

EVALUACIÓN DE LA PERDIDA DE CALIDAD EN EL COMPORTAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE 3 FIBRAS NATURALES , PENSADAS COMO UNA ALTERNATIVA PARA EL TUTORADO DE ARVEJA (*Pisum Sativum*) EN NARIÑO.

JORGE DANIEL REVELO ROSERO

UNIVERSIDAD DE NARIÑO

FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

SAN JUAN DE PASTO

2018

EVALUACIÓN DE LA PERDIDA DE CALIDAD EN EL COMPORTAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE 3 FIBRAS NATURALES , PENSADAS COMO UNA ALTERNATIVA PARA EL TUTORADO DE ARVEJA (*Pisum Sativum*) EN NARIÑO.

JORGE DANIEL REVELO ROSERO

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
Ingeniero Agroindustrial**

Director:

PH.D OSWALDO OSORIO MORA

Codirector

PH.D OSCAR CHECA CORAL

UNIVERSIDAD DE NARIÑO

FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

SAN JUAN DE PASTO

2018

Nota de Responsabilidad

“Las ideas y conclusiones en el presente trabajo de grado son de responsabilidad exclusiva del autor”

Artículo 1° del acuerdo No. 324 del 11 de octubre de 1966, emanado del honorable consejo directivo de la Universidad de Nariño

NOTA DE ACEPTACIÓN

ING. DAVID FERNANDO LÓPEZ

Jurado

M.Sc. ANDRÉS FELIPE CERÓN CÁRDENAS

Jurado

Ph.D. OSWALDO OSORIO MORA

Asesor

DEDICATORIA

Al haber alcanzado este triunfo en mi vida, dedico este trabajo en primer lugar a Dios, a mi familia mi madre, mi abuela y mi tío por apoyarme en todo lo posible con su esfuerzo y amor, Agradezco a todas las personas que de una u otra forma lograron que alcanzara mi título profesional

AGRADECIMIENTOS

Al proyecto “Investigación para el mejoramiento de la tecnología de producción de arveja (*Pisum sativum* L.) En el departamento de Nariño” por la financiación de este trabajo de investigación.

Grupo de Investigación GAIDA por facilitar la utilización de los equipos del laboratorio de investigación en conservación y calidad de alimentos

M.Sc David Fernando López por sus recomendaciones y asesoría

M.Sc. Andrés Felipe Cerón por sus recomendaciones, correcciones y asesoría brindada.

Ph.D Oswaldo Osorio Mora por su asesoría y acompañamiento en el desarrollo de la investigación

A las personas que de alguna manera colaboraron en la realización y culminación de este trabajo de grado.

Resumen

La siembra de arveja (*Pisum sativum L.*) en el departamento de Nariño se realiza mediante un sistema denominado tutorado tradicional que es capaz de soportar los tallos trepadores de esta leguminosa permitiendo que produzcan una mayor cosecha. En este tutorado se emplean fibras sintéticas de polipropileno que están provocando problemas de contaminación para los agricultores, por cada hectárea de arveja tutorada se requiere el uso de aproximadamente 20000 metros de fibra (sintética) que después de uso ocasionan gastos de limpieza, reciclaje y en algunas ocasiones caen al suelo causando problemas ambientales.

La alta resistencia a la corrosión, al agua y a la descomposición bacteriana los convierte en residuos difíciles de eliminar y, consecuentemente, en un grave problema ambiental. El polietileno y el polipropileno pueden tardar hasta 500 años en descomponerse y actualmente se busca reemplazar estos materiales con fibras naturales.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el comportamiento de las propiedades mecánicas de 3 fibras: fique, algodón y plátano, como alternativa de tutorado en los sistemas productivos de arveja (*Pisum Sativum*) en Nariño, evaluando parámetros como el módulo de Young, carga máxima y elongación, comparando los resultados con una muestra patrón que fue la fibra sintética de polipropileno.

Las fibras fueron ubicadas en el cultivo de arveja, se suspendieron de unos tutores o postes dejando que las condiciones ambientales actuaran sobre ellas, cada 15 días se evaluó el cambio de sus propiedades mecánicas, las mismas fibras fueron puestas en suelo a una profundidad de 10 centímetros para observar su degradación y evaluar sus propiedades mecánicas mediante la determinación de constantes de velocidad de degradación.

Se obtuvo como resultado una degradación de todas las propiedades mecánicas evaluadas en cada fibra, causada por diferentes afectaciones ambientales, en condiciones ambiente la fibra de plátano obtuvo los valores más altos de constantes de degradación máxima, las fibras de fique y algodón no tuvieron diferencias significativas en los valores de constantes de degradación para la mayoría de las propiedades evaluadas y son comparables con las constantes de las fibras de polipropileno. En condiciones de suelo las fibras de plátano y fique se degradaron y desintegraron rápidamente por lo cual si llegan a ser usadas en el tutorado y caen al suelo no ocasionarían problemas ambientales ni de aglomeración por su rápida desintegración. Según el modelo matemático todas las fibras naturales evaluadas pueden soportar el ciclo del cultivo a excepción de la fibra de plátano la cual presentó una degradación acelerada.

Abstract

The planting of pea (*Pisum sativum* L.) in the department of Nariño is done through a system called traditional tutorado that is able to support the climbing stems of this legume allowing them to produce a greater harvest. In this tutorado polypropylene synthetic fibers are used that are causing pollution problems for farmers, because for each hectare of tutored pea requires the use of approximately 20,000 meters of fiber (not degradable) that after use cause cleaning costs , recycling and sometimes fall to the ground causing environmental problems due to its agglomeration.

The high resistance to corrosion, water and bacterial decomposition makes them waste difficult to eliminate and, consequently, in a serious environmental problem. Polyethylene and polypropylene can take up to 500 years to decompose and environmentally friendly materials are currently being sought.

The objective of the present work was to evaluate the behavior of the mechanical properties of 3 fibers: fique, cotton and banana, as an alternative of tutorado in the pea production systems (*Pisum Sativum*) in Nariño, evaluating parameters such as Young's modulus, maximum weight and elongation, comparing the results with a standard sample that was the synthetic fiber of polypropylene.

The fibers were located in the pea crop, they were suspended from tutors or poles allowing environmental conditions to act on them, every 15 days the change of their mechanical properties was evaluated, the same fibers were placed in soil at a depth of 10 centimeters to observe their degradation and evaluate their mechanical properties by determining degradation rate constants.

The result was a degradation of all the mechanical properties evaluated in each fiber, caused by different environmental effects. At environment conditions, the banana fiber obtained the highest values of maximum degradation constants, the fibers of fique and cotton had no significant differences. in the values of degradation constants for most evaluated properties and are comparable with the constants of polypropylene fibers. In soil conditions, the banana and fique fibers degraded and disintegrated rapidly, so if they were used in the tutorate and fell to the ground, they would not cause environmental problems or agglomeration due to their rapid disintegration. According to the mathematical model, all the natural fibers evaluated can support the crop cycle with the exception of banana fiber that has an accelerated degradation.

Contenido

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	18
1 Planteamiento de la pregunta o problema de investigación y su justificación en términos de necesidad y pertinencia	20
1.1 Descripción de la situación	20
1.2 Pregunta de investigación.....	21
2 Marco teórico y estado del arte.....	22
2.1 Generalidades.....	22
2.2 Contexto nacional.....	23
2.3 Cultivo de arveja	23
2.4 Biodegradabilidad	24
2.5 Fibras naturales	24
2.6 Rasgos generales	25
2.7 Origen anatómico de las fibras.....	25
2.8 Características tecnológicas de las fibras vegetales	26
2.9 Características del fique	26
2.10 Características del plátano.....	27
2.11 Características del algodón.....	27
2.12 Fibras de polipropileno.....	28
2.13 Propiedades mecánicas	29
2.14 Cinéticas de pérdida de calidad de las fibras.....	30
2.15 Antecedentes.....	31

3	Objetivos.....	34
3.1	Objetivo general.....	34
3.2	Objetivos Específicos.....	34
4	Materiales y métodos.....	35
4.1	Localización.....	35
4.2	Obtención de material experimental:.....	36
4.3	Evaluación del comportamiento cinético de las propiedades mecánicas de fibras naturales en condiciones ambientales.....	37
4.3.1	Caracterización de las fibras.....	37
4.3.2	Cinéticas de pérdida de calidad de fibras expuestas a condiciones ambiente.....	40
4.4	Obtención de un modelo matemático predictivo de la pérdida de calidad mecánica de fibras naturales en condiciones ambientales.....	42
4.4.1	Modelamiento matemático.....	42
4.4.2	Estimación de días de resistencia.....	43
4.5	Evaluación del comportamiento de fibras naturales en condiciones de biodegradabilidad en suelo.....	43
4.5.1	Experimentación en suelo.....	43
4.5.2	Cinéticas de pérdida de calidad mecánica.....	44
4.5.3	Registro fotográfico de la degradación en suelo.....	44
4.6	Análisis de datos.....	45
5	Resultados y discusión.....	46
5.1	Caracterización física y mecánica de fibras.....	46
5.1.1	Caracterización física de fibras naturales y fibra de polipropileno.....	46

5.1.2	Caracterización mecánica de fibras naturales y fibra de polipropileno	47
5.2	Cinéticas de pérdida de calidad de las propiedades mecánicas de fibras en condiciones ambiente.....	52
5.2.1	Cinética de la propiedad de módulo de Young.....	52
5.2.2	Cinética de la propiedad de carga máxima	56
5.2.3	Cinética de la propiedad de elongación	60
5.3	Modelación y predicción matemática	63
5.4	Días de Resistencia estimada	65
5.5	Evaluación del comportamiento de fibras naturales en condiciones de biodegradabilidad en suelo.	66
5.5.1	Cinética de la propiedad de módulo de Young en condiciones de biodegradabilidad.....	67
5.5.2	Cinética de la propiedad de carga máxima en condiciones de biodegradabilidad..	70
5.5.3	Cinética de la propiedad de elongación en condiciones de biodegradabilidad.....	73
5.6	Biodegradación mediante registro fotográfico	76
6	Conclusiones	81
7	Recomendaciones	82
8	Referencias bibliográficas.....	83

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Caracterización física de fibras: fique, plátano, algodón y polipropileno	46
Tabla 2. Módulo de Young fibras naturales y fibra de polipropileno.....	48
Tabla 3.Carga máxima fibras naturales y fibra de polipropileno.....	49
Tabla 4. Elongación fibras naturales y fibra de polipropileno.....	50
Tabla 5. Parámetros cinéticos del comportamiento de Modulo de Young fibras calibre 1	55
Tabla 6. Parámetros cinéticos del comportamiento de Modulo de Young fibras calibre 2	56
Tabla 7. Parámetros cinéticos del comportamiento de carga máxima fibras calibre 1	58
Tabla 8. Parámetros cinéticos del comportamiento de carga máxima fibras calibre 2.....	59
Tabla 9. Parámetros cinéticos del comportamiento de elongación para fibras calibre 1	62
Tabla 10. Parámetros cinéticos del comportamiento de elongación para fibras calibre 2	63
Tabla 11. Parámetros cinéticos y bondad de ajuste del modelo matemático en relación a la propiedad de carga máxima	64
Tabla 12. Días de resistencia calculados según el modelo matemático.....	65
Tabla 13. Parámetros cinéticos del comportamiento de módulo de Young fibras calibre 1	68
Tabla 14. Parámetros cinéticos del comportamiento de módulo de Young fibras calibre 2	69
Tabla 15. Parámetros cinéticos del comportamiento de carga máxima fibras calibre 1	71
Tabla 16. Parámetros cinéticos del comportamiento de carga máxima fibras calibre 2.....	72
Tabla 17. Parámetros cinéticos del comportamiento de elongación fibras calibre 1	74
Tabla 18. Parámetros cinéticos del comportamiento de elongación fibras calibre 2.....	75
Tabla 19. Registro de Biodegradación sobre fibra fique	76

Tabla 20. Registro de Biodegradacion sobre fibra de plátano	77
Tabla 21. Registro de Biodegradación de fibra de algodón calibre 1	78
Tabla 22. Registro de biodegradación de fibra de algodón calibre 2.....	79
Tabla 23. Registro de biodegradación de fibra polipropileno.....	80

Lista de Imágenes

	Pág.
Imagen 1. Instalaciones Sena.....	35
Imagen 2. Laboratorio de Investigación en Calidad y Conservación de Alimentos.....	36
Imagen 3. Obtención de material experimental	36
Imagen 4. Determinación de calibre de las fibras estudiadas	37
Imagen 5. Determinación de densidad de las fibras	38
Imagen 6. Determinación de humedad del material experimental	38
Imagen 7. Absorción de humedad	39
Imagen 8. Determinación de propiedades mecánicas	40
Imagen 9. Montaje de estructuras fibras en condiciones ambiente	41
Imagen 10. Montaje de fibras en condiciones de suelo	44

Lista de Figuras

		Pág.
Figura 1.	Curvas obtenidas de esfuerzo contra deformación de fibras calibre 1	51
Figura 2.	Curvas obtenidas de esfuerzo contra deformación de fibras calibre 2	52
Figura 3.	Cinética de pérdida de calidad del parámetro de Modulo de Young de fibras suspendidas en ambiente. a) Fibras de calibre 1; b) fibras de calibre 2.	53
Figura 4.	Cinética de pérdida de calidad del parámetro de carga máxima de fibras suspendidas en ambiente. a) Fibras de calibre 1; b) fibras de calibre 2.	56
Figura 5.	Cinética de pérdida de calidad del parámetro de elongación de fibras suspendidas en ambiente. a) Fibras de calibre 1; b) fibras de calibre 2.	60
Figura 6.	Cinética de pérdida de calidad del parámetro de Modulo de Young de fibras expuestas a biodegradabilidad a) Fibras de calibre 1; b) fibras de calibre 2.	67
Figura 7.	Cinética de pérdida de calidad del parámetro de carga máxima de fibras expuestas	70
Figura 8.	Cinética de pérdida de calidad del parámetro de elongación de fibras expuestas	73

Introducción

La arveja (*Pisum Sativum*) ha sido cultivada como una fuente importante de alimento humano durante muchos siglos y es reconocida por su gran valor nutricional, ya que representa una alta fuente de proteína y carbohidratos, destacándose como fuente de sacarosa y aminoácidos, incluyendo lisina. También es un alimento de contenidos significativos de minerales y vitaminas, por esa razón ocupa un sitio de preferencia en el ámbito alimenticio de los consumidores de las principales ciudades de Colombia (Forero & Ligarreto, 2009)..

En Colombia el cultivo de esta leguminosa es el segundo en importancia después del frijol, existiendo dos sistemas de producción; el primero y de mayor cobertura es el tutorado para la producción de arveja en vaina o verde y el segundo, el rastrero sin tutorado, especialmente para la producción de semilla. Por otra parte, en el país la totalidad de la producción de arveja se destina al consumo fresco como hortaliza (Dane, 2015) .

