



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA: INGENIERÍA TEXTIL

INFORME FINAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN,
MODALIDAD PRESENCIAL

TEMA:

“ANÁLISIS DE RESISTENCIA A ROTURA Y ALARGAMIENTO EN CUERDAS DE CABUYA PARA POSIBLE APLICACIÓN EN CULTIVOS COMO SUSTITUTO DE POLIPROPILENO”

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniera Textil

Línea de investigación: Producción industrial y tecnología sostenible

Autor: Carrera Quintana Fernanda Valeria

Director: MSc. Valeria Verónica Chugá Chamorro

Ibarra - 2023



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1004144109		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Carrera Quintana Fernanda Valeria		
DIRECCIÓN:	Maldonado y Velasco - Ibarra		
EMAIL:	fvcarreraq@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	0968682024

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“ANÁLISIS DE RESISTENCIA A ROTURA Y ALARGAMIENTO EN CUERDAS DE CABUYA PARA POSIBLE APLICACIÓN EN CULTIVOS COMO SUSTITUTO DE POLIPROPILENO”
AUTOR:	Carrera Quintana Fernanda Valeria
FECHA:	12/09/2023
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	Pregrado
TITULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERA TEXTIL
ASESOR /DIRECTOR:	MSc. Valeria Verónica Chugá Chamorro

2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 12 días del mes de septiembre del 2023

EL AUTOR:

(Firma).....

Nombre: Carrera Quintana Fernanda Valeria

CERTIFICACIÓN DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Ibarra, a los 12 días del mes de septiembre del 2023

MSc. Valeria Verónica Chugá Chamorro
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de titulación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.



.....
MSc. Valeria Verónica Chugá Chamorro

C.C.: 0401732250

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificado del trabajo de titulación “ANÁLISIS DE RESISTENCIA A ROTURA Y ALARGAMIENTO EN CUERDAS DE CABUYA PARA POSIBLE APLICACIÓN EN CULTIVOS COMO SUSTITUTO DE POLIPROPILENO”

elaborado por Fernanda Valeria Carrera Quintana, previo a la obtención del título de Ingeniera Textil, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:



Firmado electrónicamente por:
VALERIA VERONICA
CHUGA CHAMORRO

(f).....

MSc. Valeria Verónica Chugá Chamorro

C.C.: 0401732250



Firmado electrónicamente por:
DARWIN JOSE ESPARZA
ENCALADA

(f).....

MSc. Darwin José Esparza Encalada

C.C.: 1001584570

DEDICATORIA

El trabajo final efectuado es dedicado a mi familia. Principalmente, a mis padres que me apoyaron y acompañaron durante los momentos malos y buenos.

Gracias por enseñarme a afrontar las dificultades sin perder nunca la cabeza ni morir en el intento.

Fernanda Valeria Carrera Quintana

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios y a mis padres que siempre me han brindado su apoyo incondicional para poder cumplir todos mis objetivos personales y académicos. Ellos son los que me han impulsado siempre a perseguir mis metas y nunca abandonarlas frente a las adversidades.

También son los que me han proporcionado el soporte material y económico para poder concentrarme en los estudios y nunca abandonarlos”.

Agradezco también muy profundamente a mi tutora por su dedicación y paciencia, sin sus palabras y correcciones precisas no hubiese podido lograr llegar a esta instancia tan anhelada.

Gracias por su guía y todos sus consejos, los llevaré grabados para siempre en la memoria en mi futuro profesional.

Por último, agradezco a la Universidad Técnica del Norte que me ha exigido tanto, pero al mismo tiempo me ha permitido obtener mi tan ansiado título. Agradezco a cada de los docentes por su gestión, sin los cuales no estarían las bases ni las condiciones para aprender los conocimientos necesarios para la formación integral.

Fernanda Valeria Carrera Quintana

RESUMEN

El presente estudio indica el análisis de resistencia a la rotura y alargamiento en cuerdas de cabuya para su posible aplicación en cultivos como sustituto de polipropileno, examinando en total cuatro muestras: una sintética y tres propuestas de fibra vegetal, todo esto respaldado bajo ensayos de dinamometría realizados en el Laboratorio de la Carrera de Ingeniería Textil de la Universidad Técnica del Norte. Para la investigación se hizo uso de tres cuerdas de cabuya con títulos (1,08; 1,38 y 1,69) Ktex y de la rafia de polipropileno de 1,48 Ktex. En lo referente a los ensayos para la determinación de la resistencia a la rotura y alargamiento se empleó la Norma ISO 2062: 2009 para todas las cuerdas analizadas y la rafia de polipropileno, igualmente para determinar las torsiones de las cuerdas de cabuya se utilizó la Norma ISO 2061: 2014. Obteniéndose como principales resultados 210,54 N en resistencia a la rotura y 12,94% en alargamiento en las cuerdas de cabuya estudiadas, así también tras haber tabulado y analizado la información técnica obtenida se estableció que los datos presentan un valor de normalidad $p > 0,05$ por lo que están dentro del 95% de confiabilidad y no existe una variabilidad significativa puesto que los coeficientes de variación no son valores altos. Con lo que se concluyó, que las cuerdas cabuya poseen en promedio 210,54 N de resistencia y 6,49% de alargamiento en comparación a la rafia de polipropileno que tiene 168,74 N de resistencia y 12,94% de alargamiento, siendo las cuerdas de fibra natural notablemente más resistentes a la rotura y con menor capacidad de alargamiento.

Palabras clave: fibra, rotura, elongación, torsión

ABSTRACT

The present study indicates the analysis of breaking strength and elongation in cabuya ropes for their potential application in crops as a substitute for polypropylene, examining a total of four samples: one synthetic and three proposed vegetable fiber samples. All of this is supported by dynamometry tests essentially conducted in the Laboratory of the Textile Engineering Department at the Technical University of the North.

For the research, three cabuya ropes with titers (1.08, 1.38, and 1.69) Ktex, and a polypropylene raffia of 1.48 Ktex were used for the development of the present investigation.

Regarding the tests for determining the breaking strength and elongation, ISO 2062:2009 standard was used for all analyzed ropes and the polypropylene raffia. Similarly, ISO 2061:2014 standard was used to determine the torsion of the cabuya ropes.

The main results obtained were 210.54 N for breaking strength and 12.94% for elongation in the studied cabuya ropes. Furthermore, after tabulating and analyzing the obtained technical information, it was established that the data showed a normality value of $p > 0.05$, indicating a 95% level of reliability. Additionally, there is no significant variability as the coefficients of variation are not high values.

It was concluded that there is indeed an ecological alternative as a possible substitute for synthetic material, which surpasses the strength of polypropylene raffia. The breaking strength, being the most relevant parameter for the proposed purpose within the agricultural sector, is mainly responsible for this. Therefore, it contributes to environmental conservation efforts.

Key words: *Fibre, breakage, elongation, twisting*

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	1
Descripción del tema.....	1
Antecedentes	2
Importancia del estudio.....	3
Objetivos	4
Características del sitio del proyecto	5
Capítulo 1	6
1 Marco Teórico.....	6
1.1 Estudios previos.....	6
1.1.1 Estudios a cerca de la resistencia de la fibra de cabuya.....	6
1.1.1.1 Aplicaciones de la fibra de cabuya	7
1.1.2 Biodegradabilidad de la fibra de cabuya.....	8
1.1.3 Cuerdas de cabuya dentro del sector agrícola.....	9
1.1.3.1 Usos y aplicaciones de las cuerdas de cabuya en cultivos.....	9
1.1.4 Estudios a cerca de la resistencia de la fibra de polipropileno	10
1.1.4.1 Rafia de polipropileno en cultivos	11
1.1.4.2 Aplicaciones del polipropileno	12
1.1.5 Tiempo de degradación del polipropileno	13

1.1.6	Contaminación por plásticos en la agricultura.....	13
1.1.6.1	Impacto de uso de materiales plásticos dentro de la agricultura	
	14	
1.2	Marco Legal.....	15
1.2.1	Constitución de la República del Ecuador	15
1.2.2	Líneas de investigación de la Universidad Técnica del Norte.....	15
1.2.3	Tulsma.....	16
1.3	Marco Conceptual	16
1.3.1	Cabuya.....	16
1.3.1.1	Propiedades mecánicas de la fibra de cabuya.....	20
1.3.2	Rafia	22
1.3.3	Polipropileno	23
1.3.4	Tracción.....	25
1.3.5	Rotura.....	25
1.3.6	Torsión	26
Capítulo 2	27
2	Materiales y Métodos	27
2.1	Normas	27
2.2	Enfoque de la Investigación	27

2.2.1	Enfoque Cuantitativo	28
2.3	Tipos de investigación a aplicar	28
2.3.1	Investigación analítica.....	28
2.3.2	Investigación experimental	28
2.4	Diagramas de Procedimiento.....	29
2.4.1	Diagrama de Procedimiento General	29
2.4.2	Diagrama de Procedimiento Muestral.....	29
2.5	Equipos y materiales.....	30
2.5.1	Equipos empleados	30
2.5.2	Materiales analizados	32
2.5.3	Análisis microscópico	33
2.6	Procedimiento.....	34
2.7	Pruebas de laboratorio	34
2.7.1	Pruebas para la determinación de la fuerza de rotura y del alargamiento en la rotura de cuerdas de cabuya.....	34
2.7.2	Pruebas para la determinación del número de torsiones en los cordeles de cabuya.....	35
Capítulo 3	37
3	Resultados y Discusión de Resultados.....	37

3.1	Resultados.....	37
3.1.1	Resultados de la fuerza de rotura y alargamiento en cuerdas de cabuya y rafia de polipropileno	37
3.1.2	Resultados generales de la fuerza de rotura, alargamiento y número de torsiones de cuerdas de cabuya y rafia de polipropileno.....	42
3.1.3	Resultados con indicador de 1 Ktex de los resultados obtenidos en resistencia a la fuerza de rotura y alargamiento a la rotura.....	45
3.2	Discusión de Resultados.....	46
3.2.1	Normalidad de los datos.....	47
3.2.2	Análisis del Coeficiente de Variación.....	48
3.2.3	Evaluación de resultados en Títulos Reales	51
3.2.4	Evaluación de resultados con Indicador de 1 Ktex	54
3.2.5	Evaluación comparativa de resistencia a la rotura y alargamiento entre valores promedios de la rafia de polipropileno y las cuerdas de cabuya	58
Capítulo 4.....		60
4	Descripción de la Propuesta	60
4.1	Ventajas del uso de cuerdas de cabuya en actividades agrícolas respecto a la rafia de polipropileno.....	60
4.2	Viabilidad para llevar a cabo la Propuesta	61

4.3 Propuesta definitiva en base al estudio realizado.....	63
Conclusiones	64
Recomendaciones.....	65
Referencias Bibliográficas	66
Anexos.....	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características para el cultivo de Cabuya	18
Tabla 2 Propiedades mecánicas de la Fibra de Cabuya	21
Tabla 3 Características físicas de la Fibra de Cabuya	22
Tabla 4 Características físicas del Polipropileno	23
Tabla 5 Propiedades mecánicas del Polipropileno.....	25
Tabla 6 Caracterización de materiales empleados	33
Tabla 7 Análisis cualitativo para caracterización de fibras empleadas.....	33
Tabla 8 Resultados resistencia a la rotura y alargamiento en rafia polipropileno de 1, 48 Ktex	38
Tabla 9 Resultados resistencia a la rotura y alargamiento en cuerda de cabuya de 1,08 Ktex	39
Tabla 10 Resultados resistencia a la rotura y alargamiento en cuerda de cabuya de 1,38 Ktex	40
Tabla 11 Resultados resistencia a la rotura y alargamiento en cuerda de cabuya de 1, 69 Ktex	41
Tabla 12 Resultados generales de Fuerza a la Rotura.....	42
Tabla 13 Resultados generales de Alargamiento a la Rotura.....	43
Tabla 14 Resultados generales del número de torsiones de las cuerdas de cabuya analizadas	44
Tabla 15 Resultados generales de resistencia a la rotura mediante un indicador de 1 Ktex...	45
Tabla 16 Resultados generales de alargamiento a la rotura mediante un indicador de 1 Ktex	46
Tabla 17 Características que potencian el uso de cuerdas de cabuya respecto a la rafia de polipropileno.....	60

Tabla 18 Indagación de Costos locales de materiales empleados

.....62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación geográfica del Laboratorio Textil	5
Figura 2 Hilo cordel de cabuya.....	9
Figura 3 Agro textil de fique.....	10
Figura 4 Rafia de polipropileno	12
Figura 5 Áreas de uso de plásticos en la agricultura.....	14
Figura 6 Fibra de cabuya en su presentación en bruto.....	17
Figura 7 Extracción de fibra de cabuya	20
Figura 8 Diagrama de procedimiento general.....	29
Figura 9 Diagrama de procedimiento muestral.....	30
Figura 10 Dinamómetro Titán 5	31
Figura 11 Torsiómetro Electrónico Branca Idealair	32
Figura 12 Inicio del Procedimiento de la Prueba de resistencia a la rotura y alargamiento ...	35
Figura 13 Normalidad de los resultados en Fuerza de Rotura	47
Figura 14 Normalidad de los resultados de Alargamiento a la Rotura.....	48
Figura 15 Análisis del coeficiente de variación en resistencia a la fuerza de rotura	49
Figura 16 Análisis del coeficiente de variación en alargamiento a la rotura	49
Figura 17 Análisis de C.V. en la resistencia a la fuerza de rotura y el alargamiento a la rotura	50
Figura 18 Análisis de Resistencia a la Rotura en títulos reales	51
Figura 19 Análisis de Alargamiento a la Rotura en títulos reales.....	52
Figura 20 Análisis de Resistencia y Alargamiento a la rotura en títulos reales.....	53
Figura 21 Análisis de Resistencia a la Rotura con Indicador	55
Figura 22 Análisis de Alargamiento a la Rotura con Indicador	56
Figura 23 Análisis de Resistencia y Alargamiento a la rotura con indicador.....	57

Figura 24 Datos comparativos de resistencia y alargamiento entre la rafia de polipropileno y las cuerdas de cabuya.....58

INTRODUCCIÓN

Descripción del tema

El tema objeto es el análisis de resistencia a la rotura y alargamiento en cuerdas de cabuya para una posible aplicación en cultivos como sustituto de polipropileno mismo que tiene gran relevancia por el hecho de poder contribuir con el cuidado del ecosistema desde el área textil.

La utilización excesiva de plásticos ha generado una problemática de carácter mundial, donde el área de la agricultura no es la excepción puesto que frecuentemente en los distintos tipos de cultivos se da la utilización de polipropileno en una presentación conocida dentro del mercado como “rafia agrícola” la cual es utilizada para proporcionar firmeza y tensión los frutos de ciertos árboles, contribuyendo así al daño ecológico del ecosistema en general por su naturaleza polimérica difícil de reciclar, siendo no recomendable para un uso prolongado en las distintas especies vegetales puesto que puede deteriorar el buen desarrollo de la misma a largo plazo.

Es debido a esto que se ha generado la propuesta de la utilización de una fibra textil conocida como cabuya en cordel para posiblemente sustituir este tipo de materiales contaminantes dentro del área agrícola y con ello crear una solución mucho más óptima enfocada desde la utilización de fibras textiles que aportan con la iniciativa ecológica a nivel mundial, tomando ventaja de las propiedades que puede ofrecer este tipo de fibra textil para el fin de este proyecto de investigación.

Antecedentes

Las fibras textiles naturales tienen beneficios provechosos en muchas de las áreas, como es el caso de la cabuya en características de índole mecánica como tracción, impacto rotura y demás.

Se ha demostrado que en algunas aplicaciones dentro del campo de la ingeniería donde se incluye materiales como la cabuya evidencian mejores resultados en cuanto al comportamiento mecánico (Salinas et al., 2017).

La fibra de cabuya ha sido aplicada incluso dentro del sector automotriz en la creación de materiales compuestos para aumentar la resistencia de ciertas piezas de automóviles obteniendo un aumento de la misma del 44,84% (Manjarrés et al., 2015).

En investigaciones anteriores se ha estudiado a cerca de las propiedades mecánicas de fibras de origen natural, puesto que son cualidades que algunos de estos tipos de fibras ofrecen donde los resultados obtenidos han sido satisfactorios y además se detalla que a medida que la pureza del material aumenta los beneficios de estas propiedades también lo harán. (Montufar & Remache, 2021)

Dichos estudios previos permiten tener una visión mucho más amplia del uso que se le puede conferir a una biofibra textil incursionando en nuevos sectores, como se pretende con la propuesta de este trabajo investigativo y así generar aportaciones importantes de primera instancia creando la posibilidad de utilizarla como un reemplazo sostenible de una fibra sintética en el campo de la agricultura y también aumentar su competitividad en el mercado de la cordelería.

Importancia del estudio

La relevancia de este estudio radica en la evidente preocupación por la huella de contaminación generada por el progresivo uso de plásticos dentro de todas las zonas industriales, una de ellas la agrícola con el empleo de rafia de polipropileno en lo concerniente a las actividades esencialmente de sostén a los frutos de cultivos.

Es en pro de disminuir y mitigar este tipo de acciones que se cuenta con materiales ecológicos dentro del sector textil que pueden ser utilizados con el mismo enfoque pero que no son nocivos para el medio ambiente como la fibra de cabuya, para lo cual se propone en este caso su empleo en cuerdas delgadas que desempeñen la misma funcionalidad del material sintético (rafia) pero con una ventajosa aportación de carácter ecológica.

