Temperatura de gelatinización

Con los datos presentados en la tabla 4-2, se determinó que el almidón generado a partir de la semilla de aguacate presenta temperaturas de gelatinización de alrededor de 80 ºC en el caso del almidón nativo y de 78 ºC, en el caso del modificado. Es importante mencionar que esto depende del tipo de materia prima que se use en un estudio (Musa et al., 2005).

Tabla 4-2. Temperatura de gelatinización del almidón nativo y modificado.

Réplicas	**Temperatura de gelatinización del almidón (ºC)**	
	Nativo	**Modificado**
1	80,00	77,00
2	79,00	78,00
3	80,00	77,00
Promedio	**79,67**	**77,33**

Fuente: Propia (2024).

4.1.3. pH

En el caso del pH, considerado un parámetro físico-químico representativo para la obtención del almidón se determinó que en caso de almidón nativo se tiene un pH promedio de 6,71 y en el caso del modificado un pH de 6,93. En ambos casos se evidenció que se encuentra en un rango ácido, los resultados se proponen en la tabla 4-3.

Tabla 4-3. pH del almidón nativo y modificado.

Réplicas	pH del almidón	
	Nativo	**Modificado**
1	6,71	6,93
2	6,70	6,92
3	6,72	6,94
Promedio	**6,71**	**6,93**

Fuente: Propia (2024).

4.1.4. Densidad

Los almidones obtenidos presentaron densidades de 539,33 y 566 g/L, en el caso del almidón nativo y modificado, respectivamente. Los valores pueden depender de la naturaleza del almidón e inclusive su método de obtención (Herrera, 2015). Los resultados se presentan en la Tabla 4-4..

Tabla 4-4. Densidad del almidón nativo y modificado.

Réplicas	Densidad del almidón (g/L)	
	Nativo	**Modificado**
1	535,00	567,00
2	538,00	563,00
3	545,00	568,00
Promedio	**539,33**	**566,00**

Fuente: Propia (2024).

4.1.5. Parámetros bromatológicos.

Los análisis bromatológicos del almidón nativo y modificado fueron generados en dos etapas, la primera en el Laboratorio de química Instrumental de la ESPOCH y, un segundo grupo de análisis se realizó en el Laboratorio de Servicios de Análisis e Investigación en Alimentos del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Los resultados obtenidos se detallan en la Tabla 4-5.

Tabla 4-5. Parámetros bromatológicos del almidón nativo y modificado.

Parámetro	Unidad	Tipo de almidón		Límites	Método
		Nativo	Modificado		
Humedad IR	%	10,97	11,02	10 - 13 %	Tulcán, 2020
pH	-	6,71	6,93	5 - 7	NTE INEN 1456, 1986
Temperatura de gelatinización	º C	79,67	77,33	58,5 - 80 ºC	Granados et al., (2014)
Densidad	g/L	539,33	566	Máx. 1560 g/L	Granados et al., (2014)
INIAP					
Humedad	**%**	10,64	10,75	10 - 13 %	U. FLORIDA 1970
Cenizas		0,11	0,61	≤ 0,12 %	
Extracto Etéreo		1,44	1,27	-	
Proteína		3,93	4,03	8,8 ± 1	
Fibra		0,57	0,63	12 ± 1,30	
Amilosa		27,57	29,51	25 - 30 %	Marrison y Laignelet 1983
Amilopectina		72,44	70,49	70 - 75 %	

Fuente: INIAP, (2024).

La tabla 4-5 presenta los resultados de los análisis bromatológicos de las muestras de almidón nativo y almidón modificado. Si comparamos los resultados obtenidos con otras investigaciones como la de Navarrete et al. (2023), evidenciamos mayor coincidencia en los valores del almidón acetilado (modificado) para los porcentajes de amilosa y amilopectina, mientras que, al comparar los resultados con relación al almidón nativo, tuvo ligeras, pero no muy significativas variaciones pues los autores reportaron para amilosa 22,54%, amilopectina 77,66% y en este estudio se obtuvieron 27,57% y 72,44% respectivamente. Referente a estas propiedades también se comparó los resultados con los presentados por (Builders et al., 2010), quienes encontraron valores de amilosa

32,50% y amilopectina 67,50%, siendo similares a los obtenidos en el caso del presente estudio.

En el caso de la humedad para el almidón nativo se obtuvo 10,97% y 11,02% para el almidón modificado, siendo similares y coincidiendo con los valores reportados por (Navarrete et al., 2023). Al hablar del porcentaje de cenizas se obtuvo 0,11% para el almidón nativo y 0,61% para el almidón modificado, sin embargo, los valores variaron con los resultados reportados por Martins et al. (2022), pues obtuvieron 0,33%. Si comparamos estos resultados con los reportados por (Rengsutthi & Charoenrein, 2011) se verifica una ligera similitud con el valor de 0,08% obtenido para el almidón de maíz, mientras que difiere con el 0,27% encontrado para el almidón de papa, sin embargo, se podría decir que la diferencia no es tan representativa.

4.1.6. Espectroscopia FT-IR del Almidón

Las muestras de almidón obtenidas durante el proceso de extracción se sometieron a proceso de caracterización a través de Espectroscopia FT-IR, se tomó una muestra de almidón nativo y otra de almidón acetilado (modificado). Los espectros obtenidos se muestran en la Figura (4-1), donde la parte superior presenta el espectro del almidón acetilado o modificado y el inferior el almidón nativo. Los resultados se compararon con los presentados por otros autores, se determinó la presencia de carbohidratos en ambas muestras, con su pico a los 1010,52cm^{-1} con intensidad notable, entre 1150 y 1750 está la zona de las Amidas I, II y III, de forma específica el pico a 1650,77cm^{-1} en el almidón modificado representaría fracciones proteicas propias del almidón de aguacate como la β-sheet y, a los 1635,34cm^{-1} en el almidón nativo estarían estructuras proteicas de α-helix (Rivera–González et al., 2019).

Por otro lado, De dios-Avila et al. (2022), mencionó que la zona a 1047 cm^{-1}, determina la presencia de zonas cristalinas (amilopectina), amorfas (amilosa) y moléculas asociadas al agua, respectivamente. Por su parte, Arrieta et al. (2018), mencionó que la banda de 3266 cm^{-1} está asociada con las vibraciones de C-H, de manera puntual se pueden relacionar con los grupos hidroxilos libres y uniones inter e intramolecularmente.

La presencia de ácido acético en la muestra del almidón modificado se puede asociar al estiramiento leve que se tiene en la banda de 1254.80 cm^{-1}, debido principalmente al estiramiento del enlace C-O, característico de los grupos acetilo, sin embargo, debido a la naturaleza de la semilla de aguacate y estiramiento es leve y no tan pronunciado como lo presentan otros autores. Esto se puedo confirmar con lo determinado por algunos autores que han trabajado con otros tipos de almidones acetilados (Cuenca et al., 2020; Molina et al., 2019; Prieto-Méndez et al., 2010).

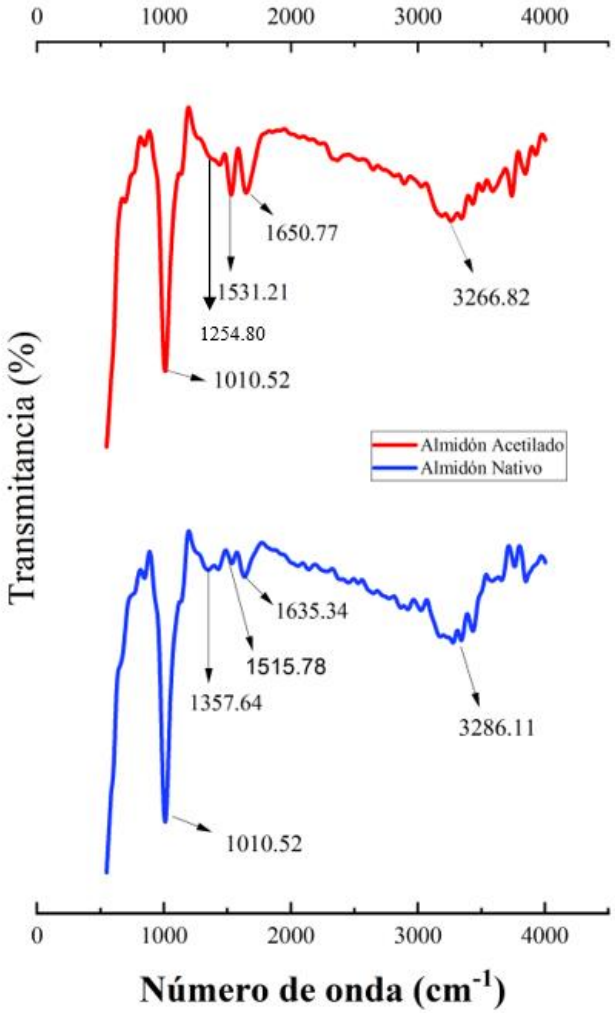


Figura 4-1. Espectro FT-IR de almidón acetilado y nativo

Fuente: Propia (2024).

4.2. Obtención y caracterización de bioplástico

Siguiendo el diseño presentado en la sección 3.9, se obtuvieron diferentes muestras de bioplástico, de los cuales algunos detalles relevantes se presentan en la tabla 4-6. En esta tabla se evidencia que las muestras generadas con Sorbitol como plastificante permitieron valorar características propias de los bioplásticos como espesor, peso, humedad y rendimiento, mientras que los que utilizaron glicerol no lograron concretar la formación de bioplástico en ninguna de las formulaciones propuestas.

De forma general podemos decir que las muestras del T1, T2, T5 y T6 lograron plastificar, pero a su vez tuvieron algunas particularidades. Las muestras correspondientes a T1 presentaron fisuras, en el T2 no presentaron fisuras, T5 generaron fisuras pequeñas y finalmente T6 durante el proceso de secado desarrolló fisuras. En todos los casos las muestras se secaron a 39 °C durante 24 horas (Anexo G)

Tabla 4-6. Resultados del bioplástico obtenido en las diferentes formulaciones.

Tipo de almidón	Peso del almidón (g)	Agua (mL)	Plastificante (5 mL)	Tratamientos	Réplicas	Espesor (mm)	Peso final (W final) (g)	Rendimiento (%)	Humedad (%)
Modificado	5	20	Sorbitol	T 1	1	0,69	9,2	29,39	7,9
		20			2	0,72	8,9	28,43	7,43
		20			3	0,58	9,1	29,07	7,71
		25		T 2	1	0,62	8	25,56	8,1
		25			2	0,49	8,2	26,20	8,14
		25			3	0,56	7,9	25,24	7,79
		20	Glicerol	T3	1	N/A	N/A	N/A	N/A
		20			2	N/A	N/A	N/A	N/A
		20			3	N/A	N/A	N/A	N/A
		25		T 4	1	N/A	N/A	N/A	N/A
		25			2	N/A	N/A	N/A	N/A
		25			3	N/A	N/A	N/A	N/A

Nativo		20	Sorbitol	T 5	13	0,36	8,6	27,48	8,1
		20			2	0,4	8,8	28,12	8,01
		20			3	0,31	8,9	28,43	7,96
		25		T 6	1	0,56	8,4	26,84	8,24
		25			2	0,53	8,7	27,80	7,35
		25			3	0,43	8,8	28,12	7,98
		20	Glicerol	T 7	1	N/A	N/A	N/A	N/A
		20			2	N/A	N/A	N/A	N/A
		20			3	N/A	N/A	N/A	N/A
		25		T 8	1	N/A	N/A	N/A	N/A
		25			2	N/A	N/A	N/A	N/A
		25			3	N/A	N/A	N/A	N/A

Fuente: Propia (2024)

Dentro de los resultados presentados en la tabla 4-6 podemos evidenciar que el espesor y el peso del bioplástico obtenido difiere considerablemente con los resultados reportados por autores como Calo, (2022) y Cuenca (2022), en donde se obtuvieron espesores que oscilaron entre 0,10 y 0,21 mm y pesos entre 0,13 y 0,38 g. En este caso se determinó que esta variación se debería también a que las investigaciones citadas buscaron generar plásticos finos para recubrimiento de alimentos y en el presente estudio las aplicaciones podrían ser variadas. En este caso se logró un rendimiento de hasta 29,39% mientras que en la investigación lograron en el mejor de los casos 19,39% (Calo, 2022). Los pesos obtenidos se establecen entre 7,9 y 9 g en las muestras obtenidas.

4.2.1. Pruebas mecánicas

Una vez obtenido el bioplástico, se identificaron los dos mejores tratamientos, es decir los que permitieron obtener bioplástico con las mejores características. Estos tratamientos fueron el T2 y el T5, de estos el T2 se plastificó de manera adecuada, no presentó fisuras y se secó a 39 °C por 24 horas. Por su parte T5, también se plastificó de manera adecuada, se observaron fisuras pequeñas y se procedió a secar a 39 °C por 24 horas.

Tabla 4-7. Propiedades mecánicas de los mejores tratamientos del bioplástico.

Almidón	Tratamiento	Carga máxima (N)	Máximo desplazamiento (mm)	Máximo esfuerzo (Mpa)	Máxima deformación (%)	Rotura carga (N)
Nativo	T 2.1	1,5975	5,48467	1,065	13,3772	0,5275
	T 2.2	2,3925	6,28567	1,58444	17,7061	0,5325
	T 2.3	2,740	11,172	1,70186	29,634	0,535
	T 2.4	2,525	8,60567	1,57813	19,2091	0,59
	T 2.5	3,075	9,1305	1,83036	22,2153	1,1825
Modificado	T 5.1	16,155	10,0703	10,6283	12,8038	1,94
	T 5.2	15,615	8,48533	9,40663	11,1604	0,63
	T 5.3	12,590	9,3705	9,6087	10,2354	0,8375
	T 5.4	13,722	8,47233	10,3412	10,9348	1,215
	T 5.5	12,215	9,26933	9,41083	11,1181	0,5475

Fuente: Laboratorio de análisis instrumental, Facultad de Ciencias, ESPOCH, (2024).

Realizado por: Morales, L. (2024)

Los datos reportados en la tabla 4-7 determinó valores de esfuerzo máximo de 1,83Mpa y 10,34MPa para el bioplástico generado a partir de almidón nativo y modificado respectivamente. Si comparamos estos valores con otros resultados vemos que Calo (2022) obtuvo 7.20Mpa difiriendo notablemente con el primer resultado y mostrando mayor similitud con el valor del almidón modificado, pudiendo asociarse esta diferencia a condiciones como el espesor y las características originales del almidón. Al hablar de los resultados para carga máxima, se obtuvieron valores de 3,07 N y 16,155N para bioplástico nativo y modificado respectivamente, y con estos valores podemos determinar que el primero presenta cierto nivel de similitud con los datos de bioplástico obtenido a partir de almidón de cebada cuyos valores oscilaron entre 1,21 y 6,95, sin embargo, difieren significativamente con los del bioplástico modificado (Cuenca, 2022).

Los demás resultados como la máxima deformación determinaron valores máximos de 12,80% para bioplástico modificado y 29,63% para bioplástico nativo, en el caso de máximo desplazamiento los valores en general oscilaron entre los 5,48 y 11,7 mm para bioplástico nativo y modificado respectivamente. Finalmente la rotura de carga presentó valor máximo de 0,52 y mínimo de 1,94 en las muestras analizadas, lo cual se relacionó

con la fuerza máxima que el bioplástico soportaría. Este rango indica la variabilidad en la resistencia del material, lo que podría relacionarse directamente por factores como la composición, su estructura molecular, además se podría mencionar también el proceso de fabricación, entre otros (Lomartire et al., 2023).

4.2.2. Espectroscopia FR-IT del bioplástico.

Dentro del proceso de obtención de bioplástico se seleccionaron dos muestras que presentaron las mejores características, la primera se originó a partir de almidón nativo y la otra a partir de almidón modificado. Ambas muestras se analizaron en el Laboratorio de Química Instrumental Facultad de Ciencias ESPOCH, a través de espectroscopia FT-IR, para obtener información sobre su composición química (Figura 4-2).

a) b)

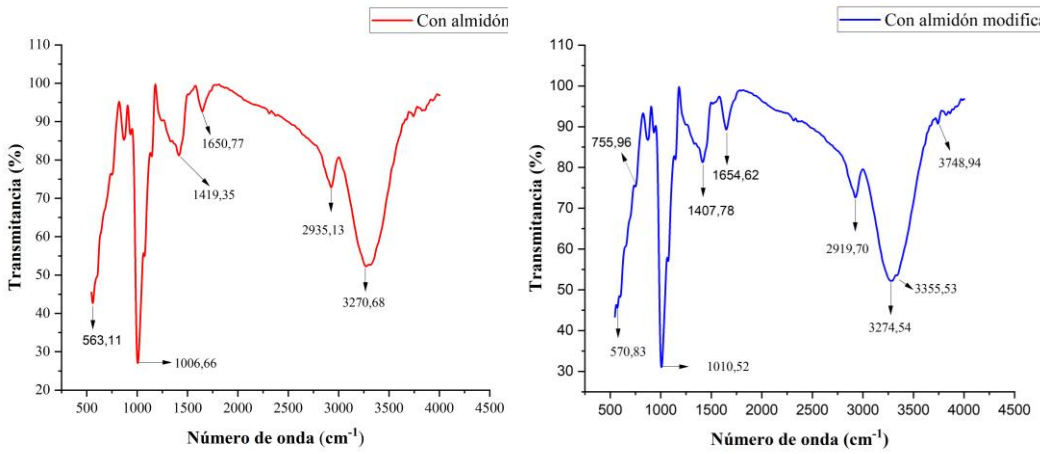


Figura 4-2. Espectro infrarrojo (FTIR) de bioplástico a) nativo b) modificado.
Fuente: Propia (2024).

La Figura 4-2, muestra los resultados obtenidos en el análisis de espectroscopia FT-IR, donde podemos evidenciar las bandas entre 3270 y 3355 cm^{-1} en ambas muestras, lo cual se debe a las vibraciones de C-H, de manera puntual se puede relacionar con los grupos hidroxilos libres y uniones inter e intramoleculares, lo cual llega a ser característica del almidón que se tomó como materia prima (Arrieta et al., 2018). Además, la presencia de

la banda en 3700 cm^{-1} se puede asociar a las vibraciones producidas por la presencia de grupos acetilo en el almidón, lo cual produce un efecto estérico a las vibraciones por flexión (Prieto-Méndez et al., 2010). Las muestras generadas presentaron bandas alrededor de los 1400cm^{-1}, lo cual se puede asociar a las vibraciones simétricas de los grupos CH, además de las vibraciones de estiramiento del enlace C–O (Molina et al., 2019). El resto de las bandas mantuvieron rangos similares a los reportados en los espectros del almidón de semilla de aguacate nativo y modificado.

4.3 Análisis Estadístico

4.3.1 Análisis del rendimiento en la extracción del almidón

Los resultados de la prueba de homogeneidad de varianzas mostrada en la tabla 4-8, indican que no existe evidencia significativa para rechazar la hipótesis nula de que las varianzas de cada variable son iguales. Los niveles de significancia (valores de p) para las pruebas de Levene individuales fueron superiores al nivel de significancia habitual de 0,05. Entonces, los resultados indican que no hay evidencia para concluir que las varianzas de las variables medidas son diferentes entre los tratamientos analizados. Esto garantiza la validez del posterior análisis de varianza (ANOVA).

Tabla 4-8. Homogeneidad de varianzas entre variables para extracción de almidón

	Estadístico de Levene	df1	df2	Sign.
Peso Almidón	1.19	8	18	.358
% Rendimiento	1.34	8	18	.287

Fuente: Propia (2024).

Los resultados del ANOVA que se observan en la tabla 4-9, indican que hay diferencias significativas entre los tratamientos comparados en cada variable medida (Peso Almidón y % Rendimiento). Para el peso del almidón, la suma de cuadrados de 52.78, revela que hay una cantidad significativa de variabilidad explicada por las diferencias entre los

tratamientos. A su vez, al tener un valor F de 5.46, y un valor p de 0.001, existe variación estadísticamente significativa entre tratamientos.