Durante el año 2013 se cultivaron en Colombia 34.441 hectáreas, de las cuales se cosecharon 22.896 hectáreas, arrojando una producción de 100.451 toneladas. El departamento de Nariño fue el mayor productor, con 57.116 toneladas, seguido en menor proporción por los departamentos de Cundinamarca, Boyacá y Tolima (Dane, 2015).

La siembra de arveja (*Pisum sativum L.*) en el departamento de Nariño se realiza mediante un sistema denominado tutorado tradicional que es capaz de soportar los tallos trepadores de esta leguminosa permitiendo que produzcan una mayor cosecha , en este tutorado se emplean fibras sintéticas de polipropileno que están provocando problemas de contaminación para los agricultores, debido a que por cada hectárea de arveja tutorada se requiere el uso de aproximadamente 20000 metros de fibra (sintética) que después de uso ocasionan gastos de

limpieza, reciclaje y, en algunas ocasiones caen al suelo causando problemas de aglomeración. (Forero & Ligarreto, 2009)

La alta resistencia a la corrosión, al agua y a la descomposición bacteriana los convierte en residuos difíciles de eliminar y, consecuentemente, en un grave problema ambiental. El polietileno y el polipropileno pueden tardar hasta 500 años en descomponerse y actualmente se busca materiales amigables con el medio ambiente (Valdivieso, Ortegón, & Uscategui, 2013).

Por lo anterior la presente investigación tuvo como finalidad evaluar el comportamiento de las propiedades mecánicas de 3 fibras: fique, algodón y plátano, como alternativa de tutorado en los sistemas productivos de arveja (*Pisum Sativum*) en Nariño, evaluando parámetros como el módulo de Young, carga máxima y elongación, comparando los resultados con una muestra patrón que fue la fibra sintética de polipropileno.

1 Planteamiento de la pregunta o problema de investigación y su justificación en términos de necesidad y pertinencia

1.1 Descripción de la situación

Según Zamorano, López, & Alzate, (2008) el cultivo de arveja (*Pisum Sativum*) en Colombia ha sido por varios años el regulador de la economía de pequeños y medianos productores de zonas andinas, y su producción se concentra en Cundinamarca, Boyacá, Nariño y Tolima, la arveja en el departamento de Nariño incrementó su área sembrada a 5000 hectáreas, que constituyen el 20,52% del área dedicada a esta leguminosa en el país , representando una importante alternativa productiva en las zonas frías de la región andina. Sin embargo, unos de los aspectos que más dificultan la producción y que inciden directamente con la rentabilidad del cultivo es el establecimiento de tutorados que representan el 40% de los costos totales de la producción, además del problema ambiental debido al requerimiento de varas y postes para su construcción (Casanova, Solarte, & Checa, 2012). Las variedades mejoradas de arveja de mayor uso en Nariño (Colombia), son de porte alto con follaje normal, que requieren la implementación de tutorado vertical y horizontal, para evitar el volcamiento y la proliferación de enfermedades foliares, aumentando los costos de producción que ascienden a \$ 8'300.000 (pesos colombianos) por hectárea en 2014, de los cuales el 52% corresponden a los gastos por tutorado, además las variedades utilizadas presentan hábito voluble y alcanzan entre 2,5 y 3 m de altura lo cual encarece el proceso de tutorado (Pantoja, Muñoz, & Checa, 2014).

Por otro lado la utilización del polipropileno también ha venido siendo un problema ya que según lo dicho por Galeano, Zamudio, & Florez, (2015) La industria del plástico en Colombia procesa anualmente 980000 toneladas de resinas termoplásticas como los polietilenos y polipropilenos, los cuales son derivados del petróleo y por lo tanto no son biodegradables. Por

otro lado la agroindustria colombiana genera diariamente una carga importante de materia orgánica y bacteriana que requiere un saneamiento adecuado con el fin de disminuir su impacto ambiental. Debido a que en los últimos años ha tomado importancia la conservación de los recursos naturales, estos sectores industriales se han visto obligados a implementar tecnologías medioambientalmente amigables que disminuyan los impactos negativos de sus productos.

Actualmente, el cuidado y preservación de los recursos naturales exige el uso de tecnologías basadas en la utilización de materiales biodegradables que permitan mantener un equilibrio ambiental. La industria del plástico a nivel mundial ha comenzado con el desarrollo de bioplásticos fabricados a partir de productos vegetales tales como el aceite de soya, la fécula de maíz, entre otros (Ochoa, 2005). Con esto se espera reemplazar a largo plazo los productos plásticos convencionales, los cuales son derivados del petróleo y presentan el inconveniente de no ser biodegradables, por lo tanto su eliminación se limita al reciclaje, al uso en rellenos sanitario o a la incineración que contribuye a la producción de gases de efecto invernadero.

1.2 Pregunta de investigación

Con todo lo anterior planteado este proyecto formula la siguiente pregunta de investigación ¿Cuál fibra natural podría ser usada en el tutorado de arveja según el comportamiento de las propiedades mecánicas a través del tiempo?

2 Marco teórico y estado del arte

2.1 Generalidades

Las fibras naturales biodegradables son una solución al problema de los residuos sólidos de materiales sintéticos, ya que los productos realizados con esta materia no generan un residuo al descomponerse, Además estos materiales suponen un ahorro importante de petróleo, debido que es un material base de las fibras sintéticas de uso común (Navarro & Ramirez, 2014) .

Los plásticos son populares porque son a la vez, económicos, livianos, resistentes a la oxidación, inalterables a los agentes atmosféricos, versátiles, aislantes de la corriente eléctrica y pueden sustituir la madera, la piedra o el metal. Sin embargo, estas mismas ventajas pueden ser sus peores inconvenientes. La alta resistencia a la corrosión, al agua y a la descomposición bacteriana los convierte en residuos difíciles de eliminar y, consecuentemente, en un grave problema ambiental. El polietileno y el polipropileno pueden tardar hasta 500 años en descomponerse (Gross & Kalra, 2002).

Las fibras de origen vegetal son sustancias complejas, con una combinación peculiar de diferentes constituyentes vegetales heterogéneos; entre los más importantes están la celulosa, la lignina y la pectina. La celulosa forma el esqueleto de las paredes de la célula, y la hemicelulosa forma los materiales adherentes que la unen. La manera en que todas estas células constituyentes se orientan es todavía un misterio en las ciencias de las fibras (Córdoba, Mera, & Martínez, 2010).

En los últimos años, la tendencia por la incorporación de fibras celulósicas, como el sisal, fique, jute, henequén, pulpa de madera, entre otras, en los materiales compuestos, ha crecido; esto debido a que actualmente se encuentran estudios donde se ha demostrado, que por sus

buenas propiedades mecánicas, las fibras pueden actuar como refuerzo de matrices poliméricas (Hidalgo, Muñoz, & Quintana, 2012).

2.2 Contexto nacional

En Colombia, Córdoba et al., (2010) indica que en el 57% de los oficios artesanales se utiliza trabajos en tejeduría. Se ha desarrollado aglomerados de residuos de madera con mezclas de polímeros sintéticos y almidones, y se han obtenido láminas prefabricadas aglomeradas de características biodegradables. Todos estos trabajos se han enfocado sobre fibras naturales del centro del país, en especial de la zona del Eje Cafetero. Otras fibras empleadas como soporte de materiales compuestos son la caña de azúcar (género *Saccharum*), los fiques (*Agave sisalana*, *Agave fourcroydes*), Palmas (*Yucca carnerosana*, *Roystonea Regia*, *Phoenix sylvestris*).

En el Departamento de Nariño (Colombia), entre otras fibras, las más utilizadas por los grupos humanos de la región han sido el Barniz (resina extraída del arbusto de la Mopa Mopa - *Elaeagia pastoensis*), la Palma de Iraca (*Carludovica palmata*), el Tamo (extraído del bagazo de la cebada), el Fique (*Agave sisalana*), y la Tetera (*Stromanthe stromathoides*).

2.3 Cultivo de arveja

La arveja (*Pisum Sativum*) ha sido cultivada como una fuente importante de alimento humano durante muchos siglos y es reconocida por su gran valor nutritivo, ya que representa una alta fuente de proteína y carbohidratos, destacándose como fuente de sacarosa y aminoácidos, incluyendo lisina. También es un alimento de contenidos significativos de minerales y vitaminas, por esta razón ocupa un sitio de preferencia en el ámbito alimenticio de los consumidores de las principales ciudades de Colombia (Forero & Ligarreto, 2009).

Varios autores citados por Cerón et al., (2015) dicen que en Colombia la producción se concentra en los departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Nariño y Tolima , de estos, el mayor productor es Nariño, con una participación del 50 %, seguido de Cundinamarca con el 20 % y Boyacá con el 16 % , La diversidad es amplia, con un gran número de variedades que se han mejorado por rendimiento y por calidad del producto fresco o como materia prima para la agroindustria, Las variedades más cultivadas en el país son: Santa Isabel, Piquinegra, Guatecana, Sindamanoy, San Isidro, y Obonuco Andina, las cuales se consumen frescas y en estado seco.

2.4 Biodegradabilidad

Según Martínez, (2007) la biodegradabilidad es un parámetro esencial para conocer el riesgo que representa la dispersión de las sustancias en el medio ambiente, se define como la capacidad de las moléculas de ser degradadas por microorganismos para formas productos finales más simples. Esta propiedad del compuesto depende de las condiciones fisicoquímicas en las que se degrade, así como de su estructura química. Esta última influye decisivamente en la descomposición natural de los compuestos orgánicos; así, la naturaleza química de muchos detergentes, plásticos, materiales de embalaje y residuos médicos los hace resistentes a la degradación microbiana

2.5 Fibras naturales

Importancia Después de las plantas alimenticias, las plantas productoras de fibras siguen en importancia económica; sobre todo para los habitantes de países subdesarrollados. Gran parte de estas plantas han sido utilizadas desde tiempos remotos en la fabricación de vestidos y en los cordeles de arcos de diversas formas.

Actualmente las fibras tienen una gran demanda en el mundo, llegando a tener gran competencia y uso con las fibras sintéticas, lana y seda, por características de calidad como resistencia, durabilidad, coloración y lustricidad (Maiti 1980).

Las plantas productoras de fibras son explotadas tanto en condiciones de cultivo como en forma silvestre o natural, estando adaptadas a una gran diversidad de ambientes. Desde el punto de vista técnico y comercial pocas son las especies productoras de fibras, sobresaliendo *Gossypium hirsutum*, *Corchorus capsularis*, *C. olitorias* y *Linum usitatissimum*, en algunas otras especies productoras de fibra su producción está restringida a uso local o tradicional dentro del mismo país.

2.6 Rasgos generales

Las plantas productoras de fibras de mayor relevancia a nivel mundial con fines de importancia económica e industrial son el algodón, lino, yute, kenaf, cáñamo sun, ramio, abacá, henequén, sisal, palma ixtlera y Cocos nucífera, En el caso específico del algodón, es una fuente principal de fibras textiles a nivel mundial ya que este cultivo se desarrolla en una gran diversidad de condiciones ecológicas; sin embargo en el cultivo del lino (*Linum -usitatissimum*) el rango de adaptación es más estrecho. En América Latina las principales fuentes de fibras comerciales y económicas provienen del algodón, henequén, lechuguilla y palma ixtlera; cultivándose el primero en un tipo de agricultura altamente tecnificada. (Villareal, 1998)

2.7 Origen anatómico de las fibras

Las fibras vegetales se encuentran en los diferentes órganos de la planta y son extraídos por procesos como enriado o descorticación entre otros. El origen de las fibras difiere en las especies que se extraen.

En el caso de la mayoría de las fibras de corteza como yute y kenaf las fibras se originan a partir de cambios durante el crecimiento secundario, principalmente en fibras de floema secundario y en pequeña parte de la fibra protofloica; pero en el caso de ramio, lino y cáñamo las fibras surgen de divisiones procambiales o parenquimáticas, pero el ordenamiento de bandas de fibras y su estructura difiere en las especies en el cáñamo sun, ramio y lino, las fibras celulares están aisladas en bandas.

2.8 Características tecnológicas de las fibras vegetales

Las principales características físicas de las fibras vegetales son: fuerza o tensión, largo, cohesión, fineza, uniformidad, porosidad, elasticidad, color y brillantez. Las fibras deben tener una resistencia considerable para no romperse fácilmente. La porosidad de cohesión ayuda para mantener adheridas las células de fibras unas a otras. La fineza, uniformidad, porosidad, elasticidad, color y brillo son indicadores de una mejor calidad de la fibra. La porosidad indica la capacidad que tiene la fibra para absorber líquidos

2.9 Características del fique

La fibra de fique se obtiene de una planta de la familia (*Agavaceae*), es originaria de América tropical, de la cual existen muchas especies emparentadas con el Yute. De gran importancia económica desde tiempos precolombinos y debido a la variedad de especies se obtienen fibras con alta resistencia, la cual influye en la fabricación de cuerdas y empaques además En Colombia el Fique ha crecido espontáneamente y es cultivado en forma sostenible por los indígenas y campesinos, Sobre todo en zonas andinas tropicales. Con sus fibras, fabrican alpargatas, redes y cuerdas para uso cotidiano y sus subproductos se han utilizado con fines medicinales especialmente en los departamentos de Antioquia, Cauca, Valle, Tolima, Huila,

Santander, Cundinamarca, Nariño y en casi toda la geografía nacional (D. Muñoz & Cabrera, 2007).

Según Benavides, Arango, Hurtado, & Rojas, (2012) en Colombia el área cultivada es superior a las 23.000 hectáreas, con una producción aproximada de 18.750 toneladas de fibra de fique al año, la cual representa únicamente el 4% del peso de la hoja; el restante 96% (aproximadamente 450.000 t a^{-1}) son desechos industriales (70% jugo y 26% bagazo).

2.10 Características del plátano

Los plátanos pertenecen a la familia botánica *Musaceae* y al género *Musa*, el género *Musa* se compone de cuatro secciones: Australimusa, Callimusa, Musa y Rhodochlam, Según FAO los plátanos y bananos ocupan el cuarto lugar como el cultivo más importante del mundo, después del arroz, el trigo y el maíz, siendo las frutas de exportación de mayor importancia del planeta. Además de constituir el alimento básico para 500 millones de personas, representan una importante fuente de empleo e ingresos en numerosos países en desarrollo. Se cultivan tanto en zonas tropicales como subtropicales, bajo diferentes sistemas, en 10 millones de hectáreas y en más de 130 países, con rendimientos entre 7 y 70 toneladas por hectárea. Los países latinoamericanos y del Caribe producen el 90% del total de los plátanos y bananos que entran en el comercio internacional (Granados, Acevedo, Cabeza, & Lozano, 2014).

2.11 Características del algodón

El algodón representa la principal fuente de consumo industrial de fibras textiles en Colombia; su productividad y calidad de fibra están influenciadas por factores nutricionales, genéticos, clima, suelo, prácticas culturales, plagas y enfermedades, entre otros (Barragan, 2010).

Según Gómez & Sanjuán, (2014) la calidad y el rendimiento en el algodón-fibra son variables que hoy día adquieren igual importancia en el estudio de la cadena algodón-textil- confecciones, puesto que el ingreso por tonelada que recibe el agricultor está determinado por el rendimiento en algodón-fibra obtenido y por las condiciones tecnológicas de calidad de la fibra resultante. En este sentido, la industria textil exige cada día más fibras de algodón con condiciones tecnológicas de calidad óptimas para el proceso de hilandería.