Así mismo, otro punto destacable es promover la utilización de fibras textiles como la cabuya no sólo dentro de la misma industria textil sino extender su uso en otros sectores industriales como por ejemplo la agricultura.

Objetivos

Objetivo general

- Analizar la resistencia a tracción y rotura en cuerdas de cabuya para posible aplicación en cultivos como sustituto de polipropileno.

Objetivos específicos

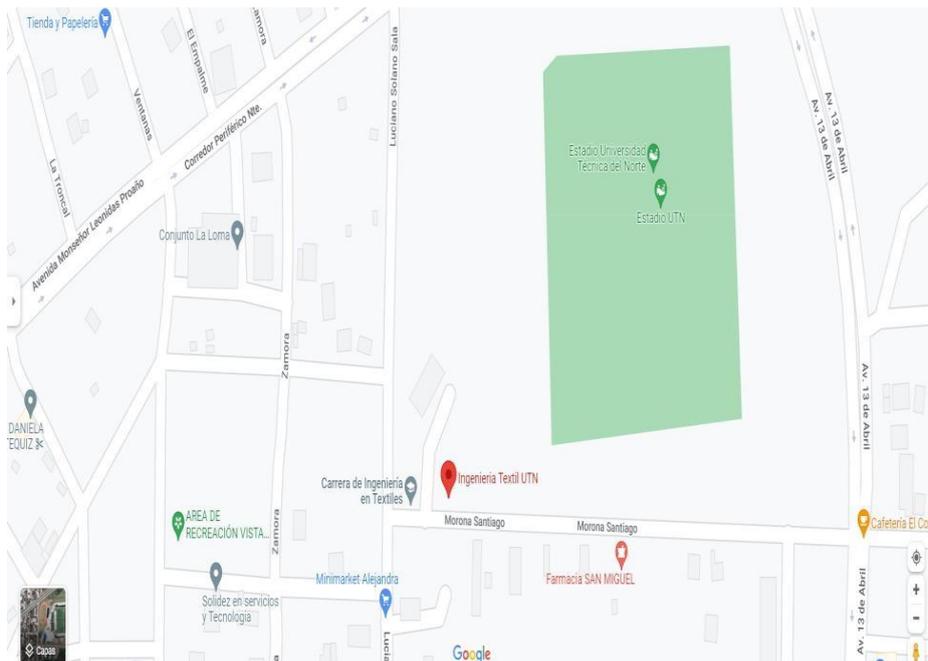
- Investigar fuentes de datos bibliográficas de artículos científicos, libros, revistas y demás, para recabar información relevante y de carácter técnico referente a propiedades de resistencia a rotura y alargamiento de la fibra de cabuya.
- Realizar las pruebas de determinación de resistencia a rotura y alargamiento en cuerdas de cabuya (de 1,08 Ktex; 1,38 Ktex; 1,69 Ktex) y también en la rafia de polipropileno, mediante el equipo dinamómetro y la Norma ISO 2062: 2009, para obtener datos técnicos que permitan el análisis de resultados.
- Evaluar los resultados obtenidos en laboratorio a través del uso del software Past 4, Excel y Microsoft Word, gráficos de barras y tendencias para la elección del mejor resultado en función de la posible aplicación propuesta.

Características del sitio del proyecto

El proyecto de investigación será desarrollado en la carrera de Ingeniería Textil donde se encuentran los laboratorios, mismos que cuentan con equipos normalizados, y su ubicación obedece a las siguientes coordenadas 0.378199828974065, -78.12360110262979 como se indica en la Figura 1.

Figura 1

Ubicación geográfica del Laboratorio Textil



Fuente: Google Maps (2019)

Capítulo 1

1 Marco Teórico

1.1 Estudios previos

Es importante remarcar que las fibras textiles deben poseer algunas particularidades que las diferencien del resto de fibras, dichas singularidades se corresponden con sus capacidades de resistencia, elongación, tensión, entre otras. Por lo que a continuación se presentan algunos estudios e investigaciones que se han realizado acerca de las fibras más relevantes para la presente investigación que son la fibra de cabuya y la fibra de polipropileno, en el ámbito que corresponde.

1.1.1 Estudios a cerca de la resistencia de la fibra de cabuya

En el sector de la ingeniería donde es muy común la necesidad de este tipo de propiedades de resistencia se han realizado estudios a cerca de la incursión de la fibra de cabuya con la intención de evaluar su comportamiento mecánico en materiales como por ejemplo el concreto dentro de lo que es la ingeniería civil, descubriendo que juega un papel de refuerzo en cuanto a la intencionalidad de proporcionar resistencia en el uso de materiales para la construcción, demostrando que al emplearse en un 4% la fibra de cabuya en estado seco se puede apreciar experimentalmente un leve aumento en la resistencia del concreto, pero que puede ayudar en el área de seguridad en una edificación en caso de que ocurrieran eventos impredecibles como un sismo, ampliando e rango de tiempo para tomar medidas de seguridad como la evacuación de personas.(Humani & Mongue, 2019). Esta fibra goza de propiedades mecánicas como la resistencia misma que la hace beneficiosa para diferentes aplicaciones en varios campos y con distintos tipos de propósitos industriales esencialmente en este caso incurriendo en el sector de la construcción pero que expone de manera positiva la capacidad de resistencia que puede brindar esta fibra en otras áreas tal como en la agricultura.

Así también en la misma área el uso de fibras naturales es cada vez más frecuente por cuanto se tiene que la fibra de cabuya se ha utilizado de la misma manera en la fabricación de morteros de cemento detallando que esta fibra incremento la resistencia del mortero en un porcentaje de 0,15 y 0,3%, siendo el resultado con mayor porcentaje aquel que resiste de mejor manera con fuerzas de 7,905 MPa y 7,517 MPa aproximadamente. (Viera et al., 2022). Los resultados

obtenidos en esta aplicación para la elaboración de hormigón igualmente fortalecen el criterio de que existe una orientación afirmativa a que la fibra de cabuya contribuye a mejorar las propiedades mecánicas del campo en el que se la emplea.

Dentro de la industria automotriz específicamente en la creación de materiales compuestos se ha incorporado cada vez más el empleo de fibras naturales como la cabuya donde se aprovecha las propiedades mecánicas de la misma es así que se puede encontrar artículos científicos que avalan el hecho de que la incorporación de fibras de refuerzo de cabuya a las matrices poliméricas permitió un incremento de las propiedades mecánicas a tracción, flexión e impacto, tal mejoramiento en las distintas estratificaciones dependió de las fracciones volumétricas empleadas y la configuración del refuerzo.(Salinas et al., 2017). La práctica de mejoramiento y creación de materiales más resistentes en partes de automóviles incluyendo fibras de origen natural como la cabuya y otras es cada vez mayor y habitual puesto que se evidencia una tendencia positiva a la obtención de buenos resultados.

Un aspecto importante a tomar en consideración es que si la fibra de cabuya demuestra que incrementa ya sea ligera o fuertemente la resistencia en ámbitos industriales fuertes como el automotriz y el de la construcción donde se necesita un buen nivel estructural tanto de materiales como de procesos, es una referencia confiable de que puede ser usado con cierta confiabilidad en cuanto a resistencia en el sector de la agricultura en la parte específicamente de cultivos para proporcionar un soporte efectivo de los frutos de las especies vegetales.

1.1.1.1 Aplicaciones de la fibra de cabuya

La fibra de cabuya se considera de tipo campestre o burda, poseedora de algunas practicidades como por ejemplo en el área alimenticia para el ganado, también en el cercado de tierras en campos como el agrícola. Esta fibra ha sido utilizada dentro de la industria textil en ámbitos relacionados a la elaboración de algún tipo de prendas específico, cuerdas y otros más, en el entorno industrial enfocado en lo textil sus aplicaciones se dan sobre todo en el área de cordelería debido a que por su estructura la cabuya es una fibra dueña de una gran resistencia que le es útil para ciertos casos y desde otra perspectiva también sirve para la creación de artículos de zapatería como alpargatas, tapetes o alfombrillas y muy frecuentemente en obras artísticas. (Betancourt, 2018). Los resultados que se han

obtenido con el uso de materiales naturales son estimulantes para tratar de impulsar fibras naturales nacionales en el desarrollo de elementos automotrices, ayudando al cuidado del ambiente al obtener productos amigables con el entorno ambiental (Pruna et al., 2020). Existen también otros ámbitos de aplicación de la fibra en cuanto al uso de sus propiedades mecánicas de resistencia que pueden ser explorados de una manera mucho más simple en cuanto a su utilización, pero sin demeritar sus cualidades técnicas.

1.1.2 Biodegradabilidad de la fibra de cabuya

En cuanto a los componentes que tiene la fibra de cabuya figuran la celulosa y hemicelulosa mismo que presentan cualidades deseables como quelantes de origen biológico que aportan a la purificación de aguas residuales contaminadas con metales pesados (Guevara & Vallejo, 2014). Sin lugar a dudas la composición de una fibra natural como la cabuya desempeña un rol significativo al hablar de biodegradabilidad puesto que es un indicador importante para el tiempo en el que dicho material desaparecerá del ecosistema.

Según Andagoya et al., (2018) afirman: La cabuya es un material respetuoso con el ambiente que al descomponerse sirve de alimento y abono, inclusive permite realizar procesos ecológicos. Es una cualidad muy noble de este tipo de fibra el lograr consideración ambiental con el planeta ofreciendo usos variados.

Según Pinchao et al., (2019) es posible afirmar que en condiciones controladas existen resultados de que se tiene una mejor y más rápida respuesta en cuanto a degradación de la fibra de cabuya que incluso otras fibras naturales como el algodón siendo que el tiempo estimado para la degradación de la fibra de cabuya son meses en comparación con otros materiales que pueden tomar años. El tiempo en que se demora un material en desaparecer es un factor indispensable a resaltar cuando se habla de evitar la contaminación medioambiental y en este caso la fibra de cabuya tiene apreciaciones favorables que elevan su valor de utilidad en cualquier área y mucho más en la agrícola.

1.1.3 Cuerdas de cabuya dentro del sector agrícola

En la zona agrícola suele emplearse cuerdas de cabuya para elaborar límites en algunos terrenos, y para controlar fenómenos de desgaste lugares específicos del campo. Los cordeles de fibra de cabuya recurrentemente se encuentran en relación directa con los productos que cumplen alguna función en el campo de la agricultura, o igualmente están para el uso como material de soporte de peso esencialmente, inclusive como herramienta de división ayudando de manera proactiva a las actividades cotidianas que son ejercidas aquí, es relevante que en el cuidado de las plantaciones o espacios donde estas cuerdas son utilizadas una vez termina su vida útil sus deshechos prontamente sean tratados como parte de un abono natural permitiendo así dar un nuevo comienzo al ciclo de vida vegetal, lo que incita a un tener un proceso sano y limpio dentro de lo que cabe.

Figura 2

Hilo cordel de cabuya



Fuente: TurkanaBeads (2023)

1.1.3.1 Usos y aplicaciones de las cuerdas de cabuya en cultivos

En el área de cultivos el uso de fibras como la cabuya suele orientarse al uso como limitantes de terrenos o en la parte de sembríos principalmente.

Hay informaciones previas de que en Ecuador y en países vecinos como Colombia en la parte de cultivos de diferentes productos en la fase de siembra

principalmente una vez dispuesto el espacio o lote se ejecuta el trazo de los surcos y es ahí donde se emplea cuerdas de materiales que pueden ser naturales y que tengan un buen nivel de resistencia como la cabuya, las cuales se ubican en dirección de la pendiente, tomando las distancias adecuadas, logrando así la distribución de las parcelas de los distintos cultivos. (Castellanos, 1999). Respecto a la fase de cosecha en cada uno de los lotes el producto obtenido es amarrado con cuerdas de cabuya de una longitud considerable logrando repartir el peso adecuadamente para obtener buenos resultados.

A continuación, se puede observar una aplicación textil de la fibra de cabuya en la agricultura.

Figura 3

Agro textil de fique



Fuente: Agrotutti (2023)

1.1.4 Estudios a cerca de la resistencia de la fibra de polipropileno

Esta fibra de carácter sintético tiene múltiples aplicaciones en diversas actividades, sin embargo, para el caso lo más relevante a destacar es su desempeño dentro de sus propiedades de resistencia.

Las propiedades mecánicas del polipropileno han sido evaluadas en investigaciones sobre los efectos que presenta este material bajo la influencia de un reproceso, de esta manera se llevó a cabo un estudio en el cual se tomaron ciertas variables para determinar el cambio en la estructura mecánica de la fibra

de polipropileno, estableciendo como resultados que mientras a más cantidad de procesos se le someta a este material con factores como temperatura, velocidad o presión presenta una disminución significativa en propiedades como la flexión en 6 % y la tracción en un 8,8%. (Caicedo et al., 2017). Esto da un indicio acerca de que esta fibra sintética a pesar de que resiste altas temperaturas cuando ya excede su capacidad de uso baja su efectividad en sus propiedades más relevantes de resistencia y ciertamente dejaría de ser lo suficientemente útil pero además generando un desecho sumamente difícil de destruir.

Existen además investigaciones sobre las propiedades mecánicas de la fibra de polipropileno de carácter reciclado analizando aspectos como la tracción, flexión, compresión y corte, donde este tipo de análisis permitió evidenciar que este material plástico tiene una buena respuesta a la deformación elástica antes de llegar a su punto máximo, es decir un buen alargamiento a la rotura aun teniendo la cualidad de reciclado que generalmente presenta una menor efectividad en sus propiedades logrando un valor de 283 MPa en este parámetro particular, lo cual no sucede con el factor de tracción o fuerza de rotura que en cambio no tuvo tan buenos resultados presentando aproximadamente 6,05 MPa. (Arcila & Figueroa, 2017). Este estudio da la pauta para posiblemente determinar en el futuro que la fibra de polipropileno puede resultar más beneficiosa brindando propiedades como el alargamiento que a la tracción, sin embargo, en cuanto a fuerza de rotura también el polipropileno es provechoso.

1.1.4.1 Rafia de polipropileno en cultivos

Hace algún tiempo la industria manufacturera del plástico ocupaba un lugar más extenso en todos los sectores económicos, no siendo la excepción el sector de la agricultura, especialmente en los diferentes cultivos con la implementación de un artículo conocido dentro del sector en cuestión como rafia, para dar soporte a los frutos de diversos tipos de cultivos, se sabe que el polipropileno en presentación de rafia acostumbraba a consumirse en las cosechas de aceitunas, algunos materiales naturales han sido deslindados por el polipropileno en actividades netamente agrícolas para el diario desempeño. (Picón, 2020). Claramente la rafia de polipropileno o también llamada sintética ha venido sustituyendo la rafia natural de la antigüedad elaborada a partir del árbol de palma africana con la cual se elaboraba este implemento usado en las labores de cultivos.

Figura 4*Rafia de polipropileno*

Fuente: (Solupackag, 2023)

1.1.4.2 Aplicaciones del polipropileno

Anteriormente se ha analizado que debido a las diversas singularidades técnicas de este tipo de fibra es posible darle un sinnúmero de aplicaciones industriales desde todo punto de vista, ahora entre las más representativas se tienen las siguientes:

La fibra de polipropileno goza de un gran campo de aplicación en diversos sectores industriales, sin embargo, se denotan a continuación aquellas que se relacionan con el sector netamente textil:

- Textiles técnicos para agricultura y pesca.
- Textiles para automoción.
- Textiles para construcción y arquitectura.
- Textiles para protección medioambiental.
- Textiles para ingeniería civil.
- Textiles para usos industriales.
- Textiles para usos médico-higiénico y sanitario.
- Textiles para embalaje.
- Textiles para protección personal.
- Textiles para deporte y tiempo libre. (Fages, 2015)

1.1.5 Tiempo de degradación del polipropileno

Cabe denotar que el tiempo aproximado de degradación de la fibra de polipropileno es de 100 años. Sus propiedades físicas y químicas (alta resistencia y estabilidad) han estimulado su acumulación en el medio ambiente en cantidades exageradamente grandes anualmente, ocasionando un grave problema de contaminación ambiental. (O. A. Hernández & Gómez, 2017). Así como el uso de este material sintético tiene un elevado grado por su facilidad de manejo y utilización, también el tiempo que toma en descomponerse o degradarse es muy alto, lo que se traducen un costo demasiado elevado para el ecosistema.

1.1.6 Contaminación por plásticos en la agricultura

La ciencia ha estudiado con anterioridad el deseo de usar el plástico de una vida útil muy reducida, pero este material se convierte en un desecho altamente contaminante, además se detalla que estos productos poseen una muy baja biodegradabilidad, creando elevadas cantidades de residuos, en la exploración de nuevas y mejores alternativas de apoyo a las actividades industriales cotidianas se usa el plástico, pero son los contaminantes más habituales y reiterados a nivel macro. La radiación determina, en gran medida, la temperatura que se da en el suelo y el efecto ya sea en bien o en mal de este factor sobre el desarrollo y el rendimiento de las plantas, árboles, sembríos o cultivos. (Ingeborg & Peña, 2013).

La utilización de varios implementos de plástico dentro del sector de la agricultura y sus desechos incorrectamente manejados se traduce en la contaminación ambiental e incluso visual en este sector de la industria, el gran apogeo de los plásticos en las actividades del agricultor se posiciona cada vez más como una tecnología emergente con la finalidad de transformar suelos supuestamente no lo suficientemente productivos en otros mucho más provechosos.