Para el porcentaje de rendimiento, la suma de cuadrados entre tratamientos es 17.22, indicando que también hubo una cantidad significativa de variabilidad entre éstos. Además, el valor de F de 4.99, y el valor p de 0.002, sugieren una variación estadísticamente significativa. El análisis muestra que hay al menos un tratamiento que tiene un peso de almidón y un porcentaje de rendimiento, significativamente diferente de los demás tratamientos.

Tabla 4-9. ANOVA del peso y porcentaje de rendimiento - extracción del almidón

		Suma de Cuadrados	df	Cuadrado medio	F	Sign.
Peso Almidón	Entre Grupos	52.78	8	6.60	5.46	.001
	Intra Grupos	21.77	18	1.21		
	Total	74.54	26			
% Rendimiento	Entre Grupos	17.22	8	2.15	4.99	.002
	Intra Grupos	7.76	18	.43		
	Total	24.98	26			

Fuente: Propia (2024).

Para determinar el o los tratamientos que presentan diferencia significativa con los demás, se realizó una prueba de múltiples comparaciones, estableciendo así, con qué tratamientos se trabajaría para la obtención del bioplástico.

Tabla 4-10. Múltiples comparaciones entre tratamientos para la obtención del almidón, basados en el porcentaje (%) de rendimiento.

			Diferencia Media (i - J)	Error Estándar-	Sign.	Intervalo de Confianza del 95%	
	(I) Family	(J) Familia				Límite Inferior	Límite Superior
Tukey HSD	Tratamiento 1	Tratamiento 2	-1.38	.54	.263	-3.26	.50
		Tratamiento 3	-3.00	.54	.001	-4.88	-1.12
		Tratamiento 4	-1.69	.54	.097	-3.57	.19
		Tratamiento 5	-1.58	.54	.140	-3.46	.30
		Tratamiento 6	-2.16	.54	.017	-4.04	-.28
		Tratamiento 7	-.65	.54	.945	-2.53	1.23
		Tratamiento 8	-1.45	.54	.213	-3.33	.43
		Tratamiento 9	-1.57	.54	.146	-3.45	.31
	Tratamiento 2	Tratamiento 1	1.38	.54	.263	-.50	3.26
		Tratamiento 3	-1.62	.54	.123	-3.50	.26
		Tratamiento 4	-.31	.54	.999	-2.19	1.57
		Tratamiento 5	-.20	.54	1.000	-2.08	1.68
		Tratamiento 6	-.78	.54	.862	-2.66	1.10
		Tratamiento 7	.73	.54	.896	-1.15	2.61
		Tratamiento 8	-.07	.54	1.000	-1.95	1.81
		Tratamiento 9	-.19	.54	1.000	-2.07	1.69
	Tratamiento 3	Tratamiento 1	3.00	.54	.001	1.12	4.88
		Tratamiento 2	1.62	.54	.123	-.26	3.50
		Tratamiento 4	1.31	.54	.320	-.57	3.19
		Tratamiento 5	1.42	.54	.234	-.46	3.30
		Tratamiento 6	.84	.54	.807	-1.04	2.72
		Tratamiento 7	2.36	.54	.008	.48	4.24
		Tratamiento 8	1.55	.54	.154	-.33	3.43
		Tratamiento 9	1.43	.54	.224	-.45	3.31
	Tratamiento 4	Tratamiento 1	1.69	.54	.097	-.19	3.57
		Tratamiento 2	.31	.54	.999	-1.57	2.19
		Tratamiento 3	-1.31	.54	.320	-3.19	.57
		Tratamiento 5	.11	.54	1.000	-1.77	1.99
		Tratamiento 6	-.47	.54	.992	-2.35	1.41
		Tratamiento 7	1.05	.54	.591	-.83	2.93
		Tratamiento 8	.24	.54	1.000	-1.64	2.12
		Tratamiento 9	.12	.54	1.000	-1.76	2.00
	Tratamiento 5	Tratamiento 1	1.58	.54	.140	-.30	3.46
		Tratamiento 2	.20	.54	1.000	-1.68	2.08
		Tratamiento 3	-1.42	.54	.234	-3.30	.46
		Tratamiento 4	-.11	.54	1.000	-1.99	1.77
		Tratamiento 6	-.58	.54	.971	-2.46	1.30
		Tratamiento 7	.94	.54	.713	-.94	2.82
		Tratamiento 8	.13	.54	1.000	-1.75	2.01
		Tratamiento 9	.01	.54	1.000	-1.87	1.89
	Tratamiento 6	Tratamiento 1	2.16	.54	.017	.28	4.04
		Tratamiento 2	.78	.54	.862	-1.10	2.66
		Tratamiento 3	-.84	.54	.807	-2.72	1.04
		Tratamiento 4	.47	.54	.992	-1.41	2.35
		Tratamiento 5	.58	.54	.971	-1.30	2.46
		Tratamiento 7	1.51	.54	.175	-.37	3.39
		Tratamiento 8	.71	.54	.911	-1.17	2.59
		Tratamiento 9	.59	.54	.967	-1.29	2.47
	Tratamiento 7	Tratamiento 1	.65	.54	.945	-1.23	2.53
		Tratamiento 2	-.73	.54	.896	-2.61	1.15
		Tratamiento 3	-2.36	.54	.008	-4.24	-.48
		Tratamiento 4	-1.05	.54	.591	-2.93	.83
		Tratamiento 5	-.94	.54	.713	-2.82	.94
		Tratamiento 6	-1.51	.54	.175	-3.39	.37
		Tratamiento 8	-.80	.54	.843	-2.68	1.08
		Tratamiento 9	-.92	.54	.727	-2.80	.96
	Tratamiento 8	Tratamiento 1	1.45	.54	.213	-.43	3.33
		Tratamiento 2	.07	.54	1.000	-1.81	1.95
		Tratamiento 3	-1.55	.54	.154	-3.43	.33
		Tratamiento 4	-.24	.54	1.000	-2.12	1.64
		Tratamiento 5	-.13	.54	1.000	-2.01	1.75
		Tratamiento 6	-.71	.54	.911	-2.59	1.17
		Tratamiento 7	.80	.54	.843	-1.08	2.68
		Tratamiento 9	-.12	.54	1.000	-2.00	1.76
	Tratamiento 9	Tratamiento 1	1.57	.54	.146	-.31	3.45
		Tratamiento 2	.19	.54	1.000	-1.69	2.07
		Tratamiento 3	-1.43	.54	.224	-3.31	.45
		Tratamiento 4	-.12	.54	1.000	-2.00	1.76
		Tratamiento 5	-.01	.54	1.000	-1.89	1.87
		Tratamiento 6	-.59	.54	.967	-2.47	1.29
		Tratamiento 7	.92	.54	.727	-.96	2.80
		Tratamiento 8	.12	.54	1.000	-1.76	2.00

Fuente: Propia (2024).

En el análisis de las comparaciones de los tratamientos basado en el rendimiento de almidón (Ver tabla 4-10), se observó que existen tratamientos que muestran diferencias significativas positivas en comparación con otros, pudiendo ser los seleccionados para la elaboración del bioplástico. Los tratamientos 8 y 9 no presentan diferencias significativas con el resto de los tratamientos por lo que pueden ser los óptimos para el proceso de obtención del almidón; sin embargo, considerando el mayor porcentaje de rendimiento (22.51) y el menor tiempo de sumersión (1 hora) y agitación (3 horas), el mejor tratamiento es el 3.

4.3.2 Análisis del rendimiento en la obtención y características del bioplástico

Los resultados indicados en la Tabla 4-11 sobre la homogeneidad de varianzas, realizada mediante la prueba de Levene, indican que no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula de homogeneidad de varianzas en las tres variables analizadas: espesor del bioplástico, peso final del bioplástico y porcentaje de rendimiento.

La prueba muestra que no existen diferencias significativas en la variabilidad entre los tratamientos para ninguna de las características medidas del bioplástico resultante, ya que los valores de p son mayores que 0,05. Esto indica que la dispersión de los datos es relativamente consistente entre los tratamientos, lo que permite el posterior análisis de varianza basado en estas características.

Tabla 4-11. Homogeneidad de varianzas entre variables en la obtención del bioplástico

	Estadístico de Levene	df1	df2	Sign.
Espesor bioplástico	.40	3	8	.754
Peso final bioplástico	.28	3	8	.841
% Rendimiento	.28	3	8	.838

Fuente: Propia (2024).

La Tabla 4-12, revela que existen diferencias significativas entre los tratamientos en todas las variables medidas. Los valores F del espesor y peso final del bioplástico, y del porcentaje de rendimiento en la obtención, así como los p-valor de 0.003, 0.000 y 0.000, respectivamente, indicaron que la diferencia entre los grupos es estadísticamente significativa. Estos resultados demuestran que al menos uno de los tratamientos difiere significativamente de los otros. Por lo tanto, fue necesario realizar pruebas de comparaciones múltiples para determinar qué grupos difieren entre sí y en qué medida.

Tabla 4-12. ANOVA de las características del bioplástico y del rendimiento en la obtención

		Suma de Cuadrados	df	Cuadrado medio	F	Sign.
Espesor bioplástico	Entre Grupos	.15	3	.05	11.94	.003
	Intra Grupos	.03	8	.00		
	Total	.18	11			
Peso final bioplástico	Entre Grupos	1.70	3	.57	19.95	.000
	Intra Grupos	.23	8	.03		
	Total	1.92	11			
% Rendimiento	Entre Grupos	17.27	3	5.76	19.92	.000
	Intra Grupos	2.31	8	.29		
	Total	19.58	11			

Fuente: Propia (2024).

Los resultados de las comparaciones múltiples para el espesor del bioplástico (Tabla 4-13) muestran que con un valor p = 0.002, el tratamiento 5 parece producir bioplástico con un espesor significativamente mayor en comparación con el tratamiento 1. Mientras que, un p = 0.021, entre el tratamiento 2 y 5, también reflejó diferencias significativas. Entre los otros tratamientos, la diferencia media no es estadísticamente significativa, lo que afirma que tienen un espesor similar.

Tabla 4-13. Múltiples comparaciones entre tratamientos según el espesor del bioplástico.

			Diferencia Media (i - J)	Error Estándar-	Sign.	Intervalo de Confianza del 95%	
	(I) Family	(J) Familia				Límite Inferior	Límite Superior
Tukey HSD	Tratamiento 1	Tratamiento 2	.11	.05	.249	-.06	.27
		Tratamiento 5	.31	.05	.002	.14	.47
		Tratamiento 6	.16	.05	.066	-.01	.32
	Tratamiento 2	Tratamiento 1	-.11	.05	.249	-.27	.06
		Tratamiento 5	.20	.05	.021	.03	.37
		Tratamiento 6	.05	.05	.776	-.12	.22
	Tratamiento 5	Tratamiento 1	-.31	.05	.002	-.47	-.14
		Tratamiento 2	-.20	.05	.021	-.37	-.03
		Tratamiento 6	-.15	.05	.079	-.32	.02
	Tratamiento 6	Tratamiento 1	-.16	.05	.066	-.32	.01
		Tratamiento 2	-.05	.05	.776	-.22	.12
		Tratamiento 5	.15	.05	.079	-.02	.32

Fuente: Propia (2024).

En la Tabla 4-14, se observa que los tratamientos que presentan diferencias significativas en el peso final del bioplástico son: el tratamiento 2 en comparación con el tratamiento 1, con un p valor de 0.000; el tratamiento 2 con el 5, con un p valor de 0.003; y, el tratamiento 6 con el tratamiento 2, con un p valor de 0.010. Estos resultados demuestran que la obtención de bioplástico con el uso del almidón modificado, 25 mL de agua y sorbitol como plastificante, permiten generar un material más ligero.

Tabla 4-14. Múltiples comparaciones entre tratamientos según el peso del bioplástico.

			Diferencia Media (i - J)	Error Estándar-	Sign.	Intervalo de Confianza del 95%	
	(I) Family	(J) Familia				Límite Inferior	Límite Superior
Tukey HSD	Tratamiento 1	Tratamiento 2	1.03	.14	.000	.59	1.47
		Tratamiento 5	.30	.14	.208	-.14	.74
		Tratamiento 6	.43	.14	.054	-.01	.87
	Tratamiento 2	Tratamiento 1	-1.03	.14	.000	-1.47	-.59
		Tratamiento 5	-.73	.14	.003	-1.17	-.29
		Tratamiento 6	-.60	.14	.010	-1.04	-.16
	Tratamiento 5	Tratamiento 1	-.30	.14	.208	-.74	.14
		Tratamiento 2	.73	.14	.003	.29	1.17
		Tratamiento 6	.13	.14	.770	-.31	.57
	Tratamiento 6	Tratamiento 1	-.43	.14	.054	-.87	.01
		Tratamiento 2	.60	.14	.010	.16	1.04
		Tratamiento 5	-.13	.14	.770	-.57	.31

Fuente: Propia (2024).

Los resultados mostrados en la Tabla 4-15, reflejó que los tratamientos que presentan diferencias significativas en el rendimiento de la obtención del bioplástico son, el

tratamiento 2 respecto al tratamiento 1, 5, y 6, con valores de p igual a 0.000, 0.003 y 0.010, respectivamente. Entonces, a pesar de que obtener un bioplástico más liviano con el tratamiento 2, el rendimiento para su obtención difiere estadísticamente en comparación de los otros tratamientos aplicados.

Tabla 4-15. Múltiples comparaciones entre tratamientos según el % de rendimiento en la obtención del bioplástico.

			Diferencia Media (i - J)	Error Estándar-	Sign.	Intervalo de Confianza del 95%	
	(I) Family	(J) Familia				Límite Inferior	Límite Superior
Tukey HSD	Tratamiento 1	Tratamiento 2	3.30	.44	.000	1.89	4.70
		Tratamiento 5	.95	.44	.211	-.45	2.36
		Tratamiento 6	1.38	.44	.055	-.03	2.78
	Tratamiento 2	Tratamiento 1	-3.30	.44	.000	-4.70	-1.89
		Tratamiento 5	-2.34	.44	.003	-3.75	-.94
		Tratamiento 6	-1.92	.44	.010	-3.33	-.51
	Tratamiento 5	Tratamiento 1	-.95	.44	.211	-2.36	.45
		Tratamiento 2	2.34	.44	.003	.94	3.75
		Tratamiento 6	.42	.44	.773	-.98	1.83
	Tratamiento 6	Tratamiento 1	-1.38	.44	.055	-2.78	.03
		Tratamiento 2	1.92	.44	.010	.51	3.33
		Tratamiento 5	-.42	.44	.773	-1.83	.98

Fuente: Propia (2024).

4.4 Biodegradabilidad

La tabla 4-8 muestra los datos obtenidos del análisis de biodegradabilidad de los bioplásticos generados a partir del diseño propuesto. Se pudo determinar que el ensayo realizado tanto para el bioplástico producido con almidón nativo y con el modificado presentó adecuados niveles de biodegradación en agua entre el día 20 y 30. Esto coincidió con el estudio de (Lavagnolo et al., 2024), quienes analizaron procesos de biodegradabilidad en diferentes medios acuáticos y determinaron que en su mayoría la biodegradabilidad se da en intervalos de entre 20 y 40 días. Además, se determinó que los bioplásticos a base de almidón llegan a ser los más biodegradables del grupo de base biológica parcial, sin embargo, se podría considerar que no existe homogeneidad en las pruebas (Folino et al., 2020).

En el caso del estudio de biodegradabilidad en tierra se logró porcentajes entre el 45 y 55% en los 30 días, coincidiendo con los resultados propuestos por (Dalal et al., 2023), quienes encontraron el 46,51% del bioplástico se biodegradó el día 30 y la biodegradación total se alcanzó el día 45, con ello podríamos decir que posiblemente nuestra muestra podría biodegradarse en mayor tiempo, siendo una opción ambientalmente amigable. Finamente, los resultados a nivel de aire no superan el 4% de material biodegradado, con lo cual se podría establecer que las muestras producidas deberían ser tratadas si se desea generar su biodegradación pues en condiciones ambientales comunes esto no se lograría (Zaborowska et al., 2023). En la actualidad es importante saber hacer frente a problemas relacionados con plástico y con ello aplicar métodos específicos que permitan reducirlos del ambiente (Folino et al., 2023).

Tabla 4-16. Análisis de biodegradabilidad

BIOPLÁSTICO A PARTIR DE ALMIDÓN MODIFICADO															
Medio	**Réplicas**	**Día 0**	**Degradación (%)**	**Día 5**	**Degradación (%)**	**Día 10**	**Degradación (%)**	**Día 15**	**Degradación (%)**	**Día 20**	**Degradación (%)**	**Día 25**	**Degradación (%)**	**Día 30**	**Degradación (%)**
		Peso (g)	**(%)**	**Peso (g)**	**(%)**	**Peso (g)**	**(%)**	**Peso (g)**	**(%)**	**Peso (g)**	**(%)**	**Peso (g)**	**(%)**	**Peso (g)**	**(%)**
Aire	**R 1**	0,233	0	0,231	0,86	0,229	1,72	0,228	2,15	0,227	2,575	0,226	3,004	0,225	3,433
	R 2	0,11	0	0,109	0,91	0,108	1,82	0,108	1,82	0,107	2,727	0,106	3,636	0,105	4,545
	R 3	0,111	0	0,11	0,90	0,109	1,80	0,109	1,80	0,108	2,703	0,107	3,604	0,107	3,604
Tierra	**R 1**	0,245	0	0,219	10,61	0,156	36,33	0,132	46,12	0,128	47,755	0,118	51,837	0,111	54,694
	R 2	0,25	0	0,214	14,40	0,149	40,40	0,134	46,40	0,129	48,400	0,119	52,400	0,108	56,800
	R 3	0,212	0	0,191	9,91	0,129	39,15	0,112	47,17	0,11	48,113	0,101	52,358	0,095	55,189
Agua	**R 1**	0,328	0	0,254	22,56	0,151	53,96	0,107	67,38	Se evidencia la desintegración del bioplástico en el agua, a pesar de que aún existe bioplástico no se puede cuantificar.					
	R 2	0,249	0	0,191	23,29	0,108	56,63	0,078	68,67						
	R 3	0,261	0	0,21	19,54	0,102	60,92	0,08	69,35						
BIOPLÁSTICO A PARTIR DE ALMIDÓN NATIVO															
Aire	**R 1**	0,248	0	0,248	0,00	0,247	0,40	0,247	0,40	0,246	0,806	0,246	0,806	0,245	1,210
	R 2	0,36	0	0,36	0,00	0,359	0,28	0,358	0,56	0,358	0,556	0,357	0,833	0,356	1,111
	R 3	0,247	0	0,246	0,40	0,245	0,81	0,244	1,21	0,243	1,619	0,242	2,024	0,242	2,024
Tierra	**R 1**	0,309	0	0,307	0,65	0,188	39,16	0,178	42,39	0,17	44,984	0,168	45,631	0,161	47,896
	R 2	0,228	0	0,218	4,39	0,142	37,72	0,132	42,11	0,128	43,860	0,125	45,175	0,121	46,930
	R 3	0,237	0	0,209	11,81	0,145	38,82	0,138	41,77	0,135	43,038	0,131	44,726	0,128	45,992
Agua	**R 1**	0,303	0	0,254	16,17	0,219	27,72	0,119	60,73	Se evidencia la desintegración del bioplástico en el agua, a pesar de que aún existe bioplástico no se puede cuantificar.					
	R 2	0,411	0	0,345	16,06	0,299	27,25	0,145	64,72						
	R 3	0,343	0	0,285	16,91	0,248	27,70	0,149	56,56						

Fuente. Propia, (2024)

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, BIBLIOGRAFÍA, ANEXOS.

5.1. Conclusiones

Se consideró semilla de aguacate (Persea americana Mill) producido en el Ecuador, a partir de la cual se sintetizó almidón, el mismo que presentó rendimiento de hasta el 22,51%. El almidón obtenido fue caracterizado y comparado con los resultados propuestos por otros autores, con lo cual se determinó que se tuvo almidón dentro de los estándares para este tipo de producciones a nivel de laboratorio.