2.12 Fibras de polipropileno

Las fibras sintéticas se fabrican de materiales tales como acrílico, aramida, carbón, nylon, poliéster, polietileno y polipropileno. En general, las fibras sintéticas se caracterizan por tener elevada resistencia a la tensión (Mendoza, Aire, & Davila, 2011), según Reyes, Héctor, Lora, & Fidel, (2007) a partir de los procesos industriales, se pueden preparar numeroso productos de polipropileno diferentes, cuyas propiedades varían según la longitud de las cadenas del polímero (peso molecular), de su polidispersidad, de los comonómeros eventualmente incorporados, etc. Estas características básicas definen las propiedades mecánicas del material y sus aplicaciones finales.

Autores citados por Córdoba et al., (2010) sustentan que los plásticos contenidos en los residuos sólidos urbanos (RSU) son mayoritariamente polietileno (PE) y polipropileno (PP) (alrededor del 60%) y en menor proporción están el poliestireno (PS), cloruro de polivinilo (PVC), polietilentereftalato (PET), poliestireno-butadieno (PS-BD), poli(metacrilato de metilo) (PMMA) .El mismo autor sustenta que la reutilización directa de los materiales plásticos está limitada actualmente al 1-2%, debido a los cada vez más elevados requerimientos de calidad de los productos.

2.13 Propiedades mecánicas

Rodríguez, (2013) describe las pruebas de tensión como una herramienta que se utiliza para evaluar principalmente la resistencia última a la tensión, la elongación y módulo de Young de un material. En esta prueba, una muestra del material se estira a velocidad constante hasta la fractura, que se produce en un tiempo relativamente corto. La fuerza que actúa sobre la muestra sometida a ensayo se dibuja en un registrador, mientras que la deformación correspondiente se obtiene de la señal generada por un textuómetro, sujeto a la muestra. De los valores obtenidos se pueden convertir a valores de tensión convencional y construir el diagrama de tensión.

Ochoa, (2005) describe que los ensayos esfuerzo-deformación aportan información sobre las tres propiedades mecánicas más importantes, rigidez, resistencia a la tracción y tenacidad, todas de gran utilidad en la mayoría de las aplicaciones de los materiales poliméricos.

La rigidez representa la resistencia a la deformación y se mide mediante el módulo elástico o módulo de Young, que da idea de la resistencia de los materiales a la deformación cuando se aplican fuerzas externas. Explícitamente, el módulo de Young es la pendiente de la curva esfuerzo-deformación en la zona elástica, zona recta de dicha curva, es decir es la relación del esfuerzo aplicado con la deformación resultante.

El módulo de Young depende de la velocidad de la deformación (E), se puede definir E como el valor límite al tiempo cero. En el caso de los materiales poliméricos, y por supuesto, en los materiales poliméricos compuestos de matriz polimérica, el valor de E se obtiene con velocidades de deformación bajas.

La resistencia a la tracción es el esfuerzo máximo que un material puede resistir antes de romper, bien por fractura o por excesiva deformación.

La tenacidad representa el trabajo requerido para romper el material, la tenacidad está relacionada con el área bajo la curva esfuerzo-deformación. De este modo, la tenacidad es una indicación de la energía que un material puede absorber antes de romper y, por la tanto, tenacidad y resistencia al impacto de algún modo están relacionadas.

Ochoa, (2005) también describe otras propiedades mecánicas como:

- Elongación: es el valor de la deformación medido en el punto de carga máxima, se expresa como un porcentaje de la longitud inicial de la zona de sección uniforme
- Tracción: aplicación de fuerzas que intentan alargar el objeto
- Compresión: aplicación de fuerzas que intentan acortar el objeto
- Torsión: aplicación de fuerzas que intentan torcer el objeto a lo largo de un eje

2.14 Cinéticas de pérdida de calidad de las fibras

La degradación pérdida de calidad de un producto se puede representar a través de ecuaciones que muestran la cinética de degradación de atributos de calidad. Garza, (2002) muestra ecuaciones que definen el comportamiento para cada orden de reacción.

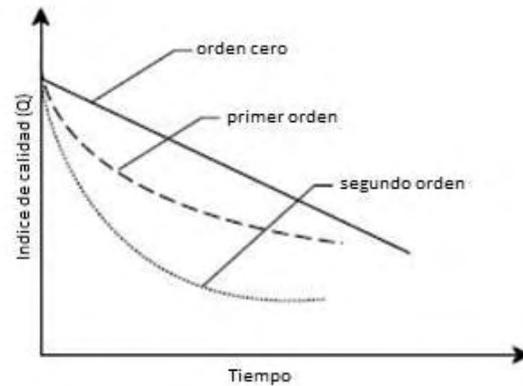


Figura 1. Variación de un índice de calidad en función del tiempo, de acuerdo con la cinética de orden cero, primero y segundo.

2.15 Antecedentes

L. M. Rodríguez, García, & González, (2009) realizaron un análisis experimental para determinar el comportamiento de las propiedades mecánicas de las fibras de esteras de bambú y en específico la resistencia a la rotura, el módulo de Elasticidad y el coeficiente de Poisson. Además en el trabajo se evaluó la influencia de la temperatura, la presión y el tiempo de prensado sobre el porcentaje de pérdida de humedad y sobre el espesor de la estera de bambú. Obteniendo como principal conclusión que por sus propiedades y características la fibra de bambú resulta una fibra natural que puede ser empleada como material de refuerzo en materiales compuestos.

Mejia, Rodriguez, & Olaya, (2012) estudiaron el efecto del tratamiento alcalino sobre las propiedades mecánicas de la fibra de plátano (*Musa paradisiaca*). Las fibras fueron extraídas del seudotallo del plátano empleando una maquina desfibradora. Seguidamente fueron mercerizadas y modificadas mediante tratamiento alcalino con NaOH al 5% (m/v). El análisis morfológico evidenció que la rugosidad de la superficie es mayor en las fibras tratadas que en las no tratadas. La caracterización mecánica reveló que el módulo de Young, la resistencia máxima a la tracción

y la deformación disminuyen con el aumento del diámetro de la fibra, tanto para las fibras tratadas como para las no tratadas.

Hidalgo et al., (2012) estudiaron el comportamiento físico-mecánico de la fracción de un material fabricado a partir del reciclado de envases larga vida de Tetra Pak (PEBD/Al), de origen post consumo, reforzado con fibras de fique, en el cual se enfatiza en el reforzamiento del material con fibras cortas en disposición bidimensional aleatoria. Para observar el efecto producido por la incorporación de fibras en las propiedades físico-mecánicas, se fabricaron tableros, por medio del proceso de moldeo en prensa, de platos calientes controlada por computador, con porcentajes de 10, 30 y 50 % v/v de fibra, y se realizó una comparación de las propiedades obtenidas, con las del PEBD/Al sin refuerzo. Siguiendo esta metodología, fue posible obtener un incremento de la resistencia, y el módulo a tensión del material en un 216 y 515 % respectivamente, cuando se incorporó 50 % de fibra, sin embargo los mejores resultados a flexión alcanzados se presentaron con 30 % de fique. Por otra parte, se determinaron una tendencia incremental de absorción de agua con la incorporación de fibra en el material.

Castillo, Saenz, Narcia, & Vazquez, (2013) determinaron el efecto de plantación con riego y fertilización de cinco procedencias de lechuguilla en las propiedades físicas y mecánicas de la fibra. En estas plantas el diámetro mayor es un criterio de medición de interés que corresponde a la base del cogollo, y disminuye gradualmente hasta la punta. Los resultados indicaron que las localidades sobresalientes en este sentido son el ejido Marte y el ejido Independencia, municipio Jaumave con 0.45 y 0.39 mm, respectivamente. La densidad linear varía de 10.74 (ejido Marte) a 5.97 Decitex. En resistencia a la tensión, la carga máxima que soportaron las procedencias evaluadas en la plantación fue de 19.67 y 22.84 N. La prueba de elongación máxima tuvo un

intervalo de 7.97 a 12.46%. Se concluye que las propiedades físico-mecánicas de la fibra de la lechuguilla no se alteran al someterla a cultivo.

Palechor, Ceron, Villada, & Margarita, (2016) evaluaron el deterioro de las propiedades mecánicas de tensión de una bolsa biodegradable obtenida a partir de almidón de yuca y ácido poli láctico, empleada en la etapa de vivero de un cultivo de café por 120 días, se obtuvo como resultado que la resistencia máxima a la tensión de la bolsa biodegradable presenta una variación desde el día 0 hasta el día 120, iniciando con un valor promedio de 6,72 MPa y finalizando con un valor de 2,50 MPa para los especímenes en sentido longitudinal, mientras que para los especímenes en sentido trasversal se inició con 5,89 MPa y se terminó con 1,38 MPa, indicando un deterioro significativo de la bolsa biodegradable durante los 120 días de la etapa de vivero

3 Objetivos

3.1 Objetivo general

- Evaluar el comportamiento de las propiedades mecánicas de 3 fibras naturales, como alternativa de tutorado en los sistemas productivos de arveja(*Pisum Sativum*) en Nariño

3.2 Objetivos Específicos

- Evaluar el comportamiento cinético de las propiedades mecánicas de fibras naturales en condiciones ambientales.
- Obtener un modelo matemático predictivo de la pérdida de calidad mecánica de fibras naturales en condiciones ambientales.
- Evaluar el comportamiento propiedades mecánicas de fibras naturales en condiciones de biodegradabilidad en suelo.

4 Materiales y métodos

4.1 Localización

La experimentación se realizó en dos localizaciones:

La parte de experimentación en campo se realizó en las instalaciones del servicio nacional de aprendizaje (SENA) en la ciudad de Pasto (Nariño), localizada a 2.527 msnm, temperatura promedio 14 °C y una humedad relativa de 70%



Imagen 1. Instalaciones Sena

La parte de investigación se realizó en el Laboratorio de Investigación en Calidad y Conservación de Alimentos (Imagen 2) de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad de Nariño sede Torobajo, Pasto (Nariño), localizada a 2.527 msnm, temperatura promedio 14 °C y una humedad relativa de 70%



Imagen 2. Laboratorio de Investigación en Calidad y Conservación de Alimentos

4.2 Obtención de material experimental:

Se utilizó fibras de plátano, fique y algodón en dos calibres, un calibre mayor que otro a excepción de la fibra de plátano por falta de disponibilidad, estas fibras fueron obtenidas en el centro de acopio de la ciudad de pasto y la fibra de polipropileno que es actualmente utilizada para el tutorado fue suministrada por el grupo de investigación en cultivos andinos (GRICAD).



Imagen 3. Obtención de material experimental

4.3 Evaluación del comportamiento cinético de las propiedades mecánicas de fibras naturales en condiciones ambientales.

4.3.1 Caracterización de las fibras

Se realizó una caracterización previa a las fibras antes de someterlas a la experimentación en la cual se sometieron a diferentes pruebas físicas que serán de utilidad en la investigación:

Diámetro

Se utilizó un Stereo microscopio Discovery V8. Zeiss con el cual se midió el calibre de cada una de las fibras y de esta forma diferenciarlas.



Imagen 4. Determinación de calibre de las fibras estudiadas

Densidad real

Se utilizó el método citado por Cerón et al., (2015) que utiliza etanol al 99.8% y densidad 0.790 g/mL, un picnómetro de 50 mL. Para el cálculo de la densidad real se empleara la ecuación 1:

$$\rho_s = \frac{(w_{ps} - w_p)}{(w_{pl} - w_p) - (w_{pls} - w_{ps})} \rho_l \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde: w_{ps} = Masa del picnómetro con la muestra;

W_p =Masa del picnómetro vacío;

W_{pl} =Masa del picnómetro con el líquido;

w_{pls} =Masa del picnómetro con la muestra y el líquido;

ρ_l =Densidad del líquido.

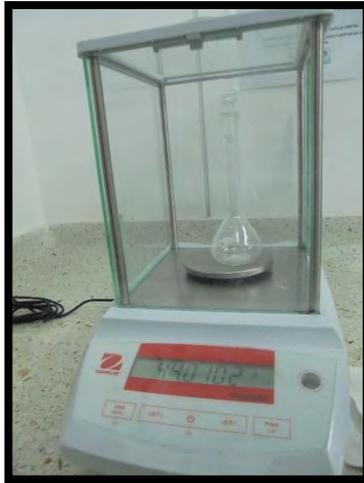


Imagen 5. Determinación de densidad de las fibras

Determinación humedad

Para determinar la humedad, se pesó 100 ± 0.01 g de fibra que fue sometida a una temperatura de $220 \text{ }^\circ\text{C}$ en una balanza de humedad marca KERN



Imagen 6. Determinación de humedad del material experimental

Absorción de humedad

se utilizó la metodología de Moreno, Trujillo, & Osorio, (2007) Para la medición del porcentaje de absorción de humedad, se tomara una muestra de 50 haces de fibra, éstas serán pesadas individualmente en una balanza analítica OHAUS, con una capacidad de medida de 210 gr. Posteriormente, se sumergirán en agua destilada (pH 6.5), durante 24 horas, para ser pesados nuevamente y registrar su peso en el punto de saturación, para realizar esta medición se retirara el agua adherida superficialmente a los paquetes de fibra utilizando una tela absorbente.

La ecuación 2 será empleada para calcular el porcentaje de absorción y es la siguiente:

$$\% \text{ absorcion} = \frac{ph-ps}{ph} * 100 \text{ (Ecuación 2)}$$

Dónde: Ph es el peso en gramos de la fibra en humedad ambiente (60% humedad relativa), Ps es el peso en gramos en el punto de saturación de la fibra.



Imagen 7. Absorción de humedad

Pruebas mecánicas

Las pruebas mecánicas se realizaron en un textuómetro LS1 marca LLOYD los parámetros a evaluar fueron el módulo de Young, carga máxima y elongación estos parámetros fueron estudiados por Rodríguez, (2013) que hizo estudios en fibras de plátano para elaboración

de un material biocompuesto y establece los parámetros y configuración del equipo velocidad de 20 mm/min, rango de carga de 1000 N, pre-carga de 1 N y longitud entre mordazas de 100 mm que son parámetros que también establece la norma internacional ISO 527-4.



Imagen 8. Determinación de propiedades mecánicas

4.3.2 Cinéticas de pérdida de calidad de fibras expuestas a condiciones ambiente

Las fibras naturales y sintéticas fueron ubicadas en proximidades del cultivo de arveja para que las condiciones ambientales actuaran sobre ellas y determinar el cambio de sus propiedades mecánicas a través del tiempo.

Montaje de estructuras

Se construyeron unas estructuras de 2 metros de alto por 1 metro de largo, en las cuales se puso un tensor para enganchar o suspender las fibras naturales y sintéticas, se utilizaron fibras de 50 cm de largo, estas estructuras fueron ubicadas a un lado del cultivo de arveja con el fin de que las condiciones ambientales que afectan el cultivo también afectaran las fibras evaluadas.