Figura 5

Áreas de uso de plásticos en la agricultura



Fuente: (Agriculturers, 2022)

1.1.6.1 Impacto de uso de materiales plásticos dentro de la agricultura

Se dice que existen dos perspectivas relacionadas con el impacto de la industria de los plásticos en la agricultura, ya que desde un enfoque efectivo o favorecedor se alude que los plásticos han facilitado y abaratado muchas de las actividades ejecutadas en esta comunidad, no obstante, desde la parte o visión negativa ha causado repercusiones altamente peligrosas y dañinas en la atmósfera e incluso ha intervenido en el progreso y desarrollo de las especies vegetales. (Ingeborg & Peña, 2013). El efecto puede ser positivo o negativo, no obstante respecto a la utilización de los materiales plásticos en gran cantidad de ninguna manera se puede considerar positivo ya que lo que se obtiene en consecuencia son situaciones nocivas para el ecosistema en tema de contaminación y más grave aún desde el sector que más depende de la estabilidad del medio ambiente para la producción de recursos naturales como lo es actividad agrícola.

1.2 Marco Legal

Tomar en cuenta algunos lineamientos legales también requiere interés para poder encaminar lo mejor posible a la investigación por lo cual se ha tomado en cuenta los siguientes apartados legales.

1.2.1 Constitución de la República del Ecuador

En armonía con las especificaciones de la Constitución de la República del Ecuador, referente al medio ambiente y sus recursos:

Art. 74.- Las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades tendrán derecho a beneficiarse del ambiente y de las riquezas naturales que les permitan el buen vivir (Asamblea Nacional, 2008). En virtud de este artículo se propone el uso de un recurso natural como la fibra de cabuya con fines de estudio investigativo para solventar una necesidad contribuyendo al buen vivir en un sector industrial importante como el agrícola.

1.2.2 Líneas de investigación de la Universidad Técnica del Norte

De acuerdo con lo descrito en la resolución N° 001-073-CEAACES-2013-13, donde la UTN resuelve las siguientes líneas de investigación:

1. Producción industrial y tecnología sostenible.
2. Desarrollo agropecuario y forestal sostenible.
3. Biotecnología, energía y recursos.
4. Soberanía, seguridad e inocuidad alimentaria sostenible.
5. Salud y bienestar integral.
6. Gestión, calidad de la educación, procesos pedagógicos e idiomas.
7. Desarrollo artístico, diseño y publicidad.
8. Desarrollo social y del comportamiento humano.
9. Gestión, producción, productividad, innovación y desarrollo socioeconómico.
10. Desarrollo, aplicación de software y ciberseguridad. (Universidad Técnica del Norte, 2021)

La línea de investigación referente que le corresponde al presente trabajo de titulación es: **Producción industrial y tecnología sostenible**. (Universidad Técnica del Norte, 2021). Siendo la Universidad Técnica del Norte una fortaleza académica para implementar proyectos institucionales de investigación aplicada para el desarrollo de modelos y tecnologías sostenibles y adaptables.

1.2.3 Tulsma

De acuerdo al Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), se especifica el siguiente artículo:

Capitulo IX

Producción limpia, consumo sustentable y buenas

Prácticas ambientales

Art. 235.- Uso eficiente de recursos. - Entiéndase como uso eficiente el consumo responsable de materiales, energía, agua y otros recursos naturales, dentro de los parámetros establecidos en esta norma y en aquellas aplicables a esta materia (Ministerio de Ambiente, 2015). En vista de la creación de este artículo es viable el empleo de materiales naturales para tratar de obtener los mejores resultados posibles cuidando el medio ambiente en áreas de actividades agrícolas como establece el objetivo general de la presente investigación.

1.3 Marco Conceptual

Los conceptos son fundamentales para el adecuado entendimiento y sustento de las investigaciones por tal motivo a continuación se presenta los aspectos más relevantes dentro del trabajo de titulación.

1.3.1 Cabuya

A las plantas que pertenecen al género *Furcraea* de las cuales se extrae de sus hojas la fibra textil conocida, comúnmente, como fique o cabuya (Hernandis, 2012). La cabuya tiene un origen que permite establecer una tasa de restauración dependiendo de los tiempos en los cuales es capaz de volver a nacer para su cosecha y utilización.

El fin mercantil de este tipo de planta se orienta a la extracción de la fibra obtenida de la hoja para la producción de cordeles, sacos y artículos artesanales, los componentes químicos que se encuentran en las hojas de estas plantas suelen ser desechados en los terrenos y fuentes de agua cercanos. (Guevara & Vallejo, 2014). Hoy en día la fibra de cabuya ha ganado un tanto más de comercialidad en comparación a tiempos anteriores esto gracias al estudio que se ha venido realizando sobre sus ventajas en ámbitos más industrializados con aplicaciones mucho más eficientes. En la siguiente figura se puede conocer como es la fibra de cabuya en su estado inicial después de su extracción.

Figura 6

Fibra de cabuya en su presentación en bruto



Fuente: (Pruna et al., 2020)

Condiciones Idóneas para un Cultivo Adecuado de la planta de Cabuya

Los estados en los cuales pueden variar los suelos son de tipo arcilloso y arenoso puesto que es un género vegetal que se adapta a distintas condiciones, pero para obtener resultados de mayor impacto es recomendable tomar en cuenta espacios que sean ricos en calcio, magnesio, fósforo y potasio entre los más importantes, así también respecto al clima los factores de mayor relevancia son la luz, humedad atmosférica, temperatura y agua.(Páez, 2020). La situación del medio en el que se debe cultivar la fibra de cabuya requiere algunos acondicionamientos y características pues de ello depende en gran medida la calidad en los usos finales posteriores cualquiera que estos sean.

Para llevar a cabo el cultivo de esta planta el suelo debe conocer la manera correcta (Ver **Tabla 1**) en la que se va a sembrar esta fibra, puesto que si no es así se corre el riesgo de que el proceso de crecimiento no se dé adecuadamente de ahí la importancia de no dejar pasar por alto este tipo de conocimiento esencial y necesario dentro de la siembra de esta planta, e inclusive no solo con el fin de extraer la fibra sino de que todos sus componentes sean de buena utilidad.

Tabla 1*Características para el cultivo de Cabuya*

EXIGENCIAS AGROECOLÓGICAS DEL CULTIVO DE CABUYA

Clima: Temperados, secos

Temperatura: 19°C - 32°C

Humedad: 70 - 90%

Pluviosidad: 300 - 160 mm anuales

Altitud: 1300 - 2820 msnm

Requerimientos edáficos

Textura: Arenosa, permeables, profundos, fértiles

Acidez: pH 5,0 - 6,5

Tipo de suelo: Suelos de cordillera, sueltos, permeables

Sistemas de Propagación

Hijuelos: Nacen de la base de las plantas, desde los rizomas (forma más común)

Siembra

Distancia de siembra: 1,5 y 1,5 m entre plantas y de 3 a 4 m para las calles

Densidad de plantas: 2000 - 3000 plantas por hectárea

Fuente: Páez (2020)

También se debe tomar en cuenta según Páez (2020) las características físicas que posee esta planta puesto que las mismas permiten detallar que es una planta grande, con un tallo de hasta 1.5 m de alto, con un gran número de hojas, más de 100, en el núcleo de la planta, largas y angostas, de hasta 2 m de largo y 20 cm de ancho, todo esto ayuda a establecer parámetros definidos para realizar un proceso de obtención adecuado y de buena calidad de la fibra. La planta de cabuya suele tener un promedio de vida útil que va desde 3 a 6 años aproximadamente denotando que este lapso puede tener algún tipo de influencia por parte de las condiciones climáticas y de cuidado en su desarrollo.

Proceso General de Obtención de la Fibra de Cabuya

Para lograr la obtención de la fibra de cabuya es fundamental realizar algunos procedimientos detallados a continuación a manera genérica:

- El desprendimiento de una cierta cantidad de hojas de la planta a mediante un corte, mismo que debe ser recto desde el fundamento del penco maduro empleando un implemento o herramienta muy afilada, quedando la planta con un número mínimo de hojas teniendo en cuenta que las mismas queden en las mejores condiciones para seguir su proceso biológico de crecimiento.
- El desfibrado, etapa en la que inicia con la separación de la corteza de las fibras del interior de las hojas, mediante un proceso de macerado y raspado hasta dejar libre la fibra, además es importante destacar que la extracción de las fibras se realiza manualmente o mediante una máquina llamada desfibradora.
- El lavado de la fibra donde esta se sumerge en tanques con agua limpia para retirar los residuos e impurezas que acompañan a la fibra, y se debe precisar que es conveniente usar tanques para evitar la contaminación de las aguas.
- El secado corresponde con el proceso que se da al colocar la fibra antes lavada sobre alambres o secadores aéreos para que se seque a temperatura ambiente.
- El escarmentado que es donde se da lugar al desenredado las fibras de cabuya, pasándola a través de un cepillo de clavos o colocándola en una maquina peinadora eliminando rápidamente algunos restos no útiles.
- Una vez terminado el proceso anterior se pasa a lo que es hilado en este caso realizado de manera no industrializada por lo que para realizarlo se dispone de las fibras de cabuya de manera longitudinal a un madero donde se las va estirando y calibrando para dar forma continua al posteriormente obtenido cordel de cabuya. (Andagoya et al., 2018).

Luego de tomar en cuenta todas las fases mencionadas por las que se

transita para la obtención de la misma, se deduce que corresponde a etapas que necesitan de un conocimiento previo para ser realizadas con éxito y destreza.

Es factible notar (Ver **Figura 7**) la forma de cómo se torna el comienzo para poder extraer la fibra de cabuya ya que esto debe ser de conocimiento general para los fines investigativos perseguidos.

Figura 7

Extracción de fibra de cabuya



Fuente: (Pruna et al., 2020)

1.3.1.1 Propiedades mecánicas de la fibra de cabuya

Así como existen características físicas, químicas o de otro tipo están también las características mecánicas de las que son poseedoras fibras tanto de origen natural como sintético y las cuales son objeto de un constante estudio debido a que pueden ser empleadas para mejorar alguna funcionalidad específica final en un campo de aplicación o producto particular, y este tipo de particularidades son vitales especialmente en sectores industriales que requieran de las mismas para darle un enfoque mucho más inclusivo y limpio en cuanto a los materiales ocupados cualquiera que sea la aplicación o sector, en este caso de una fibra conocida en varios países como lo es la cabuya que anteriormente se empleaba únicamente con fines artesanales, el estudio de sus propiedades mecánicas ha dado pie para utilizarla dentro de campos ingenieriles mucho más complejos.

La fibra de cabuya se encuentra formada de ciertas propiedades que influyen en su capacidad de resistencia (Ver **Tabla 2**), estos aluden a rasgos mecánicos distintivos del material en cuestión.

Tabla 2

Propiedades mecánicas de la Fibra de Cabuya

PROPIEDADES MECÁNICAS		PROPIEDADES QUÍMICAS	%
Densidad (g/cm ³)	1,3	Celulosa	De 67 - 78
Módulo de elasticidad (MPa)	9,4 - 22	Hemicelulosa	De 10 - 14
Resistencia a la tracción (MPa)	511 - 635	Lignina	De 8 - 14
Elongación fractura (%)	2 - 2,5		

Fuente: (Pozo & Valencia, 2020)

La fibra de cabuya es una planta cultivada que se caracteriza por tener hojas carnosas y muy fibrosas, provistas de espinas en los bordes (Escalante & Santa Cruz, 2022). Es una fibra que tiene particularidades que permiten poner en práctica sus múltiples beneficios en varias zonas industriales aprovechando sus ventajas, en lo que respecta al sector textil puede tornarse y transformarse en variadas formas y presentaciones dependiendo del uso final al que esté direccionada, cabe recalcar que en este estudio su sentido es mucho más definido al contar con considerables propiedades de resistencia y con características ecológicas muy nobles. Aporta notablemente con la reducción del daño ambiental generado por el plástico principalmente.

Todas las particularidades físicas de la cabuya contribuyen a su estructura (Ver **Tabla 3**) de modo que las mismas también reflejan ciertas virtudes con las que cuenta la fibra de origen natural.

Tabla 3*Características físicas de la Fibra de Cabuya*

CARACTERÍSTICA	VALOR
Longitud	80 a120 cm
Color	Habano
Brillo	Opaco
Textura	Dura
Absorción de color	Superficial
Absorción de humedad	Mala
Punto de fusión	No se funde
Efecto ante álcalis	Resistente
Efecto ante ácidos	Mala
Resistencia a la luz solar	Regular
Efectos de los oxidantes	Variable

Fuente: (Páez, 2020)

Esta fibra no únicamente es útil para hacer empaques, también se utiliza como protección y nutriente de cultivos, en refuerzo de materiales para construcción y como cuerdas para cercar sembrados y sujetar frutos (García, 2021). Como se ha establecido previamente los usos de la cabuya no son restringidos a situaciones artesanales y estéticas pues cumplen una función cada más importen dentro de la innovación industrial en campos como el textil, el agrícola, el arquitectónico y demás.

La cabuya es una fibra que puede ser proyectada en áreas como:

- Artesanal.
- Industrial.
- Exportación. (García, 2021)

1.3.2 Rafia

La rafia se corresponde con un hilo de fibra que puede ser natural o sintética, es natural cuando su origen es una familia de palmeras de donde se extraen las fibras, es sintética cuando se fabrica con polipropileno o polietileno (Fibercord, 2022). Tiene una amplia versatilidad puesto que puede ser empleada en diferentes campos y aplicaciones, sin embargo, cuando está elaborada de un material sintético se genera un inconveniente que tiene que ver puntualmente con

el tiempo que se demora en desaparecer del medio pues conlleva un daño sustancial a largo plazo.

1.3.3 Polipropileno

El polipropileno es una fibra de carácter sintético muy aprovechada hoy en día a nivel industrial mundialmente, es notable denotar que su obtención es dada mediante una reacción designada con el nombre de polimerización. “Para la reacción química antes nombrada existe una unión particular entre el elemento de transición y el enlace con el monómero correspondiente” (Fages, 2015). Se identifica además como un polímero con características termoplásticas que hoy por hoy se aplica demasiado en toda la parte industrial, se mira como uno de los más atractivos por la competitividad económica que posee (Amaya et al., 2018). Su capacidad de alguna manera poder convertirse en algo totalmente diferente experimentando condiciones controlables como lo es la temperatura lo hace demasiado atractivo para diferentes tipos de producciones.

Del mismo modo que la fibra de cabuya tiene sus peculiaridades físicas la fibra de polipropileno también las tiene (Ver **Tabla 4**) y su conocimiento debe ser inherente para posibles aplicaciones futuras.

Tabla 4

Características Físicas del Polipropileno

CARACTERÍSTICA	VALOR
Absorción de agua	0.03%
Densidad	0.9 g/cm ³
Índice refractivo	1.49
Inflamabilidad	Combustible
Resistencia UV	Aceptable

Fuente: (Amaya et al., 2018)

Entre las principales propiedades que posee esta fibra sintética se encuentran las siguientes:

- **Punto de fusión**

El elevado punto de fusión del polipropileno permite la aplicación del

mismo en requerimientos técnicos donde se alcanzan temperaturas próximas a 107°C, pudiendo llegar a soportar temperaturas de uso superiores a 121°C durante cortos periodos de tiempo sin reblandecer (Fages, 2015). Al decir punto de fusión se alude al alcance del punto máximo de un sólido en que el material sufre una transformación interna en su estructura cristalina específicamente, y pasa a un estado líquido, su permisibilidad de temperatura establecida para este polímero se encuentra comprendida en valores bastante considerables que no cualquier tipo de fibra posee.

- **Temperatura de transición vítrea**

La fibra de polipropileno o experimenta un proceso de transición vítrea cuando es sometido a una temperatura comprendida entre 35 y 26°C, tomando en cuenta la velocidad de calentamiento, el historial térmico del material y su microestructura (Fages, 2015). Conocer este dato de una fibra sintética es de ayuda para poder identificar el material al cual se está estudiando además de poder evaluar su capacidad de uso final en un determinado sector empresarial.

- **Propiedades Mecánicas**

Se dice que, a una mayor cristalinidad, mayor será su resistencia a la flexión, por ejemplo, pero también guarda una relación inversamente proporcional con otro tipo de propiedades tal es el caso de que, a una mayor cristalinidad, menor dureza y resistencia al impacto. (Fages, 2015). En cuanto a las propiedades de carácter mecánico del polipropileno, es conveniente destacar que dependen en gran medida del nivel de cristalinidad en el que se encuentre la fibra puesto que existe una relación directamente proporcional entre el grado de cristalinidad y ciertas propiedades, por lo que es necesario conocer con detalle las propiedades mecánicas (Ver **Tabla 5**) con el firme objetivo de analizar sus mejores campos de aplicaciones.