Las muestras de almidón generadas se trataron como almidón nativo y como almidón modificado (acetilado), las cuales luego de ser sintetizadas procedieron a ser caracterizadas. Para el almidón nativo se determinó densidad promedio de 539,33g/L, 6,71 de pH y temperatura de 79,67 ºC, por su lado el almidón modificado tuvo 566g/L, 6,93 y 77,33 ºC. Además, a partir de ensayos de espectroscopia FT-IR se identificaron grupos funcionales como amidas, grupos proteicos, zonas representativas de amilosa, amilopectina y vibraciones características de las muestras de almidón orgánico.

Aplicando el método casting se elaboró películas de bioplástico a partir de almidón de semilla de aguacate (nativo y modificado). Dichas muestras fueron analizadas y caracterizadas por diferentes técnicas, con lo cual se pudo determinar el valor agregado del producto.

Se obtuvo bioplástico nativo y modificado, los cuales presentaron variación en sus espesores y pesos, obteniendo espesores de 0,10 y 0,21 mm y, pesos entre 0,13 y 0,38g respectivamente. También se determinó el rendimiento de hasta 29,39% siendo un resultado alentador al ser comparado con otros autores.

Dentro de la caracterización se realizaron pruebas mecánicas en las cuales se determinó valores de esfuerzo máximo de 1,83MPa, carga máxima de 3,07N, máxima deformación 29,63%, máximo desplazamiento de 5,48 y rotura de carga de 0,52N para bioplástico nativo, mientras que para bioplástico modificado se tuvieron valores de 10,34MPa, 16,155N y 12,80% y 11,7 mm y 1,94N; con lo cual se podría considerar un plástico suceptible a otros estudios.

En relación con las pruebas de biodegradabilidad se puede decir que las muestras obtenidas de bioplásticos logran ser biodegradables en presencia de agua en tiempos entre 20 y 30 días, considerando suelo se logra alrededor del 50% de degradación en 30 días, pudiendo obtenerse incluso degradación total en tiempos más largos y finalmente, no se lograría degradar en condiciones ambientales normales o presencia únicamente de aire.

El análisis estadístico realizado se determinó que el tratamiento T3 sería el recomendable de replicar para el caso de extracción del almidón, mientras que para el proceso de obtención del bioplástico se deberían considerar los tratamientos T2 y T5.

5.2. Recomendaciones

Se podría realizar mayor cantidad de muestras de biodegradación de los bioplásticos considerando metodologías internacionales que logren ser más precisas en los resultados.

Intentar la reproducibilidad de la técnica con otros elementos podría permitir comparar niveles de rendimiento, estabilidad y características mecánicas de bioplásticos y a su vez, intentar generar muestras más grandes para optar por aplicaciones específicas.

Serán las exposiciones del autor con la finalidad de colaborar con ideas complementarias a la investigación original. Estas serán congruentes con los resultados registrados y conclusiones establecidas en la investigación y que permitan mejorar una problemática superando las limitaciones observadas y complementadas los resultados registrados.

5.3. Bibliografía

AIMPLAS. (2017). *Propiedades de los plásticos*. Plásticos, Aditivos y Composites. https://www.aimplas.es/laboratorio/plasticos-aditivos-composites/propiedades-mecanicas/

Akgül, A., Palmeiro-Sanchez, T., Lange, H., Magalhaes, D., Moore, S., Paiva, A., Kazanç, F., & Trubetskaya, A. (2022). Characterization of tars from recycling of PHA bioplastic and synthetic plastics using fast pyrolysis. *Journal of Hazardous Materials*, *439*, 129696. https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2022.129696

Ali, Z., Abdullah, M., Yasin, M. T., Amanat, K., Ahmad, K., Ahmed, I., Qaisrani, M. M., & Khan, J. (2024). Organic waste-to-bioplastics: Conversion with eco-friendly technologies and approaches for sustainable environment. *Environmental Research*, *244*, 117949. https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2023.117949

Amelia, S. T. W., Adiningsih, S. N., Widiyastuti, W., Nurtono, T., Setyawan, H., Panatarani, C., Praseptiangga, D., Nazir, N., & Syamani, F. A. (2024). Novel cross-linking of toxic-free biopolymers for cellulose-gelatin films from avocado seed waste. *Bioresource Technology Reports*, *25*, 101725. https://doi.org/10.1016/J.BITEB.2023.101725

Arrieta, A., Durango, L., & Arizal, E. (2018). Estudio de las propiedades absorbentes de un biopolímero a base de almidón de yuca (Manihot esculenta Crantz). *Revista Espacios*, *39*(53), 15. https://www.revistaespacios.com/cited2017/cited2017-15.html

Avila, N., Tirado, J. M., Rios, C., Luna, G., Isiordia, N., Zamudio, P. B., Estrada, M. O., & Cambero, O. J. (2022). Physicochemical, Structural, Thermal and Rheological Properties of Flour and Starch Isolated from Avocado Seeds of Landrace and Hass Cultivars. *Molecules*, *27*(3). https://doi.org/10.3390/molecules27030910

Brindis, E. (2002). *Propiedades básicas de los Polímeros*. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/54510569/propiedades-de-los-polimeros-libre.pdf?1506131720=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DPROPIEDADES_BASICAS_DE_LOS_POLIMEROS.pdf&Expires=1711237586&Signature=a9aahMybrz~Z6g0A-VZ7ExpC7pz7jK2yLcEXP4OIQVsFsnRDP2gOGYY7t4ovbHIMHmeJtyr9tENKD

ihOM59POM6DGjVBJuhOcGt4isdNp46gRZ2EqCDYgVWBfU3lgkcH5A-nH8TnKmskiDm4ibigzVGaxQtWygNkThZ4OQ2PYHoXGzTe5bQznorpGUS-oJHFlh5j6pZrJwo0tFoeefF6XLuOHnn~S1hGKf9PWc0AhXydQzdo-M5RbGWvzpUJrq5RVs6jDlHNKdrSiiywjFZ1xeWevy7vLlYPmTuSXjQlVAViS~biYrYNtxD8OEBJBUlbC9Ge2NxWLQnXgELsPVPQag__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

Builders, P. F., Nnurum, A., Mbah, C. C., Attama, A. A., & Manek, R. (2010). The physicochemical and binder properties of starch from Persea americana Miller (Lauraceae). *Starch - Stärke*, *62*(6), 309–320. https://doi.org/10.1002/STAR.200900222

Buteler, M. (2019). *EL PROBLEMA DEL PLÁSTICO ¿Qué es la contaminación por plástico y por Qué nos afecta a todos? 16*(28).

Caisapanta, D. (2022). *Elaboración de un biofilm con el almidón de la mezcla de maíz (Zea mayz L.) de grano blanco y papa chola (Solanum tuberosum L.) para u uso como recubrimiento en alimentos*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Calo, S. (2022). *Desarrollo de un biopolímero a partir de la mezcla de almidón de trigo (Triticum aestivum L) y centeno (Secale cereale) para el uso en el embalaje de alimentos.* Escuela superior Politécnica de Chimborazo.

Crespo, N., Acerbi, F., Sassanelli, C., & Taisch, M. (2022). Bioeconomy and Circular Economy Approaches Need to Enhance the Focus on Biodiversity to Achieve Sustainability. *Sustainability 2022, Vol. 14, Page 10643*, *14*(17), 10643. https://doi.org/10.3390/SU141710643

Cuenca, P., Ramallo, L., & Albani, O. (2020). Películas y materiales compuestos basados en almidón de mandioca acetilado de alto grado de sustitución. *Revista de Ciencia y Tecnología*, *22*(33), 85–93.

Cuenca, R. (2022). *Identificación de las variables de proceso para la síntesis de plástico biodegradable del almidón del arroz de cebada (Hordeum vulgare) para el uso en el embalaje de alimentos*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Dalal, S. R., El-Naggar, N. E. A., & El Naeem, G. A. (2023). Biosynthesis of sustainable biodegradable bioplastics using alginate extracted from Padina pavonica, optimization and characterization. *Algal Research*, *76*, 103325. https://doi.org/10.1016/J.ALGAL.2023.103325

De dios-Avila, N., Tirado-Gallegos, J., Estrada-Virgen, M., Rios-Velasco, C., Luna-Esquivel, G., Zamudio-Flores, P., Isiordia-Aquino, N., & Cambero-Campos, O. (2022). Caracterización estructural y fisicoquímica de almidones de semilla de aguacate modificados mediante hidrólisis ácida a alta temperatura. *Bio Ciencias*, *9*, e1272. https://doi.org/10.15741/revbio.09.e1272

Fan, S., Qi, Y., Shi, L., Giovani, M., Zaki, N. A. A., Guo, S., & Suleria, H. A. R. (2022). Screening of Phenolic Compounds in Rejected Avocado and Determination of Their Antioxidant Potential. *Processes 2022, Vol. 10, Page 1747*, *10*(9), 1747. https://doi.org/10.3390/PR10091747

Felix, M., Perez-Puyana, V., Romero, A., & Guerrero, A. (2017). Production and Characterization of Bioplastics Obtained by Injection Moulding of Various Protein Systems. *Journal of Polymers and the Environment*, *25*(1), 91–100. https://doi.org/10.1007/S10924-016-0790-7

Folino, A., Karageorgiou, A., Calabrò, P. S., & Komilis, D. (2020). Biodegradation of Wasted Bioplastics in Natural and Industrial Environments: A Review. *Sustainability 2020, Vol. 12, Page 6030*, *12*(15), 6030. https://doi.org/10.3390/SU12156030

Folino, A., Pangallo, D., & Calabrò, P. S. (2023). Assessing bioplastics biodegradability by standard and research methods: Current trends and open issues. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, *11*(2), 109424. https://doi.org/10.1016/J.JECE.2023.109424

García, A. (2015). *Obtención de un polímero biodegradable a partir de almidón de maíz.* http://www.redicces.org.sv/jspui/bitstream/10972/2436/4/05%20Obtenci%c3%b3n%20de%20un%20pol%c3%admero%20biodegradable-convertido.pdf

García García, J. (2019). *Sistema de ensayos para la caracterización mecánica de materiales plásticos según la normativa ISO 527.* Universidad de Valladolid.

García, M., & Guisasola, A. (2018). *Introducción a la ciencia de los materiales y sus propiedades (I)*. http://core.materials.ac.uk/

Gbadeyan, O. J., Linganiso, L. Z., & Deenadayalu, N. (2022). *Thermomechanical characterization of bioplastic films produced using a combination of polylactic acid and bionano calcium carbonate*. https://doi.org/10.1038/s41598-022-20004-1

Ghosal, K., & Ghosh, S. (2023). Biodegradable polymers from lignocellulosic biomass and synthetic plastic waste: An emerging alternative for biomedical applications. *Materials Science and Engineering: R: Reports*, *156*, 100761. https://doi.org/10.1016/J.MSER.2023.100761

Gonçalves, D., Gouveia, C. S. S., Ferreira, M. J., Ganança, J. F. T., Pinto, D. C. G., & Pinheiro de Carvalho, M. A. A. (2024). Comparative analysis of antioxidant and fatty acid composition in avocado (Persea americana Mill.) fruits: Exploring regional and commercial varieties. *Food Chemistry*, *442*, 138403. https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2024.138403

Granados, C. C., Enrique Guzman, L. C., Acevedo, D. C., Díaz, M. M., & Herrera, A. A. (2014). Propiedades funcionales del almidón de sagu (Maranta arundinacea). In *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* (Vol. 12, Issue 2). Julio-Diciembre.

Granda, J. J., & Ramos, Y. M. (2019). Estudio de la resistencia a la tracción y deformación de bioplasticos obtenidos a partir de almidón de Solanum Tuberosum a diferentes porcentajes de plastificante. *Universidad Nacional de Trujillo*. https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/2996462

Guan, X., Zhang, J., & Zhao, S. (2024). Design, synthesis and characterization of a starch-based superabsorbent polymer and its impact on autogenous shrinkage of cement paste. *Construction and Building Materials*, *415*, 134986. https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2024.134986

Haddadi, M. H., Asadolahi, R., & Negahdari, B. (2019). The bioextraction of bioplastics with focus on polyhydroxybutyrate: a review. *International Journal of Environmental Science and Technology*, *16*(7), 3935–3948. https://doi.org/10.1007/S13762-019-02352-0/METRICS

Hasan, S. F., Abo Elsoud, M. M., Sidkey, N. M., & Elhateir, M. M. (2024). Production and characterization of polyhydroxybutyrate bioplastic precursor from Parageobacillus toebii using low-cost substrates and its potential antiviral activity. *International Journal of Biological Macromolecules*, *262*, 129915. https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2024.129915

Hermida, É. (2011). Polímeros. In *Colección Materiales y materias primas* (Vol. 1, p. 70). Ministerio de Educación.

Hernández, M., Tocurro, J., Chel, L., & Betancur, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en. *Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas*, *28*(3), 718.

Herrera, M. E. T. (2015). EVALUACIÓN DEL ALMIDÓN DE PAPA COMO FLOCULANTE PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS. *@limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria*, *13*(2), 123–135. https://doi.org/10.24054/16927125.V2.N2.2015.1877

Holguin, J. (2019). *Obtención de un Bioplástico a partir de almidón de papa*. FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA.

Hu, G.-W., Zhao, J.-H., Liu, B., Xiao, N.-L., Wang, H.-D., Zhang, M., Li, Q., Li, P.-Y., & Lai, H.-J. (2024). Preparation of nylon-6 modified cellulose paper for extraction and determination of perfluoroalkyl substances in water. *Industrial Crops and Products*, *212*, 118263. https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2024.118263

Jebali, S., Vayer, M., Belal, K., Mahut, F., & Sinturel, C. (2024). Dip-coating deposition of nanocomposite thin films based on water-soluble polymer and silica nanoparticles. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, *680*, 132688. https://doi.org/10.1016/J.COLSURFA.2023.132688

Jiménez, R., Sandoval-Flores, G., Alvarado-Reyna, S., Alemán-Castillo, S. E., Santiago-Adame, R., & Velázquez, G. (2022). Extraction of starch from Hass avocado seeds for the preparation of biofilms. *Food Science and Technology (Brazil)*, *42*. https://doi.org/10.1590/fst.56820

Juarez-Escobar, J., Guerrero-Analco, J. A., Zamora-Briseño, J. A., Elizalde-Contreras, J. M., Bautista-Valle, M. V., Bojórquez-Velázquez, E., Loyola-Vargas, V. M., Mata-Rosas, M., & Ruíz-May, E. (2021). Tissue-specific proteome characterization of avocado seed during postharvest shelf life. *Journal of Proteomics*, *235*, 104112. https://doi.org/10.1016/J.JPROT.2021.104112

Kanth, S., Malgar Puttaiahgowda, Y., & Kulal, A. (2023). Synthesis, characterization, and antimicrobial activities of a starch-based polymer. *Carbohydrate Research*, *532*, 108900. https://doi.org/10.1016/J.CARRES.2023.108900

Kassab, Z., Aziz, F., Hannache, H., Ben Youcef, H., & El Achaby, M. (2019). Improved mechanical properties of k-carrageenan-based nanocomposite films reinforced with

cellulose nanocrystals. *International Journal of Biological Macromolecules*, *123*, 1248–1256. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.12.030

Krumreich, F. D., Mendonça, C. R. B., Borges, C. D., Crizel-Cardozo, M. M., dos Santos, M. A. Z., Otero, D. M., & Zambiazi, R. C. (2024). Margarida avocado oil: Effect of processing on quality, bioactive compounds and fatty acid profile. *Food Chemistry Advances*, *4*, 100617. https://doi.org/10.1016/J.FOCHA.2024.100617

Lavagnolo, M. C., Poli, V., Zampini, A. M., & Grossule, V. (2024). Biodegradability of bioplastics in different aquatic environments: A systematic review. *Journal of Environmental Sciences*, *142*, 169–181. https://doi.org/10.1016/J.JES.2023.06.013

Ledesma, A., Dalgo, V., Flores, L., & Chango. G. (2021). Bioplásticos de almidón de maíz y quinua para uso como envolturas alimenticias biodegradables. *Dominio de Las Ciencias*, *7*, 39–56. https://doi.org/10.23857/dc.v7i4.2080

LEILA, (Centro de desarrollo tecnológico). (2007). Bioplásticos. In Observatorio Industrial del Sector Químico (Ed.), *2007* (Vol. 1).

León-Méndez, G., León-Méndez, D., Monroy-Arellano, M., De Espriella-Angarita, S., & Herrera-Barros, A. (2020). Modificación química de almidones mediante reacciones de esterificación y supotencial uso en la industria cosmética. *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica*, *39*(5), 620–626. https://doi.org/10.5281/zenodo.4263410

Lertsarawut, P., Laksee, S., Rattanawongwiboon, T., & Hemvichian, K. (2024). Eco-friendly alginate-starch-based water super-absorbent beads spherically shaped and uniformly fabricated via spherification and radiation-assisted polymerization. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, *7*, 100456. https://doi.org/10.1016/J.CARPTA.2024.100456

Li, H., Jiang, F., Chen, J., Wang, Y., Zhou, Z., & Lian, R. (2023). Development of seaweed-derived polysaccharide/cellulose nanocrystal-based antifogging labels loaded with alizarin for monitoring aquatic products' freshness. *International Journal of Biological Macromolecules*, *253*. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.126640

Lomartire, S., Gomes, L., Cotas, J., Marques, J. C., Pereira, L., & Gonçalves, A. M. M. (2023). Algae-based bioplastics: Expanding algal polymers as materials for

industrial applications. In *Algae Materials: Applications Benefitting Health* (pp. 133–156). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-443-18816-9.00024-1

López, D., & Rojas, A. (2018). Factores que influencian las propiedades mecánicas, físicas y térmicas de materiales compuestos madero plásticos. *Entre Ciencia e Ingeniería*, *12*(23), 93–102. https://doi.org/10.31908/19098367.3708

López, J. I., Carlos Pomaquero-Yuquilema, J. I., & Luis López-Salazar III, J. (2020). Análisis de la contaminación ambiental por plásticos en la ciudad de Riobamba Analysis of environmental pollution by plastics in the city of Riobamba Análise da poluição ambiental por plásticos na cidade de Riobamba. *Polo Del Conocimiento*, *5*, 725–742. https://doi.org/10.23857/pc.v5i12.2139

Martins, S. H. F., Pontes, K. V., Fialho, R. L., & Fakhouri, F. M. (2022). Extraction and characterization of the starch present in the avocado seed (Persea americana mill) for future applications. *Journal of Agriculture and Food Research*, *8*, 100303. https://doi.org/10.1016/J.JAFR.2022.100303

Medeiros Garcia Alcântara, J., Iannacci, F., Morbidelli, M., & Sponchioni, M. (2023). Soft sensor based on Raman spectroscopy for the in-line monitoring of metabolites and polymer quality in the biomanufacturing of polyhydroxyalkanoates. *Journal of Biotechnology*, *377*, 23–33. https://doi.org/10.1016/J.JBIOTEC.2023.10.005

Mendoza, M. (2021). *Elaboración de biopelícula biodegradable a partir de desecho industrial de la semilla de aguacate (Persea americana), para sustituir alternativamente materiales obtenidos de polímeros sintéticos*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Meza Ramos, P., Quipuzco Ushñahua, L., & Meza Contreras, V. (2019). Elaboración de bioplásticos y determinación de su biodegradabilidad - Proyecto de laboratorio. *Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*, *22*(43), 67–80. https://doi.org/10.15381/iigeo.v22i43.16691

Mirzaaghaei, M., Nasirpour, A., Keramat, J., Goli, S. A. H., Dinari, M., Desobry, S., & Durand, A. (2022). Chemical modification of waxy maize starch by esterification with saturated fatty acid chlorides: Synthesis, physicochemical and emulsifying properties. *Food Chemistry*, *393*, 133293. https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2022.133293

Mohammed Raffic, N., Mohammed Khondoker, A., Mohammed Ali Kaabi, A., Ali Hamad Majrashi, A., Yhaya Mohammed Qusadi, I., Ibrahim Mohamed Moawad, F., Hadidi, H., Tharwan, M., & Saminathan, R. (2023). Utilization of ANOVA analysis in identifying the effects of various parameters on the corrosion behaviour of 7021 Al alloys in simulated RED SEA conditions. *Materials Today: Proceedings*. https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2023.06.278

Molina, L., 12056, C. P., Lima, P., Martínez, P., Peña, F., Gómez, Y., Vargas, G., & Velezmoro, C. (2019). Propiedades fisiquímicas, funcionales y estructurales de almidones nativos y acetilados obtenidos a partir de la papa(Solanum tuberosum) var. 'única.' *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, *85*(3), 338–351. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2019000300006&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Moreno, A., Humarán, V., Báez, E., Báez, G., & Villanueva, A. (2017). Transformation of potato starch, nopal mucylaga and bioplast labels as aggregate value products friendly with the environment. *Ra Ximhai*, *13*(3), 365–382.