Imagen 9. Montaje de estructuras fibras en condiciones ambiente

Elaboración de cinéticas de pérdida de calidad

Se realizó el correspondiente seguimiento y evaluación, se tomaron muestras cada 15 días en un periodo de 3 meses en los cuales cada muestra se llevó al laboratorio de calidad de alimentos del grupo de apoyo a la investigación y desarrollo agroalimentario (GAIDA) ubicado en la universidad de Nariño, en el cual se realizaron las correspondientes pruebas mecánicas explicadas en la caracterización.

4.4 Obtención de un modelo matemático predictivo de la pérdida de calidad mecánica de fibras naturales en condiciones ambientales.

4.4.1 Modelamiento matemático

Teniendo en cuenta la finalidad de las fibras en este estudio el cual es poder soportar los tallos trepadores de la planta de arveja durante el ciclo de vida del cultivo se tomó como propiedad de referencia la carga máxima para la cual se determinó la bondad de ajuste de los datos, la ecuación que describe la experimentación y los días que podría durar la fibra en campo.

Ecuación del modelo

$$\frac{\text{carga maxima}}{\text{carga maxima inicial}} = \exp(kt^n)$$

Esta ecuación representa el cambio de las propiedades evaluadas respecto a su valor inicial y es comúnmente usado en cinéticas de reacción

Los valores de k representan la velocidad máxima de degradación de dicho parámetro y se pueden interpretar teniendo en cuenta los valores de n, ya que este parámetro establece como varia la velocidad en función del tiempo

La bondad de ajuste de este modelo se evaluó con los parámetros R^2 (coeficiente de determinación), MRE (error medio relativo), E % (error porcentual promedio) dado por las siguientes ecuaciones:

Error medio relativo

$$MRE = \frac{100}{N} \sum_{I=1}^N \left(\frac{C_{exp} - C_{pre}}{C_{pre}} \right)$$

Error porcentual promedio

$$E\% = \frac{\sum_{i=1}^N \left(\frac{C_{exp} - C_{pre}}{C_{pre}} \right)}{n} \times 100$$

Donde MRE es el error medio relativo (%), N es el número de observaciones, C_{exp} es el valor i-ésimo de la carga máxima experimental y C_{pre} es el valor i-ésimo de la carga máxima predicha. Los parámetros de cada modelo fueron estimados usando un método de regresión no lineal de la herramienta estadística Matlab® R2015b (The MathWorks Inc., Natick, MA, USA) a través de la función “createfit”.

4.4.2 Estimación de días de resistencia

Se calculó los días de resistencia estimados para cada fibra mediante los parámetros cinéticos obtenidos del modelo matemático empleado (modelo de Page), usando la propiedad de carga máxima como referencia.

4.5 Evaluación del comportamiento de fibras naturales en condiciones de biodegradabilidad en suelo.

4.5.1 Experimentación en suelo

Se colocaron rollos de cada tipo de fibra de 1 metro de largo en suelo en unos orificios de 30 cm de profundidad y se hizo una evaluación cuantitativa y cualitativa del deterioro de estas fibras, a través del tiempo.



Imagen 10. Montaje de fibras en condiciones de suelo

4.5.2 *Cinéticas de pérdida de calidad mecánica*

Se realizó el correspondiente seguimiento y evaluación, se tomaron muestras cada 15 días en un periodo de 3 meses en los cuales cada muestra se llevó al laboratorio de calidad de alimentos del grupo de apoyo a la investigación y desarrollo agroalimentario (GAIDA) ubicado en la universidad de Nariño, en el cual se realizó las correspondientes pruebas mecánicas explicadas en la caracterización inicial.

4.5.3 *Registro fotográfico de la degradación en suelo*

Se utilizó un estereomicroscopio marca (ZEISS) discovery V8. Con zoom de 5x que permitió apreciar la estructura de las fibras y el seguimiento de su descomposición

4.6 Análisis de datos

Todos los resultados se expresaran como media más o menos la desviación estándar. Los gráficos y las cinéticas se realizaran con ayuda del programa SigmaPlot 10.0 (SPSS, USA). Así mismo se realizó el análisis de varianza y prueba de comparación de medias con la prueba LSD de Fisher a un 5 % de nivel de significancia con el programa STATGRAPHICS Centurion XVI versión 16.1.03.

5 Resultados y discusión

5.1 Caracterización física y mecánica de fibras

Se determinó las características físicas y mecánicas de las fibras evaluadas en los dos calibres estudiados

5.1.1 Caracterización física de fibras naturales y fibra de polipropileno

Tabla 1.

Caracterización física de fibras: fique, plátano, algodón y polipropileno

	*Diámetro 1(mm)	*Diámetro 2 (mm)	*Densidad real (g/ml)	*Humedad (%)	*Absorción de agua (%)
Fique	1,0783± 0,0509	2,23±0,1420	0,750± 0,1023	12,26±0,17 27	59±0,1328
Plátano	1,0350±0,1171	-----	0,646±0,1423	12,57±0,06 25	140±0,192 2
Algodón	0,9897±0,0156	1,68±0,0496	1,033±0,1323	4,787±0,08 69	71±0,1125
polipropileno	0,9387±0,0981	1,89±0,0530	0,751±0,1410	5,643±0,10 63	25±0,1527

*Valores promedio (n=3) ± desviación estándar

Fuente: esta investigación

Los valores de diámetro utilizados son cercanos a los valores reportados de 0,81 mm para fibras de fique y plátano para refuerzo de plásticos (M. Muñoz, Hidalgo, & Mina, 2014), así mismo se determinó los valores de densidad para cada fibra siendo estos valores muy cercanos a los reportados por el mismo autor de 0,72 g/ml para estudios con fibra de fique. Estrada, (2010) reporta valores de humedad que oscilan entre 8 y 10% para fibras de bambú y algodón, así como también Córdoba et al., (2010) reportan valores de 7% de humedad para fibras de tetera

empleadas en Nariño para elaboración de artesanías, los valores de humedad en fique son cercanos a los reportados por Arriaga & Velasquez, (2014) de 10%.

Castillo, Saenz, Narcia, & Vazquez, (2013) reportan valores de 65% de absorción de agua en fibras de lechuguilla cercanos a los reportados para las fibras de algodón y fique de esta investigación, la fibra de plátano obtuvo una absorción de agua de un 170% lo cual indica que es muy susceptible a la ganancia de peso por agua, este parámetro de estudio es muy importante ya que dependiendo de su valor o de la incidencia del ambiente puede cambiar las propiedades mecánicas de las fibras, para esta investigación no se tuvo en cuenta el cambio de esta propiedad ni el efecto de la misma en las fibras naturales .

Se utilizó aproximadamente el doble de calibre para todas las fibras excluyendo la fibra de plátano por falta de disponibilidad.

5.1.2 *Caracterización mecánica de fibras naturales y fibra de polipropileno*

Se determinó las características mecánicas de las fibras evaluadas usando las propiedades de Modulo de Young, Carga máxima y elongación

Tabla 2.**Módulo de Young fibras naturales y fibra de polipropileno**

Fibra	*Módulo de Young calibre 1 (MPa)	*Módulo de Young calibre 2 (MPa)
Fique	1887,26±91,40	383,40±8,75
Plátano	2861,27±110,00	-----
Algodón	680,77±9,19	142,60±5,89
Polipropileno	683,46±5,58	259,17±2,72

*Valores promedio (n=3) ± desviación estándar

Fuente: esta investigación

En la tabla 2 se observa el comportamiento de la propiedad de módulo de Young para las fibras evaluadas. Según Ochoa, (2005) en el estudio de las propiedades mecánicas siempre está involucrado un esfuerzo y una deformación, que pueden producirse por tracción, compresión, flexión o cizalla, la rigidez representa la resistencia del material a la deformación y se mide a través del módulo de Young, la prueba de módulo de Young para fibras de calibre 2 muestra valores cercanos a los reportados por M. Muñoz et al., (2014) de 263,55 MPa para fibras de fique, los valores de módulo de Young de calibre 1 son mayores que los valores de calibre 2 mostrando una mayor rigidez debido a su composición estructural, las fibras de plátano y fique están compuestas por celulosa, hemicelulosa y lignina, siendo la lignina la que aporta rigidez a la fibra, este componente no está presente en la fibra de algodón y polipropileno (Navarro & Ramirez, 2014), otro factor a tener en cuenta en esta diferencia es que las fibras de calibre 2 al tener más fibras formando su estructura implica que aumente su diámetro y la fibra no presente

una uniforme compactacion de las microfibras que la componen ocasionando menor rigidez (Galceran, 2000).

Tabla 3.

Carga máxima fibras naturales y fibra de polipropileno

Fibras	*Carga Máxima calibre 1 (N)	*Carga máxima calibre 2 (N)
Fique	100,31±1,91	200,61±5,53
Plátano	119,88±7,42	-----
Algodón	103,74±7,27	74,64±1,18
Polipropileno	92,16±1,56	203,82±5,41

*Valores promedio (n=3) ± desviación estándar

Fuente: esta investigación

En la tabla 3 se puede observar que la fibra de platano soporta cargas mas alevadas que las otras fibras estudiadas en el calibre 1, estas diferencias según Estrada, (2010) se deben al tipo de planta de la cual proviene la fibra ya que entre planta poseen estructuras diferentes , las fibras de fique y polipropileno de calibre 2 alcanzaron valores de aproximadamete el doble que las fibras de calibre 1 por lo que podrian soportar cargas mayores, esto se debe a que tienen un numero mayor de microfibras conformando su estructura y otorgando mas resistencia , caso contrario ocurrio con la fibra de algodón de calibre 2 que mostro valores menores de carga maxima con respecto a la fibra de calibre 1 esto puede se causa de la tecnica de elaboracion o trenzado que se uso para esta fibra.

Tabla 4.**Elongación fibras naturales y fibra de polipropileno**

Fibras	*Elongación calibre 1 (%)	*Elongación calibre 2 (%)
Fique	14,13±1,35	22,88±1,01
Plátano	8,96±0,19	-----
Algodón	37,20±1,15	89,61±0,90
Polipropileno	40,62±3,27	54,39±1,37

*Valores promedio (n=3) ± desviación estándar

Fuente: esta investigación

En la tabla 4 se evidencia que la fibra de platano registro valores bajos de elongacion por debajo del 10% siendo esta la menor elongacion de las fibras estudiadas, este valor es cercano al reportado por L. Rodríguez, (2013) de 6% en fibra de platano y 12 % en fibra de fique . los resultados muestran que aunque la fibra de platano soporte mas peso , su capacidad de elongacion o de estiramiento es menor , la fibra de fique registro valores menores de carga maxima y una capacidad mayor de elongacion con respecto a la fibra de platano. Las fibras de algodón y polipropileno registraron una diferencia mayor en su porcentaje de elongacion con respecto a las fibras de fique y platano siendo este aproximadamente del 40 %, existe una diferencia inversamente proporcional entre el modulo de young y la elongacion por tanto valores mas bajos de modulo de young o rigidez implican valores mas altos de capacidad de elongacion (Ochoa, 2005).

Para las fibras de calibre 2 los valores de elongacion superan los rangos reportados por diferentes autores; Castillo et al., (2013) con 12% para fibra de lechugilla y L. Rodríguez, (2013) con 12% para fibra de fique, la fibra de algodón de calibre 2 tuvo una elongacion

aproximadamente del 90% por lo que practicamente doblaria el valor de su longitud inicial, cabe aclarar que esta fibra fue de un color diferente al de la fibra de algodón de caibre 1, por lo que al cambiar su color estas sustancias pudieron modificar sus propiedades mecanicas.

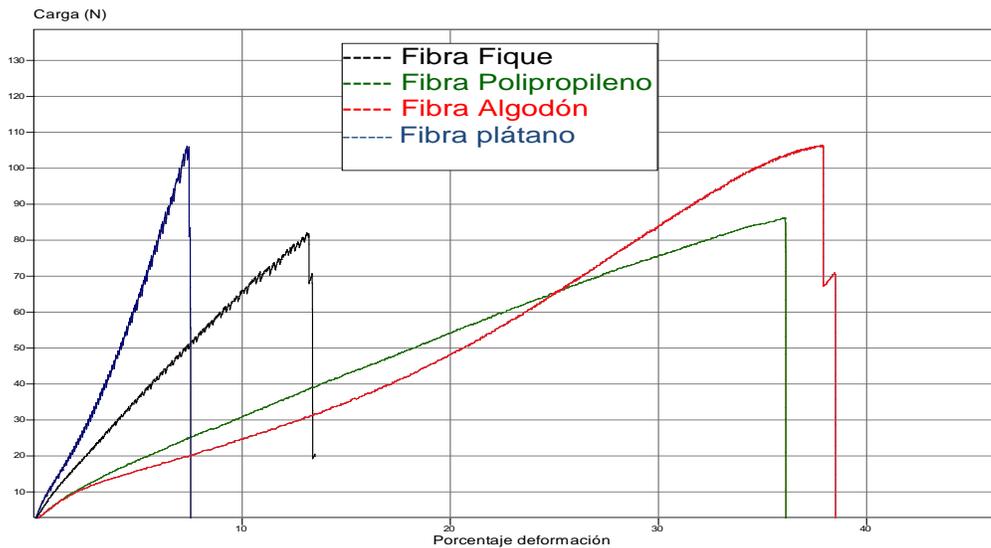


Figura 1. Curvas obtenidas de esfuerzo contra deformación de fibras calibre 1

Fuente: esta investigación

En la figura 1 se registro el comportamiento mecanico de las fibras estudiadas, Ochoa, (2005) obtuvo curvas similares en el estudio de reciclado mecanico de materiales compuestos por fibras de celulosa. Se reafirma y visualiza lo dicho anteriormente, la fibra de plátano y fique tienen valores altos de carga maxima y bajo de elongacion y las fibras de algodón y polipropileno registraro un valor de elongacion mayor.

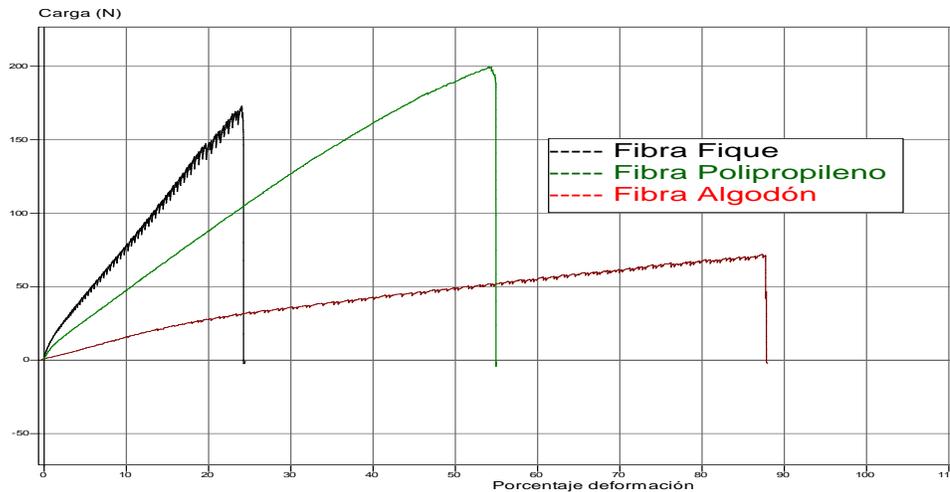


Figura 2. Curvas obtenidas de esfuerzo contra deformación de fibras calibre 2

Fuente: esta investigación

En la figura 2 se observa el comportamiento de la caracterización de las fibras con respecto a su carga máxima y elongación, se puede observar que las fibras que tienden a tener mayores valores de carga máxima como la fibra de fique y polipropileno tienen valores menores de elongación en comparación a la fibra de algodón que obtuvo valores muy altos de elongación y más bajos de carga máxima.