Tabla 5*Propiedades mecánicas del Polipropileno*

PROPIEDAD	DESCRIPCIÓN
Material	Polipropileno
Punto de fusión	160°C /320°F
Módulo de elasticidad	5.5 GPA / 800 ksi
Tenacidad	8.5 Cn/dtex / 765 MPa /110
Resistencia a la Tensión	KSI
Elongación a la Ruptura	110 ksi (765 MPa) <25%

Fuente: (Armas, 2016)

1.3.4 Tracción

Cuando se trata de cuerpos sólidos, las deformaciones pueden ser permanentes: en este caso, el cuerpo ha superado su punto de fluencia y se comporta de forma plástica, de modo que tras cesar el esfuerzo de tracción se mantiene el alargamiento; si las deformaciones no son permanentes se dice que el cuerpo es elástico, de manera que, cuando desaparece el esfuerzo de tracción, aquél recupera su primitiva longitud. (Capote, 2011). Esta propiedad de los materiales tiene que ver con el esfuerzo al que está sometido un cuerpo al destinarle dos fuerzas que actúan en sentido opuesto y tienden con esto a estirarlo.

1.3.5 Rotura

La rotura como tal es el punto donde se rompe la probeta o muestra que se esté analizando, donde durante los ensayos existe una carga aplicada por unidad de sección que resiste el material antes de romperse (Capote, 2011). Este término hace posible establecer en qué circunstancias de acción es factible estudiarlo y sobre todo identificando el propósito clave para tomarlo en cuenta.

Según Buñay & Morocho, (2015)es la fuerza máxima alcanzada durante el ensayo de rotura en la probeta especificada, este ensayo se realiza en una máquina de ensayos de tracción con una velocidad constante de desplazamiento del elemento móvil. Debe ser de conocimiento que para poder determinar esta característica en cualquier tipo de material se necesita de un equipo especializado con la capacidad científica de poder otorgar resultados válidos durante los procedimientos de su medición.

1.3.6 Torsión

Lo que pretende esta característica es otorgarle una capacidad de resistencia a la tensión y a la tracción, sin embargo, el nivel o la cantidad de torsiones debe ser el adecuado puesto que si hay un exceso o deficiencia no se conseguirá el objetivo y por el contrario les restará un valor importante a los hilos, además la torsión puede estar dada tanto en sentido horario (S) como antihorario (Z) lo cual depende de la forma en como haya sido fabricado el hilo desde sus etapas iniciales. (Quitama, 2020). La torsión en el sector textil es un parámetro bastante usual especialmente al evaluar hilos ya que la torsión posee cierta influencia en la resistencia de los mismos modificando hasta cierto punto las propiedades de los materiales empleados.

Capítulo 2

2 Materiales y Métodos

Para la producción de investigación científica es necesario valerse de diferentes métodos de estudio o investigación para lograr un mejor discernimiento y utilización de la información obtenida, así como también de los procedimientos dispuestos para complementar la parte analítica y experimental.

2.1 Normas

Con la finalidad de ejercer un estudio integral y responsable fue necesario la aplicación de una norma establecida y acorde al tema de esta investigación por lo que la norma aplicada para la realización de esta investigación es la siguiente:

- **ISO 2062: 2009 Textiles. Hilados de paquetes. Determinación de la fuerza de rotura de un solo extremo y el alargamiento a la rotura utilizando un probador de tasa constante de extensión.**

La norma determina la resistencia a la fuerza de rotura y el alargamiento a la misma de hilos textiles extraídos de arrollamientos o paquetes y se ha tomado como referencia para realizar esta investigación (Organización Internacional de Normalización, 2017). Esta norma permite medir estas propiedades que influyen de manera directa a la investigación de este trabajo de titulación con el fin de contribuir al sector de la agricultura en el proceso de soporte de los frutos de plantas.

- **ISO 2061: 2014 Textiles. Determinación de la torsión de los hilos. Método por recuento directo.**

El propósito que persigue esta norma es la de ayudar a la determinar la torsión, así como el sentido de la misma mediante el método directo, por lo que la misma ha sido tomada como referencia para la presente investigación en los materiales estudiados.(Organización Internacional de Normalización, 2014). Mediante esta norma se podrá identificar las características en cuanto a torsión de las cuerdas para la investigación y establecer su desempeño en el fin agrícola propuesto.

2.2 Enfoque de la Investigación

La metodología de investigación guarda una relación estrecha con el enfoque de la misma por lo que es necesario establecerlo, en este caso la investigación cuenta con el enfoque cuantitativo.

2.2.1 Enfoque Cuantitativo

Lo que establece este enfoque es plantear de manera organizada y secuencial cada fase de la investigación lo cual permita obtener información adecuada para poder analizar magnitudes en función de los hechos y poder probar la hipótesis inicial (R. Hernández & Mendoza, 2018). Este tipo de enfoque se encuentra vinculado la recolección de datos numéricos que pueden medirse como lo es en este caso la resistencia a la rotura y alargamiento.

2.3 Tipos de investigación a aplicar

Los modelos investigativos empleados facultan el manejo adecuado de la información necesaria para concretar el fin de un análisis, en este trabajo de titulación se ha planteado el uso de la investigación analítica y la investigación denominada experimental, para consolidar el eje de conducción del estudio.

2.3.1 Investigación analítica

Esta investigación se focalizó en parámetros vitales como el entendimiento de los datos obtenidos en el proceso de investigación y el establecimiento de un sentido puntual, que confrontan consistentemente la hipótesis formulada inicialmente (Patino & Arbelaz, 2016). La investigación analítica utilizó para ampliar la comprensión, la implicación de técnicas definidas como el pensamiento crítico y la apreciación de lo recabado.

Dentro de la investigación científica de índole analítica se distinguen ciertos lineamientos como el entender, criticar, contrastar y el incorporar mismos que sirven de guía para para un mejor estudio de la información (Lopera et al., 2020). Esta investigación es dueña de criterios de validez que posibilitan la búsqueda adecuada de información propicia respecto al uso de la cabuya como una fibra textil eco amigable en reemplazo de materiales contaminantes para beneficio dentro de la industria agrícola.

2.3.2 Investigación experimental

La aplicación responsable de la investigación experimental permitió medir la resistencia a la rotura y alargamiento de los cordeles de cabuya según el propósito establecido antes, todo en beneficio de poder fijar conclusiones claras y específicas sobre la propuesta (Cabezas et al., 2018). La investigación experimental fue empleada con el objeto de poder manejar o dirigir de una forma tangible y controlada las variables estudiadas llevando a cabo la ejecución de la

investigación y pudiendo observar los resultados obtenidos luego de haber puesto en práctica el método experimental bajo condiciones establecidas previamente. Este tipo de investigación fue una de las más viables para el desarrollo y evaluación de resultados en alusión a esta propuesta investigativa.

2.4 Diagramas de Procedimiento

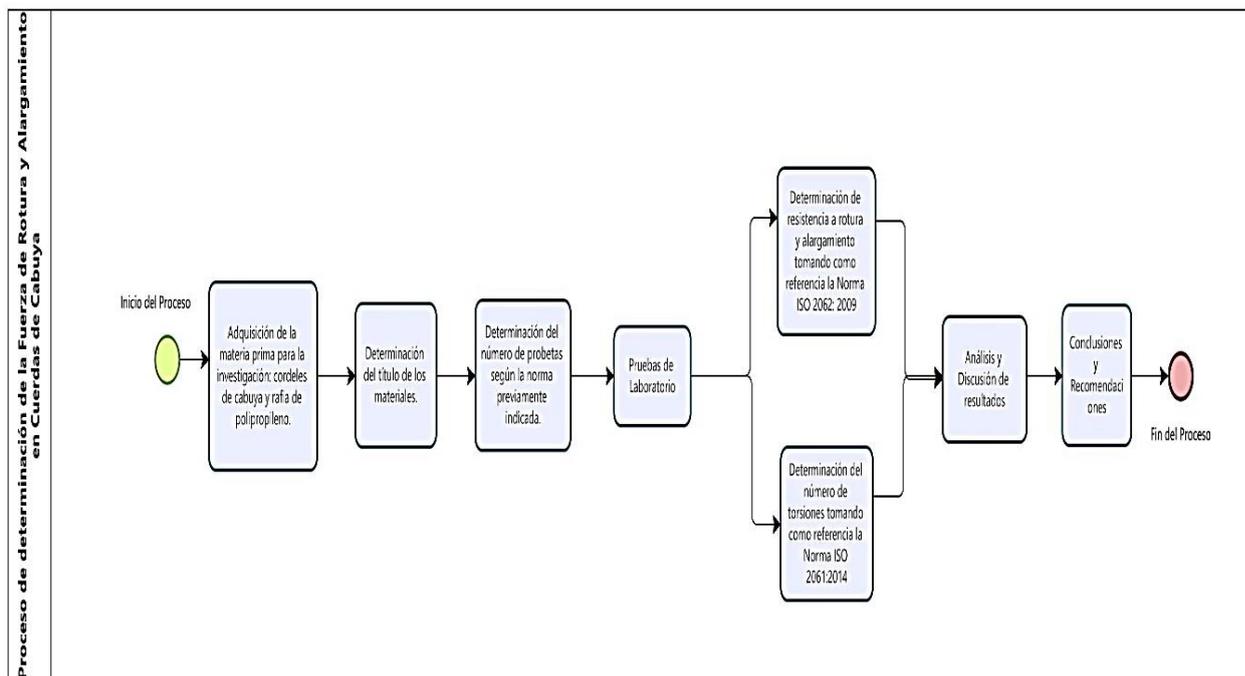
A través de este tipo de herramientas es posible establecer de una forma más contenida y organizada los diferentes procesos a realizarse dentro de una investigación.

2.4.1 Diagrama de Procedimiento General

El diagrama de procedimiento general mostrado (Ver **Figura 8**) refleja de manera panorámica como se realiza el proceso para el fin principal del estudio que es la determinación de la resistencia a la rotura y alargamiento en cuerdas de cabuya para reemplazar un material plástico.

Figura 8

Diagrama de procedimiento general



Fuente: Autor

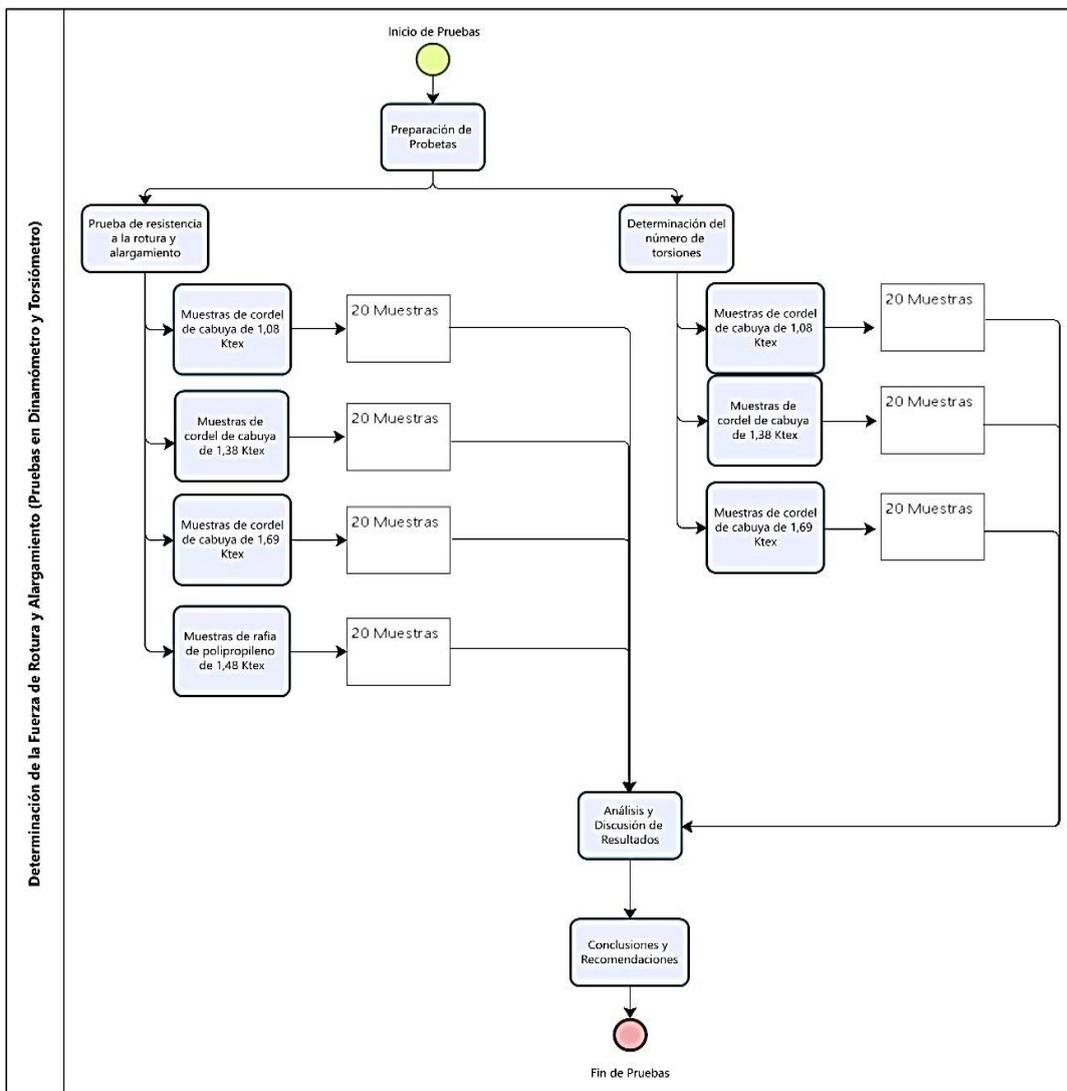
2.4.2 Diagrama de Procedimiento Muestral

Ahora en el diagrama de procedimiento muestral (Ver **Figura 9**)mostrado se detalla más a fondo el procedimiento tomando en cuenta ya la cantidad de

muestras o probetas analizadas y sometidas a cada una de las pruebas dentro del laboratorio.

Figura 9

Diagrama de procedimiento muestral



Fuente: Autor

2.5 Equipos y materiales

Para la ejecución de la presente investigación ha sido necesario la utilización de algunos materiales y equipos que se detallan a continuación:

2.5.1 Equipos empleados

Los equipos al momento de realizar un trabajo de investigación son de suma importancia ya que son los que permiten obtener datos experimentales

verídicos al realizar los distintos ensayos, para este trabajo se han empleado dos detallados a continuación.

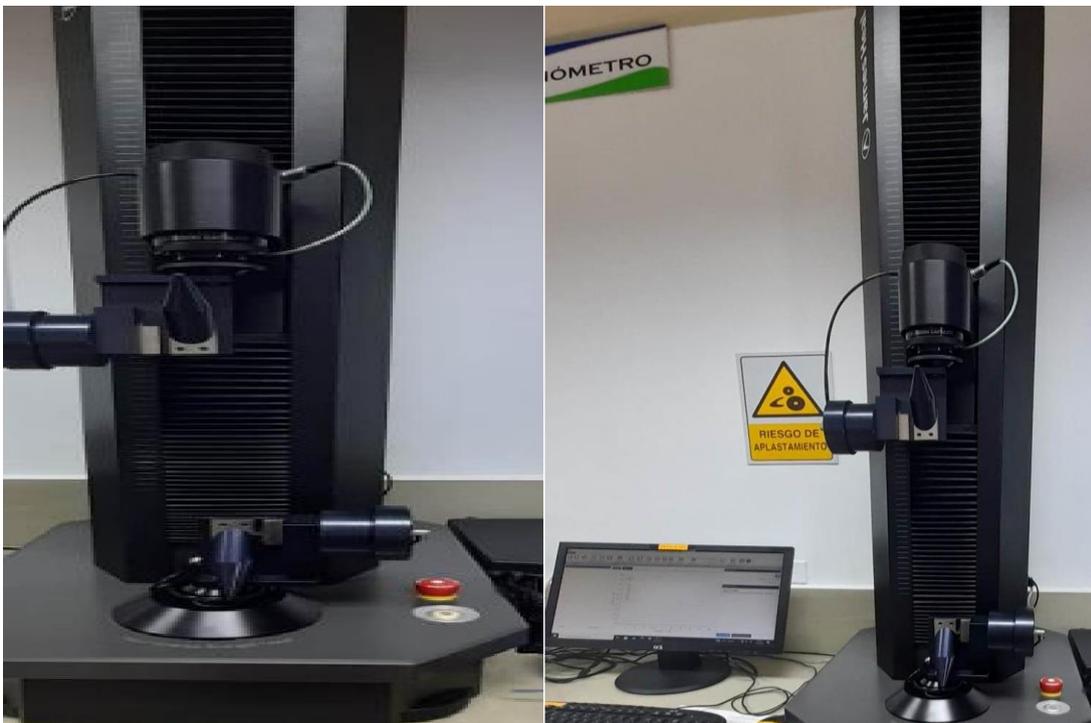
- **Dinamómetro**

El dinamómetro se concibe como un equipo idóneo para medir fuerza, para el presente caso se ha utilizado el dinamómetro Titán 5 el cual está orientado a realizar pruebas concretamente para usos textiles mismo que trabaja eficientemente con el software TestWise para realizar los diferentes ensayos. Este equipo puede trabajar en las siguientes áreas:

- Hilos
- Tejido plano y de punto
- Tejidos recubiertos
- Cuero
- Elastano
- Calzado
- Velcro
- Plásticos. (James Heal, 2015)

Figura 10

Dinamómetro Titán 5



Fuente: Autor

- **Torsiómetro**

En este equipo (Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) se determina el número de torsiones por metro de manera directa de las muestras sometidas a la prueba con una longitud requerida de 50 cm por probeta. El equipo que se ha utilizado es el torsiómetro automático Branca.