Mujtaba, M., Fernandes Fraceto, L., Fazeli, M., Mukherjee, S., Savassa, S. M., Araujo de Medeiros, G., do Espírito Santo Pereira, A., Mancini, S. D., Lipponen, J., & Vilaplana, F. (2023). Lignocellulosic biomass from agricultural waste to the circular economy: a review with focus on biofuels, biocomposites and bioplastics. *Journal of Cleaner Production*, *402*, 136815. https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2023.136815

Musa, M., Freitas, M. C. J., De, ; D, & Tavares, Q. (2005). Caracterização do grânulo de amido de bananas (Musa AAA-Nanicão e Musa AAB-Terra). *Food Science and Technology*, *25*(2), 217–222. https://doi.org/10.1590/S0101-20612005000200005

Navarrete, C., Mezones, J. A., Ponce, W., Brito, B., Viera, W., Córdova, A., & Riera, M. A. (2023). Obtención y caracterización de bioplásticos a partir de almidón acetilado de semillas de aguacate. *Avances En Química*, *18*(1), 29–38. https://www.researchgate.net/publication/370962907

NTE INEN 1456. (1986). *Reactivos para análisis. Almidón soluble (para iodometría). Métodos de ensayo*.

NTE INEN 2635. (2012). *Método de ensayo para las propiedades de tracción de láminas plásticas delgadas*.

Oluwajuyitan, T. D. (2024). Avocado seed starch: structure, functionality, and applications. *Non-Conventional Starch Sources: Properties, Functionality, and Applications*, 3–19. https://doi.org/10.1016/B978-0-443-18981-4.00001-X

Olvera-Sosa, M., Rosales-Mendoza, S., García-Briones, G. S., Betancourt-Mendiola, M. D. L., González-Ortega, O., & Palestino, G. (2021). A novel acrylic acid-Schizochytrium sp. bio-based polymer: Design, synthesis, and properties. *Materials Today Communications*, *26*. https://doi.org/10.1016/J.MTCOMM.2021.102029

ONU. (2020). *Contaminación por plásticos*. https://www.unep.org/es/contaminacion-por-plasticos

Park, S. J., Jeong, S. Y., Nam, Y. H., Park, J. H., Rodriguez, I., Shim, J. H., Yasmin, T., Kwak, H. J., Oh, Y., Oh, M., Lee, K. W., Lee, J. S., Kim, D. H., Park, Y. H., Moon, I. S., Choung, S. Y., Jeong, K. W., Hong, B. N., Kim, S. H., & Kang, T. H. (2021). Fatty Acid Derivatives Isolated from the Oil of Persea americana (Avocado) Protects against Neomycin-Induced Hair Cell Damage. *Plants 2021, Vol. 10, Page 171*, *10*(1), 171. https://doi.org/10.3390/PLANTS10010171

Pires, J. B., Santos, F. N. dos, Cruz, E. P. da, Fonseca, L. M., Siebeneichler, T. J., Lemos, G. S., Gandra, E. A., Zavareze, E. da R., & Dias, A. R. G. (2024). Starch extraction from avocado by-product and its use for encapsulation of ginger essential oil by electrospinning. *International Journal of Biological Macromolecules*, *254*, 127617. https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2023.127617

Prieto-Méndez, J., Trejo-Cárdenas, C. L., Prieto-García, F., Méndez-Marzo, M. A., Bello-Pérez, L. A., & Román-Gutiérrez, A. D. (2010). Acetilación y caracterización del almidón de cebada. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, *6*(1), 32–43. https://revista.itson.edu.mx/index.php/rlrn/article/view/181

Rafaela Alves Silva, I., Medeiros Albuquerque, F., De Souza Aquino, J., & Queiroga Neto, V. (2013). EFEITO DA MODIFICAÇÃO QUÍMICA POR REAÇÃO DE CROSS-LINKING NAS PROPRIEDADES DO AMIDO DE SEMENTEDE ABACATE (Persea americana Mill). *Oletim Do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos*, *31*(2), 295–308. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5380/cep.v31i2.34993

Rajesh, Y., Gautam, N., Saloni, P., Deore, V., Shivde, P., & Dabhade, G. (2024). Agricultural resources in focus: Eco-friendly bioplastic synthesis from corn starch. *Materials Today: Proceedings*. https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2024.01.025

Rengsutthi, K., & Charoenrein, S. (2011). Physico-chemical properties of jackfruit seed starch (Artocarpus heterophyllus) and its application as a thickener and stabilizer in chilli sauce. *LWT - Food Science and Technology*, *44*, 1309–1313. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.12.019

Río, F., Ochoa-Gómez, J., Días, E., & Roncal, T. (2007). *Bioplásticos* (FEDIT, Ed.; Vol. 1). Observatorio Industrial del Sector Químico. https://www.researchgate.net/publication/257652567_BIOPLASTICOS

Rivera–González, G., Amaya–Guerra, C. A., & de la Rosa–Millán, J. (2019). Physicochemical characterisation and in vitro Starch digestion of Avocado Seed Flour (Persea americana V. Hass) and its starch and fibrous fractions. *International Journal of Food Science & Technology*, *54*(7), 2447–2457. https://doi.org/10.1111/IJFS.14160

Rosenboom, J. G., Langer, R., & Traverso, G. (2022). Bioplastics for a circular economy. *Nature Reviews Materials 2022 7:2*, *7*(2), 117–137. https://doi.org/10.1038/s41578-021-00407-8

Ruiloba, I., Li, M., Quintero, R., & Correa, J. (2018). Elaboración de bioplástico a partir de almidón de semillas de mango Bioplastic production from mango seed starch. *Revista Información Científica*, *4*, 28–32.

Salazar-López, N. J., Domínguez-Avila, J. A., Yahia, E. M., Belmonte-Herrera, B. H., Wall-Medrano, A., Montalvo-González, E., & González-Aguilar, G. A. (2020). Avocado fruit and by-products as potential sources of bioactive compounds. *Food Research International*, *138*, 109774. https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2020.109774

Sealy, C. (2021). Novel polymer based on marine algae. *Materials Today*, *46*, 7–8. https://doi.org/10.1016/J.MATTOD.2021.04.001

Seghetta, M., Tørring, D., Bruhn, A., & Thomsen, M. (2016). Bioextraction potential of seaweed in Denmark — An instrument for circular nutrient management. *Science of The Total Environment*, *563–564*, 513–529. https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2016.04.010

Singh, N., Singhania, R. R., Nigam, P. S., Dong, C. Di, Patel, A. K., & Puri, M. (2022). Global status of lignocellulosic biorefinery: Challenges and perspectives. *Bioresource Technology*, *344*, 126415. https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2021.126415

Song, X., Yu, M., Niu, H., Li, Y., Chen, C., Zhou, C., Liu, L., & Wu, G. (2024). Poly(methyl dihydroxybenzoate) modified waterborne polyurethane sizing coatings with chemical and hydrogen-bonded complex cross-linking structures for improving the surface wettability and mechanical properties of carbon fiber. *Progress in Organic Coatings*, *187*, 108112. https://doi.org/10.1016/J.PORGCOAT.2023.108112

Sthle, L., & Wold, S. (1989). Analysis of variance (ANOVA). *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, *6*(4), 259–272. https://doi.org/10.1016/0169-7439(89)80095-4

Tulcán, M. (2020). *Comparación de metodologías para determinación de humedad total en trigo importado variedad Canada Western Red Spring (CWRS).* UDLA.

Vargas-García, Y., Pazmiño-Sánchez, J., Dávila-Rincón, J., Vargas-García, Y., Pazmiño-Sánchez, J., & Dávila-Rincón, J. (2021). Potencial de Biomasa en América del Sur para la Producción de Bioplásticos. Una Revisión. *Revista Politécnica*, *48*(2), 7–20. https://doi.org/10.33333/RP.VOL48N2.01

Veiga-Santos, P., & Ouros, L. F. dos. (2024). Starch-based packaging and coating polymers for food. *Starch Industries: Processes and Innovative Products in Food and Non-Food Uses*, 295–310. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90842-9.00012-1

Villarroel, P., Gómez, C., Vera, C., & Torres, J. (2018). Resistant starch: Technological characteristics and physiological interests. In *Revista Chilena de Nutricion* (Vol. 45, Issue 3, pp. 271–278). Sociedad Chilena de Nutricion Bromatologia y Toxilogica. https://doi.org/10.4067/s0717-75182018000400271

Waldrop, M. M. (2021). Bioplastics offer carbon-cutting advantages but are no panacea. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *118*(12), e2103183118. https://doi.org/10.1073/PNAS.2103183118/ASSET/82E848E4-3E26-4BF5-B7D1-DED688F0B8D0/ASSETS/IMAGES/LARGE/PNAS.2103183118FIG03.JPG

Xu, Z. P., Li, Y. P., Huang, G. H., & Shen, Z. Y. (2023). Developing an integrated PCE-ANOVA-RF method for uncertainty quantification of hydrological model – The Amu Darya River Basin in Central Asia. *Journal of Hydrology*, *624*, 129941. https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2023.129941

Yusoff, N. H., Pal, K., Narayanan, T., & de Souza, F. G. (2021). Recent trends on bioplastics synthesis and characterizations: Polylactic acid (PLA) incorporated with tapioca starch for packaging applications. *Journal of Molecular Structure*, *1232*, 129954. https://doi.org/10.1016/J.MOLSTRUC.2021.129954

Zaborowska, M., Bernat, K., Pszczółkowski, B., Kulikowska, D., & Wojnowska-Baryła, I. (2023). Assessment of biodegradability of cellulose and poly(butylene succinate)-based bioplastics under mesophilic and thermophilic anaerobic digestion with a view towards biorecycling. *Waste Management*, *168*, 413–422. https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2023.06.022

Zhao, Z., Hamid, N., Gutierrez-Maddox, N., Kam, R., Kantono, K., Wang, K., Young, T., Le, T. T., & Lu, J. (2023). Metabolite profiling identifies chemical markers associated with the cytotoxic properties of roasted fermented avocado seeds. *Food Research International*, *172*, 113131. https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2023.113131

5.4 Anexos

Anexo A. Proceso de Extracción de almidón

Materia prima cortada

Proceso de pesado

Sumergido

Agitación

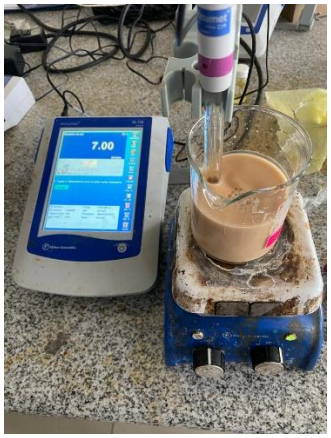
Sedimentación

Filtrado

Secado del almidón

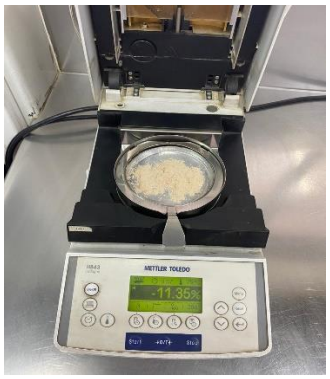
Caracterización (FT-IR)

Anexo B. Modificación del almidón

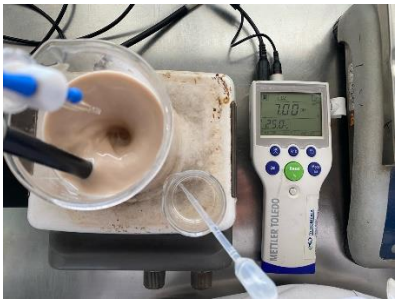


Anexo C. Caracterización del almidón.

- **Humedad**

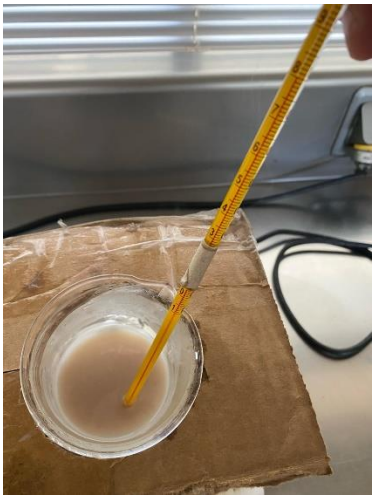


- **pH**



- **Densidad**

- **Temperatura de gelatinización**



Anexo D. Bromatología del almidón (INIAP)

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS
ESTACIÓN EXPERIMENTAL SANTA CATALINA
DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN Y CALIDAD
LABORATORIO DE SERVICIO DE ANÁLISIS E INVESTIGACIÓN EN ALIMENTOS
Panamericana Sur Km. 1. CutuglaguaTlfs. 2690691-3007134. Fax 3007134
Casilla postal 17-01-340

MC-LSAIA-2201 Rev. 9

INFORME DE ENSAYO N°:24-0007

****NOMBRE DEL PETICIONARIO:** Sr. Angel Leonel Morales Manzano
****DIRECCIÓN:** Quito / Pichincha
FECHA DE EMISIÓN: 26/01/2024
FECHA DE ANÁLISIS: Del 17 al 26 de enero del 2024
ANÁLISIS SOLICITADOS: Proximal, Amilosa, Amilopectina

****INSTITUCIÓN:** PARTICULAR
****ATENCIÓN:** Sr. Angel Leonel Morales Manzano
FECHA DE RECEPCIÓN: 17/01/2024
HORA DE RECEPCIÓN: 14H00

RESULTADOS DE ANÁLISIS

ANÁLISIS	**TIPO DE MUESTRA	CÓDIGO DE LA MUESTRA	MÉTODO INTERNO	MÉTODO DE REFERENCIA	RESULTADO	UNIDAD
HUMEDAD	Almidón Modificado Pepa de aguacate	24-0031	MO-LSAIA-01.01	U. FLORIDA 1970	10,75	%
CENIZAS Ω	Almidón Modificado Pepa de aguacate	24-0031	MO-LSAIA-01.02	U. FLORIDA 1970	0,61	%
EXTRACTO ETÉREO (EE) Ω	Almidón Modificado Pepa de aguacate	24-0031	MO-LSAIA-01.03	U. FLORIDA 1970	1,27	%
PROTEÍNA Ω	Almidón Modificado Pepa de aguacate	24-0031	MO-LSAIA-01.04	U. FLORIDA 1970	4,03	%
FIBRA Ω	Almidón Modificado Pepa de aguacate	24-0031	MO-LSAIA-01.05	U. FLORIDA 1970	0,63	%
ELEMENTOS LIBRES DE NITRÓGENO E.L.N.	Almidón Modificado Pepa de aguacate	24-0031	MO-LSAIA-01.06	U. FLORIDA 1970	93,47	%
AMILOSA	Almidón Modificado Pepa de aguacate	24-0031	MO-LSAIA-04	Marrison y Laignelet 1983	29,51	%
AMILOPECTINA	Almidón Modificado Pepa de aguacate	24-0031	MO-LSAIA-04	Marrison y Laignelet 1983	70,49	%
HUMEDAD	Almidón Nativo Pepa de aguacate	24-0032	MO-LSAIA-01.01	U. FLORIDA 1970	10,64	%
CENIZAS Ω	Almidón Nativo Pepa de aguacate	24-0032	MO-LSAIA-01.02	U. FLORIDA 1970	0,11	%
EXTRACTO ETÉREO (EE) Ω	Almidón Nativo Pepa de aguacate	24-0032	MO-LSAIA-01.03	U. FLORIDA 1970	1,44	%
PROTEÍNA Ω	Almidón Nativo Pepa de aguacate	24-0032	MO-LSAIA-01.04	U. FLORIDA 1970	3,93	%

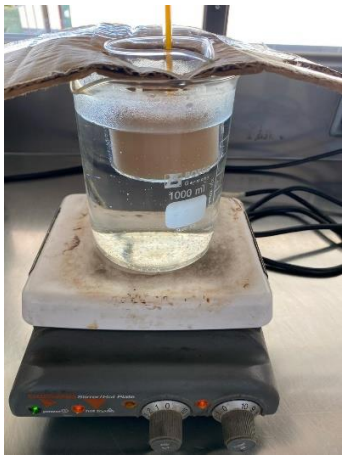
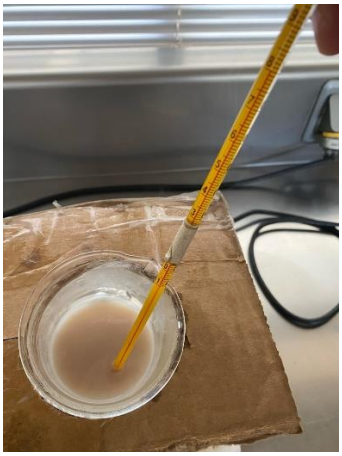
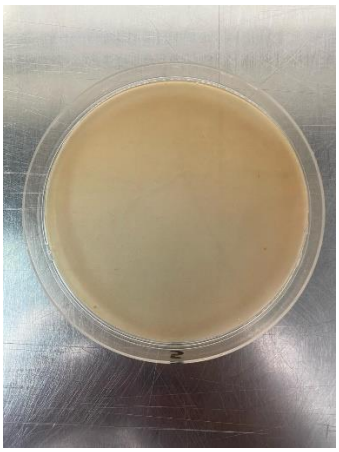
Página 1

ANÁLISIS	**TIPO DE MUESTRA	CÓDIGO DE LA MUESTRA	MÉTODO INTERNO	MÉTODO DE REFERENCIA	RESULTADO	UNIDAD
FIBRA Ω	Almidón Nativo Pepa de aguacate	24-0032	MO-LSAIA-01.05	U. FLORIDA 1970	0,57	%
ELEMENTOS LIBRES DE NITRÓGENO E.L.N.	Almidón Nativo Pepa de aguacate	24-0032	MO-LSAIA-01.06	U. FLORIDA 1970	90,02	%
AMILOSA	Almidón Nativo Pepa de aguacate	24-0032	MO-LSAIA-04	Marrison y Laignelet 1983	27,57	%
AMILOPECTINA	Almidón Nativo Pepa de aguacate	24-0032	MO-LSAIA-04	Marrison y Laignelet 1983	72,44	%

OBSERVACIONES: Muestra entregada por el cliente. La toma de muestra no es responsabilidad del laboratorio, le corresponde al cliente. Los ensayos marcados con (Ω) se reportan en base seca. Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio. Los resultados arriba indicados solo están relacionados con la muestra sometida a ensayo que se detalla en éste documento tal como se recibió. El laboratorio se responsabiliza de toda la información suministrada en el informe, excepto cuando la información la suministre el cliente. NOTA DE DESCARGO: Si el lector de este correo electrónico no es el destinatario del mismo, se le notifica que cualquier copia o distribución de este se encuentra totalmente prohibido. Si usted ha recibido este informe de ensayo por error, por favor notifique inmediatamente al remitente por este mismo medio y elimine la información. De igual manera, la información entregada por el cliente, generada durante las actividades del laboratorio e información contenida en éste informe es de carácter confidencial, está dirigida únicamente al destinatario de la misma y solo podrá ser usada por éste. los datos marcados con ** son suministrados por cliente, el laboratorio no se responsabiliza por esta información.