5.2 Cinéticas de pérdida de calidad de las propiedades mecánicas de fibras en condiciones ambiente

A continuación se muestra los resultados del seguimiento a cada fibra durante el periodo de evaluación con respecto a sus propiedades mecánicas.

5.2.1 Cinética de la propiedad de módulo de Young

En la figura 3 se muestra el comportamiento de la propiedad de módulo de Young para cada fibra separadas por calibre en los 90 días de experimentación.

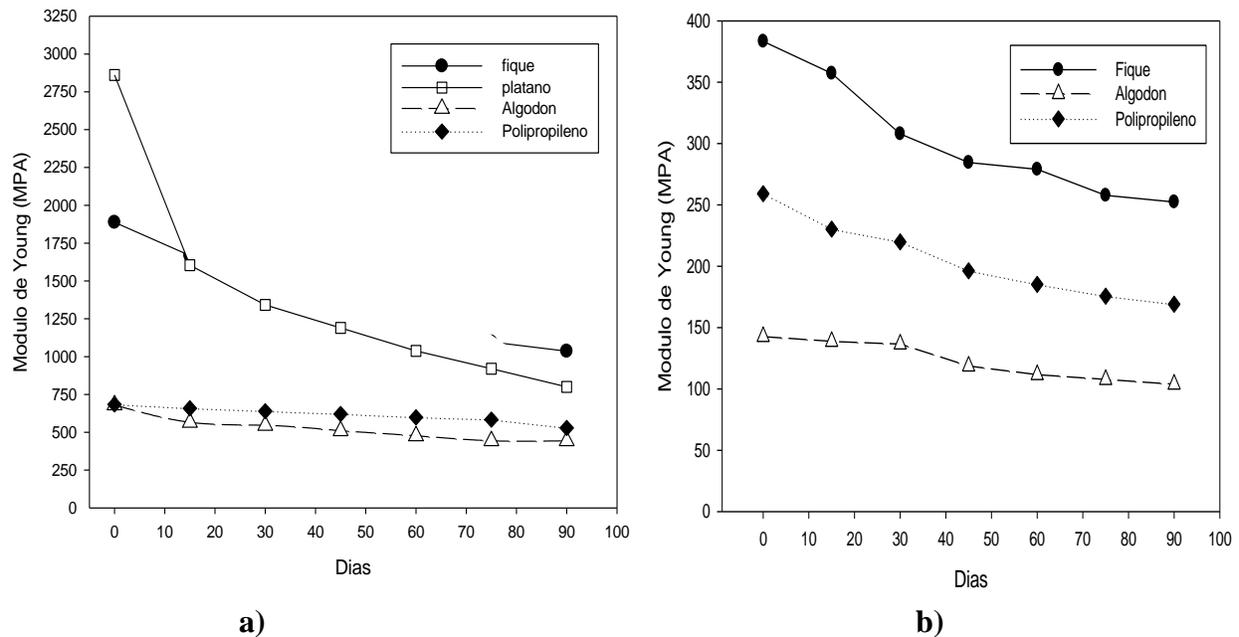


Figura 3. Cinética de pérdida de calidad del parámetro de Modulo de Young de fibras suspendidas en ambiente. a) Fibras de calibre 1; b) fibras de calibre 2.

Fuente: esta investigación

Para esta propiedad se observa una tendencia decreciente de los valores al transcurrir el tiempo de experimentación, los resultados demuestran que al inicio de las pruebas las fibras de calibre 1 obtuvieron valores mayores que las fibras de calibre 2 para el módulo de Young o rigidez, para fibras de calibre 1 como plátano y fique al transcurrir los días de evaluación el parámetro de calidad de módulo de Young fue disminuyendo de una manera acelerada con respecto a las otras fibras de estudio, las fibras de algodón y polipropileno aunque también perdieron calidad del parámetro no fue tan representativo como la pérdida de las fibras de fique y plátano, según Sergio, Blanco, & Combariza, (2018) la disminución o afectación de las propiedades mecánicas de una fibra están determinadas por el ambiente al cual están sometidas interactuando factores químicos, físicos, mecánicos y biológicos, las fibras estuvieron sometidas a condiciones

ambiente como luz, lluvias, vientos etc., la interacción de estos factores deteriora el material, su estructura y por consecuencia a sus propiedades mecánicas.

Los valores de rigidez o módulo de Young de las fibras de calibre 2 fueron menores que los de las fibras de calibre 1, esto según Ochoa, (2005) se debe a que la fibra está formada por microfibras que al ser un mayor número aumentan el diámetro pero no consiguen una torsión o compactación adecuada disminuyendo su rigidez.

Se calculó el porcentaje de pérdida de la propiedad estudiada comparada entre calibres, la fibra de plátano fue la que más porcentaje de degradación obtuvo con un 72 % , La fibra de fique calibre 1 con un porcentaje de pérdida de 45% tuvo una degradación mayor de la propiedad en comparación con la fibra de calibre 2 que obtuvo un 37% de pérdida, la fibra de algodón de calibre 1 tuvo un porcentaje de degradación de 34 % y la fibra de calibre 2 de 27%, por último la fibra de polipropileno de calibre 1 tuvo un porcentaje de pérdida de 27% y la fibra de calibre 2 del 32%.

En fibras naturales de determino que el calibre 1 tuvo una mayor degradación para esta propiedad que las fibras de calibre 2, se podría decir que en estas fibras un número mayor de microfibras brindo una mayor protección y resistencia a la degradación de este parámetro.

En la tabla 5 se muestran los parámetros cinéticos del módulo de Young para fibras de calibre 1, los valores de k representan la velocidad máxima de degradación de dicho parámetro y se pueden interpretar teniendo en cuenta los valores de n, ya que este parámetro establece como varia la velocidad en función del tiempo; cuando $n > 1$ se podría decir que la velocidad de degradación aumenta el pasar el tiempo, cuando $n < 1$ podría indicar que la velocidad de degradación disminuye con el tiempo y cuando n toma valores cercanos o iguales a 1 se considera la velocidad de cambio constante y solo estaría determinada por k.

Se realizó la comparación entre medias según la prueba LSD de Fisher no se evidencian diferencias significativas entre las constantes de velocidad de las fibras de fique y algodón evaluadas, no obstante existe una diferencia significativa entre las fibras de plátano, fique y polipropileno, la fibra de plátano presento la mayor velocidad de degradación en comparación a las demás fibras evaluadas y el parámetro n indica que su velocidad de degradación disminuye al transcurrir el tiempo.

Tabla 5.

Parámetros cinéticos del comportamiento de módulo de Young fibras calibre 1

Parámetro	Fibra	*K (1/día)	n	R ²
Módulo de Young	Fique	-0,0128±0,01 ^b	0,970	0,98
	Plátano	-0,1732±0,17 ^a	0,435	0,99
	Algodón	-0,0421±0,04 ^b	0,541	0,97
	Polipropileno	-0,0008±0,001 ^c	1,261	0,95

K: constante de velocidad de degradación, n: parámetro de velocidad de degradación R²: Coeficiente de Determinación

Valores promedio (n=3) ± desviación estándar; Letras no comunes implican diferencias entre promedios, según prueba de LSD de Fisher a un 95% de confianza.

Fuente: Esta investigación

En la tabla 6 se muestran los parámetros cinéticos del módulo de Young para fibras de calibre 2 mediante la comparación entre medias según la prueba LSD de Fisher no se evidencian diferencias significativas entre las constantes de velocidad de las fibras de fique y polipropileno pero si hubo diferencia para la fibra de algodón que obtuvo la velocidad de degradación más baja.

Tabla 6.

Parámetros cinéticos del comportamiento de Modulo de Young fibras calibre 2

Parámetro	Fibra	*K (1/día)	n	R ²
Módulo de Young	Fique	-0,0145±0,01 ^a	0,763	0,95
	Algodón	-0,0020±0,002 ^b	1,233	0,92
	Polipropileno	-0,0148±0,02 ^a	0,764	0,98

K: constante de velocidad de degradación, n: parámetro de velocidad de degradación R²: Coeficiente de Determinación

*Valores promedio (n=3) ± desviación estándar; Letras no comunes implican diferencias entre promedios, según prueba de LSD de Fisher a un 95% de confianza.

5.2.2 Cinética de la propiedad de carga máxima

En la figura 4 se muestra el comportamiento de la propiedad de carga máxima para cada fibra separadas por calibre en los 90 días de experimentación.

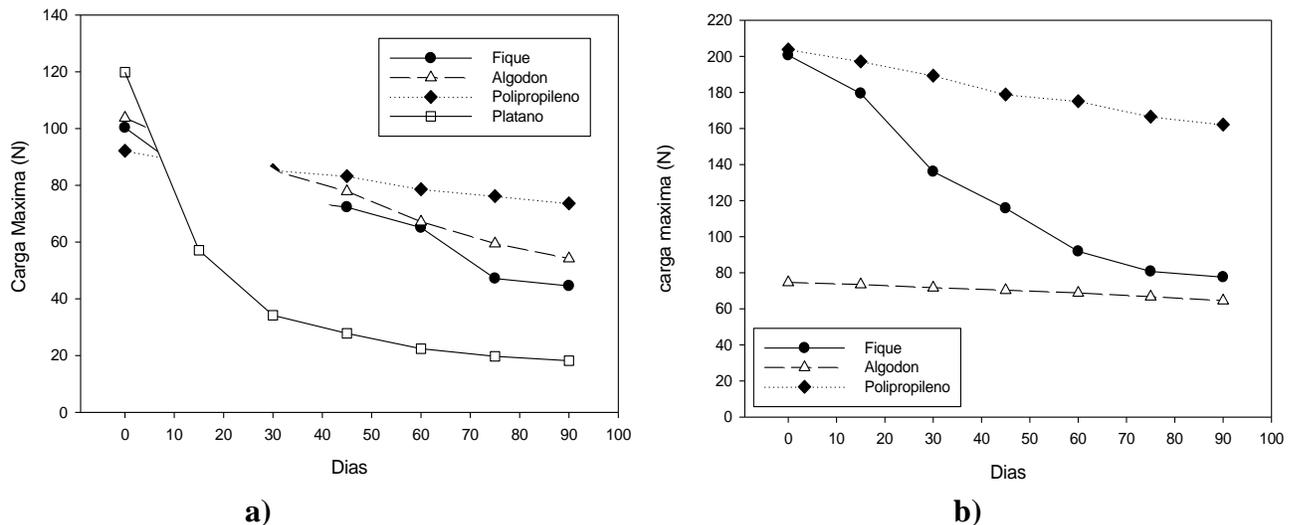


Figura 4. Cinética de pérdida de calidad del parámetro de carga máxima de fibras suspendidas en ambiente. a) Fibras de calibre 1; b) fibras de calibre 2.

Fuente: esta investigación

La propiedad de carga máxima es uno de los parámetros más importantes a tener en cuenta en esta investigación, este parámetro representa el máximo peso que la fibra puede soportar en determinado tiempo, para efectos del estudio se trató de encontrar una fibra que pueda soportar los tallos trepadores de la planta de arveja durante toda la vida del cultivo, en la figura 4 se observa que los valores de esta propiedad para todas las fibras disminuyen al transcurrir los días de experimentación, la fibra de plátano fue la que demostró tener más capacidad de carga al inicio de la experimentación pero también fue la fibra que más rápido perdió esta capacidad en comparación con el resto de fibras.

El comportamiento de fibras de calibre 2 indica que al inicio de la experimentación estas fibras alcanzan valores superiores de carga máxima en comparación a las fibras de calibre 1 por lo que podrían soportar más peso en ese determinado momento, no obstante la fibra de fique perdió considerablemente la resistencia de carga máxima al final de los días de estudio por la separación de sus microfibras, según Sergio et al., (2018) una de las causas de la degradación de las propiedades mecánicas de una fibra es el daño por fotooxidación que afecta principalmente a la celulosa que se da por la ruptura de las uniones glucosídicas entre las unidades de celulosa, causando cambios en las propiedades mecánicas, las fibras estuvieron expuestas a condiciones de luz constantes por lo que esta podría ser una de las causas de la degradación de las propiedades mecánicas de las fibras al pasar los días de experimentación.

Se calculó el porcentaje de pérdida de la propiedad estudiada comparada entre calibres, la fibra de plátano fue la que más porcentaje de degradación obtuvo con un 84 % , La fibra de fique calibre 1 con un porcentaje de pérdida de 55% tuvo una degradación menor de la propiedad en comparación con la fibra de calibre 2 que obtuvo un 61% de pérdida, esta diferencia pudo verse atribuida a que la fibra de calibre 2 presentó una separación de las microfibras al pasar los

días de experimentación lo que causo que al perder compactación también perdiera resistencia a la carga , la fibra de algodón de calibre 1 tuvo un porcentaje de degradación de 47 % y la fibra de calibre 2 de 13%, la fibra de algodón de calibre 2 tuvo una coloración diferente a las fibras de calibre 1, esta modificación se hizo antes de la obtención de la fibra para su experimentación y podría ser la causante de su resistencia frente a las condiciones que fue expuesta, por último la fibra de polipropileno presento una degradación del 20% en los dos calibres evaluados.

En la tabla 7 se muestran los parámetros cinéticos para carga máxima de fibras calibre 1, mediante comparación entre medias según LSD de Fisher se evidencio diferencias significativas para la fibra de plátano que tuvo la mayor velocidad de degradación y el parámetro n de esta fibra indica que su velocidad disminuye con el tiempo.

La fibra de fique aunque no presento diferencia estadísticamente significativa en comparación con las demás fibras evaluadas no obstante tuvo una velocidad de degradación alta y experimentalmente tuvo una considerable pérdida de calidad de sus características mecánicas.

Tabla 7.

Parámetros cinéticos del comportamiento de carga máxima fibras calibre 1

Parámetro	Fibra	K (1/día)	n	R ²
Carga máxima	Fique 1	-0,0114±0,003 ^a	0,943	0,93
	Plátano	-0,2045±0,9 ^b	0,555	0,99
	Algodón 1	-0,0072±0,007 ^a	1,01	0,98
	Polipropileno 1	-0,0067±0,006 ^a	1,001	0,97

Nota: los valores en esta tabla serán expuestos de nuevo en la modelación matemática

K: constante de velocidad de degradación, n: parámetro de velocidad de degradación R²: Coeficiente de Determinación

Valores promedio ($n=3$) \pm desviación estándar; Letras no comunes implican diferencias entre promedios, según prueba de LSD de Fisher a un 95% de confianza.