Figura 11

Torsiómetro Electrónico Branca Idealair



Fuente: Autor

2.5.2 Materiales analizados

Para llevar a cabo el proceso de caracterización fue importante conocer el material empleado además de también la determinación del título y el número de torsiones según se requiera. La caracterización de las muestras goza de importancia puesto que permite corroborar la información provista por los fabricantes y algunos casos en los que no se cuenta con la misma pues determinarla desde su origen.

Para la fibra de cabuya se tomaron en cuenta los parámetros especificados (Ver **Tabla 6**) más relevantes para cada uno de los casos.

Tabla 6*Caracterización de materiales empleados*

PARÁMETRO DE CARACTERIZACIÓN	RAFIA DE POLIPROPILENO	CASO 1	CASO 2	CASO 3
COMPOSICIÓN	Polipropileno	Cabuya	Cabuya	Cabuya
TÍTULO	1,48 Ktex	1,08 Ktex	1,38 Ktex	1,69 Ktex
SENTIDO DE TORSIÓN	-----	S	S	S

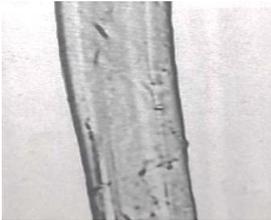
Fuente: Autor

En cuanto a la caracterización de las muestras empleadas para la investigación es posible observar que los títulos de los materiales se encuentran dentro de un rango cercano para poder analizar sus características dentro de lo que se refiere a sus propiedades mecánicas, además también se puede apreciar que la rafia de polipropileno no posee torsión a diferencia de las cuerdas de cabuya, por lo que es un aspecto a estudiar más adelante con los resultados obtenidos.

2.5.3 Análisis microscópico

Mediante el análisis microscópico es posible establecer las características que diferencian una fibra de otra.

Tabla 7*Análisis cualitativo para caracterización de fibras empleadas*

ANÁLISIS MICROSCÓPICO	
VISTA LONGITUDINAL DE LA FIBRA DE CABUYA	
	
VISTA LONGITUDINAL DE LA FIBRA DE POLIPROPILENO	
	

Fuente: (Aatcc, 2013)

El análisis cualitativo de fibra de acuerdo a la norma AATCC Test Method 20-2013 permite la identificación de los materiales inicialmente planteados para llevar a cabo la presente investigación, donde se puede observar la estructura mediante una vista longitudinal de los materiales tanto de la fibra cabuya como de la fibra de polipropileno con sus respectivas referencias con el fin de garantizar la caracterización de dichos materiales.

2.6 Procedimiento

El procedimiento para realizar esta investigación constó de las siguientes fases:

- a) Adquisición de la materia prima que para el caso se trata de la rafia de polipropileno y de los cordeles de cabuya.
- b) Caracterización de cada material en composición, título y sentido de torsión.
- c) Obtención de la Norma a aplicarse ISO 2062:2009 para la determinación de la fuerza de rotura y alargamiento en hilados.
- d) Selección del número de muestras para realizar el ensayo de acuerdo a la investigación.
- e) Pruebas de laboratorio en cuanto a número de torsiones de cada material empleado.
- f) Prueba de resistencia a la rotura y alargamiento en el equipo dinamómetro.
- g) Análisis y discusión de los resultados obtenidos durante el ensayo.
- h) Conclusiones y recomendaciones de la investigación.

2.7 Pruebas de laboratorio

Los ensayos de laboratorio efectuados fueron de utilidad para poder llegar a determinar los valores buscados en cuanto a la resistencia a la rotura y alargamiento para los fines planteados.

2.7.1 Pruebas para la determinación de la fuerza de rotura y del alargamiento en la rotura de cuerdas de cabuya

Para la ejecución de este ensayo se realizó lo siguiente:

- a) Preparación de las probetas a ensayarse.
- b) El número de probetas determinado fue de 20 para cada caso elegido a estudiar.
- c) Configuración del equipo dinamómetro de acuerdo a los lineamientos de la Norma ISO 2062: 2009 para realizar el ensayo con una extensión de 250 mm para cada probeta.

- d) Desenrollamiento de los cordeles de cabuya de cada ovillo y de la misma forma para la rafia de polipropileno.
- e) Cerciorarse de que las abrazaderas del equipo estén alineadas a la longitud establecida para el ensayo, evitando así desviaciones durante el proceso.
- f) Asegurar la probeta en cada una de las mordazas para dar inicio al ensayo
- g) Ejecutar la prueba y registrar el valor obtenido en cuanto a la fuerza de rotura y alargamiento de cada una de las 20 muestras.

Figura 12

Inicio del Procedimiento de la Prueba de resistencia a la rotura y alargamiento



Fuente: Autor

2.7.2 Pruebas para la determinación del número de torsiones en los cordeles de cabuya

Para la determinación del número de torsiones en los cordeles de cabuya las operaciones a realizarse fueron las siguientes:

- a) Preparación de las muestras a determinarse su número de torsiones.
- b) Determinación del sentido de torsión.
- c) El número de muestras es de 20 para cada título de los cordeles de cabuya empleados.
- d) Colocación de las muestras con una longitud de 50 mm en el torsiómetro sujetadas en los extremos del equipo.
- e) Configuración del equipo para realizar la toma del número de las torsiones directa para cada probeta.

- f) Inicio del equipo para comenzar la prueba.
- g) Registro del número de vueltas en cada muestra sometida al análisis.

Capítulo 3

3 Resultados y Discusión de Resultados

Por medio de los resultados obtenidos es posible establecer y debatir ciertas deducciones que serán de utilidad para poder ver la viabilidad de la propuesta del presente trabajo de titulación, en función de todos los aspectos relevantes para este caso.

Con el compendio de información lograda mediante las pruebas en laboratorio fue factible realizar o elaborar las diferentes tablas donde se expresa de la manera más clara los valores para cada uno de los parámetros estudiados de manera individual y también conjunta tanto para la resistencia a la fuerza de rotura como para el alargamiento además igualmente tomando en cuenta las torsiones evaluadas, así mismo fue posible crear los gráficos que permiten visualizar los resultados y dar lugar a las interpretaciones finales de la investigación.

Igualmente se establecieron parámetros de carácter estadístico con la firme intención de establecer esencialmente la confiabilidad de los datos logrados, para con ello poder continuar con la investigación de manera eficaz y sobre todo segura, puesto que se tendría una base firme para poder llegar a las conclusiones finales basadas en los resultados de los valores reflejados en las pruebas o ensayos experimentales.

3.1 Resultados

A continuación, se exhiben los datos recopilados después de las prácticas experimentales en cuanto a la resistencia a la rotura y alargamiento, así como también de la determinación de las torsiones para cada suceso expuesto.

Estos resultados son producto de la evaluación a los materiales propuestos, es decir de la rafia de polipropileno de 1,48 Ktex, de los tres casos 1, 2 y 3 de las cuerdas de cabuya de 1,08; 1,38 y 1,69 Ktex respectivamente.

3.1.1 Resultados de la fuerza de rotura y alargamiento en cuerdas de cabuya y rafia de polipropileno

Los resultados obtenidos se muestran a continuación en cada una de las tablas. Para la rafia de polipropileno de 1, 48 Ktex (Ver **Tabla 8**) en cuanto a la resistencia a la rotura y alargamiento los resultados son los siguientes:

Tabla 8*Resultados resistencia a la rotura y alargamiento en rafia polipropileno de 1, 48 Ktex*

PROBETA	FUERZA MÁXIMA (N)	EXTENSIÓN (%)
1	230,7	20,75
2	242,97	20,73
3	247,56	19,68
4	249,91	19,17
5	234,83	17,83
6	247,53	19,49
7	258,45	20,32
8	265,75	19,89
9	240,98	17,13
10	265,77	20,3
11	265,68	20,31
12	236,85	17,14
13	259,01	19,14
14	254,43	19,66
15	254,36	18,24
16	244,86	18,32
17	260,52	19,98
18	244,93	18,91
19	253,46	17,64
20	236,17	18,58

Fuente: Autor

Se puede destacar que en el análisis de la muestra de rafia de polipropileno la muestra 10 alcanza la mayor resistencia a la fuerza de rotura con un valor de 265,77 N, mientras que la primera probeta es la de mejor resultado en extensión.

Para la cuerda de cabuya de 1, 08 Ktex (Ver **Tabla 9**) se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 9

Resultados resistencia a la rotura y alargamiento en cuerda de cabuya de 1,08 Ktex

PROBETA	FUERZA MÁXIMA (N)	EXTENSIÓN (%)
1	210,2	9,35
2	225,99	8,19
3	249,76	6,94
4	239,77	6,86
5	211	8,18
6	223,84	9,69
7	241	7,02
8	233,04	9,52
9	212,71	5,95
10	238,34	7,85
11	245,63	7,19
12	217,05	9,18
13	220,51	8,54
14	230,64	7,61
15	221,14	7,03
16	231,4	5,93
17	228,56	10,6
18	226,96	8,79
19	245,59	8,03
20	228,76	5,02

Fuente: Autor

En estos resultados la probeta con mayor resistencia a la fuerza de rotura es la tercera muestra con 249, 76 N y la de mejor extensión es la 17 con 10,6 %.

En el segundo caso en las cuerdas de cabuya de 1,38 Ktex (Ver **Tabla 10**) se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 10

Resultados resistencia a la rotura y alargamiento en cuerda de cabuya de 1,38 Ktex

PROBETA	FUERZA MÁXIMA (N)	EXTENSIÓN (%)
1	326,16	8,53
2	343,17	8,95
3	357,42	9,61
4	337,28	9,29
5	301,89	9,97
6	322,99	8,59
7	264,18	8,96
8	257,94	10,45
9	313,86	10,27
10	283,73	11,71
11	303,52	8,03
12	338,93	8,37
13	190,45	7,76
14	410,99	11,28
15	309,74	10,43
16	377,21	10,18
17	246,25	10,21
18	282,3	9,18
19	288,67	12,29
20	319,51	10,43

Fuente: Autor

Para la segunda cuerda cabuya en cambio el mejor resultado de fuerza máxima de rotura fue de 410,99 N y el resultado más elevando en extensión fue de 12,29%.

En el tercer caso en las cuerdas de cabuya de 1, 69 Ktex (Ver **Tabla II**) se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 11

Resultados resistencia a la rotura y alargamiento en cuerda de cabuya de 1, 69 Ktex

PROBETA	FUERZA MÁXIMA (N)	EXTENSIÓN (%)
1	323,36	8,77
2	333,43	8,69
3	296,61	9,09
4	366,97	8,26
5	311,26	8,77
6	329,94	9,12
7	367,13	9,54
8	360,31	10,13
9	351,39	7,94
10	296,45	8,62
11	289,41	7,61
12	314,34	7,27
13	338,14	8,62
14	313,7	8,53
15	313,92	9,63
16	354,27	9,63
17	343,88	8,19
18	327,02	9,69
19	326,96	8,27
20	357,76	8,29

Fuente: Autor

De acuerdo a los resultados tercera cuerda de cabuya presentó en su muestra 7 367,13 N como valor más alto en fuerza máxima de rotura, y en extensión 10,13% la probeta 8.

3.1.2 Resultados generales de la fuerza de rotura, alargamiento y número de torsiones de cuerdas de cabuya y rafia de polipropileno

En el siguiente apartado (Ver **Tabla 12**) se muestran los datos colocados de manera general de todos los casos analizados diferenciando el parámetro evaluar.

Tabla 12

Resultados generales de Fuerza a la Rotura

TABLA GENERAL DE RESULTADOS DE FUERZA DE ROTURA				
PROBETA	FUERZA MÁXIMA (N)			
	RAFIA DE POLIPROPILENO DE 1,48 Ktex	CABUYA DE 1,08 Ktex	CABUYA DE 1,38 Ktex	CABUYA DE 1,69 Ktex
1	230,7	210,2	326,16	323,36
2	242,97	225,99	343,17	333,43
3	247,56	249,76	357,42	296,61
4	249,91	239,77	337,28	366,97
5	234,83	211	301,89	311,26
6	247,53	223,84	322,99	329,94
7	258,45	241	264,18	367,13
8	265,75	233,04	257,94	360,31
9	240,98	212,71	313,86	351,39
10	265,77	238,34	283,73	296,45
11	265,68	245,63	303,52	289,41
12	236,85	217,05	338,93	314,34
13	259,01	220,51	190,45	338,14
14	254,43	230,64	410,99	313,7
15	254,36	221,14	309,74	313,92
16	244,86	231,4	377,21	354,27
17	260,52	228,56	246,25	343,88
18	244,93	226,96	282,3	327,02
19	253,46	245,59	288,67	326,96
20	236,17	228,76	319,51	357,76
MEDIA	249,74	229,09	308,81	330,81

Fuente: Autor

Respecto a la fuerza de rotura de todos los materiales, es posible notar que el mejor caso, es decir que posee mejores valores de resistencia claramente en promedio la cuerda de cabuya de 1,69 Ktex con 330,81 N. En cuanto al alargamiento los resultados generales (Ver *Tabla 13*) se pueden observar de la siguiente manera.

Tabla 13

Resultados generales de Alargamiento a la Rotura

TABLA GENERAL DE RESULTADOS DE ALARGAMIENTO A LA ROTURA				
EXTENSIÓN (%)				
PROBETA	RAFIA DE POLIPROPILENO DE 1,48 Ktex	CABUYA DE 1,08 Ktex	CABUYA DE 1,38 Ktex	CABUYA DE 1,69 Ktex
1	20,75	9,35	8,53	8,77
2	20,73	8,19	8,95	8,69
3	19,68	6,94	9,61	9,09
4	19,17	6,86	9,29	8,26
5	17,83	8,18	9,97	8,77
6	19,49	9,69	8,59	9,12
7	20,32	7,02	8,96	9,54
8	19,89	9,52	10,45	10,13
9	17,13	5,95	10,27	7,94
10	20,3	7,85	11,71	8,62
11	20,31	7,19	8,03	7,61
12	17,14	9,18	8,37	7,27
13	19,14	8,54	7,76	8,62
14	19,66	7,61	11,28	8,53
15	18,24	7,03	10,43	9,63
16	18,32	5,93	10,18	9,63
17	19,98	10,6	10,21	8,19
18	18,91	8,79	9,18	9,69
19	17,64	8,03	12,29	8,27
20	18,58	5,02	10,43	8,29
MEDIA	19,16	7,87	9,72	8,73

Fuente: Autor

De acuerdo al valor promedio de todas las cuerdas analizadas en lo referente al alargamiento a la rotura la mejor es la rafia de polipropileno con 19,16%.

Respecto al número de torsiones los resultados generales (Ver **Tabla 14**) se pueden observar de la siguiente manera.

Tabla 14

Resultados generales del número de torsiones de las cuerdas de cabuya analizadas

TABLA GENERAL DE RESULTADOS DE TORSIÓN			
TORSIONES EN 50 CM			
PROBETA	CABUYA DE 1,08	CABUYA DE 1,38	CABUYA DE 1,69
	Ktex	Ktex	Ktex
1	61,9	44,7	40,8
2	65,9	45,5	40,2
3	60,6	44,9	40,6
4	61,9	43,9	41,1
5	65,7	46,9	40,5
6	67,9	44,5	40,1
7	66,5	44,4	40,3
8	69,2	44,0	40,6
9	65,1	45,6	40,5
10	67,00	45,4	41,0
11	61,9	44,7	40,8
12	60,6	44,9	40,6
13	65,7	46,9	40,5
14	66,5	44,4	40,3
15	65,1	45,6	40,5
16	65,9	45,5	40,2
17	61,9	43,9	41,1
18	67,9	44,5	40,1
19	69,2	44,0	40,6
20	67,00	45,4	41,0
MEDIA	65,17	44,98	40,57

Fuente: Autor

Al efectuar las pruebas para determinar el número de torsiones se obtuvo que la probeta que mayor número de torsiones posee es la cuerda de cabuya de cabuya de 1,08 Ktex con 65,17 torsiones en 50 cm, a diferencia de las demás muestras que tienen valores menores.

3.1.3 Resultados con indicador de 1 Ktex de los resultados obtenidos en resistencia a la fuerza de rotura y alargamiento a la rotura

A continuación, se plasman los resultados expresados mediante un indicador de 1 Ktex. Dónde para la obtención de los datos mediante el indicador de 1 Ktex se relaciona en el numerador el producto de la fuerza o alargamiento con el valor de 1 Ktex dividiendo para el valor del título real en el denominador, consiguiendo así el valor buscado para la posterior comparación de valores en resistencia a la rotura y elongación.

Para obtener la conversión a 1 Ktex se empleó las siguientes fórmulas:

- Fuerza (N)

$$Fuerza \text{ en } 1 \text{ Ktex} = \frac{1 \text{ Ktex} * Fuerza \text{ del Título real}}{Título real} \quad (1)$$

- Alargamiento (%)

$$Alargamiento \text{ en } 1 \text{ Ktex} = \frac{1 \text{ Ktex} * Alargamiento \text{ del Título real}}{Título real} \quad (2)$$

Tabla 15

Resultados de resistencia a la rotura mediante un indicador de 1 Ktex

MATERIAL	TÍTULO (KTEX)	RESISTENCIA A LA ROTURA (N)	INDICADOR (1 KTEX)	RESISTENCIA A LA ROTURA DE ACUERDO AL INDICADOR (N)	MEDIA INDICADOR (N)
RAFIA DE POLIPROPILENO	1,48	249,74	1	168,74	168,74
CUERDA DE CABUYA CASO 1	1,08	229,09	1	212,12	
CUERDA DE CABUYA CASO 2	1,38	308,81	1	223,77	210,54
CUERDA DE CABUYA CASO 3	1,69	330,81	1	195,74	

Fuente: Autor

Dentro de los datos tabulados respecto a la resistencia a rotura con el indicador de 1 Ktex se aprecia claramente que los valores de las resistencias presentan cambios, sin embargo, la resistencia de las cuerdas de cabuya se sigue manteniendo por encima de la resistencia de la rafia de polipropileno de 168,74 N tanto en sus valores particulares con el segundo caso con 223,77 N como en el valor medio con 210, 54 N.