	RESPONSABLES DEL INFORME
Nombre	Dr. Iván Samaniego. PhD.
Cargo	RESPONSABLE DNC
Firma	IVAN RODRIGO SAMANIEGO MAIGUA
Fecha	2024-01-26

Anexo E. Proceso de obtención de bioplástico por el método casting:

Anexo F. Caracterización de las biopelículas

- **Espesor**

- **Pruebas mecánicas**

ANÁLISIS MECÁNICO LÁMINA DE PLÁSTICO BIODEGRADABLE DE PEPA DE AGUACATE

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN

Forma: Plana

	Espesor	Anchura	Longitud calibrada
Unidades	mm	mm	mm
TR1.1	,1000	15,2000	40,6000

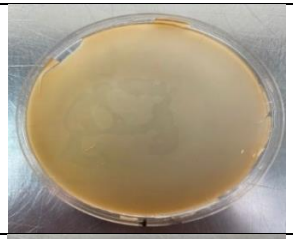
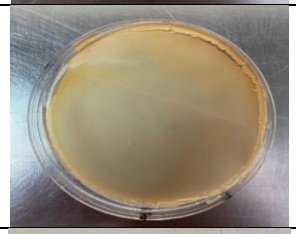
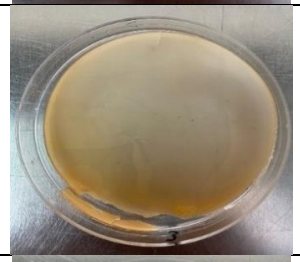
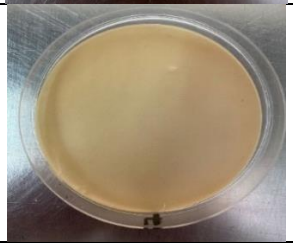
Nombre	M.Elastico	PSF_Carga	PSF_Despl	PSF_Esfuerzo	PSF_Deformacion
Parametro	10, 20 N	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS
Acep./Rech.	0, 0	0, 0			
Unidades	MPa	N	mm	MPa	%
TR1.1	-.-	-.-	-.-	-.-	-.-
Media	-.-	-.-	-.-	-.-	-.-
Desviación Estandar	-.-	-.-	-.-	-.-	-.-
Maximo	-.-	-.-	-.-	-.-	-.-
Mínimo	-.-	-.-	-.-	-.-	-.-
Rango	-.-	-.-	-.-	-.-	-.-
Mediana	-.-	-.-	-.-	-.-	-.-
Media JIS	-.-	-.-	-.-	-.-	-.-
Coef.Variacion	-.-	-.-	-.-	-.-	-.-
3 Sigma	-.-	-.-	-.-	-.-	-.-

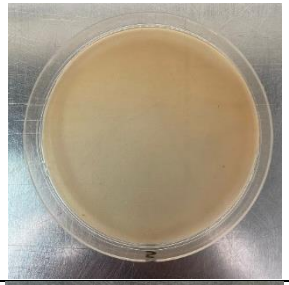
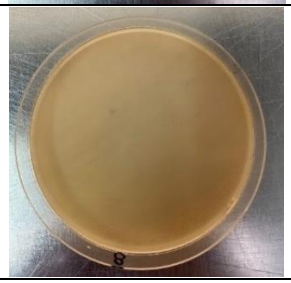
Nombre	PIF_Carga	PIF_Despl	PIF_Esfuerzo	PIF_Deformacion	Energia
Acep./Rech.	0, 0				0, 0
Unidades	N	mm	MPa	%	J
TR1.1	-.-	-.-	-.-	-.-	,14975
Media	-.-	-.-	-.-	-.-	,14975
Desviación Estandar	-.-	-.-	-.-	-.-	,00000
Maximo	-.-	-.-	-.-	-.-	,14975
Mínimo	-.-	-.-	-.-	-.-	,14975
Rango	-.-	-.-	-.-	-.-	,00000
Mediana	-.-	-.-	-.-	-.-	,14975
Media JIS	-.-	-.-	-.-	-.-	,14975
Coef.Variacion	-.-	-.-	-.-	-.-	,00000
3 Sigma	-.-	-.-	-.-	-.-	,00000

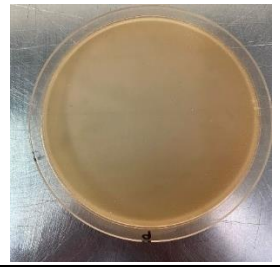
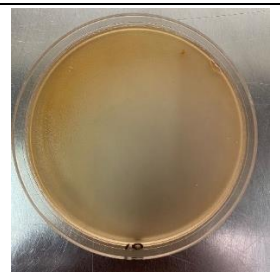
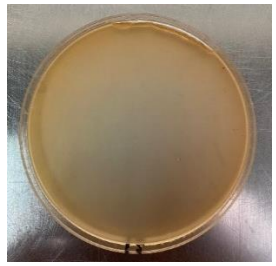
Nombre	Max._Carga	Max._Despl	Max._Esfuerzo	Max._Deformacion	Rotura_Carga
Acep./Rech.	0, 0			0, 0	0, 0
Unidades	N	mm	MPa	%	N
TR1.1	16,1550	10,0703	10,6283	12,8038	1,94000
Media	16,1550	10,0703	10,6283	12,8038	1,94000
Desviación Estandar	,00000	,00000	,00000	,00000	,00000
Maximo	16,1550	10,0703	10,6283	24,8038	4,94000
Mínimo	16,1550	10,0703	10,6283	24,8038	4,94000
Rango	,00000	,00000	,00000	,00000	,00000
Mediana	16,1550	10,0703	10,6283	24,8038	4,94000
Media JIS	16,1550	10,0703	10,6283	24,8038	4,94000
Coef.Variacion	,00000	,00000	,00000	,00000	,00000
3 Sigma	,00000	,00000	,00000	,00000	,00000

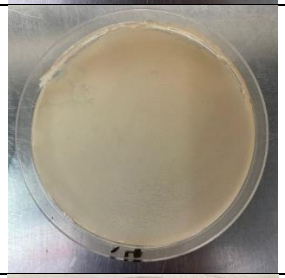
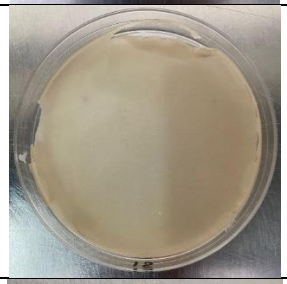
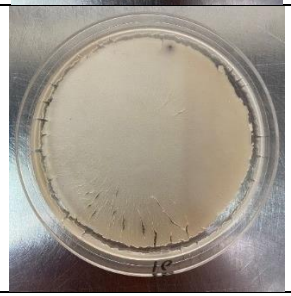
Nombre	Rotura_Despl	Rotura_Esfuerzo	Rotura_Deformacion
Unidades	mm	MPa	%
TR1.1	12,1700	3,25000	29,9754
Media	12,1700	3,25000	29,9754
Desviación Estandar	,00000	,00000	,00000
Maximo	12,1700	3,25000	29,9754
Mínimo	12,1700	3,25000	29,9754
Rango	,00000	,00000	,00000
Mediana	12,1700	3,25000	29,9754
Media JIS	12,1700	3,25000	29,9754
Coef.Variacion	,00000	,00000	,00000
3 Sigma	,00000	,00000	,00000

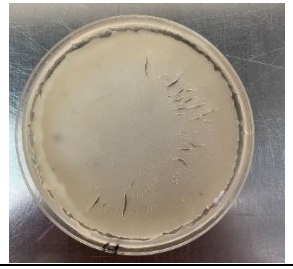
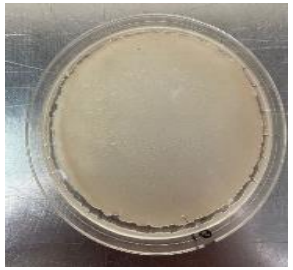
Anexo G. Obtención y caracterización de bioplástico

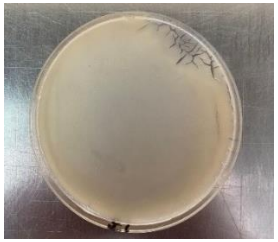
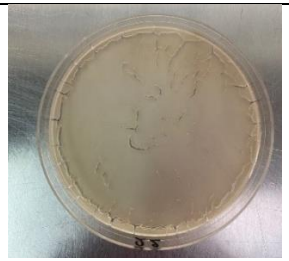
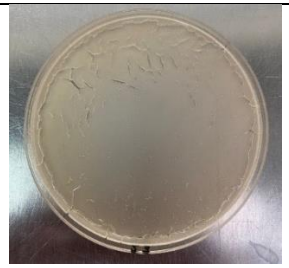
Tipo de almidón	Peso del almidón (g)	Agua (mL)	Plastifi-cante (5 mL)	Trata-minetos	Réplicas	Fotografía	Espesor (mm)	Peso final (W final) (g)	Rendimiento (%)	Humedad (%)	Observación
Modificado	5	20	Sorbitol	T 1	1		0,69	9,2	29,39	7,9	Se plastificó, presenta fisuras se secó a 39 °C por 24 horas.
		20			2		0,72	8,9	28,43	7,43	Se plastificó, no presenta fisuras se secó a 39 °C por 24 horas.
		20			3		0,58	9,1	29,07	7,71	Se plastificó, presenta fisuras se secó a 39 °C por 24 horas.
		25		**T 2**	1		0,62	8	25,56	8,1	Se plastificó, no presenta fisuras se secó a 39 °C por 24 horas.

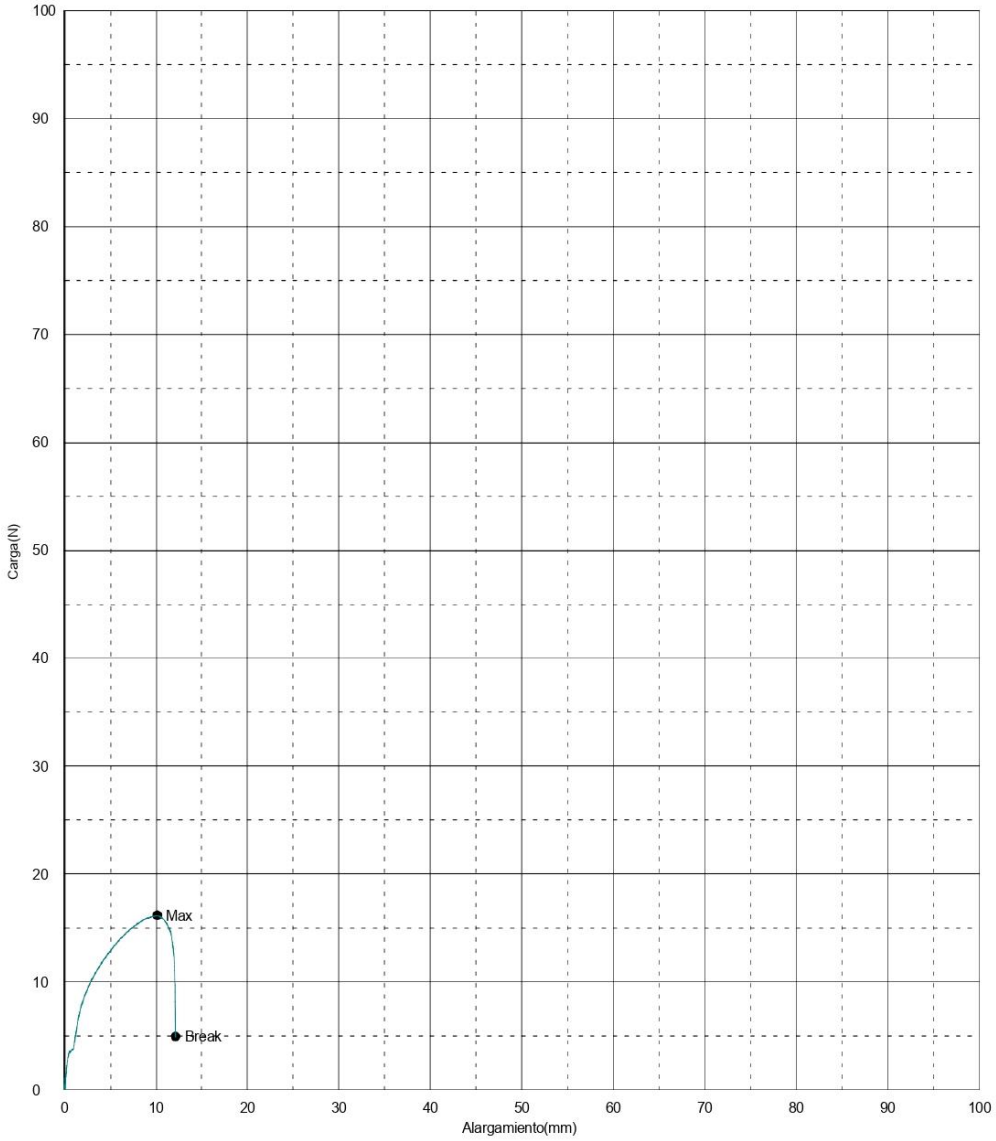
		25			2		0,49	8,2	26,20	8,14	Se plastificó, no presenta fisuras se secó a 39 °C por 24 horas.
		25			3		0,56	7,9	25,24	7,79	Se plastificó, no presenta fisuras se secó a 39 °C por 24 horas.
		20	Glicerol	T3	1		N/A	N/A	N/A	N/A	No se observa plastificación, existen fisuras, mezcla blanda y de difícil desprendimiento a pesar del tiempo de secado 48 horas a 39 °C.
		20			2		N/A	N/A	N/A	N/A	No se observa plastificación, mezcla blanda y de difícil desprendimiento a pesar del tiempo de secado 48 horas a 39 °C.

		20			3		N/A	N/A	N/A	N/A	No se observa plastificación, mezcla blanda y de difícil desprendimiento a pesar del tiempo de secado 48 horas a 39 °C.
		25		T 4	1		N/A	N/A	N/A	N/A	No se observa plastificación, mezcla blanda y de difícil desprendimiento a pesar del tiempo de secado 48 horas a 39 °C.
		25			2		N/A	N/A	N/A	N/A	No se observa plastificación, mezcla blanda y de difícil desprendimiento a pesar del tiempo de secado 48 horas a 39 °C.
		25			3		N/A	N/A	N/A	N/A	No se observa plastificación, mezcla blanda y de difícil desprendimiento a pesar del tiempo de secado 48 horas a 39 °C.

Nativo		20	Sorbitol	**T 5**	13		0,36	8,6	27,48	8,1	Se plastificó, se observa fisuras pequeñas se secó a 39 °C por 24 horas.
		20			2		0,4	8,8	28,12	8,01	Se plastificó, se observa fisuras pequeñas se secó a 39 °C por 24 horas.
		20			3		0,31	8,9	28,43	7,96	Se plastificó, se observa fisuras pequeñas se secó a 39 °C por 24 horas.
		25		T 6	1		0,56	8,4	26,84	8,24	Se observa plastificación, pero presenta fisuras el secado se realizó a 39 °C durante 24 horas.

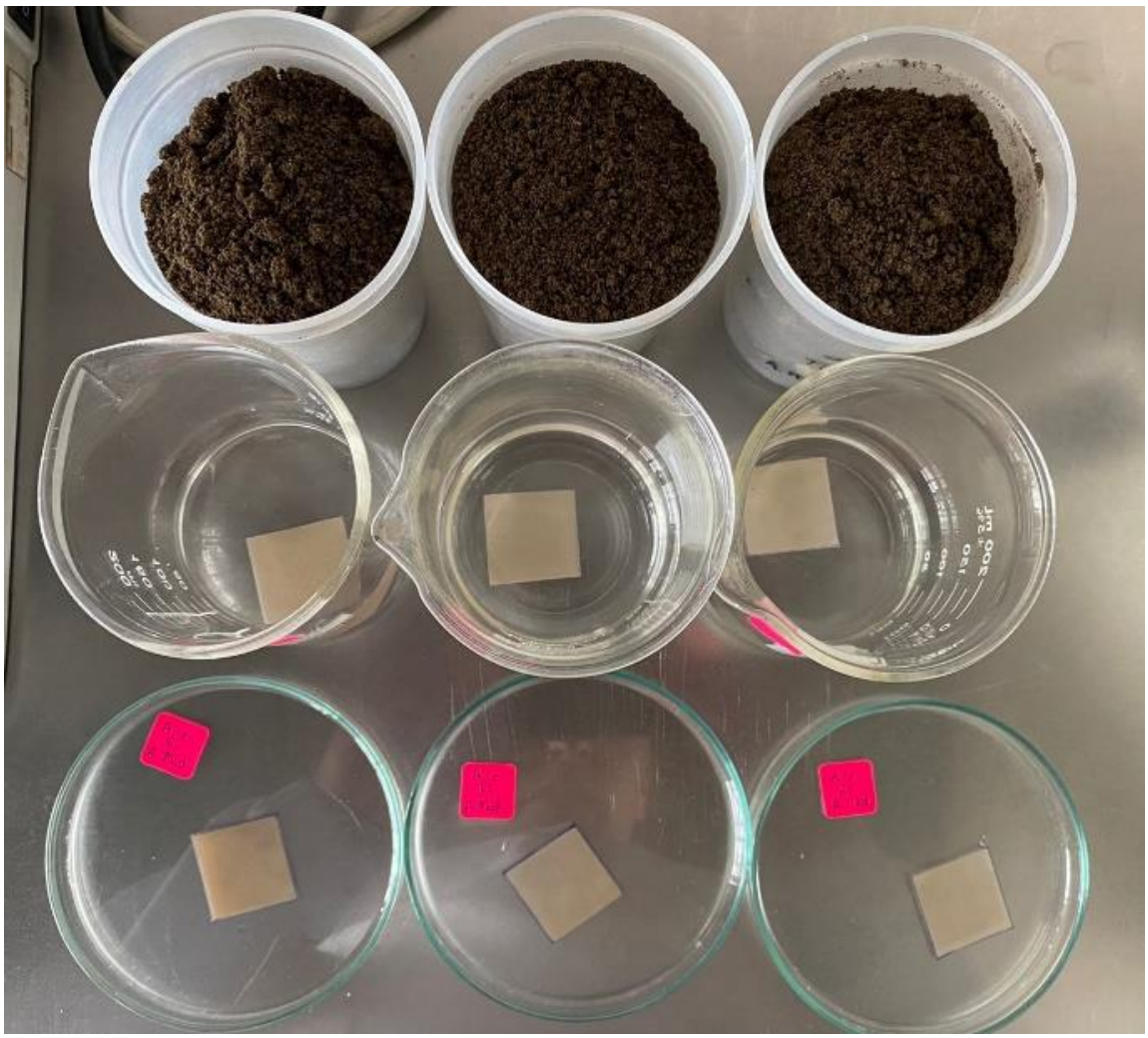
		25			2		0,53	8,7	27,80	7,35	Se observa plastificación, pero presenta fisuras el secado se realizó a 39 °C durante 24 horas.
		25			3		0,43	8,8	28,12	7,98	Se observa plastificación, pero presenta fisuras el secado se realizó a 39 °C durante 24 horas.
		20	Glicerol	T 7	1		N/A	N/A	N/A	N/A	No se observa plastificación, mezcla dura y de difícil desprendimiento a pesar del tiempo de secado 48 horas a 39 °C.
		20			2		N/A	N/A	N/A	N/A	No se observa plastificación, mezcla dura y de difícil desprendimiento a pesar del tiempo de secado 48 horas a 39 °C.