En la tabla 8 se muestran los parámetros cinéticos para carga máxima de fibras calibre 2, mediante comparación entre medias según la prueba LSD de Fisher no se evidencian diferencias significativas entre las constantes de velocidad para las fibras de algodón y polipropileno, sin embargo la fibra de fique presento diferencias estadísticamente significativas con respecto a las otras fibras evaluadas y obtuvo la mayor velocidad de degradación además el parámetro n indica que esta velocidad permanece constante.

Tabla 8.

Parámetros cinéticos del comportamiento de carga máxima fibras calibre 2

Parámetro	Fibra	K (1/día)	n	R ²
carga máxima	Fique	-0,0112 \pm 0,001 ^a	1,011	0,97
	Algodón	-0,005 \pm 0003 ^b	1,279	0,97
	Polipropileno	-0,0028 \pm 0,001 ^b	1,029	0,97

K: constante de velocidad de degradación, n: parámetro de velocidad de degradación R²: Coeficiente de Determinación

Valores promedio ($n=3$) \pm desviación estándar; Letras no comunes implican diferencias entre promedios, según prueba de LSD de Fisher a un 95% de confianza.

Fuente: Esta investigación

5.2.3 Cinética de la propiedad de elongación

En la figura 5 se muestra el comportamiento de la propiedad de elongación para cada fibra separadas por calibre en los 90 días de experimentación.

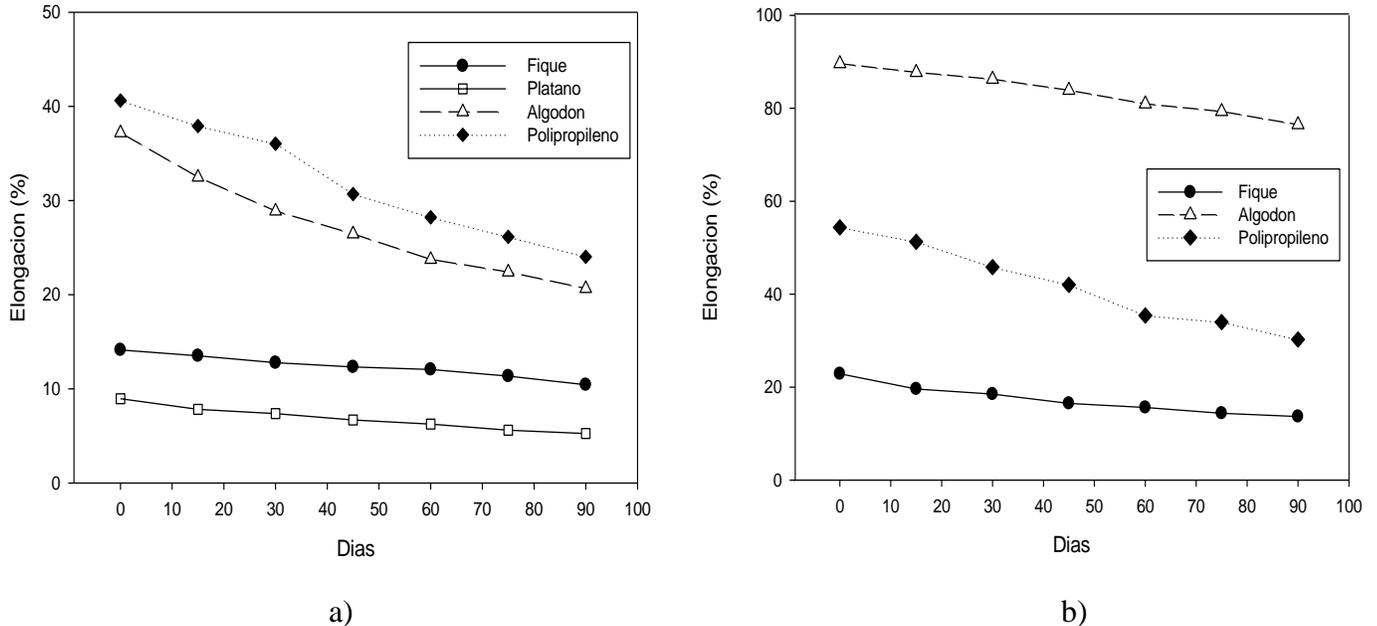


Figura 5. Cinética de pérdida de calidad del parámetro de elongación de fibras suspendidas en ambiente. a) Fibras de calibre 1; b) fibras de calibre 2.

Fuente: esta investigación

La propiedad de elongación máxima según Ochoa, (2005) es el valor de la deformación medido en el punto de carga máxima, determina el porcentaje que la fibra puede estirarse hasta alcanzar el punto de rotura, en las fibras estudiadas de calibre 1 algodón y polipropileno registraron un porcentaje de deformación aproximadamente del 40 %, indicando que este tipo de materiales son muy flexibles en comparación con las fibras de fique y plátano que presentaron valores bajos, esta diferencia está determinada por la rigidez del material, cuando mayor es la elongación máxima menor es la rigidez, esto se puede comprobar en el parámetro de módulo de Young explicado anteriormente, en las fibras de calibre 2 se determinó que la fibra de algodón

alcanza valores superiores al 80% de elongación esto puede estar relacionado con el trenzado de la fibra que se usó en la experimentación y por sus bajos valores de módulo de Young o rigidez (Castillo et al., 2013).

Valores altos de elongación podría ocasionar problemas en el momento de utilizar la fibra en campo ya que a medida que la planta tutorada va creciendo y ganando peso necesita un soporte que la mantenga estable y si la fibra se estira demasiado la planta podría caer al suelo y verse afectada.

Se calculó el porcentaje de pérdida de la propiedad estudiada comparada entre calibres, la fibra de plátano fue la que más porcentaje de degradación obtuvo con un 44 % , La fibra de fique calibre 1 con un porcentaje de pérdida de 26% tuvo una degradación menor de la propiedad en comparación con la fibra de calibre 2 que obtuvo un 40% , la fibra de algodón de calibre 1 tuvo un porcentaje de degradación de 44 % y la fibra de calibre 2 de 14%, por último la fibra de polipropileno presento una degradación del 40% para calibre 1 y 44 % para calibre 2.

la pérdida de calidad del parámetro de elongación según M. Moreno, (2001) puede estar atribuida a la absorción o contacto con agua líquida o vapor, esta agua penetra en los capilares y en los poros, y difunde dentro de las regiones amorfas.

La celulosa puede contener distintas cantidades de agua según el medio ambiente que lo rodea

Una excesiva cantidad de agua produce un hinchamiento del material, que acelera la degradación química y biológica, reduciendo la flexibilidad o elongación.

En la tabla 9 se muestran los parámetros cinéticos para la propiedad de elongación para fibras calibre 1, mediante comparación entre medias según LSD de Fisher las fibras de fique y polipropileno no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre ellas, lo mismo

ocurrió entre las fibras de plátano y algodón que obtuvieron un parámetro n de 0.8 lo cual significa que su velocidad de degradación disminuye al transcurrir el tiempo.

Tabla 9.

Parámetros cinéticos del comportamiento de elongación para fibras calibre 1

Parámetro	Fibra	K (1/día)	n	R ²
Elongación	Fique	-0,0039±0,004 ^{ab}	1,060	0,96
	Plátano	-0,0148±0,01 ^b	0,866	0,97
	Algodón	-0,0169±0,006 ^b	0,800	0,99
	Polipropileno	-0,0040±0,004 ^{ab}	1,178	0,95

K: constante de velocidad de degradación, n: parámetro de velocidad de degradación R²: Coeficiente de Determinación

Valores promedio (n=3) ± desviación estándar; Letras no comunes implican diferencias entre promedios, según prueba de LSD de Fisher a un 95% de confianza.

Fuente: Esta investigación

En la tabla 10 se muestran los parámetros cinéticos para la propiedad de elongación para fibras calibre 2, mediante comparación entre medias según LSD de Fisher se observa que la fibra de fique presenta diferencias estadísticamente significativas en comparación con las fibras de algodón y polipropileno, además obtuvo la mayor velocidad de degradación y su parámetro n indica que esta velocidad disminuye con el tiempo.

Tabla 10.**Parámetros cinéticos del comportamiento de elongación para fibras calibre 2**

Parámetro	Fibra	K (1/día)	n	R ²
Elongación	Fique 2	-0,0274±0,02 ^a	0,732	0,96
	Algodón 2	-0,0007±0,0002 ^b	1,192	0,98
	Polipropileno 2	-0,0057±0,005 ^b	1,549	0,93

K: constante de velocidad de degradación, n: parámetro de velocidad de degradación R²: Coeficiente de Determinación

Valores promedio (n=3) ± desviación estándar; Letras no comunes implican diferencias entre promedios, según prueba de LSD de Fisher a un 95% de confianza.

Fuente: Esta investigación

5.3 Modelación y predicción matemática

Se utilizó la ecuación de Page descrita en la sección de metodología para predecir el comportamiento de las fibras evaluadas con respecto al parámetro de carga máxima

En la tabla 11 se puede observar que los valores de R² adj y MRE presentaron valores que indican la bondad de ajuste de los datos experimentales al modelo empírico evaluado. El coeficiente de determinación ajustado obtuvo valores mayores e iguales a 0.97 en la mayoría de los datos, aspecto destacado por Kocayigit & Doymaz, (2011) Del Mismo modo se obtuvo MRE y E% inferiores al 10%, resultado que para Correa et al., (2011) demuestra un buen Ajuste a los datos experimentales.

Tabla 11. Parámetros cinéticos y bondad de ajuste del modelo matemático en relación a la propiedad de carga máxima

Parámetro	Fibra	K (1/día)	n	R ²	E%	MRE
Carga máxima	Fique diámetro 1	-0,0114±0,003 ^a	0,943	0,93	0,76	5,4%
	Plátano	-0,2045±0,9 ^b	0,555	0,99	1,07	2,3%
	Algodón diámetro 1	-0,0072±0,007 ^a	1,01	0,98	0,26	1,9%
	Polipropileno diámetro 1	-0,0067±0,006 ^a	1,001	0,97	2,33	1,5%
	Fique diámetro 2	-0,0112±0,001 ^A	1,011	0,97	0,70	9,3%
	Algodón diámetro 2	-0,005±0003 ^B	1,279	0,97	4,66	1,4%
	Polipropileno diámetro 2	-0,0028±0,001 ^B	1,029	0,97	0,27	5,8%

K: constante de velocidad de degradación, n: parámetro de velocidad de degradación R²: Coeficiente de Determinación, E: Error Porcentual, RMSE: es el error medio relativo

Valores promedio (n=3) ± desviación estándar; Letras no comunes implican diferencias entre promedios,

Letras minúsculas indican promedios de calibre 1

Letras mayúsculas indican promedios de calibre 2

Según prueba de LSD de Fisher a un 95% de confianza.

Fuente: Esta investigación

5.4 Días de Resistencia estimada

Mediante la ecuación se calculó los días aproximados que las fibras podrían durar en campo bajo las condiciones en las que se desarrolló la experimentación, teniendo en cuenta que estas condiciones pueden variar dependiendo de factores ambientales como lluvias, vientos etc. Sobre los cuales no se tiene control alguno, para este cálculo se utilizó la propiedad de carga máxima, poniendo un peso límite para adecuar a la ecuación, el valor límite fue de 1 kg o 9,8 (N) este valor es el máximo que la planta podría llegar a pesar al final del cultivo, cabe resaltar que la planta va creciendo poco a poco y su peso va aumentando al pasar los días así que la fibra no siempre estará sometida a este peso sin embargo es lo que la fibra debería poder soportar.

Tabla 12.

Días de resistencia calculados según el modelo matemático

Fibras	Días de resistencia estimados
Plátano	101
Fique diámetro 1	217
Fique diámetro 2	266
Algodón calibre 1	318
Algodón calibre 2	338
Polipropileno calibre 1	373
Polipropileno calibre 2	945

En la tabla 12 observamos los días estimados que la fibra podría soportar con el peso de la planta, el cultivo de arveja dura aproximadamente 4 meses dependiendo de la finalidad del mismo; con los resultados anteriores se pudo determinar que la fibra de plátano no sería apta para

soportar el ciclo de vida del cultivo con una duración aproximada de 3 meses y medio, esto concuerda con los resultados de las velocidades de degradación en los cuales la fibra de plátano obtuvo la velocidad de degradación más elevada con respecto a las demás fibras, la fibra de fique en sus dos calibres al igual que la fibra de algodón calibre 1 serían aptas para su utilización en el cultivo ya que obtuvieron velocidades de degradación estadísticamente comparables a la fibra de polipropileno, la fibra de algodón calibre 2 aunque tuvo una velocidad de degradación baja en todas sus propiedades sin embargo obtuvo valores iniciales de elongación muy altos por lo cual sería un problema para el cultivo utilizar esta fibra, ya que si bien puede soportar cargas elevadas, el valor de su elongación haría que la planta al aumentar su peso progresivamente cayera al suelo afectando el cultivo.

5.5 Evaluación del comportamiento de fibras naturales en condiciones de biodegradabilidad en suelo.

Se determinó la degradación de las propiedades mecánicas de las fibras mediante el muestreo periódico de las fibras enterradas y se elaboró las correspondientes cinéticas

Para esta experimentación no se pudo elaborar una tendencia de degradación de las fibras de fique y plátano debido a que estas fibras se degradaron muy rápido y se hizo imposible la manipulación de estas en el equipo de medición de las propiedades mecánicas, es por eso que en las gráficas representativas solo se incluyó las fibras de algodón y polipropileno.

5.5.1 *Cinética de la propiedad de módulo de Young en condiciones de biodegradabilidad*

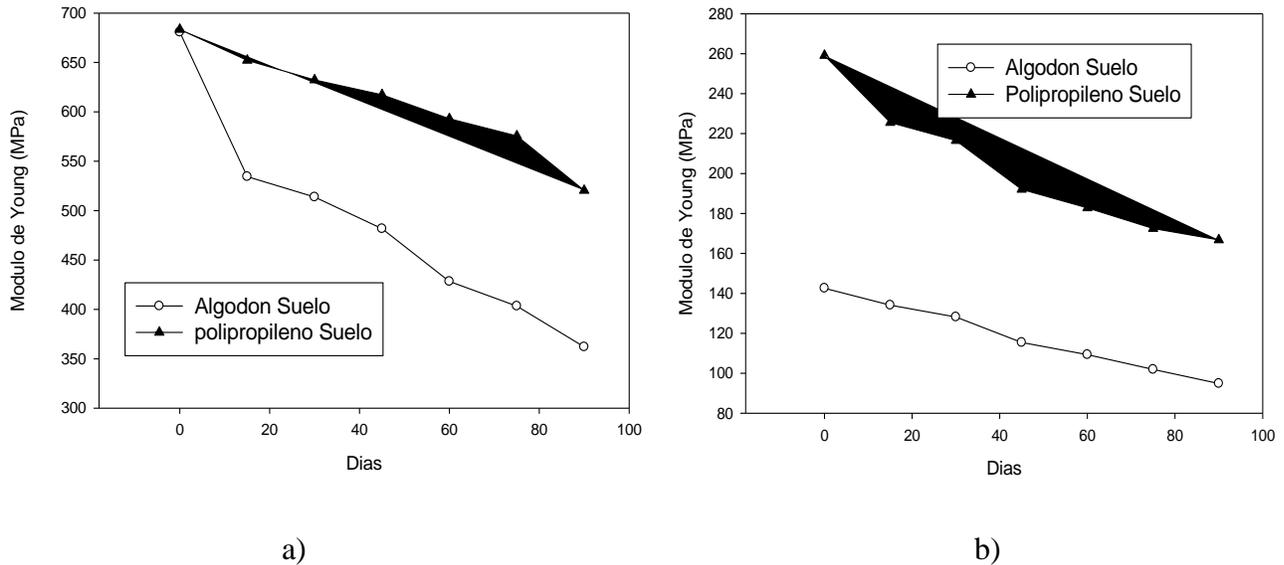


Figura 6. Cinética de pérdida de calidad del parámetro de Modulo de Young de fibras expuestas a biodegradabilidad a) Fibras de calibre 1; b) fibras de calibre 2.