Tabla 16

Resultados de alargamiento a la rotura mediante un indicador de 1 Ktex

MATERIAL	TÍTULO (KTEX)	ALARGAMIENTO A LA ROTURA (%)	INDICADOR (1 KTEX)	ALARGAMIENTO A LA ROTURA DE ACUERDO AL INDICADOR (%)	MEDIA INDICADOR (%)
RAFIA DE POLIPROPILENO	1,48	19,16	1	12,94	12,94
CUERDA DE CABUYA CASO 1	1,08	7,87	1	7,28	
CUERDA DE CABUYA CASO 2	1,38	9,72	1	7,04	6,49
CUERDA DE CABUYA CASO 3	1,69	8,73	1	5,16	

Fuente: Autor

Para el alargamiento se observa que en las cuerdas de cabuya no existe una extensión que supere a la rafia de polipropileno que posee 12,94 % de alargamiento en promedio, puesto que el valor medio en las cuerdas de cabuya llega hasta 6,49 %, siendo de ellas la cuerda del caso 1 la que mayor porcentaje alcanzó con 7,28% pero no suficiente para exceder al material sintético.

3.2 Discusión de Resultados

En este apartado se realiza un análisis detallado de cada uno de los datos más importantes de los casos propuestos tomando en cuenta aspectos como la varianza, la normalidad de los datos, esto con la finalidad de poder establecer cierto nivel de confiabilidad de la información asegurando el trabajo de investigación, además de también realizar el análisis respecto a la fuerza de rotura

en que caso se obtuvo el mejor resultado y con qué valor para la finalidad del proyecto, así mismo se evalúa el alargamiento y también de las torsiones para los casos de cabuya.

3.2.1 Normalidad de los datos

El análisis de normalidad de los datos dentro de una investigación es importante debido a que se valida que dichos datos o información estén acorde a una distribución normal, puesto que al tratarse de proponer una hipótesis se toma en cuenta el valor de “p” que manifiesta la posibilidad de encontrar una distribución de datos que siga una distribución normal. (Serna, 2018). En concreto la relevancia de analizar la normalidad de los datos obtenidos durante los ensayos recae en el hecho de que si $p > 0,05$ la confiabilidad de los datos será mayor al 95% por lo que no hay motivos para descartar los datos obtenidos, si por el contrario $p < 0,05$ se asume que la información captada no es la óptima para la investigación ya que no sigue una distribución normal.

La verificación de la normalidad de gran relevancia dentro de las investigaciones en las cuales se realiza ensayos o pruebas a nivel de laboratorio con la finalidad poder ir validando los resultados obtenidos y en consecuencia las deducciones finales de los proyectos que implican estudios con características científicas.

La información obtenida (Ver **Figura 13**) mediante el software Past 4.0 a cerca de la normalidad de los datos en cuanto a la fuerza de rotura son los siguientes:

Figura 13

Normalidad de los resultados en Fuerza de Rotura

 Tests for normal distribution

	RAFIA DE 1,48 Ktex	CABUYA DE 1,08 Kte:	CABUYA DE 1,38 Kte:	CABUYA DE 1,69 Kte:
N	20	20	20	20
Shapiro-Wilk W	0,957	0,9673	0,9835	0,9561
p(normal)	0,4858	0,6979	0,9709	0,4699
Anderson-Darling A	0,242	0,1891	0,1939	0,2675
p(normal)	0,7366	0,8883	0,8792	0,6478
p(Monte Carlo)	0,7537	0,9004	0,8874	0,6733
Lilliefors L	0,09009	0,08471	0,09368	0,1059
p(normal)	0,9892	2,042	0,921	0,8027
p(Monte Carlo)	0,9385	0,968	0,9141	0,8005
Jarque-Bera JB	0,9489	0,717	0,4617	0,9394
p(normal)	0,6222	0,6987	0,7939	0,6252
p(Monte Carlo)	0,4506	0,5866	0,7554	0,4464

Fuente: Autor

Los resultados de normalidad para la fuerza de rotura en los ensayos realizados cumplen con valores de $p > 0,05$ lo cual indica que se encuentra dentro del 95% de confiabilidad por lo que se consideran seguros para la consecución del estudio propuesto en el presente trabajo de titulación.

La información obtenida (Ver **Figura 14**) mediante el software Past 4.0 a cerca de la normalidad de los datos en cuanto al alargamiento son los siguientes:

Figura 14

Normalidad de los resultados de Alargamiento a la Rotura

Tests for normal distribution

	RAFIA DE 1,48 Ktex	CABUYA DE 1,08 Kte	CABUYA DE 1,38 Kte	CABUYA DE 1,69 Kte
N	20	20	20	20
Shapiro-Wilk W	0,9414	0,9861	0,9688	0,9752
p(normal)	0,2546	0,9875	0,7284	0,8577
Anderson-Darling A	0,3577	0,1542	0,2565	0,2617
p(normal)	0,4185	0,948	0,6858	0,6678
p(Monte Carlo)	0,4301	0,9649	0,7081	0,6956
Lilliefors L	0,1183	0,08775	0,1259	0,1301
p(normal)	0,6469	1,158	0,5474	0,4929
p(Monte Carlo)	0,6421	0,9591	0,5421	0,4861
Jarque-Bera JB	1,325	0,2761	0,6124	0,2788
p(normal)	0,5157	0,871	0,7362	0,8699
p(Monte Carlo)	0,2708	0,8559	0,659	0,8622

Fuente: Autor

La normalidad de los resultados del alargamiento a la rotura de la misma forma que para la fuerza de rotura se encuentran dentro del porcentaje de confiabilidad antes establecido por lo que igualmente corresponde a valores que permiten continuar con la investigación de manera fiable.

3.2.2 Análisis del Coeficiente de Variación

En lo referente al análisis de la varianza de los datos obtenidos es posible observar que existe variabilidad en los datos obtenidos puesto que el coeficiente de variación es diferente en cada uno de los casos analizados, sin embargo, no es una variación sumamente grande lo que permite establecer la confiabilidad de los datos para el caso de investigación, cabe denotar que todos los datos han sido obtenidos siguiendo los lineamientos de referencia que brinda la norma de referencia aplicada que es la Norma ISO 2062:2019.

Los datos obtenidos (Ver

Figura 15) mediante el software Past 4.0 a cerca de la variabilidad de los datos en cuanto a la fuerza de rotura son los siguientes:

Figura 15

Análisis del coeficiente de variación en resistencia a la fuerza de rotura

Univariate statistics

	RAFIA DE 1,48 Kt	CABUYA DE 1,08	CABUYA DE 1,38	CABUYA DE 1,69
N	20	20	20	20
Min	230,7	210,2	190,45	289,41
Max	265,77	249,76	410,99	367,13
Sum	4994,72	4581,89	6176,19	6616,25
Mean	249,736	229,0945	308,8095	330,8125
Std. error	2,415336	2,622849	10,92309	5,333536
Variance	116,6769	137,5868	2386,278	568,9321
Stand. dev	10,80171	11,72974	48,84954	23,8523
Median	248,735	228,66	311,8	328,48
25 prcnil	241,4775	220,6675	282,6575	313,755
75 prcnil	258,87	239,4125	338,5175	353,55
Skewness	-0,03832318	0,05328858	-0,2831325	-0,03959507
Kurtosis	-1,015754	-0,8301042	1,063248	-1,008596
Geom. mean	249,5136	228,8091	304,8832	329,9912
Coeff. var	4,325251	5,120044	15,81867	7,210216

Fuente: Autor

Se puede precisar que en lo que respecta a la fuerza de rotura el caso que tiene la variación mayor es de la cuerda de cabuya de 1,38 Ktex con un coeficiente de variación de 15,81 % respecto a los demás casos que tiene porcentajes menores, representando así la muestra con mayor dispersión entre sus datos, pero encontrándose aún con un porcentaje aceptable en cuanto a variabilidad y aceptación.

Los datos obtenidos (Ver **Figura 16**) mediante el software Past 4.0 a cerca de la variabilidad de los datos en cuanto al alargamiento son los siguientes:

Figura 16

Análisis del coeficiente de variación en alargamiento a la rotura

Univariate statistics

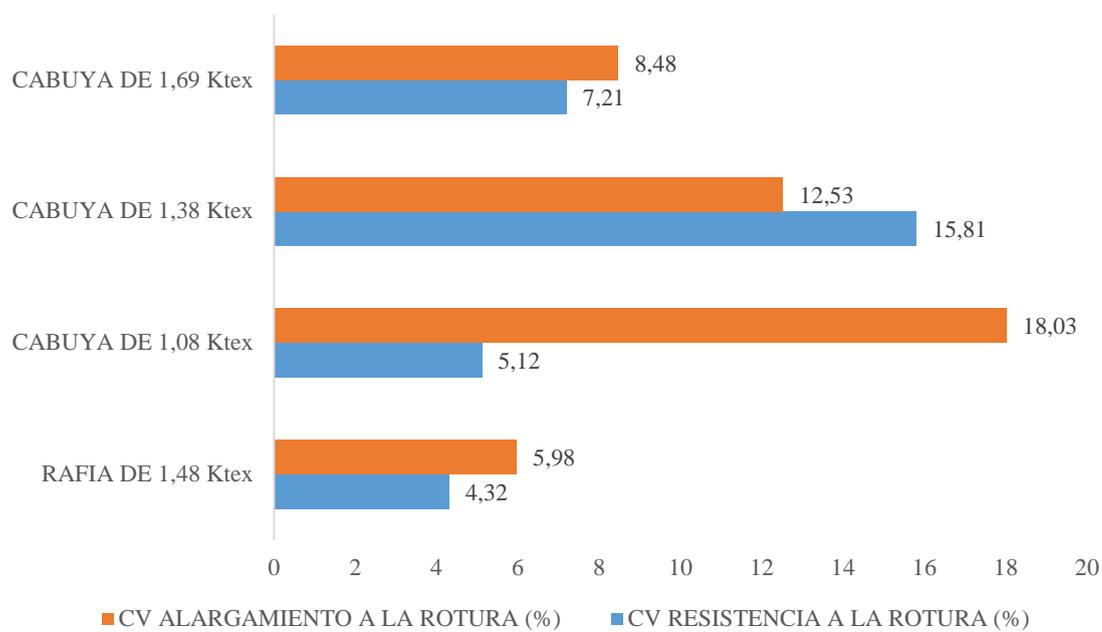
	RAFIA DE 1,48 Kt	CABUYA DE 1,08	CABUYA DE 1,38	CABUYA DE 1,69
N	20	20	20	20
Min	17,13	5,02	7,76	7,27
Max	20,75	10,6	12,29	10,13
Sum	383,21	157,47	194,49	174,66
Mean	19,1605	7,8735	9,7245	8,733
Std. error	0,2566346	0,3175956	0,2725527	0,1657203
Variance	1,317226	2,01734	1,4857	0,5492642
Stand. dev	1,147705	1,420331	1,218893	0,7411236
Median	19,33	7,94	9,79	8,655
25 prcnil	18,26	6,96	8,68	8,2625
75 prcnil	20,22	9,0825	10,43	9,435
Skewness	-0,4021863	-0,07758237	0,3453328	0,02380702
Kurtosis	-0,9558043	-0,3544261	-0,3744492	-0,3795251
Geom. mean	19,12729	7,746718	9,652837	8,702959
Coeff. var	5,989952	18,03938	12,53425	8,486472

Fuente: Autor

En el aspecto de alargamiento a la rotura es la cuerda de cabuya de 1,08 Ktex la que posee una mayor variación con un coeficiente de variación de 18,03 %, mientras que los demás casos tienen valores menores respecto a este.

Figura 17

Análisis de C.V. en la resistencia a la fuerza de rotura y el alargamiento a la rotura



Fuente: Autor

Además, es importante destacar la variabilidad porcentual de las muestras analizadas teniendo los siguientes valores en lo referente a la resistencia a la rotura, para la rafia de 1,48 Ktex su CV=4,32%; para la cuerda de cabuya de 1,08 Ktex su CV=5,12%; para la cuerda de cabuya de 1,38 Ktex su CV=15,81% y para la cuerda de cabuya de 1,69 Ktex su CV=7,21%; mientras que en relación al alargamiento a la rotura se tiene que para la rafia de 1,48 Ktex su CV=5,98%; para la cuerda de cabuya de 1,08 Ktex su CV=18,03%; para la cuerda de cabuya de 1,38 Ktex su CV=12,53% y para la cuerda de cabuya de 1,69 Ktex su CV=8,48%; denotándose claramente que los coeficientes de variación son menores en lo que respecta a la fuerza de rotura lo que da lugar a la interpretación de que los datos son mayormente homogéneos en comparación con los datos del alargamiento a la rotura, tomando en cuenta que el parámetro que presenta una mayor relevancia para el fin de la presente investigación es la resistencia que tengan las cuerdas a la fuerza de rotura es un resultado satisfactorio poder encontrar una menor variabilidad de manera general en este aspecto.

Sin embargo, se debe resaltar que tanto para la fuerza de rotura como para el alargamiento el coeficiente de variación es menor al 100% por lo que se deduce que son buenos resultados para la continuación del trabajo de investigación, siendo que mientras más bajos sean los valores menor dispersión hay entre los mismos. Así mismo se debe tomar en cuenta que los valores obtenidos para el coeficiente de variación pueden influenciar los resultados finales.

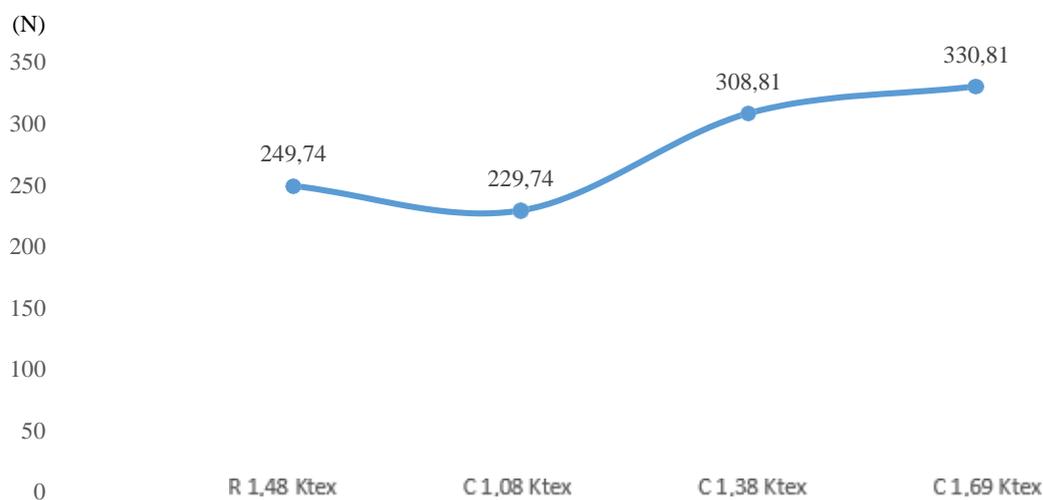
3.2.3 Evaluación de resultados en Títulos Reales

Para la evaluación de resultados en primera instancia se irá examinando cada uno de los parámetros establecidos como lo son: la resistencia a la fuerza máxima de rotura, después se analizará el alargamiento a la rotura, es decir lo que ocurre en cada caso considerando los fines que persigue la presente investigación, descubriendo si existe algún tipo de relación o influencia determinante, para luego poder ir agrupando los datos de forma específica y estudiarlos de manera mucho más ordenada y simplificada.