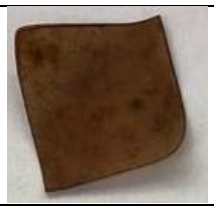
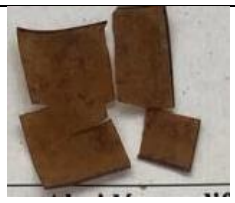
		20			3		N/A	N/A	N/A	N/A	No se observa plastificación, mezcla dura y de difícil desprendimiento a pesar del tiempo de secado 48 horas a 39 °C.
		25		T 8	1		N/A	N/A	N/A	N/A	No se observa plastificación, mezcla dura y de difícil desprendimiento a pesar del tiempo de secado 48 horas a 39 °C.
		25			2		N/A	N/A	N/A	N/A	No se observa plastificación, mezcla dura y de difícil desprendimiento a pesar del tiempo de secado 48 horas a 39 °C.
		25			3		N/A	N/A	N/A	N/A	No se observa plastificación, mezcla dura y de difícil desprendimiento a pesar del tiempo de secado 48 horas a 39 °C.

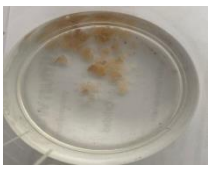
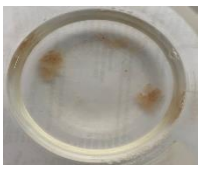
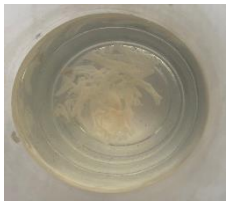


Comentarios

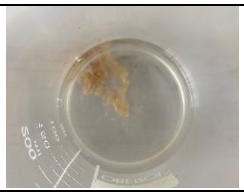
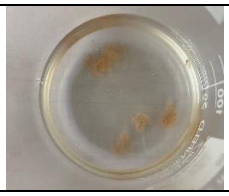
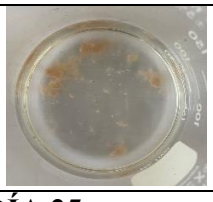
Anexo H. Pruebas de Biodegradación de las biopelículas

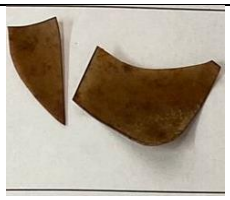
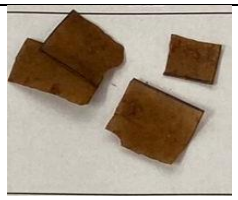


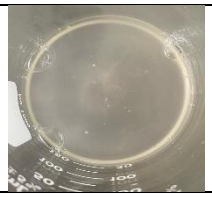
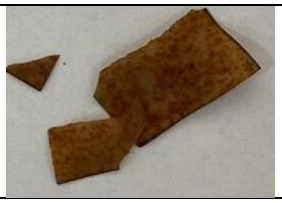
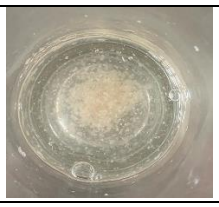
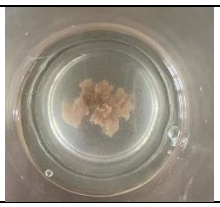
Almidón modificado (Tierra)		**DÍA 20**
M1	**M2**	**M3**
		
Almidón modificado (Aire)		
M1	**M2**	**M3**
Almidón modificado (Agua)		
M1	**M2**	**M3**

		
Almidón nativo (Tierra)		**DÍA 20**
M1	**M2**	**M3**
Almidón nativo (Aire)		
M1	**M2**	**M3**
Almidón nativo (Agua)		
M1	**M2**	**M3**
		

Almidón modificado (Tierra)		**DÍA 25**
M1	**M2**	**M3**
Almidón modificado (Aire)		
M1	**M2**	**M3**
Almidón modificado (Agua)		
M1	**M2**	**M3**

		
Almidón nativo (Tierra)		**DÍA 25**
M1	**M2**	**M3**
Almidón nativo (Aire)		
M1	**M2**	**M3**
Almidón nativo (Agua)		
M1	**M2**	**M3**

Almidón modificado (Tierra)		**DÍA 30**
M1	**M2**	**M3**
		
Almidón modificado (Aire)		
M1	**M2**	**M3**
Almidón modificado (Agua)		

M1	M2	M3
		
Almidón nativo (Tierra) DÍA 30		
M1	**M2**	**M3**
		
Almidón nativo (Aire)		
M1	**M2**	**M3**
Almidón nativo (Agua)		
M1	**M2**	**M3**
		

Anexo I. Norma NTE INEN 2635:2012

Instituto Ecuatoriano de Normalización

Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA **NTE INEN 2635:2012**

MÉTODO DE ENSAYO PARA LAS PROPIEDADES DE TRACCIÓN DE LÁMINAS PLÁSTICAS DELGADAS.

Primera Edición

TEST METHOD FOR TENSILE PROPERTIES OF THIN PLASTIC SHEETING.

First Edition

DESCRIPTORES: Industria del caucho y del plástico, películas y láminas, módulo de elasticidad, propiedades de tracción, resistencia a la tracción.
PL 03.01-310
CDU: 678.5:620.172
CIIU: 3560
ICS: 83.140.10

CDU: 678.5 :620.172
ICS: 83.140.10

CIIU: 3560
PL 03.01-310

Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria	MÉTODO DE ENSAYO PARA LAS PROPIEDADES DE TRACCIÓN DE LÁMINAS PLÁSTICAS DELGADAS	NTE INEN 2635:2012 2012-07

1. OBJETO

1.1 Esta norma describe el método de ensayo para determinar las propiedades de tracción de los plásticos en forma de láminas delgadas y películas (menos de 1,0 mm de espesor).

2. ALCANCE

2.1 Esta norma aplica a los plásticos en forma de láminas delgadas y películas de menos de 1,0 mm de espesor (ver notas 1 y 2).

3. DEFINICIONES

3.1 Para los efectos de esta norma, se adoptan las definiciones contempladas en el anexo del Método de ensayo D638 de ASTM y además las siguientes:

3.1.1 *Anisotrópico (a)*. Que tiene diferentes valores para una propiedad, en diferentes direcciones.

3.1.2 *Falla por desgarramiento*. Una falla en la tracción caracterizada por la fractura iniciada en un borde de la probeta y que avanza a través de la probeta a una velocidad lo suficientemente lenta para producir una curva anómala de carga-deformación.

3.1.3 *Mordaza lineal.* Mordaza que tiene sus caras diseñadas para concentrar toda la fuerza de agarre a lo largo de una sola línea perpendicular a la dirección de la prueba de tensión. Esto es realizado generalmente mediante la combinación de una cara plana estándar y una cara opuesta de la que sobresale una media caña (*redondeada*).

3.1.4 *Mordaza plana*. Mordaza con caras planas y forradas con caucho delgado, lija fina o gruesa, o cinta sensible a la presión.

3.1.5 *Retraso inercial*. Retraso en la respuesta de un flujo frente a las fuerzas que actúan sobre él.

4. DISPOSICIONES GENERALES

4.1 Este método de ensayo puede ser utilizado para comprobar todos los plásticos dentro del rango de espesores descritos y de la capacidad de la máquina empleada.

4.2 La extensión de la probeta se puede medir por la separación de las mordazas, indicadores de extensión o desplazamiento de marcas de calibre.

4.3 Se incluye el procedimiento para la determinación del módulo de elasticidad en tracción a una velocidad de deformación (ver nota 3).

NOTA 1. Película se define en la terminología de la NTE INEN 2636 como un término opcional para láminas con un espesor nominal no superior a 0,25 mm.

NOTA 2. Las propiedades de tracción de los plásticos de 1,0 mm o más de espesor se deben determinar de acuerdo al método de ensayo descrito en la norma ASTM D638.

NOTA 3. La determinación del módulo se basa generalmente en el uso de la separación de las mordazas como una medida de la extensión, sin embargo, la conveniencia del uso de extensómetros, como se describe en el numeral 5.2, es reconocida y la provisión para el uso de tales instrumentos se incorpora en el procedimiento.

(Continúa)

DESCRIPTORES: Industria del caucho y del plástico, películas y láminas, módulo de elasticidad, propiedades de tracción, resistencia a la tracción.

4.4 Los datos de ensayo obtenidos por este método de ensayo son relevantes y apropiados para utilizarse en diseño de ingeniería.

4.5 Los valores indicados en unidades SI deben ser considerados como el estándar.

4.6 Esta norma no tiene el propósito de contemplar todo lo concerniente sobre seguridad, si es que hay algo asociado con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer prácticas apropiadas de seguridad y salud, y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reglamentarias previo a su uso.

4.7 Significancia y uso

4.7.1 Las propiedades de tracción determinadas por este método de ensayo son importantes para la identificación y caracterización de materiales para fines de control y especificación. Las propiedades de tracción pueden variar con el espesor de la muestra, el método de preparación, la velocidad de ensayo, el tipo de mordazas utilizadas, y la forma de medir la extensión. Por consiguiente, cuando se desean resultados comparativos precisos, estos factores deben ser cuidadosamente controlados. Este método de ensayo se debe utilizar para fines de arbitraje, a menos que se indique lo contrario en las especificaciones del material en particular. Para muchos materiales, puede haber una especificación que requiere el uso de este método de ensayo, pero con algunas modificaciones de procedimiento que tienen prioridad cuando se agregan a la especificación. Por lo tanto, es aconsejable hacer referencia a la especificación del material antes de usar este método de ensayo. La tabla 1 en la clasificación de la ASTM D4000 enlista las normas ASTM de los materiales que existen actualmente.

4.7.2 Las propiedades de tracción pueden ser utilizadas para proporcionar datos para investigación y desarrollo, y diseño de ingeniería, así como control de calidad y especificación. Sin embargo, los datos de estos ensayos no pueden ser considerados significativos para aplicaciones que difieren ampliamente en la escala carga-tiempo de la prueba empleada.

4.7.3 El módulo de elasticidad en tracción es un índice de la rigidez de las láminas de plástico delgadas. La reproducibilidad de los resultados del ensayo es buena cuando se mantiene un control preciso sobre todas las condiciones de prueba. Cuando se comparan la rigidez en materiales diferentes, deben emplearse probetas de dimensiones idénticas.

4.7.4 La energía de tracción en la rotura (ETR) es la energía total absorbida por unidad de volumen de la probeta hasta el punto de ruptura. En algunos textos esta propiedad ha sido referida como resistencia. Se utiliza para evaluar materiales que son objeto de uso intenso o que pueden atascar los equipos de transporte de red en caso de mal funcionamiento de una máquina en aplicaciones de uso final.

Sin embargo, la velocidad de deformación, los parámetros de la probeta y especialmente los defectos pueden ocasionar grandes variaciones en los resultados. En ese sentido, se recomienda precaución en la utilización de los resultados de la prueba ETR para aplicaciones de diseño de uso final.

4.7.5 Los materiales que fallan por desgarramiento generan datos anómalos que no puede ser comparados con aquellos de falla normal.

4.8 Correspondencia. Esta norma INEN es la versión oficial, en español, para el Ecuador, de la Norma ASTM D 882-10.

5. EQUIPO

5.1 Máquina de ensayo. Una máquina de prueba del tipo *velocidad constante de movimiento de cruceta* y que comprende básicamente lo siguiente:

5.1.1 *Elemento fijo*. Un elemento fijo o esencialmente estacionario que lleva una mordaza.

5.1.2 *Elemento móvil.* Un elemento móvil que lleva una segunda mordaza.

5.1.3 *Mordazas.* Un conjunto de mordazas para sostener la probeta de ensayo entre el elemento fijo y el elemento móvil de la máquina de ensayo; las mordazas pueden ser indistintamente del tipo fijo o de auto-alineación. En cualquier caso, el sistema de sujeción debe minimizar tanto el deslizamiento como la distribución desigual de la tensión.

5.1.3.1 Las mordazas fijas se instalan firmemente a los elementos fijos y móviles de la máquina de ensayo. Cuando se utiliza este tipo de mordaza, se debe tener cuidado para asegurar que la probeta de ensayo se inserta y se sujeta de modo que el eje longitudinal de la probeta de ensayo coincida con la dirección del esfuerzo a lo largo de la línea central del conjunto de mordazas.

5.1.3.2 Las mordazas de autoalineación se unen a los elementos fijos y móviles de la máquina de ensayo de tal manera que se muevan libremente hacia la alineación tan pronto como se aplique una carga, de modo que el eje longitudinal de la probeta de ensayo coincida con la dirección de la fuerza de tensión aplicada a lo largo de la línea central del conjunto de mordazas. Las probetas deben estar alineadas tan perfectamente como sea posible con la dirección de tracción para que ningún movimiento rotatorio produzca el deslizamiento de las mordazas; hay un límite en el valor de desalineación al que las mordazas autoalineables harán frente.

5.1.3.3 La probeta de ensayo se debe sostener de tal manera que el deslizamiento en relación a las mordazas se evite en la medida de lo posible. Se han utilizado con éxito para muchos materiales, mordazas forradas con caucho delgado, lija fina o gruesa o cinta sensible a la presión, así como las mordazas con acabado superficial serrado o tipo lima. La elección de la superficie de agarre dependerá del material ensayado, grosor, etc.

Las mordazas lineales forradas en la cara redondeada con 0,75 a 1,00 mm de papel secante o papel filtro han mostrado mejores resultados. Las mordazas accionadas por aire son convenientes, sobre todo en el caso de materiales que tienden a adelgazarse en las mordazas, debido a que la presión se mantiene en todo momento (ver notas 4-6).

En los casos en que las muestras fallan con frecuencia en el borde de las mordazas, puede ser conveniente aumentar ligeramente el radio de curvatura de los bordes, donde las mordazas entran en contacto con la zona de ensayo de la probeta.

5.1.4 *Mecanismo de accionamiento*. Un mecanismo de arrastre para impartir a los elementos móviles una velocidad uniforme, controlada con respecto al elemento estacionario. La velocidad debe regularse como se especifica en la Sección 9.

5.1.5 *Indicador de carga*. Un adecuado mecanismo de indicación de carga capaz de mostrar la carga total de tracción soportada por la probeta de ensayo sostenida por las mordazas. Este mecanismo debe ser esencialmente libre de retraso inercial a la velocidad de ensayo especificada (ver nota 7). A menos que un extensómetro adecuado sea utilizado (ver numeral 5.2), el movimiento del sistema de pesaje no debe sobrepasar en 2% de la extensión de la probeta dentro del rango que se está midiendo. El indicador de carga debe determinar la carga de tracción aplicada a la probeta con una precisión de ±1% del valor indicado, o superior. La precisión de la máquina de prueba se debe verificar de conformidad con las prácticas ASTM E4.

NOTA 4. Debe tenerse precaución al elegir el tipo de mordazas y el tipo de superficies de agarre a utilizar para ensayar películas de muestra compuestas de polietileno lineal de baja densidad (PELBD/LLDPE) de alta resistencia y resinas de polietileno de muy baja densidad (PEMBD/VLDPE). Los resultados de las pruebas tienden a variar más cuando se compara este tipo de películas de muestra analizadas con las mordazas lineales recubiertas con materiales diferentes.

NOTA 5. El calibre de la cinta sensible a la presión, caucho delgado, lija fina o gruesa debe ser lo suficientemente adecuada para evitar deslizamientos y fallas prematuras de las probetas de ensayo (por ejemplo, la cinta sensible a la presión se aplica sobre la superficie de las mordazas: la probeta de ensayo puede comenzar a desgarrarse en el borde de las mordazas durante la prueba si la cinta es demasiado delgada).

NOTA 6. Se sugiere que el tamaño de grano de la lija fina o gruesa sea al menos 800. El uso de estos materiales ayuda a prevenir que las probetas de ensayo se deslicen en las mordazas. Hay que tener cuidado al utilizar estos materiales para que no se produzcan fallas prematuras de las probetas.

5.1.6 *Indicador de extensión de cruceta*. Un mecanismo indicador de extensión adecuado, capaz de mostrar la cantidad de cambio en la separación de las mordazas, esto es, el movimiento de una cruceta. Este mecanismo debe ser esencialmente libre de retraso inercial a la velocidad especificada de la prueba (ver nota 7) y debe indicar el movimiento de cruceta con una precisión de ±1% del valor indicado, o superior.

5.2 Extensómetro (opcional). Un instrumento adecuado para determinar la distancia entre dos puntos designados en la probeta de ensayo según la probeta se estira. El uso de este tipo de instrumento es opcional y no es necesario en este método de ensayo. Si se utiliza este equipo, debe estar diseñado de modo que se reduzca al mínimo la tensión en la probeta en los puntos de contacto de la probeta y el instrumento (ver numeral 8.3). Es deseable que este instrumento registre automáticamente la distancia, o cualquier cambio en ella, en función de la carga en la probeta de ensayo o del tiempo transcurrido desde el inicio de la prueba, o ambas cosas. Si solamente se obtiene este último, los datos de carga-tiempo también deben tomarse. Este instrumento debe ser esencialmente libre de retraso inercial a la velocidad especificada de ensayo (ver nota 7).

5.2.1 *Módulo de elasticidad y mediciones de baja extensión*. Los extensómetros utilizados para el módulo de elasticidad y mediciones de baja extensión (menor al 20% de alargamiento) debe como mínimo, tener una precisión de ±1% y cumplir con los requisitos establecidos en la práctica ASTM E83 para un instrumento de clase C.

5.2.2 *Mediciones de alta extensión*. La instrumentación y técnicas de medición utilizadas para mediciones de alta extensión (20% de alargamiento o más) deben tener una precisión de ±1% del valor indicado, o superior.

5.3 Medidor de espesor. Un micrómetro de disco de peso muerto o un micrómetro digital como se describe en los métodos de ensayo D5947 y D6988 según sea apropiado para el material o la geometría de la probeta que se ensaya.

5.4 Dispositivos de medición de ancho. Escalas de ensayo adecuadas u otros dispositivos de medición de ancho capaces de medir 0,25 mm o menos.

5.5 Cortador de probeta. Referirse a la práctica ASTM D6287 para el equipo y las técnicas de corte de las películas y láminas utilizadas en este método de ensayo.

5.5.1 Los dispositivos que utilizan cuchillas de afeitar han demostrado ser especialmente adecuadas para los materiales que tienen un alargamiento en la fractura por encima del 10 al 20%.

5.5.2 El uso de una prensa troqueladora o un dado de impacto no es recomendable debido a su tendencia a producir bordes de probeta frágiles e inconsistentes.

5.5.3 El uso de una plantilla de corte y una sola cuchilla de afeitar no se recomienda ya que afectará el paralelismo de la probeta de ensayo.

6. PROBETAS DE ENSAYO

6.1 Las probetas de ensayo consisten en tiras de ancho y espesor uniforme por lo menos 50 mm más largas que la separación de las mordazas utilizada.

6.2 El ancho nominal de las probetas no debe ser inferior a 5,0 mm o superior a 25,4 mm.

6.3 Debe utilizarse una relación ancho-espesor de al menos un valor de ocho. Las probetas angostas magnifican los efectos de las deformaciones o imperfecciones de borde, o ambos.

6.4 Se debe tener cuidado extremo en el corte de las probetas para evitar hendiduras y grietas que causan fallas prematuras (ver nota 8). Los bordes deben ser paralelos dentro del 5% del ancho a lo largo del tramo de la probeta entre las mordazas.

_____

NOTA 7. Una velocidad de respuesta lo suficientemente alta en el sistema de indicación y registro para la carga y la extensión de datos es esencial. La velocidad de respuesta requerida del sistema dependerá en parte del material ensayado (alargamiento alto o bajo) y la tasa de tensión.

NOTA 8. Puede aplicarse un examen microscópico de las probetas para detectar imperfecciones, debidas a la muestra o preparación de la probeta.

6.5 Las probetas de ensayo deben seleccionarse de manera que el espesor sea uniforme dentro del 10% del espesor a lo largo de la probeta entre las mordazas en el caso de probetas de 0,25 mm o menos en espesor y dentro del 5% en el caso de probetas mayores a 0,25 mm de espesor, pero menores a 1,00 mm de espesor (ver nota 9).