Se determinó la degradación de las fibras en base a sus propiedades mecánicas evaluando su comportamiento en condiciones de suelo.

La figura 7 muestra el comportamiento de la propiedad de módulo de Young de las fibras expuestas al suelo del cultivo se observa una caída en el valor de esta propiedad al transcurrir el tiempo de experimentación en todas las fibras evaluadas con un porcentaje de pérdida de 46% para algodón de calibre 1 y 33% para algodón de calibre 2, para la fibra de polipropileno se registró una pérdida de 23% para calibre 1 y 32% para calibre 2, las fibras de polipropileno registraron valores menores de pérdida de propiedad y se puede corroborar lo dicho por Valdivieso, Ortegón, & Uscategui, (2013) que afirmó que el polipropileno tiene alta resistencia a

la corrosión, al agua y a la descomposición bacteriana por eso no se vio afectado significativamente por las condiciones de tierra a las que estuvo expuesto.

En la tabla 13 se muestran los parámetros cinéticos para la propiedad de módulo de Young para fibras calibre 1, mediante comparación entre medias según LSD de Fisher se evidencio diferencias estadísticamente significativas para las constantes de velocidad de degradación máxima entre las fibras de algodón y polipropileno, la fibra de algodón obtuvo mayor velocidad de degradación y el parámetro n menor a 1 indica que esta velocidad disminuye con el tiempo.

Tabla 13.

Parámetros cinéticos del comportamiento de módulo de Young fibras calibre 1

Parámetro	Fibra	K (1/día)	n	R ²
Módulo de Young	Algodón 1	-0,0436±0,03 ^a	0,617	0,97
	Polipropileno 1	-0,0012±0,0003 ^b	1,172	0,95

K: constante de velocidad de degradación, n: parámetro de velocidad de degradación R²: Coeficiente de Determinación

Valores promedio (n=3) ± desviación estándar; Letras no comunes implican diferencias entre promedios, según prueba de LSD de Fisher a un 95% de confianza.

Fuente: Esta investigación

En la tabla 14 se muestran los parámetros cinéticos para la propiedad de módulo de Young para fibras calibre 2, mediante comparación entre medias según LSD de Fisher se evidencio diferencias significativas entre las fibras de algodón y polipropileno, la fibra de algodón obtuvo la mayor velocidad de degradación para este parámetro.

Tabla 14.**Parámetros cinéticos del comportamiento de módulo de Young fibras calibre 2**

Parámetro	Fibra	*K (1/día)	n	R ²
Módulo de Young	Algodón 2	-0,0043±0,004 ^b	1,080	0,96
	Polipropileno 2	-0,0200±0,006 ^a	0,700	0,98

K: constante de velocidad de degradación, n: parámetro de velocidad de degradación R²: Coeficiente de Determinación

*Valores promedio (n=3) ± desviación estándar; Letras no comunes implican diferencias entre promedios, según prueba de LSD de Fisher a un 95% de confianza.

Fuente: Esta investigación

5.5.2 Cinética de la propiedad de carga máxima en condiciones de biodegradabilidad

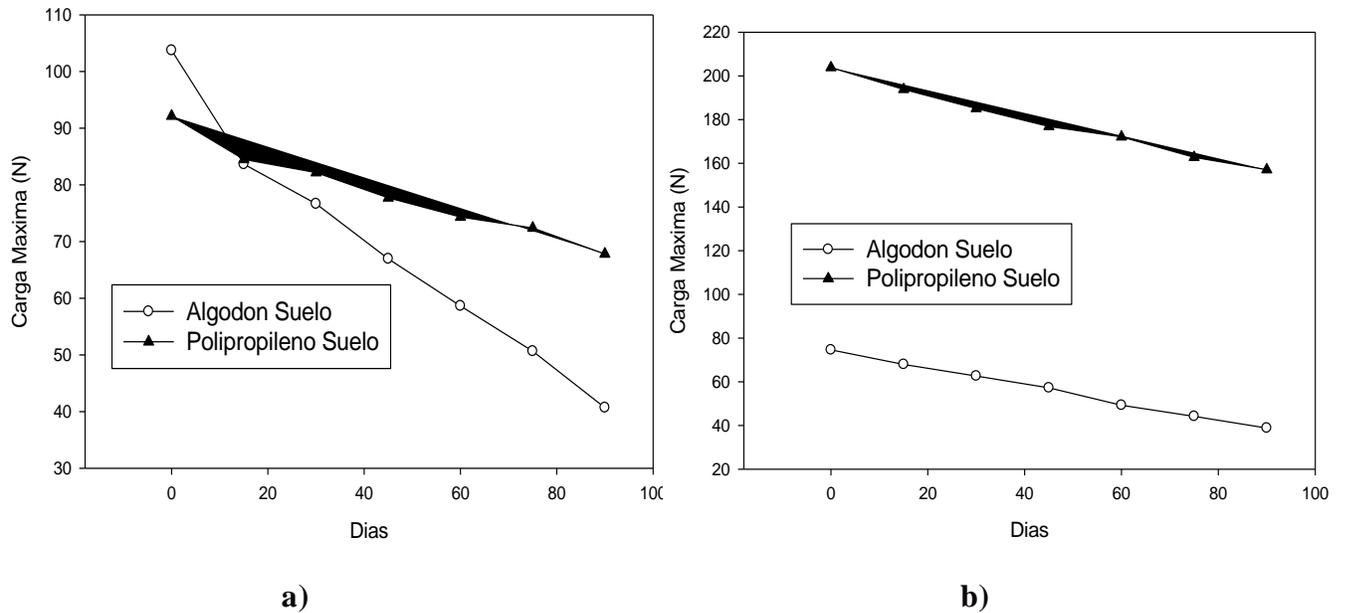


Figura 7. Cinética de pérdida de calidad del parámetro de carga máxima de fibras expuestas a suelo a) Fibras de calibre 1; b) fibras de calibre 2.

En la figura 8 se muestra la gráfica del comportamiento de la propiedad de carga máxima para las fibras de algodón y polipropileno, se observa una caída en el valor de estas propiedades en las dos fibras evaluadas siendo más notable la degradación en la fibra de algodón de calibre 1 con una pérdida de la propiedad del 60 % y para calibre 2 del 47%, las fibras de polipropileno registraron porcentajes de pérdida de 26 % para calibre 1 y 22% para calibre 2, evidenciando una degradación mayor en el caso de la fibra de algodón, según Palechor, Ceron, Villada, & Margarita, (2016) esta degradación de las propiedades mecánicas es el resultado de la exposición al calor, luz solar, humedad y/o enzimas que cortan y debilitan las cadenas poliméricas, materiales hidrofílicos presentan cambios en sus propiedades mecánicas cuando entran en ambientes húmedos como es el caso del contacto directo con el suelo.

En la tabla 15 se muestran los parámetros cinéticos para la propiedad de carga máxima, mediante comparación entre medias según LSD de Fisher, se evidencia diferencias estadísticamente significativas entre las constantes de velocidad de degradación máxima de las fibras evaluadas en condiciones de suelo no obstante la fibra de algodón obtuvo una mayor velocidad de degradación con un parámetro n que asume constante esta velocidad.

Tabla 15.

Parámetros cinéticos del comportamiento de carga máxima fibras calibre 1

Parámetro	Fibra	*K (1/día)	n	R ²
Carga Máxima	Algodón 1	-0,0192±0,021 ^a	0,932	0,98
	Polipropileno 1	-0,0093±0,005 ^b	0,799	0,97

K: constante de velocidad de degradación, n: parámetro de velocidad de degradación R²: Coeficiente de Determinación

*Valores promedio (n=3) ± desviación estándar; Letras no comunes implican diferencias entre promedios, según prueba de LSD de Fisher a un 95% de confianza.

Fuente: Esta investigación

En la tabla 16 se muestran los parámetros cinéticos para la propiedad de carga máxima para fibras de calibre 2, mediante comparación entre medias según LSD de Fisher, no se evidencia diferencias estadísticamente significativas entre las constantes de velocidad de degradación máxima de las fibras evaluadas.

Tabla 16.**Parámetros cinéticos del comportamiento de carga máxima fibras calibre 2**

Parámetro	Fibra	*K (1/día)	n	R ²
carga máxima	Algodón 2	-0,0035±0,002 ^a	1,194	0,99
	Polipropileno 2	-0,0042±0,001 ^a	0,933	0,98

K: constante de velocidad de degradación, n: parámetro de velocidad de degradación R²: Coeficiente de Determinación

*Valores promedio (n=3) ± desviación estándar; Letras no comunes implican diferencias entre promedios, según prueba de LSD de Fisher a un 95% de confianza.

Fuente: Esta investigación

5.5.3 Cinética de la propiedad de elongación en condiciones de biodegradabilidad

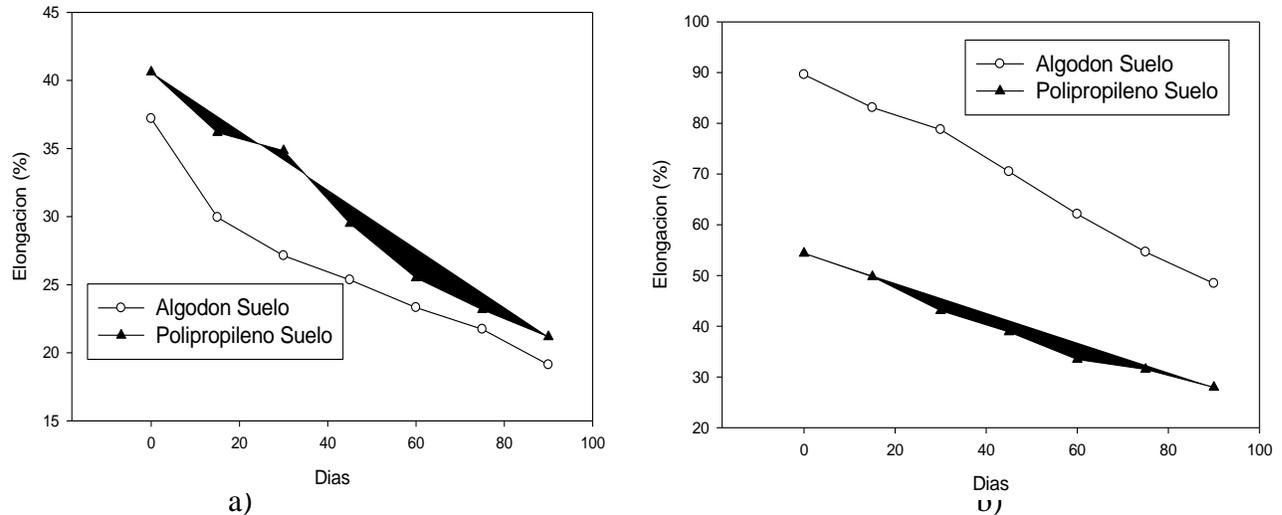


Figura 8. Cinética de pérdida de calidad del parámetro de elongación de fibras expuestas a suelo a) Fibras de calibre 1; b) fibras de calibre 2.

En la figura 9 se muestra el comportamiento de la propiedad de elongación para las fibras de algodón y polipropileno, observándose una caída del valor de la propiedad de aproximadamente el 46 % para todas las fibras evaluadas de los dos calibres, esto se debe a que en el caso de la fibra natural segund Ovalle et al., (2018) en condición de suelo las descomposición de celulosa por medio de enzimas es el causante de cambios en las propiedades mecánicas . El proceso de degradación incluye ruptura de las uniones glucosídicas, que tiende a romper la celulosa en pequeños productos, de los cuales los microorganismos se alimentan. La reacción química más común, acelerada por una enzima particular (hidrolasa) es la hidrólisis.

En la tabla 17 se muestran los parámetros cinéticos para la propiedad de elongación, mediante comparación entre medias según LSD de Fisher, se presentó diferencias estadísticamente significativas entre las constantes de velocidad de degradación máxima entre las fibras de algodón y polipropileno, la fibra de algodón 1 obtuvo la mayor velocidad de degradación entre las fibras evaluadas y el valor de n atribuye que la velocidad de esta fibra disminuye con el tiempo.

Tabla 17.

Parámetros cinéticos del comportamiento de elongación fibras calibre 1

Parámetro	Fibra	K (1/día)	n	R ²
Elongación	Algodón 1	-0,0360±0,004 ^a	0,633	0,96
	Polipropileno 1	-0,0064±0,007 ^b	1,150	0,97

K: constante de velocidad de degradación, n: parámetro de velocidad de degradación R²: Coeficiente de Determinación

Valores promedio (n=3) ± desviación estándar; Letras no comunes implican diferencias entre promedios, según prueba de LSD de Fisher a un 95% de confianza.

Fuente: Esta investigación

En la tabla 18 se muestran los parámetros cinéticos para la propiedad de elongación de fibras calibre 2, mediante comparación entre medias según LSD de Fisher, no se presentó diferencias estadísticamente significativas entre las fibras evaluadas, siendo la fibras de polipropileno la que obtuvo una mayor velocidad de degradación.

Tabla 18.

Parámetros cinéticos del comportamiento de elongación fibras calibre 2

Parámetro	Fibra	*K (1/día)	n	R ²
elongación	Algodón 2	-0,0019±0,001 ^b	1,335	0,98
	Polipropileno 2	-0,0091±0,009 ^b	1,233	0,95

K: constante de velocidad de degradación, n: parámetro de velocidad de degradación R²: Coeficiente de Determinación

*Valores promedio (n=3) ± desviación estándar; Letras no comunes implican diferencias entre promedios, según prueba de LSD de Fisher a un 95% de confianza.