En la siguiente figura se aprecia una representación gráfica de los resultados de resistencia a la fuerza de en cada uno de los títulos propuestos:

Figura 18

Análisis de Resistencia a la Rotura en títulos reales



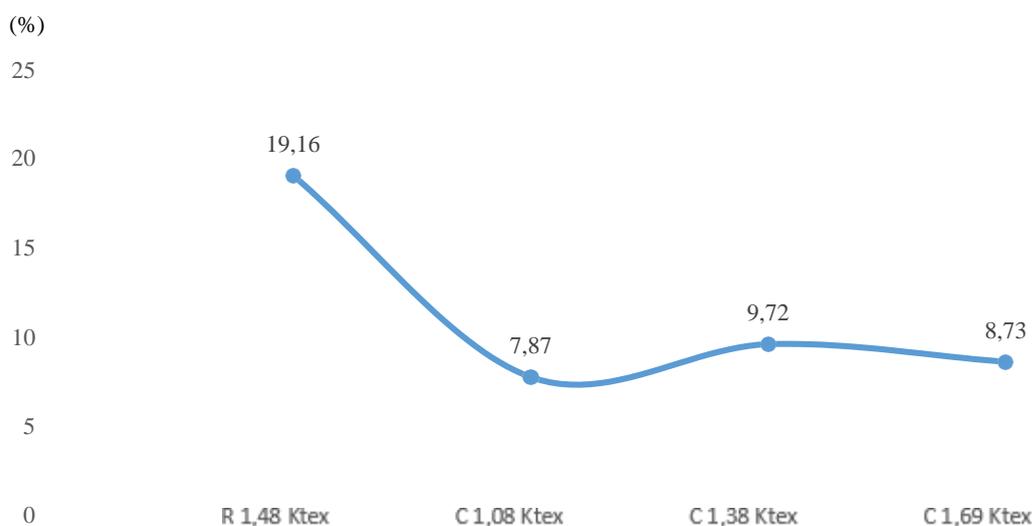
Fuente: Autor

A través de un gráfico de columnas se plasma los resultados de manera individual para los cuatro casos propuestos: rafia de polipropileno de 1,48 Ktex y los tres casos de las cuerdas de cabuya de 1,08; 1,38 y 1,69 Ktex respectivamente en la resistencia a la fuerza máxima de rotura donde se puede observar que la

muestra que tienen un mejor resultado es la cuerda de 1,69 Ktex con 330,81 N respecto a la rafia de polipropileno de 1,48 Ktex con 249,74 N siendo las cuerdas de fibra de cabuya notablemente más resistentes que el material base propuesto a reemplazarse que es la rafia de polipropileno y priorizando el factor de resistencia sería el caso más idóneo para la propuesta objetivo de poder emplear un material natural en actividades de sostén o soporte a frutos dentro del sector agrícola.

Figura 19

Análisis de Alargamiento a la Rotura en títulos reales

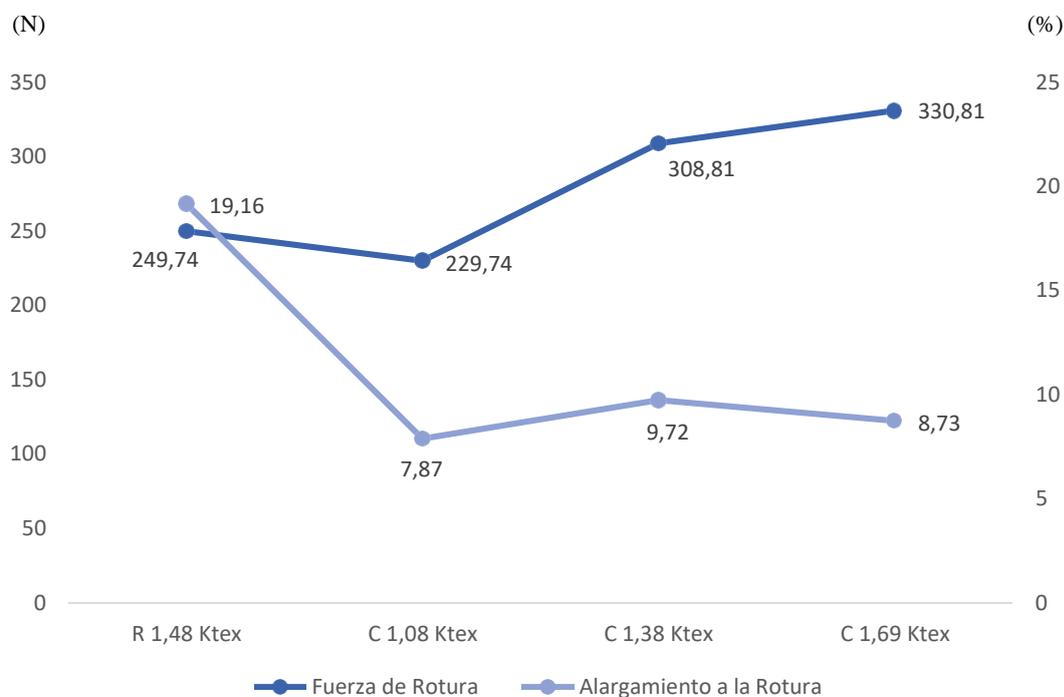


Fuente: Autor

De acuerdo al gráfico de columnas en cuanto a los resultados de alargamiento a la rotura para cada una de las probetas analizadas en los cuatro casos es posible señalar que existe una gran diferencia entre la elongación que posee la rafia que es el material sintético de 1,48 Ktex con 19,16% de extensión y la elongación de la fibra de cabuya siendo el máximo obtenido en la cuerda de 1,38 Ktex con un 9,72% que sigue siendo menor, dicho esto se debe apreciar que aun cuando es un parámetro de evaluación importante para el presente caso de estudio no es de significativo requerimiento el hecho de que no se supere en elongación al material sintético, no así con el análisis anterior de la resistencia a la fuerza de rotura que si es considerada primordial para la finalidad principal de este trabajo de titulación.

Figura 20

Análisis de Resistencia y Alargamiento a la rotura en títulos reales



Fuente: Autor

De acuerdo a la información mostrada en la figura 20 existen diferentes valores para la resistencia a la fuerza de rotura y al alargamiento en las muestras estudiadas.

Donde para el primer factor que es la resistencia a la fuerza de rotura se tiene que la rafia de 1,48 Ktex soporta una fuerza máxima de 249 N, la cuerda de cabuya de 1,08 Ktex soporta 229,09 N, la cuerda de cabuya de 1,3 Ktex soporta 308,81 N, y la cuerda de 1,69 Ktex soporta una fuerza máxima de 330,81 N por lo que se puede claramente que existe una tendencia a soportar una mayor fuerza máxima de rotura en las cuerdas del material propuesto que es la cabuya lo cual indicaría que al ser este el factor más relevante para la finalidad propuesta existe un resultado satisfactorio para poder llevar a cabo el reemplazo del material sintético, puesto que en las probetas de fibra de cabuya la cuerda de 1,69 Ktex de entre todos los casos de su misma clase la que mayor resistencia obtuvo con un valor promedio de 330,81 N superando a la rafia que obtuvo un valor promedio

de 249,74 N identificándose así también una influencia proporcional entre el título de la cuerda y su resistencia a la rotura, lo cual da la pauta de que mientras mayor sea la cantidad de fibras por sección dentro de la cuerda de cabuya su capacidad de soporte a la fuerza máxima de rotura será también mayor sobrepasando inclusive en este caso la resistencia de los materiales sintéticos la cual no es despreciable, sin embargo los problemas ambientales que a futuro causan las fibras sintéticas hacen que se busquen y se propongan nuevas opciones para sustituirlas.

Respecto al segundo parámetro que tiene que ver con el alargamiento se obtuvo los siguientes valores para la rafia de 1,48 Ktex hubo un alargamiento del 19,16 %, la cuerda de cabuya de 1,08 Ktex se alargó 7,87%, la cuerda de cabuya de 1,38 Ktex se alargó 9,72% y la cuerda de 1,69 Ktex se extendió 8,73%, denotando que estos valores son respecto a la longitud con la que se realizó en el ensayo que en este caso fue de 250 mm , conociendo esto se determinó que el mejor efecto fue logrado por la rafia de 1, 48 Ktex con un 19,16 % de extensión superando a las cuerdas de cabuya, no obstante, también es importante aclarar que si bien es cierto en lo referente a la extensión de la cuerda sintética se tiene resultados más altos, en las cuerdas de cabuya no se logra una extensión igual o mayor a la de la rafia pero para el objetivo de la investigación goza de una mayor significación la resistencia a la rotura no dejando de lado a la extensión pero influirá mayormente la capacidad que se tenga de resistir el peso de los frutos de las plantas para evitar que los mismos sufran caídas afectando de manera importante a las actividades agrícolas puesto que puede perderse el producto o mermar su calidad.

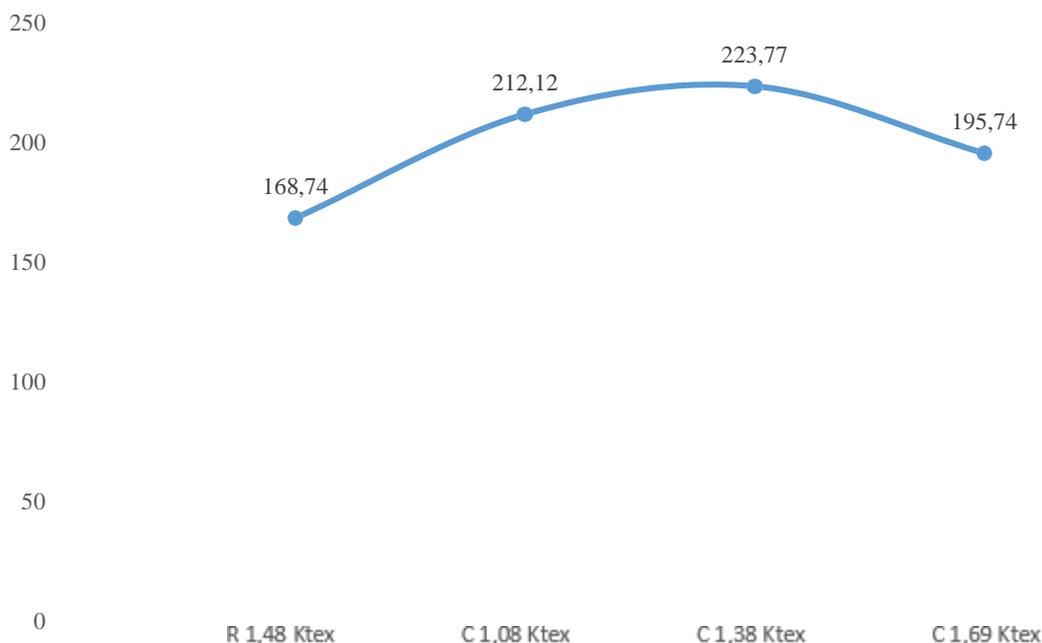
3.2.4 Evaluación de resultados con Indicador de 1 Ktex

Para la evaluación de resultados con indicador de 1 Ktex se examinará también las variables establecidas de la resistencia a la fuerza máxima de rotura y alargamiento a la rotura teniendo en cuenta que el análisis tendrá un enfoque más veraz puesto que se estudiará en condiciones iguales de masa para obtener una visión más práctica para el objetivo de la investigación.

En la siguiente figura se aprecia una representación gráfica de los resultados de resistencia a la fuerza de rotura obtenidos con el indicador de 1 Ktex:

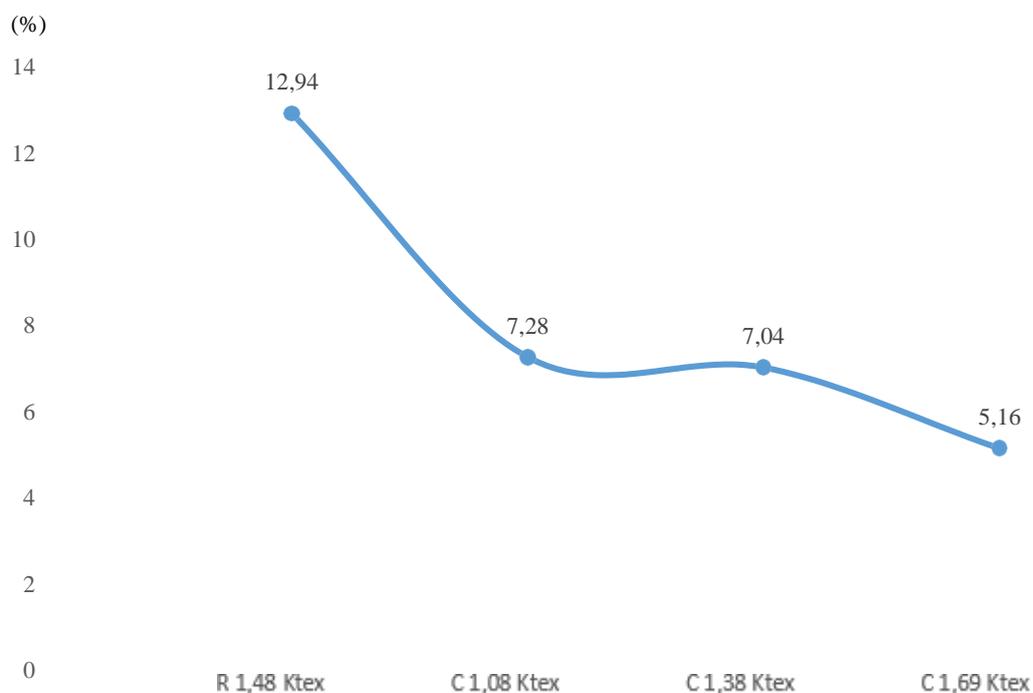
Figura 21*Análisis de Resistencia a la Rotura con Indicador*

(N)



Fuente: Autor

A través del indicador es posible conocer los nuevos valores de resistencia a la rotura donde la rafia de polipropileno alcanza una resistencia de 168,74 N, en tanque que el caso 1 de las cuerdas de cabuya tiene 212,12 N, el caso 2 posee 223,77 N y el caso 3 tiene 195,74 N en lo que respecta a la variable de resistencia analizada, donde se aprecia claramente que el mejor valor obtenido, es decir el más alto se encuentra dentro de los casos de las cuerdas de cabuya, específicamente el caso 2 de manera que sigue prevaleciendo la mayor resistencia la rotura en el material de origen natural, lo cual da la pauta de que efectivamente es el material aquel que tiene las propiedades intrínsecas de ser resistente más no tiene una relación directa con el título empleado, siendo de esta manera las cuerdas de cabuya una mejor opción en comparación con la rafia de polipropileno en lo que respecta a la resistencia a la rotura, parámetro esencial para la finalidad del presente trabajo de titulación.

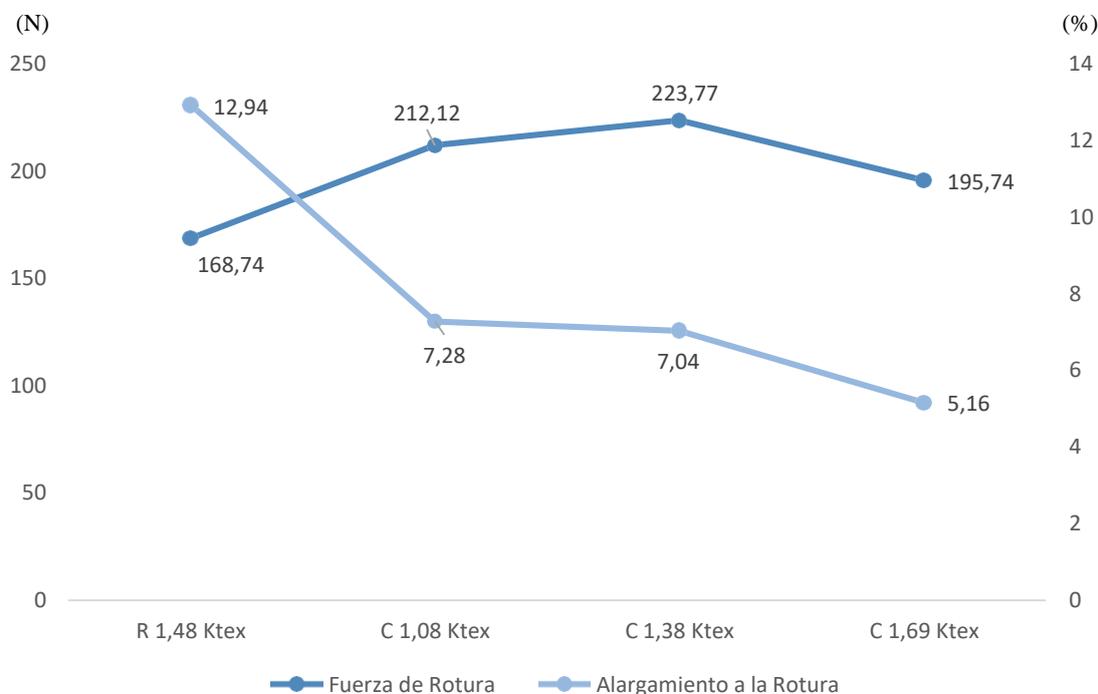
Figura 22*Análisis de Alargamiento a la Rotura con Indicador*

Fuente: Autor

En lo relacionado al alargamiento a la rotura con la conversión al indicador antes definido, se denota claramente que es el material sintético el que logra una mayor extensión con 12,94 %, en tanto que el caso 1 de las cuerdas de cabuya obtiene 7,28 %, el caso 2 posee 7,04 % y el caso 3 logra 5,16 %, lo cual hace visible que las cuerdas de cabuya en cuanto a elongación poseen menor efectividad que la rafia de polipropileno puesto que se considera como un material con cierto grado de aspereza pero de propiedades mecánicas apreciables, en las cuerdas de cabuya el mayor alargamiento lo tuvo el caso 1, sin embargo no es mayor que el de la rafia de polipropileno, no obstante esta no es una variable que defina la factibilidad del trabajo de titulación.