6.6 Si el material es sospechoso de ser anisotrópico, deben prepararse dos conjuntos de probetas con sus ejes longitudinales respectivamente paralelos con la dirección sospechosa de anisotropía y perpendicular a la misma.

6.7 Para las determinaciones del módulo de elasticidad en tracción, una longitud calibrada de muestra de 250 mm, se debe considerar como estándar. Esta longitud se utiliza con el fin de minimizar los efectos del deslizamiento de mordazas en los resultados del ensayo. Cuando esta longitud no es factible, se pueden utilizar secciones de prueba de 100 mm si se ha demostrado que los resultados no son afectados apreciablemente. Sin embargo, para fines de arbitraje debe utilizarse la longitud calibrada de 250 mm. La velocidad de ensayo de las probetas más cortas debe ser ajustada para que la velocidad de deformación sea equivalente a la de la probeta estándar (ver nota 10 y 11).

7. ACONDICIONAMIENTO

7.1 Acondicionamiento. Acondicionar las muestras de ensayo a 23 ± 2℃ y 50 ± 10% de humedad relativa por no menos de 40 h antes del ensayo de conformidad con el procedimiento A de la práctica ASTM D618, a menos que se especifique lo contrario por acuerdo o por la correspondiente especificación ASTM del material. En caso de desacuerdo, las tolerancias son ± 1℃ y ± 5% de humedad relativa.

7.2 Condiciones de ensayo. Realizar el ensayo a 23 ± 2℃ y 50 ± 10% de humed ad relativa, a menos que se especifique lo contrario por acuerdo o por la correspondiente especificación ASTM del material. En caso de desacuerdo, las tolerancias son ± 1℃ y ± 5% de humedad relativa.

8. NÚMERO DE MUESTRAS DE ENSAYO

8.1 En el caso de materiales isotrópicos, por lo menos cinco probetas deben someterse a ensayo por cada muestra.

TABLA 1. Velocidades de cruceta y separación inicial de mordaza

Porcentaje de alargamiento en la rotura	Tasa de deformación inicial, mm/mm x min (pulgadas/pulgadas x min)	Separación inicial de mordazas		Velocidad de separación de mordazas	
		mm	pulgadas	mm/min	pulgadas/min
Determinación del módulo de elasticidad					
	0,1	250	10	25	1,0
Otras determinaciones distintas al módulo de elasticidad					
Menor que 20	0,1	125	5	12,5	0,5
20 a 100	0,5	100	4	50	2,0
Mayor que 100	10,0	50	2	500	20,0

NOTA 9. En los casos en que las variaciones de espesor son superiores a las recomendadas en el numeral 6.5, los resultados no suelen ser característicos del material sometido a ensayo.

NOTA 10. Dos ensayos round robin[1] han demostrado que, para los materiales de menos de 0,25 mm de espesor, las mordazas lineales forradas en su cara redondeada con 1,0 mm de papel secante dan los mismos resultados con una sección de ensayo de 100 mm, como los que se produce con una sección de ensayo de 250 mm con mordazas de cara plana.

NOTA 11. Un excesivo deslizamiento de mandíbula se vuelve cada vez más difícil de superar en los casos en que los materiales de alto módulo son ensayados en espesores superiores a 0,25 mm.

[1] Datos de soporte han sido archivados en oficinas de ASTM International y se pueden obtener mediante solicitud del informe de investigación RR: D20-1058.

8.2 En el caso de materiales anisótropos, al menos diez probetas, cinco perpendiculares y cinco paralelas al eje principal de anisotropía, se deben someter a ensayo por cada muestra.

8.3 (Opcional) Un número reducido de probetas de ensayo puede ser probado y se debe hacer constar en el informe:

(1) No menos de tres probetas de ensayo se deben someter a prueba.
(2) No menos de seis probetas de ensayo en el caso de materiales anisótropos, tres perpendiculares y tres paralelas con el eje principal de anisotropía, se deben someter a prueba.
(3) Se admite para muestreo de control de calidad en línea.
(4) Se admite para muestras insuficientes en tamaño para proporcionar un mínimo de cinco probetas de ensayo (10 probetas de ensayo para materiales anisótropos).
(5) La desviación estándar no necesita ser calculada o reportada debido al reducido número de puntos de datos.

Las probetas que fallan en algún defecto evidente o que fallan fuera de la longitud calibrada deben ser desechadas y debe realizarse un nuevo ensayo, a menos que tales defectos o condiciones constituyan una variable cuyo efecto se está estudiando. Sin embargo, roturas de la mandíbula (fallas en el punto de contacto con la mordaza) son aceptables si se ha demostrado que los resultados de tales ensayos están de acuerdo con los valores obtenidos de la rotura que tiene lugar dentro de la longitud calibrada (ver nota 12).

9. VELOCIDAD DE PRUEBA

9.1 La velocidad de ensayo es la velocidad de separación de los dos elementos (o mordazas) de la máquina de ensayo cuando funciona libre (sin carga). Esta velocidad de separación se debe mantener dentro del 5% del valor sin carga cuando se ejecuta a toda su capacidad de carga.

9.2 La velocidad de ensayo se calcula a partir de la velocidad de deformación inicial requerida según se especifica en la tabla 1. La velocidad de separación de mordazas se determina, para el propósito de estos métodos de ensayo, a partir de la velocidad de deformación inicial de la siguiente manera:

$$A = BC \quad (1)$$

Donde:

A = velocidad de separación de mordazas, mm / min,
B = distancia inicial entre mordazas, mm, y
C = velocidad de deformación inicial, mm / mm x min.

9.3 La velocidad de deformación inicial debe ser como en la tabla 1, a menos que se indique de otra manera según la especificación para el material que se está probando (ver nota 13).

9.4 En casos en los que una clasificación conflictiva del material, según lo determinado por los valores porcentuales de alargamiento en la rotura, resulta en una selección de velocidades de deformación, la velocidad más baja debe utilizarse.

9.5 Si se están determinando los valores de módulo, deben usarse probetas distintas siempre que las velocidades de deformación y las dimensiones de la probeta no sean las mismas que aquellas empleadas en el ensayo de otras propiedades de tracción.

_____

NOTA 12. En los casos de algunos materiales, el examen de las probetas, antes y después del ensayo, bajo polarizadores ópticos cruzados (películas polarizantes), proporciona un medio útil para la detección de fallas, que pueden ser o son responsables de una falla prematura.

NOTA 13. Los resultados obtenidos a diferentes velocidades de deformación inicial no son comparables y, en consecuencia, cuando se requieran comparaciones directas entre materiales en varias clases de alargamiento, se debe utilizar una velocidad de deformación inicial única. Para algunos materiales, es aconsejable seleccionar las velocidades de deformación sobre la base del porcentaje de alargamiento en la fluencia.

10. PROCEDIMIENTO

10.1 Seleccionar un intervalo de carga de tal forma que la falla en la probeta ocurra dentro de sus tercios superiores. Unas pocas corridas de prueba pueden ser necesarias para seleccionar una combinación adecuada de intervalo de carga y ancho de probeta.

10.2 Medir el área transversal de la probeta en varios puntos a lo largo de su longitud. Medir el ancho con una precisión de 0,25 mm o más. Medir el espesor con una precisión de 0,0025 mm o más para probetas de menos de 0,25 mm de espesor y con una precisión del 1% o más para probetas de más de 0,25 mm, pero menos de 1,0 mm de espesor.

10.3 Establecer la separación de mordazas inicial, de conformidad con la tabla 1.

10.4 Establecer la velocidad de separación de mordazas para alcanzar la velocidad de deformación deseada, en base a la distancia inicial entre las mordazas, de conformidad con la tabla 1. Poner en cero el sistema de peso de carga calibrado, el indicador o indicadores de extensión y el sistema de registro (ver nota 14).

10.5 En los casos en que se desea medir una sección de ensayo distinta a la longitud total entre las mordazas, marcar los extremos de la sección de ensayo deseada con un crayón suave, fino de cera o con tinta. No refregar estas marcas sobre la superficie porque pueden actuar como elevadores de tensión y causar fallas prematuras en la probeta. Se puede utilizar extensómetros si son disponibles; en este caso, la sección de ensayo será definida por los puntos de contacto del extensómetro (ver nota 15)

10.6 Colocar la probeta de ensayo en las mordazas de la máquina de ensayo, teniendo cuidado de alinear el eje longitudinal de la probeta con una línea imaginaria que une los puntos de fijación de las mordazas a la máquina. Apretar las mordazas uniforme y firmemente en la medida necesaria para reducir al mínimo el deslizamiento de la probeta durante el ensayo.

10.7 Poner en marcha la máquina y registrar la carga versus la extensión.

10.7.1 Cuando la longitud total entre las mordazas se utiliza como zona de ensayo, registrar la carga versus la separación de mordazas.

10.7.2 Cuando un área de ensayo específica se ha marcado en la probeta, seguir el desplazamiento de las líneas límite de borde con respecto a cada una con separadores o algún otro dispositivo adecuado. Si se desea una curva de carga-extensión, trazar varias extensiones frente a las correspondientes cargas sostenidas, según fue medido por el indicador de carga.

10.7.3 Cuando se utiliza un extensómetro, registrar la carga versus la extensión de la zona de ensayo medida por el extensómetro.

10.8 Si se determinan los valores de módulo, seleccionar un intervalo de carga y trazar la velocidad para producir una curva de carga-extensión de entre 30 y 60 grados respecto al eje X. Para una mayor precisión, utilizar la escala de carga más sensible para la cual esta condición se pueda alcanzar. El ensayo puede interrumpirse cuando la curva de carga-extensión se desvía de la linealidad.

10.9 En el caso de los materiales que están siendo evaluados para el módulo secante, el ensayo puede interrumpirse cuando la extensión especificada es alcanzada.

NOTA 14. Se puede utilizar extensómetros para las determinaciones del módulo de elasticidad con la expectativa de obtener valores más precisos que los que se pueden obtener utilizando la separación de mordazas como longitud calibrada eficaz. Se deben tomar precauciones para asegurar que no ocurra un deslizamiento del extensómetro y una indebida tensión de la probeta. Remitirse también al numeral 6.7.

NOTA 15. La medición de una sección de ensayo específica es necesaria para algunos materiales que tienen alto alargamiento. A medida que la probeta se alarga, la consecuente reducción del área produce un aflojamiento en el borde interior de las mordazas. Esta reducción y aflojamiento retrocede hacia las mordazas, proporcionalmente al alargamiento y reducción de área que tenga lugar. En efecto, esto causa problemas similares al deslizamiento de mordazas, es decir, exagera la extensión medida.

10.10 Si se determina la energía de tracción en la rotura, debe realizarse alguna provisión para la integración de la curva tensión-deformación. Esto puede ser una integración electrónica durante el ensayo o una determinación subsiguiente a partir del área de la curva tensión-deformación concluida (ver Anexo A.2).

11. CÁLCULO

11.1 La compensación del arranque debe efectuarse de conformidad con el Anexo A.1, a menos que pueda demostrarse que la región del arranque de la curva no se debe a la recuperación del aflojamiento, al asentamiento de la probeta o a otra alteración, sino más bien es una respuesta auténtica del material.

11.2 El factor de rotura (nominal) se debe calcular dividiendo la carga máxima por el ancho mínimo original de la probeta. El resultado debe expresarse en fuerza por unidad de ancho, por lo general newtons por metro de ancho, y reportarse a tres cifras significativas. El espesor de la película debe siempre declararse hacia los más próximos 0,0025 mm.

Ejemplo:

Factor de rotura = 1,75 kN/m de ancho para 0,1300 mm de espesor (ver nota 16).

11.3 La resistencia a la tracción (nominal) se calcula dividiendo la carga máxima por la sección transversal mínima original de la probeta. El resultado debe expresarse en fuerza por unidad de área, por lo general megapascales (MPa). Este valor debe reportarse a tres cifras significativas. La carga máxima puede ocurrir en el límite de elasticidad, en el límite de rotura, o en la región entre el límite de elasticidad y el límite de rotura (ver nota 17).

11.4 La resistencia a la tracción en la rotura (nominal) se calcula de la misma manera que la resistencia a la tracción, salvo que se utiliza la carga de rotura en lugar de la carga máxima (ver notas 17 y 18).

11.5 El p*orcentaje de alargamiento en la rotura* se calcula dividiendo la extensión al momento de la rotura de la probeta por la longitud inicial calibrada de la probeta y multiplicando por 100. Cuando se utilizan marcas de calibradores o extensómetros para definir una sección específica de prueba, solamente esta longitud se utiliza en el cálculo; caso contrario se utiliza la distancia entre las mordazas. El resultado debe expresarse en porcentaje y reportarse a dos cifras significativas (ver nota 17).

11.6 La resistencia a la deformación permanente por tracción, cuando aplique, se debe calcular dividiendo la carga en el límite de elasticidad por el área mínima de sección transversal original de la probeta. El resultado se debe expresar en fuerza por unidad de área, por lo general megapascales (MPa). Este valor debe reportarse a tres cifras significativas. Por otra parte, para los materiales que exhiben un comportamiento que obedece a la ley de Hooke en la parte inicial de la curva, debe obtenerse una compensación de la resistencia a la deformación permanente según lo descrito en el apéndice del método del ensayo ASTM D638. En este caso el valor debe presentarse como "resistencia a la deformación permanente en porcentaje de compensación".

11.7 El p*orcentaje de alargamiento en la fluencia*, cuando aplique, debe calcularse dividiendo la extensión en el límite de elasticidad por la longitud calibrada inicial de la probeta y multiplicando por 100. Cuando se utilizan marcas de calibrador o extensómetros para definir una sección específica de prueba, en el cálculo se utiliza solamente esta longitud. Previo al cálculo, corregir la extensión para la "compensación del arranque" como se describe en el Anexo A.1. Los resultados deben expresarse en porcentaje y reportarse a dos cifras significativas. Cuando se aplica la compensación de la resistencia a la deformación permanente, debe calcularse el alargamiento en la compensación de la resistencia a la deformación permanente.

_____

NOTA 16. Este método de reporte es útil para películas muy finas (0,13 mm y menores) para las que la carga de rotura no es proporcional al área transversal y cuyo espesor es difícil de determinar con precisión. Por otra parte, las películas que están en efecto laminar debido a la orientación, efectos de piel, cristalinidad no uniforme, etc., tienen propiedades de tracción desproporcionada en relación a la sección transversal.

NOTA 17. Cuando ocurre una falla por desgarramiento, calcular e indicar los resultados en base a la carga y alargamiento en los cuales el desgarre se inicia, según se refleja en la curva de carga-deformación.

NOTA 18. En muchos casos, la resistencia a la tracción y resistencia a la rotura son idénticos, pero no siempre.

11.8 El módulo elástico debe calcularse trazando una tangente a la porción lineal inicial de la curva de carga-extensión, seleccionando cualquier punto en esta tangente y dividiendo el esfuerzo de tracción por la deformación correspondiente. Previo al cálculo, corregir la extensión para la "compensación del arranque" como se describe en el Anexo A.1. Para efectos de esta determinación, el esfuerzo de tracción se debe calcular dividiendo la carga por la sección transversal original promedio de la sección de ensayo. El resultado debe expresarse en fuerza por unidad de área, por lo general megapascales (MPa), y reportarse a tres cifras significativas.

11.9 El módulo secante, a una deformación designada, se calcula dividiendo la tensión (nominal) correspondiente por la deformación designada. Los valores de módulo elástico son preferibles y deben calcularse siempre que sea posible. Incluso, para los materiales en los que ninguna proporcionalidad es evidente, se calculan los valores de módulo secante. Dibujar la tangente como se indica en A.1.3 y la fig. A.1.2 del Anexo A.1, y delimitar la deformación designada del límite de elasticidad donde la recta tangente atraviesa la tensión cero. Determinar la tensión que se utiliza en el cálculo, dividiendo la carga a la deformación designada en la curva de carga-extensión por la sección transversal original promedio de la probeta.

11.10 La energía de tracción en la rotura, cuando aplique, se calcula mediante la integración de la energía por unidad de volumen bajo la curva tensión-deformación o mediante la integración de la energía total absorbida y dividiéndolo por el volumen de la región calibrada original de la probeta. Como se indica en el Anexo A.2, esto debe realizarse directamente durante el ensayo mediante un integrador electrónico, o posteriormente, por el cómputo del área de la curva trazada. El resultado debe expresarse en energía por unidad de volumen, por lo general en megajulios por metro cúbico (MJ/m^3). Este valor debe reportarse a dos cifras significativas.

11.11 Para cada serie de ensayos, la media aritmética de todos los valores obtenidos debe calcularse al número apropiado de cifras significativas.

11.12 La desviación estándar (estimada) se calcula de la siguiente manera y se reporta a dos cifras significativas:

$$s = \sqrt{(\sum \mathrm{X}^2 - n\hat{X}^2)/(n-1)}$$

Donde:

s = desviación estándar estimada,
X = valor de una sola observación,
n = número de observaciones, y
$\hat{X}$ = media aritmética del conjunto de observaciones.

12. INFORME

12.1 Reportar la siguiente información:

12.1.1 Identificación completa del material ensayado, incluyendo el tipo, origen, número de código del fabricante, forma, dimensiones principales, antecedentes, y orientación de las muestras con respecto a la anisotropía (si existe).

12.1.2 Método de preparación de las probetas de ensayo.

12.1.3 Espesor, ancho y longitud de probetas ensayadas.

12.1.4 Número de probetas ensayadas.

12.1.5 Velocidad de deformación empleada.

12.1.6 Separación de las mordazas (inicial).

12.1.7 Velocidad de la cruceta (velocidad de separación de mordazas).

12.1.8 Longitud calibrada (si es diferente de la separación de las mordazas).

12.1.9 Tipo de mordazas utilizadas, incluyendo el revestimiento (si existe).

12.1.10 Procedimiento de acondicionamiento (condiciones de ensayo, temperatura y humedad relativa, si no son los valores estándar).

12.1.11 Comportamiento anómalo, como serían fallas por desgarramiento y fallas en la mordaza.

12.1.12 Factor promedio de rotura y desviación estándar.

12.1.13 Resistencia promedio a la tracción (nominal) y desviación estándar.

12.1.14 Resistencia promedio a la tracción en la rotura y desviación estándar.

12.1.15 Porcentaje promedio de alargamiento en la rotura y desviación estándar.

12.1.16 Cuando aplique, la energía promedio de tracción en la rotura y la desviación estándar.

12.1.17 En el caso de materiales que presentan el fenómeno de "fluencia": la resistencia promedio a la deformación permanente y la desviación estándar; y el porcentaje promedio de alargamiento en la fluencia y la desviación estándar.

12.1.18 Para materiales que no presenten un límite de elasticidad: el porcentaje promedio de compensación de la resistencia a la deformación permanente y la desviación estándar; y el porcentaje promedio de alargamiento de compensación de la resistencia a la deformación permanente y la desviación estándar.

12.1.19 Módulo promedio de elasticidad y desviación estándar (si se utiliza el módulo secante, entonces indicarlo y reportar la deformación a la cual se ha calculado).

12.1.20 Cuando se emplea un extensómetro, entonces indicarlo.

13. PRECISIÓN Y SESGO

13.1 Se han llevado a cabo dos ensayos interlaboratorios para estas propiedades de tracción. El primero se ejecutó para módulos solamente en 1977, en el cual cuatro muestras de materiales delgados (~0,025 mm) extraídas aleatoriamente se ensayaron con cinco probetas en cada laboratorio. Las mediciones del módulo elástico (tangente) se realizaron por seis laboratorios, y las mediciones del módulo secante (1%) fueron realizadas por cinco laboratorios. La precisión relativa obtenida en este estudio interlaboratorios se encuentra en la tabla 2.