Fuente: Esta investigación

La degradación el suelo afecto principalmente a las fibras lignocelulosicas de fique y plátano, desintegrándolas en cuestión de pocos días y no permitiendo la medición de las propiedades mecánicas, con esto se puede decir que estas fibras al caer al suelo tiene una degradación muy rápida por lo que no causarían daños ambientales ni de aglomeración, por el contrario las fibra de algodón y polipropileno no se degradaron tan rápido permitiendo su medición mecánica en todo el transcurso de la investigación y experimentalmente se podría decir que al caer al suelo estas fibras se mantendrían intactas por mucho tiempo debido a que no se evidencio indicios de desintegración en su estructura como si la hubo en las fibras de fique y plátano

5.6 Biodegradación mediante registro fotográfico

Periódicamente se tomó muestras de las fibras que estaban degradándose en condiciones de suelo y se observó el cambio de su estructura y textura.

Tabla 19.

Registro de Biodegradación sobre fibra fique

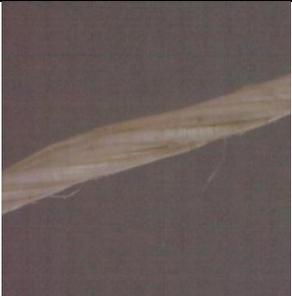
			
Experimentación	Día 0	Día 15	Día 30
			
Día 45	Día 60	Día 75	Día 90

En la tabla 19 se presenta la tabla de degradación de la fibra de fique, esta fibra presentó una degradación muy rápida, tanto así que se hizo imposible la medición de sus propiedades mecánicas por su difícil manipulación y desintegración de sus microfibras que se fracturaban solamente con la manipulación del tacto, con el avance de los días de estudio se hizo más difícil la extracción de muestras ya que la tierra y los microorganismos que en ella habitan habían

desintegrado la mayoría de fibra y solo se encontraban pequeños fragmentos, con esto se demuestra que la fibra de fique al contacto con la tierra se degrada rápida y fácilmente, por lo cual si se utiliza en el tutorado de arveja podría fácilmente desecharse al suelo y no ocasionaría problemas de contaminación.

Tabla 20.

Registro de Biodegradacion sobre fibra de plátano

			
Experimentación	Día 0	Día 15	Día 30
			
Día 45	Día 60	Día 75	Día 90

En la tabla 20 se presenta la tabla de degradación de la fibra de plátano, esta fibra tuvo un comportamiento similar a la fibra de fique, tuvo una desintegración acelerada por lo cual no fue posible medir el comportamiento de sus propiedades mecánicas, sus muestras eran cada vez más

difíciles de extraer por la degradación causada por la tierra, esta fibra tendría las mismas ventajas que la fibra de fique en cuestión de degradación rápida y solución al problema de contaminación, sin embargo el estudio de las propiedades mecánicas en condiciones ambiente concluyo que no es factible usarla en el tutorado.

Tabla 21.

Registro de Biodegradación de fibra de algodón calibre 1

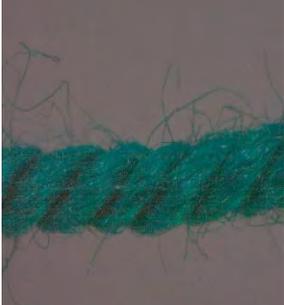
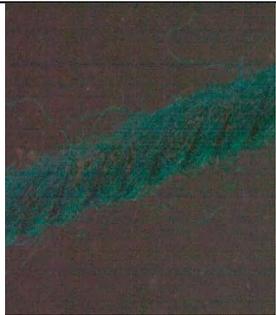
			
Experimentación	Día 0	Día 15	Día 30
			
Día 45	Día 60	Día 75	Día 90

En la tabla 21 se presenta la tabla de degradación de la fibra de algodón, para esta fibra fue posible hacer el seguimiento de sus propiedades mecánicas durante toda la experimentación con lo cual se podría decir que su degradación es más lenta que las fibras de fique y plátano, además

no presento desintegración ni afectación de su textura por lo cual esta fibra al caer al suelo podría mantenerse allí durante un tiempo prolongado sin desintegrarse.

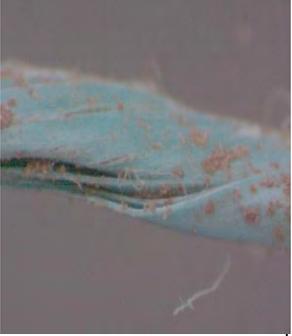
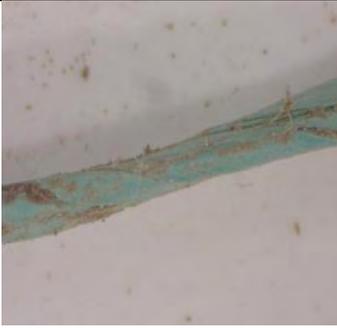
Tabla 22.

Registro de biodegradación de fibra de algodón calibre 2

			
Experimentación	Día 0	Día 15	Día 30
			
Día 45	Día 60	Día 75	Día 90

En la tabla 22 se presenta la tabla de degradación de la fibra de algodón calibre 2, esta se tuvo un comportamiento similar a fibra de algodón de calibre 1; no presento degradación ni desintegración de su textura por lo que fue posible realizar el seguimiento mecánico, demostrado con esto que al caer al suelo tardaría un tiempo prolongado en desintegrarse, sin embargo el estudio de las propiedades mecánicas en condiciones ambiente concluyo que no es factible usarla en el tutorado.

Tabla 23.**Registro de biodegradación de fibra polipropileno**

			
	Día 0	Día 15	Día 30
			
Día 45	Día 60	Día 75	Día 90

En la tabla 23 se presenta la tabla de degradación de la fibra de polipropileno, esta fibra fue usada como punto de comparación de las fibras naturales, se sabe que el polipropileno es un material no degradable y muy resistente a cualquier tipo de condiciones climáticas, por lo cual en el tiempo de experimentación no presentó ningún cambio de textura ni desintegración.

6 Conclusiones

Las 3 fibras naturales evaluadas presentaron una degradación en sus propiedades mecánicas causada por la influencia de factores ambientales a las que fueron sometidas.

La fibra de plátano fue la que evidencio una mayor degradación de sus propiedades mecánicas en comparación con las demás fibras así que podría descartarse para usarse en el tutorado del cultivo.

La fibra de algodón de calibre 2 presento una elongación elevada por lo que al ser usada en el tutorado podría causar problemas de soporte al cultivo.

Se determinó que en la experimentación en suelo las fibras de plátano y fique se degradaron y desintegraron de una manera acelerada por lo que al ser arrojadas al suelo no ocasionarían problemas ambientales ni de aglomeración.

La fibra de fique en los dos calibres evaluados sería una buena opción para su implementación en el tutorado ya que presento adecuadas propiedades mecánicas y se desintegro fácilmente en suelo por lo que no ocasionaría problemas al terminar su ciclo en el tutorado.

7 Recomendaciones

Realizar un estudio de costos comparando la utilización de distintas fibras.

Realizar un estudio más detallado del efecto de la absorción de agua de las fibras estudiadas, ya que es un parámetro que afecta las propiedades mecánicas.

Elaborar un estudio para de alguna manera proteger a las fibras de las afectaciones ambientales para conseguir una menor degradación de las mismas.

Referencias bibliográficas

- Arriaga, S., & Velasquez, J. (2014). Elaboración de tableros de fibras libres de resinas a partir de residuos de fique, 8(1), 10–13.
- Barragan, E. (2010). Determinación de zonas óptimas para la producción del algodón (*Gossypium hirsutum* L.) En el valle cálido del alto Magdalena por ambiente, rendimiento y calidad de fibra con énfasis en potasio. universidad nacional de colombia.
- Benavides, O., Arango, O., Hurtado, A., & Rojas, M. (2012). Cuantificación de Sapogeninas del Jugo Fresco y Fermentado de Fique (*Furcraea gigantea*) mediante Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC-PDA). *Informacion Tecnologica*, 23(3), 67–76. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642012000300009>
- Casanova, L., Solarte, J., & Checa, O. (2012). Evaluación de cuatro densidades de siembra en siete líneas promisorias de arveja arbustiva (*Pisum sativum* L.). *Revista de ciencias agrícolas*, 29(2), 129–140.
- Castillo, D., Saenz, R., Narcia, M., & Vazquez, R. (2013). Propiedades físico-mecánicas de la fibra de agave lechuguilla torr. de cinco procedencias bajo plantaciones. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 4, 78–91.
- Cerón, A., Latorre, L., Bucheli, M., Osorio, O., Mejia, D., & Garcés, L. (2015). Determinación de constantes de velocidad de rehidratación y cambios sobre algunas propiedades físicas en semillas de arveja (*Pisum sativum* L.). *Revista Lasallista de Investigación*, 12(1), 21–32.
- Córdoba, C., Mera, J., & Martínez, D. (2010). Aprovechamiento de polipropileno y polietileno de alta densidad, reforzados con fibra vegetal, Tetra (Stromanthe Stromathoides).

- Revista Iberoamericana de Polímeros, 11(7), 417–427.
- Correa, P. C., Botelho, F. M., Henrique, G., & Oliveira, H. (2011). Mathematical modeling of the drying process of corn ears. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 33(4), 575–581. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v33i4.7079>
- Dane. (2015). El cultivo de la arveja en Colombia. *Boletín Mensual Insumos Y Factores Asociados a La Producción Agropecuaria*, 33, 78. Retrieved from https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos31_mar_2015.pdf
- Estrada, M. (2010). Extracción y caracterización mecánica de las fibras de bambú (*Guadua angustifolia*) para su uso potencial como refuerzo de materiales compuestos .
- Forero, A., & Ligarreto, G. (2009). Evaluación de dos sistemas de tutorado para el cultivo de la arveja voluble (*Pisum sativum* L.) en condiciones de la sabana de Bogotá. *Revista colombiana de ciencias agrícolas*, 3, 81–94.
- GALCERAN, V. (2000). Influencia de la estructura del hilo y del tejido sobre su rigidez de flexión. *Arbor*, 3, 16–39.
- Galeano, C., Zamudio, W., & Florez, J. (2015). Sustitución de polipropileno por nanofibras de celulosa obtenidas del fique, una alternativa ambiental en mezcladores de café. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4348.0404>
- Garza, S. (2002). Caracterización reológica y microbiológica, y cinéticas de deterioro en cremogenado de melocotón. *Servei de Publicacions. Universitat de Lleida*. Retrieved from <http://www.tdx.cat/handle/10803/8368>
- Gómez, Á., & Sanjuán, M. (2014). Optimización del rendimiento del algodón-fibra mediante un modelo de regresión a partir de las condiciones de entrada y de proceso en la fase de

- desmote. *Ingeniería Y Desarrollo*, 32(1), 27–40.
- Granados, C., Acevedo, D., Cabeza, A., & Lozano, A. (2014). Análisis de Perfil de Textura en Plátanos Pelipita, Hartón y Topocho. *Informacion Tecnologica*, 25(5), 35–40. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000500006>
- Gross, R., & Kalra, B. (2002). Biodegradable Polymers for the Environment. *Science*, 297(5582), 803–807. <https://doi.org/10.1126/science.297.5582.803>
- Hidalgo, M., Muñoz, M., & Quintana, K. (2012). Análisis mecánico del compuesto polietileno aluminio reforzado con fibras cortas de fique en disposición bidimensional. *Revista Latinoamericana Metalurgia Y Materiales*, 32(2244–7113), 89–95.
- Kocayigit, F., & Doymaz, İ. (2011). Drying and Rehydration Behaviors of Convection Drying of Green Peas. *Drying Technology*, 29(11), 1273–1282. <https://doi.org/10.1080/07373937.2011.591713>
- Martínez, M. (2007). Diseño de una prueba de biodegradabilidad anóxica de compuestos orgánicos en medio líquido. Universidad autónoma del estado de hidalgo.
- Mejia, J., Rodriguez, R., & Olaya, J. (2012). The influence of alkali treatment on banana fibre ' s mechanical properties Influencia del tratamiento alcalino sobre las propiedades mecánicas de la fibra, 32(1), 83–87.
- Mendoza, C., Aire, C., & Davila, P. (2011). Influencia De Las Fibras De Polipropileno En Las Propiedadesdel Concreto En Estados Plastico Y Endurecido. *Universidad Nacional Autónoma de México.*, 2(29), 36–47.
- Moreno, L., Trujillo, E., & Osorio, L. (2007). Estudio de las características físicas de haces de fibra de *Guadua angustifolia*. *Scientia et Technica*, 34(0122–1701), 613–617.
- Moreno, M. (2001). La conservación de los tejidos. *Arbor*, 2, 677–690.

- Muñoz, D., & Cabrera, G. (2007). El Fique Como Aislante Térmico. *Revista de Biotecnología En El Sector Agropecuario*, 5(1), 11–16.
- Muñoz, M., Hidalgo, M., & Mina, J. (2014). Fibras de fique una alternativa para el reforzamiento de plásticos. influencia de la modificación superficial. *Biotecnología En El Sector Agropecuario Y Agroindustrial*, 12(2), 60–70.
- Navarro, O., & Ramirez, A. (2014). Evaluación de las propiedades mecánicas de un material compuesto reforzado con fibra de fique y fibra de vidrio en una matriz de resina epóxica.
- Ochoa, A. (2005). *Reciclado Mecánico de Materiales Compuestos con Fibras de Celulosa*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. <https://doi.org/341>
- Ovalle, S., Blanco, C., & Combariza, M. (2018). Exploring the composition of raw and delignified Colombian fique fibers, tow and pulp. *Cellulose*, 25(1), 151–165. <https://doi.org/10.1007/s10570-017-1599-9>
- Palechor, J., Ceron, A., Villada, H., & Margarita, S. (2016). Deterioro de una bolsa biodegradable de almidón de yuca con ácido poliláctico en un vivero. *Vitae*, 23, 585–589.
- Pantoja, D., Muñoz, K., & Checa, O. (2014). Evaluación y correlación de componentes de rendimiento en líneas avanzadas de arveja *pisum sativum* con gen afila. *Revista De Ciencias Agrícolas*, 31(2), 24–39. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/rcia/v31n2/v31n2a03.pdf>
- Reyes, T., Héctor, C., Lora, Q., & Fidel, R. (2007). Estudio del impacto ambiental de un colector solar de polipropileno. *Ciencia En Su Pc*, 53–66.
- Rodríguez, L. (2013). Elaboración de un material biocompuesto a partir de la fibra de plátano, 93.
- Rodríguez, L. M., García, E. Á., & González, J. F. H. (2009). Determinación de propiedades

- mecánicas de las fibras de *Bambusa Vulgaris* a utilizar en tableros prensados. *Revista Ingeniería de Construcción*, 24, 153–166.
- Valdivieso, M., Ortegón, Y., & Uscategui, Y. (2013). Biopolímeros : avances y perspectivas biopolymers. *Dyna*, 181(0012–7353), 171–180.
- VILLAREAL, L. (1998). Uso actual y potencial de la vegetación de mina, n.l, un estudio biométrico de las fibras naturales, su desarrollo, estructura y productividad. autónoma de nuevo león.
- Zamorano, C., López, H., & Alzate, G. (2008). Evaluación de la competencia de arvenses en el cultivo de arveja (*Pisum sativum*) en Fusagasugá, Cundinamarca (Colombia). *Revista Agronomía Colombiana*, 26(3), 443–450.