TABLA 2. Datos de precisión para módulos

Material	Espesor,		Promedio,		S_r,		S_R,		I_r,		I_R,	
	μm	mils	kPa	psi	10^3 kPa	10^3 psi	10^3 kPa	10^3 psi	10^3 kPa	10^3 psi	10^3 kPa	10^3 psi
Módulo tangente												
LDPE	35,6	1,4	371,6	53,9	12,5	1,81	60,7	8,81	35,3	5,12	171,7	24,9
HDPE	40,6	1,6	1316,9	191	37,7	5,47	111,7	16,2	106,9	15,5	316,5	45,9
PP	27,9	1,1	2930,2	425	71,0	10,3	217,2	31,5	199,9	29,0	614,3	89,1
PET	22,9	0,9	4633,2	672	95,2	13,8	382,7	55,5	269,6	39,1	1082,5	157,0
Módulo secante												
LDPE	35,6	1,4	310,3	45,0	14,5	2,11	23,7	3,43	41,2	5,98	66,9	9,7
HDPE	40,6	1,6	1034,2	150	22,7	3,29	66,1	9,58	64,1	9,30	186,8	27,1
PP	27,9	1,1	2564,8	372	32,1	4,66	182,7	26,5	91,0	13,2	516,4	74,9
PET	22,9	0,9	4412,6	640	69,0	10,0	189,6	27,5	195,8	28,4	536,4	77,8

13.1.1 Para obtener las estimaciones en la tabla 2, los valores extremos estadísticos no fueron eliminados, de acuerdo con la práctica ASTM E691.[2]

13.1.2 La desviación estándar dentro de un laboratorio para un valor medio, $S_{\bar{x}}$, en cada caso se determinó a partir de la desviación estándar, S_x, de las cinco probetas individuales de la siguiente manera: $S_{\bar{x}} = S_x /(5)^{1/2}$. Los valores $S_{\bar{x}}$ se agruparon entre laboratorios para un material dado para obtener la desviación estándar dentro de un laboratorio, S_r, de un resultado de ensayo (promedio de cinco probetas). Ver 13.3-13.3.2 para las definiciones de términos en las tablas.

13.2 Un ensayo interlaboratorios fue dirigido para todas las demás propiedades de tracción, excepto los módulos en el año 1981, en el cual seis muestras de materiales (una de ellas en tres espesores) que varían en espesor desde 0,019 hasta 0,178 mm (0,00075 a 0,007 pulgadas) fueron extraídas aleatoriamente y se ensayaron en siete laboratorios. Un resultado de ensayo fue definido como la media de las determinaciones de cinco probetas. Sin embargo, cada laboratorio ensayó ocho probetas, y el $S_{\bar{x}}$ se determinó a partir de $S_{\bar{x}} = S_x /(5)^{1/2}$ como en el caso anterior. Esto se efectuó para mejorar la calidad de las estadísticas, manteniendo su aplicabilidad al resultado de un ensayo de cinco probetas. Los materiales y sus espesores están identificados en las tablas 3-7, cada uno de los cuales contiene los datos de una de las siguientes propiedades: resistencia a la deformación permanente por tracción, alargamiento en la fluencia, resistencia a la tracción, alargamiento en la rotura por tracción y energía de tracción en la rotura (ver nota 19).[3]

13.3 A efectos de compilar estadísticas de resumen, un resultado de ensayo ha sido definido como el promedio de cinco mediciones replicadas de una propiedad para un material en un laboratorio, tal como se especifica en este método de ensayo. Las estadísticas de resumen se presentan en la tabla 3. En cada tabla, para el material indicado, *S(r)* es la desviación estándar agrupada dentro de un laboratorio de un resultado de ensayo, *S(R)* es la desviación estándar entre laboratorios de un resultado de ensayo, donde *r* es igual a 2,83 x *S(r)* (ver 13.3.1) y *R* es igual a 2,83 x *S(R)* (ver 13.3.2). (Advertencia: Las explicaciones siguientes sobre I_r e I_R (13.3-13.3.3) pretenden solamente presentar de una manera significativa la precisión *aproximada* de este método de ensayo. Los datos de la tabla 2 no deben aplicarse rigurosamente para la aceptación o rechazo del material, pues aquellos datos son específicos del ensayo *round robin* y no pueden ser representativos de otros lotes, condiciones, materiales, o laboratorios. Los usuarios de este método de ensayo deben aplicar los principios esbozados en la práctica ASTM E691 para generar datos específicos para su laboratorio y materiales, o entre laboratorios específicos. Los principios de 13.3-13.3.3 serían entonces válidos para tales datos.)

13.3.1 Repetitividad, I_r (Comparando dos resultados de ensayo para el mismo material, obtenidos por el mismo operador utilizando el mismo equipo en el mismo día). Los dos resultados de ensayo deben juzgarse no equivalentes, si difieren en más que el valor de I_r para ese material.

13.3.2 *Reproducibilidad.* En la comparación de dos valores medios para el mismo material, obtenidos por operarios distintos, utilizando equipos diferentes en días diferentes, ya sea en el mismo laboratorio o en laboratorios diferentes, los valores medios deben juzgarse no equivalentes, si difieren en más que el valor R para ese material.

13.3.3 Cualquier juicio realizado de conformidad con 13.3.1 y 13.3.2, tiene un aproximado del 95% (0,95) de probabilidad de ser correcto.

13.3.4 Para mayor información, ver Práctica ASTM E691.

13.4 Sesgo. El error sistemático que contribuye a la diferencia entre un resultado y un valor verdadero (o de referencia). No existen estándares reconocidos en los cuales basar una estimación del sesgo para estos métodos de ensayo.

_____

NOTA 19. Posterior a la presentación del informe de investigación, el examen del polietileno de baja densidad utilizado en este estudio entre polarizadores cruzados reveló líneas longitudinales que representan una variación sustancial a lo ancho en la orientación molecular que probablemente no fue exitosamente asignada al azar del componente de la varianza entre-laboratorios.

_____

[2] Información de apoyo ha sido archivada en las oficinas de ASTM International y se puede obtener mediante solicitud del informe de investigación RR: D20-1084.

[3] Información de apoyo ha sido archivada en las oficinas de ASTM International y se puede obtener mediante solicitud del informe de investigación RR: D20-1101.

TABLA 3. Datos de precisión para el límite elástico

Material	Espesor,		Promedio, 10^3		$(S_r)^A$ 10^3		$(S_R)^B$ 10^3		$I(r)^C$ 10^3		$I(R)^D$ 10^3	
	μm	mils	kPa	psi	kPa	psi	kPa	psi	kPa	psi	kPa	psi
LDPE	25,4	1,0	10,27	1,49	0,35	0,051	0,90	0,13	0,97	0,14	2,55	0,37
HDPE	25,4	1,0	29,85	4,33	0,58	0,084	1,10	0,16	1,65	0,24	3,03	0,44
PP	19,1	0,75	44,13	6,4	0,90	0,13	3,59	0,52	2,55	0,37	10,07	1,46
PC	101,6	4,0	59,23	8,59	0,50	0,072	2,00	0,29	1,38	0,2	5,65	0,82
CTA	134,6	5,3	78,60	11,4	0,83	0,12	3,45	0,5	2,34	0,34	9,86	1,43
PET	101,6	4,0	98,59	14,3	0,83	0,12	1,59	0,23	2,34	0,34	4,55	0,66
PET	63,5	2,5	99,28	14,4	0,97	0,14	3,72	0,54	2,76	0,4	10,48	1,52
PET	177,8	7,0	99,28	14,4	0,90	0,13	2,48	0,36	2,55	0,37	7,10	1,03

[A] S_r es la desviación estándar del promedio dentro del laboratorio.
[B] S_R es la desviación estándar del promedio entre laboratorios.
[C] $I_r = 2,83\ S_r$.
[D] $I_R = 2,83\ S_R$.

TABLA 4. Datos de precisión para el alargamiento elástico

Material	Espesor,		Promedio, %	$(S_r)^A$, %	$(S_R)^B$, %	$I(r)^C$, %	$I(R)^D$, %
	μm	mils					
PP	19,1	0,75	3,5	0,15	0,41	0,42	1,2
PET	63,5	2,5	5,2	0,26	0,92	0,74	2,6
PET	101,6	4,0	5,3	0,25	0,60	0,71	1,7
PET	177,8	7,0	5,4	0,14	1,05	0,40	3,0
CTA	134,6	5,3	5,4	0,19	0,99	0,54	2,8
PC	101,6	4,0	6,9	0,24	0,98	0,68	2,8
HDPE	25,4	1,0	8,8	0,32	1,82	0,91	5,2
LDPE	25,4	1,0	10,0	0,55	3,41	1,56	9,6

NOTA. Ver tabla 3 por explicación en nota al pie.

TABLA 5. Datos de precisión para la resistencia a la tracción

Material	Espesor,		Promedio, 10^3		$(S_r)^A$ 10^3		$(S_R)^B$ 10^3		$I(r)^C$ 10^3		$I(R)^D$ 10^3	
	μm	mils	kPa	psi	kPa	psi	kPa	psi	kPa	psi	kPa	psi
LDPE	25,4	1,0	23,58	3,42	0,97	0,14	3,65	0,53	2,76	0,40	10,34	1,5
HDPE	25,4	1,0	47,37	6,87	1,86	0,27	5,58	0,81	5,24	0,76	15,86	2,3
PC	101,6	4,0	82,74	12,0	2,34	0,34	6,41	0,93	6,62	0,96	17,93	2,6
CTA	134,6	5,3	100,66	14,6	1,38	0,20	9,45	1,37	3,93	0,57	26,89	3,9
PP	19,1	0,75	195,81	28,4	10,82	1,57	31,44	4,56	30,34	4,40	88,94	12,9
PET	101,6	4,0	199,26	28,9	4,48	0,65	8,76	1,27	12,41	1,80	24,82	3,6
PET	177,8	7,0	208,91	30,3	5,72	0,83	9,10	1,32	15,86	2,30	25,51	3,7
PET	63,5	2,5	210,98	30,6	8,41	1,22	18,20	2,64	23,44	3,40	51,71	7,5

NOTA. Ver tabla 3 por explicación en nota al pie.

TABLA 6. Datos de precisión para el alargamiento en la rotura

Material	Espesor,		Promedio, %	$(S_r)^A$, %	$(S_R)^B$, %	$I(r)^C$, %	$I(R)^D$, %
	μm	mils					
CTA	134,6	5,3	26,4	1,0	4,3	3	12
PP	19,1	0,75	57,8	4,4	12,7	12	36
PET	63,5	2,5	120	8,0	14,6	23	41
PET	177,8	7,0	132	5,8	10,6	16	30
PET	101,6	4,0	134	4,4	12,2	12	35
PC	101,6	4,0	155	5,4	17,1	15	48
LDPE	25,4	1,0	205	24,4	73,3	69	210
HDPE	25,4	1,0	570	26,0	91,7	74	260

NOTA. Ver tabla 3 por explicación en nota al pie.

TABLA 7. Datos de precisión para la energía de tracción en la rotura

Material	Espesor,		Promedio,		$(S_r)^A$		$(S_R)^B$		$I(r)^C$		$I(R)^D$	
	μm	mils	MJ/m^3	10^3 in. lbf/in^3	MJ/m^3	10^3 in. lbf/in^3	MJ/m^3	10^3 in. lbf/in^3	MJ/m^3	10^3 in. lbf/in^3	MJ/m^3	10^3 in. lbf/in^3
CTA	127,0	5,0	21,65	3,14	0,97	0,14	4,83	0,70	2,76	0,4	13,79	2,0
LDPE	25,4	1,0	38,61	5,6	5,79	0,84	17,03	2,47	16,55	2,4	48,26	7,0
PP	19,1	0,75	77,91	11,3	8,20	1,19	21,44	3,11	23,44	3,4	60,67	8,8
PC	101,6	4,0	88,94	12,9	4,07	0,59	10,69	1,55	11,72	1,7	30,34	4,4
HDPE	25,4	1,0	179,26	26,0	12,89	1,87	34,61	5,02	36,54	5,3	97,91	14,2
PET	63,5	2,5	179,95	26,1	14,69	2,13	28,96	4,20	41,37	6,0	82,05	11,9
PET	101,6	4,0	186,85	27,1	9,79	1,42	18,96	2,75	27,58	4,0	53,78	7,8
PET	177,8	7,0	195,81	28,4	11,79	1,71	18,75	2,72	33,09	4,8	53,09	7,7

NOTA. Ver tabla 3 por explicación en nota al pie

Deformación

de registro trazan la imagen

al con región que no ooke

n de arranque, AC, la cual por una recuperación del n de obtener los valores nsación de fluencia, esta deformación o extensión.

:o que obedece a la ley de urva se construye a través ro corregido, desde el cual la compensación de la dividiendo la tensión en smo punto (medida desde

g. A1.2), el mismo tipo de ediante la construcción de ctiende hasta intersectar el Usando el punto B' como lirse por la deformación en ra aquellos materiales que el punto de inflexión como uede resultar en errores

bajo la curva de tensión-

$$\text{ETR} = \int_0^{\varepsilon_T} S\,\mathrm{d}\varepsilon \qquad \text{(A.2.1)}$$

Donde:

S es la tensión en cualquier deformación, ε, y ε_T es la deformación en la rotura. El valor se expresa en unidades de energía por unidad de volumen de la región inicial calibrada de la probeta. La ETR se mide de forma más conveniente y precisa con un comprobador de tensión equipado con un integrador. El cálculo es entonces:

$$\text{ETR} = (I/K)\frac{(\text{carga de escala completa})(\text{velocidad de registro})(\text{velocidad de la cruceta/velocidad de registro})}{(\text{calibre medio})(\text{ancho de probeta})(\text{longitud calibrada})} \qquad \text{(A.2.2)}$$

Donde:

I es el orden de lectura del integrador y *K* es el orden máximo posible por unidad de tiempo para una carga constante de escala completa. Todo este cálculo típicamente suele realizarse electrónicamente. Los resultados se expresan mejor en megajulios por metro cúbico (MJ/m^3).

A.2.2 Sin un integrador, el área bajo la curva tensión-deformación registrada se puede medir por planímetro, contando cuadrados, o con el peso de la curva de recorte. Estas técnicas requieren mucho tiempo y es probable que sean menos precisas, ya que la escala de carga en algunos registros no se encuentra en volúmenes enteros. Por otra parte, si las coordenadas de la curva se encuentran en términos de fuerza y extensión en lugar de tensión y deformación, la energía calculada, correspondiente al área medida, debe dividirse por el producto de la longitud calibrada, el ancho de la probeta, y el calibre medio:

(área de la curva) (fuerza por unidad de la escala de registro) (A.2.3)

$$\text{ETR} = \frac{(\text{extensión por unidad de recorrido de registro})}{(\text{calibre medio})(\text{ancho de probeta})(\text{longitud calibrada})}$$

A.2.3 Por ejemplo, si el área bajo la curva de fuerza-extensión es de 60 000 mm^2, la coordenada de carga es de 2,0 N/mm de escala de registro, la coordenada de extensión es de 0,25 mm de extensión por cada mm de recorrido de registro y las dimensiones de la probeta son 0,1 mm de espesor, 15 mm de ancho y 100 mm calibrados, entonces el cálculo de la energía de tracción en la rotura es:

$$\text{ETR} = \frac{(60\,000\ \text{mm}^2)(2{,}0\ \text{N/mm})(0{,}25 \times 10^{-3}\ \text{m/mm})}{(0{,}1 \times 10^{-3}\text{m})(15 \times 10^{-3}\text{m})(100 \times 10^{-3}\text{m})} \qquad \text{(A.2.4)}$$

$$\text{ETR} = 200\ MJ/m^3$$

APÉNDICE Z

Z.1 DOCUMENTOS NORMATIVOS A CONSULTAR

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2636	*Terminología relativa a plásticos degradables*
Norma ASTM D618	Standard *Practice for Conditioning Plastics for Testing*
Norma ASTM D638	Standard *Test Method for Tensile Properties of Plastics*
Norma ASTM D4000	Standard *Classification System for Specifying Plastic Materials*
Norma ASTM D5947	Standard *Test Methods for Physical Dimensions of Solid Plastics Specimens*
Norma ASTM D6287	Standard *Practice for Cutting Film and Sheeting Test Specimens*
Norma ASTM D6988	Standard *Guide for Determination of Thickness of Plastic Film Test Specimens*
Norma ASTM E4	Standard *Practices for Force Verification of Testing Machines*
Norma ASTM E691	Standard *Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method*
Norma ISO 527-3	*Plastics. Determination of tensile properties. Part 3: Test conditions for films and sheets*

Z.2. BASES DE ESTUDIO

ASTM D882-10 *Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting*. American Society for Testing and materials. Philadelphia, 2010.

ASTM E7-03(2009) *Standard Terminology Relating to Metallography*. American Society for Testing and materials. Philadelphia, 2010

Glossary of Meteorology. American Meteorology Society. Section I – Page 19. http://amsglossary.allenpress.com/glossary/browse?s=i&p=10. Consultado en 2011-04-26

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Documento:	**TÍTULO:**	**Código:**
NTE INEN 2635	**MÉTODO DE ENSAYO PARA LAS PROPIEDADES DE TRACCIÓN DE LÁMINAS PLÁSTICAS DELGADAS**	**PL 03.01-310**

ORIGINAL:	REVISIÓN:
Fecha de iniciación del estudio: 2011-02-02	Fecha de aprobación anterior del Consejo Directivo Oficialización con el Carácter de por Acuerdo Ministerial No. publicado en el Registro Oficial No. Fecha de iniciación del estudio:

Fechas de consulta pública: de a

Subcomité Técnico: **Plásticos degradables**
Fecha de iniciación: 2011-07-27 Fecha de aprobación: 2011-11-09
Integrantes del Subcomité Técnico:

NOMBRES:	**INSTITUCIÓN REPRESENTADA:**
Ing. Diego Saltos Donoso (Presidente)	FLEXIPLAST
Dra. Caterina Costa	ASEPLAS
Ing. Alfredo Hoyos	PORCONECU
Ing. Andrés Villacís	MINISTERIO DE INDUSTRIAS Y PRODUCTIVIDAD
Ing. Anita Ramos	PLÁSTICOS TORTUGA (GR)
Ing. Carlos Hoyos	PORCONECU
Ing. Jenny Arias	MINISTERIO DEL AMBIENTE – DIRECCIÓN NACIONAL PARA LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL
Ing. Jorge Salgado	ENTEC
Ing. Luis Jervis	INTERCIA
Ing. Xavier Ordoñez	SUNCHODESA
Ing. Xavier Ramadán	PROVELAN CIA. LTDA.
Ing. Yolanda Chimbo	EMPAQPLAST
Ing. Yuly Palma	DISAN ECUADOR
Lic. Lorena Ricaurte	ASEPLAS
Dra. Verónica Arrieta	MINISTERIO DEL AMBIENTE – PROGRAMA NACIONAL PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE DESECHOS SÓLIDOS
Ing. Eduardo Franco	PLÁSTICOS ECUATORIANOS S.A.
Ing. Francisco Quiroz	CIAP – ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
Ing. Jaime Yánez León	MEXICHEM ECUADOR S.A.
Ing. Cristina Acosta (Secretaria Técnica)	INEN – REGIONAL AZUAY

Otros trámites:

La Subsecretaría de la Calidad del Ministerio de Industrias y Productividad aprobó este proyecto de norma

Oficializada como: Voluntaria Por Resolución No. 12125 de 2012-06-12
Registro Oficial No. 736 de 2012-07-02

Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN - Baquerizo Moreno E8-29 y Av. 6 de Diciembre
Casilla 17-01-3999 - Telfs: (593 2)2 501885 al 2 501891 - Fax: (593 2) 2 567815
Dirección General: E-Mail:direccion@inen.gob.ec
Área Técnica de Normalización: E-Mail:normalizacion@inen.gob.ec
Área Técnica de Certificación: E-Mail:certificacion@inen.gob.ec
Área Técnica de Verificación: E-Mail:verificacion@inen.gob.ec
Área Técnica de Servicios Tecnológicos: E-Mail:inenlaboratorios@inen.gob.ec
Regional Guayas: E-Mail:inenguayas@inen.gob.ec
Regional Azuay: E-Mail:inencuenca@inen.gob.ec
Regional Chimborazo: E-Mail:inenriobamba@inen.gob.ec
URL:www.inen.gob.ec