Figura 23

Análisis de Resistencia y Alargamiento a la rotura con indicador



Fuente: Autor

Los resultados previamente analizados de manera individual en sus títulos originales se encuentran ahora plasmados en este gráfico de líneas mediante un indicador en este caso de 1 Ktex para todos los casos estudiados con los valores tanto de fuerza como de alargamiento, a través del cuál se puede evidenciar claramente que en la resistencia a la rotura las cuerdas de cabuya destaca el caso 2 con el mejor resultado de 223,77 N y un valor promedio de las cuerdas de cabuya de 210,54 N, mientras que la rafia de polipropileno tiene 168,74 N, por lo que es apreciable que en esta primera variable las características mecánicas de resistencia de la cabuya sobresalen respecto al material sintético. En referencia al alargamiento en cambio se puede observar que el polipropielno cuenta con mejores resultados obteniendo un 12, 94 % de alargamiento en tanto que las cuerdas de cabuya la extensión mayor es la del caso 1 con 7,28% y con un valor promedio obtenido de 6, 49 %, que sigue siendo menor al de la cuerda sintética

demostrando así que en cuanto a propiedades de elongación el polipropileno resalta significativamente.

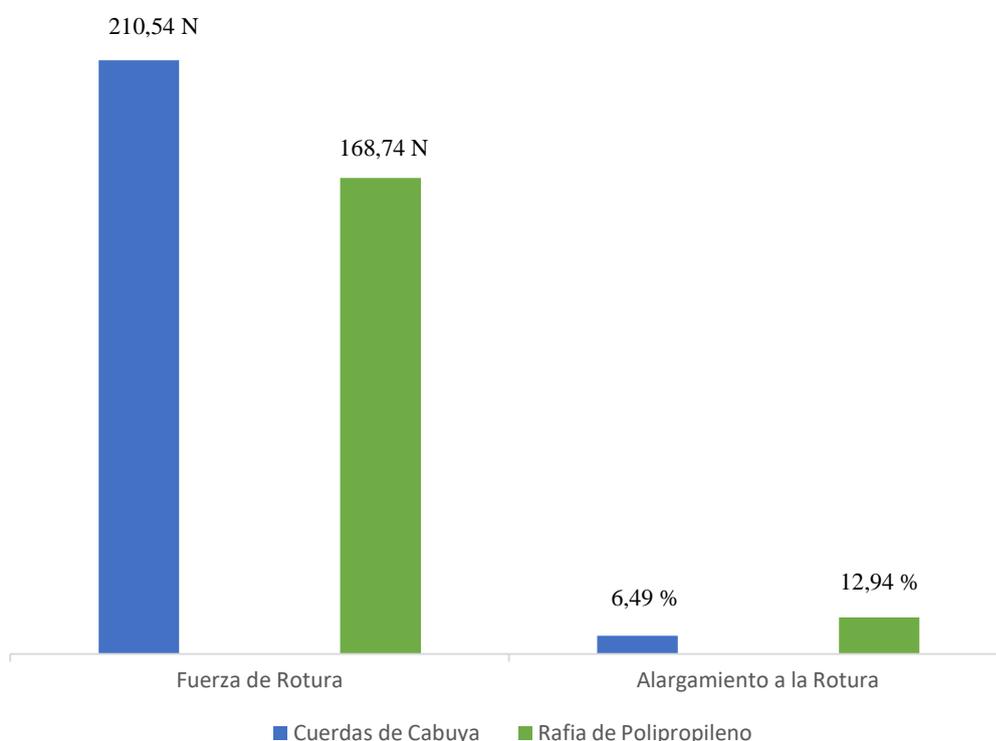
Por medio de este indicador es posible realizar una comparación mucho más real de lo efectivo que puede resultar la utilización de un material natural para las actividades agrícolas planteadas generando un impacto positivo ambiental sin dejar de lado las propiedades técnicas que se requieren.

3.2.5 Evaluación comparativa de resistencia a la rotura y alargamiento entre valores promedios de la rafia de polipropileno y las cuerdas de cabuya

Seguidamente se muestra de manera comparativa los resultados obtenidos tanto para la fuerza de resistencia a la rotura como para el alargamiento con los valores promedios.

Figura 24

Datos comparativos de resistencia y alargamiento entre la rafia de polipropileno y las cuerdas de cabuya



Fuente: Autor

De acuerdo al gráfico de columnas mostrado es posible denotar las diferencias que hay en cuanto a la resistencia a la rotura así como también en el

alargamiento, puesto que es evidente que las cuerdas de cabuya tienen una mayor fuerza de resistencia a la rotura con 210,54 N frente a 168,74 N de la rafia de polipropileno siendo esto significativamente positivo para el cometido de la presente investigación, mientras que en lo referente a la extensión o alargamiento se muestra que la rafia de polipropileno posee una mayor elongación con 12,94% en comparación con las cuerdas de cabuya que tienen 6,49% de alargamiento, con lo cual se puede inferir que las cuerdas de cabuya tiene una mayor capacidad de carga hasta la rotura soportando fuerzas mayores que la rafia de polipropileno y una menor extensión, en consecuencia las cuerdas de fibra natural son una opción viable para actividades de soporte en el sector agrícola.

Capítulo 4

4 Descripción de la Propuesta

El presente trabajo de titulación pretende establecer como propuesta la posible aplicación de cuerdas de cabuya como sustituto de polipropileno en cultivos, con el afán de contribuir con la mitigación del daño ambiental causado por el uso de plásticos dentro del sector agrícola, planteando desde la perspectiva de la industria textil el empleo de una fibra natural como la cabuya, misma que puede ser utilizada con el mismo fin proporcionando propiedades mecánicas semejantes acorde a las necesidades del problema identificado.

4.1 Ventajas del uso de cuerdas de cabuya en actividades agrícolas respecto a la rafia de polipropileno

Es necesario destacar los aspectos más favorables de las cuerdas de fibra de cabuya para con ello tener una visión más detallada de los aspectos más relevantes que ofrece el uso de este tipo de material en las actividades agrícolas.

Tabla 17

Características que potencian el uso de cuerdas de cabuya respecto a la rafia de polipropileno

CUERDAS DE CABUYA	RAFIA DE POLIPROPILENO
Composición natural	Composición sintética
Menor tiempo de degradación	Mayor tiempo de degradación
Sostenible	Dependencia de un recurso no renovable
Utilidad como abono después de su descomposición	Ninguna utilidad después de su descomposición
Contribuye a una producción más limpia	Incrementa la producción con desechos dañinos
Tiene propiedades mecánicas útiles para actividades de sostén de frutos en cultivos, sin contaminar	Presenta resistencia para distintas actividades, pero contaminando gravemente el ecosistema

Fuente: Autor

Las cuerdas de cabuya tienen algunas características o propiedades que pueden reemplazar el uso de la rafia de polipropileno y que sirven de apoyo al cuidado medio ambiental tan importante hoy en día.

4.2 Viabilidad para llevar a cabo la Propuesta

Respecto a la factibilidad de la presente propuesta de investigación se denotan algunos aspectos relevantes que tratan de promover el reemplazo de un material sintético como el polipropileno por uno de origen vegetal como lo es la fibra de cabuya en el sector agrícola para poder ayudar con las actividades que dan sostén a los frutos de algunas especies vegetales.

A continuación, se denotan algunos puntos importantes los cuales pueden influir en la aplicación de la propuesta.

- **Sostenibilidad Ambiental**

En este aspecto la fibra de cabuya presenta mayores virtudes puesto que es una fibra considerada como un recurso natural que puede ser obtenido cada cierto tiempo después de su siembra, lo cual ayuda a generar un equilibrio con el entorno y permite mejorar la cultura ambiental dentro de actividades de un ámbito industrial importante como lo es la agricultura, esto es conocido como desarrollo sostenible.

- **Funcionalidad**

En cuestiones de funcionalidad o practicidad cabe denotar que es un punto en el cual es posible que haya una mayor inclinación por las opciones de materiales sintéticos debido a la facilidad de manejo que poseen, sin embargo, esto es un aspecto que depende mucho del lugar de procedencia del producto natural, es decir desde su fabricación y hoy en día las cuerdas de fibras naturales como la cabuya cuentan con presentaciones muy similares a las de la rafia que se acoplan bastante a bien a la hora de manipularlos para el fin de las actividades propuestas en este caso para la agricultura.

- **Precio**

En relación al precio en este caso de las cuerdas de cabuya frente a la rafia de polipropileno, existe una posible desventaja al momento de competir con materiales plásticos ya que estos tienen un costo generalmente bajo que se adaptan al entorno económico de los productores agrícolas, pero es posible denotar también que existen posibilidades de acuerdo a la presente investigación como

puede ser el hecho de tomar aquella cuerda de cabuya que presentó la mejor resistencia de fuerza de rotura de la rafia de polipropileno tomando en cuenta que la misma tiene características ambientales importantes, mismas que también merecen ser reconocidas dentro del monto económico establecido por los beneficios que brindarán en el futuro, tomando en cuenta que para el fin deseado se requiere de una mayor resistencia a la tracción para dar soporte a los frutos, que por el contrario de un alargamiento excesivo.

A continuación, se muestra los costos estimados para cada material, a través de la búsqueda de información pertinente se obtuvo lo siguiente:

Tabla 18

Indagación de Costos locales de materiales empleados

COSTOS DE MATERIALES EN EL MERCADO LOCAL		
MATERIAL	COSTO UNITARIO (USD)	METROS
Rafia de Polipropileno (1,48 Ktex)	1, 25	300
Cuerda de cabuya dentro del rango del caso 1 (1,08 Ktex)	3,20	300
Cuerda de cabuya dentro del rango del caso 2 (1,38 Ktex)	2,25	300
Cuerda de cabuya dentro del rango del caso 3 (1,69 Ktex)	2,00	300

Fuente: Autor

Mediante la información de costos indagada se puede deducir que los cordeles de cabuya tienen un precio un tanto más elevado respecto a la rafia de polipropileno que al ser un material plástico en la mayoría de los casos suele tener un costo menor y ser altamente competitivo en cuestiones monetarias a comparación de otro tipo de materiales de origen natural que son más costoso pero que ofrecen otro tipo de beneficios a priorizar hoy en día.

4.3 Propuesta definitiva en base al estudio realizado

De acuerdo con la investigación efectuada mediante el presente trabajo de titulación se propone emplear como una opción ecológica las cuerdas de cabuya que según los estudios realizados en este trabajo cuentan con un 24,77% más de resistencia a la rotura que la rafia de polipropileno enfocada a las actividades para dar soporte los frutos de diferentes plantas que no sobrepase los 21,46 kg en la totalidad de la planta, de manera específica se presenta la segunda opción (1,38 Ktex) de los tres casos de cuerdas de fibra vegetal (cabuya) ya que es la que mayor resistencia a la fuerza máxima de rotura presentó con el indicador de 1 Ktex en comparación con los otros casos identificándose este parámetro de resistencia como el más prioritario para el sostenimiento adecuado de los frutos, aun cuando en alargamiento no supere a la rafia, el segundo caso es una opción considerable para el fin establecido, si bien es cierto el precio de la cuerda de cabuya excede en un 80% al precio inicial de la rafia de polipropileno es de gran relevancia destacar que con el material sintético los costos monetarios son menores para la industria pero el costo ambiental es extremadamente alto, por el contrario con la opción de una cuerda de una fibra ecológica el costo ambiental disminuiría considerablemente a largo plazo partiendo desde el hecho de que su tiempo de degradación es menor y que en su descomposición puede ser empleada como abono lo cual no sucede con las fibras sintéticas que posteriormente pasarán una factura muy alta al ecosistema pudiendo llegar al punto de interferir negativamente con las actividades industriales agrícolas y de cualquier otra índole.

Conclusiones

Continuando con la parte procedimental del trabajo de titulación y teniendo como principal materia prima las cuerdas de cabuya (1,08 Ktex; 1,38 Ktex y 1,69 Ktex) y la rafia de polipropileno (1,48 Ktex) para con ello realizar las pruebas de resistencia a la fuerza de rotura y alargamiento, se detalla las siguientes conclusiones:

- Al analizar todos los casos propuestos se determinó que los datos obtenidos se encuentran dentro del 95% confiabilidad y sus coeficientes de variación no representan una variabilidad significativa contribuyendo a que los resultados de la investigación tengan una base más sólida para poner en consideración que las cuerdas de cabuya constituyen una buena alternativa para una posible sustitución de la rafia de polipropileno, al ser un material naturalmente resistente con un gran valor ambiental reduciendo la contaminación en actividades agrícolas y dando opción a ser reutilizado tras su descomposición.
- Conforme a los resultados obtenidos en cuanto a la resistencia a la rotura se destaca que la cuerda de cabuya del caso 2 alcanzó 223,77 N con CV= 15,81 fue el resultado más alto en comparación a la rafia de polipropileno que alcanzó 168,74 N con CV= 4,32%, dando como resultado final que la resistencia a la rotura que en este caso es la característica de mayor relevancia prevalece en las cuerdas de cabuya en relación a la rafia de polipropileno.
- En lo referente al alargamiento a la rotura, la rafia de polipropileno arrojó resultados más elevados con 12,94% de extensión y CV= 5,98% frente a las cuerdas de cabuya en las cuales el máximo valor de alargamiento obtenido es para el primer caso con un valor de 7,28 % en extensión y CV=18,03 % por tal razón la rafia de polipropileno resulta tener más elongación que las cuerdas de cabuya, sin embargo, estos resultados no resultan ser una limitante absoluta para llevar a cabo la propuesta del presente trabajo de titulación.
- Mediante el indicador de 1 Ktex aplicado a todos los casos analizados, a través de los valores promedios se obtuvo que las cuerdas de cabuya por las propiedades intrínsecas del material proporcionan una mayor capacidad de resistencia a la rotura con 210,54 N respecto a 168,74 N de la rafia de polipropileno, y en relación al alargamiento la rafia de polipropileno tiene una mayor capacidad de extensión con 12,94% en comparación a las cuerdas de cabuya con 6,49% de alargamiento.

Recomendaciones

- Se debe tomar en cuenta la correcta aplicación de la norma a utilizarse para la investigación, para poder realizar el procedimiento lo más apegado a los lineamientos normativos establecidos.
- Es importante analizar la propuesta de la investigación desde una perspectiva más eco amigable resaltando los beneficios a nivel ambiental del empleo de fibras naturales en las actividades del sector agrícola reduciendo el consumo excesivo y la contaminación generada por fibras sintéticas.
- Se recomienda también realizar la continuación de la presente investigación con otro tipo de fibras naturales que puedan ayudar al fin propuesto siendo una opción atractiva para una posible aplicación en reemplazo de plásticos dentro de uno de los ámbitos más importantes para la economía del país como lo es la agricultura.

Referencias Bibliográficas

- Aatcc. (2013). *AM*.
- Agriculturers. (2022). *Advierten sobre la contaminación con plásticos en tierras agrícolas*. <https://agriculturers.com/advierten-sobre-la-contaminacion-con-plasticos-en-tierras-agricolas/>
- Agrotutti. (2023). *Fique 100% Natural Colombiano*. <https://agrotutti.com/productos-mas-vendidos>
- Amaya, E., Molina, F., & Sánchez, M. (2018). Producción de polipropileno. In *Universidad Nacional de Cuyo* (Issue 1).
- Andagoya, A., Huerta, E., & Tenorio, E. (2018). *Diseño De Un Prototipo De Envase Biodegradable a Partir de la Fibra de Agave*. <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/6999/1/PC-000969.pdf>
- Arcila, D., & Figueroa, G. (2017). *Análisis De La Resistencia Al Corte, Tracción, Flexión Y Compresión En Probetas De Plástico Reciclado*.
- Armas, C. (2016). Efectos De La Adición De Fibra De Polipropileno En Las Propiedades Plásticas Y Mecánicas Del Concreto Hidráulico. In *INGENIERÍA: Ciencia, Tecnología e Innovación* (Vol. 3, Issue 2). <https://doi.org/10.26495/icti.v3i2.436>
- Asamblea Nacional. (2008). Constitución del Ecuador (análisis) | Análisis de la Constitución de la República del Ecuador. In *Iusrectusecart* (pp. 1–219). www.lexis.com.ec
- Betancourt, D. (2018). “*Desarrollo De Un Género Textil a Partir De La Hoja De Cabuya (Furcraea Andina) Para Indumentaria*.” [https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/29160/1/Betancourt Diego.pdf](https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/29160/1/Betancourt%20Diego.pdf)
- Buñay, Á., & Morocho, C. (2015). *Diseño, construcción y pruebas de una máquina para realizar ensayos de tracción en cuerdas de fibras sintéticas*.

- Cabezas, E., Andrade, D., & Torres, J. (2018). *Introducción a la metodología de la investigación científica*.
- Caicedo, C., Crespo, L., La Cruz, H., & Álvarez, N. (2017). Propiedades termo-mecánicas del Polipropileno: Efectos durante el reprocesamiento Thermo-mechanical properties of Polypropylene: Effects during reprocessing. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 18(3)(número 3), 245–252.
- Capote, V. (2011). Tipos de esfuerzos físicos. *Revista Digital Para Profesionales de La Enseñanza*, 15, 1–18. <https://www.feandalucia.ccoo.es/docu/p5sd8567.pdf>
- Castellanos, P. (1999). Manejo integrado del cultivo de cebolla de rama. In *Manejo integrado del cultivo de cebolla de rama* (Vol. 53, Issue 9). [http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/4068/1/Manejo integrado de cultivo de cebolla de rama o larga.pdf](http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/4068/1/Manejo%20integrado%20de%20cultivo%20de%20cebolla%20de%20rama%20o%20larga.pdf)
- Escalante, S., & Santa Cruz, C. (2022). Facultad De Ingeniería Y Arquitectura. In *Google Academico*. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/50737/Cusma_GM-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Fages, E. (2015). *Investigación de fibras de polipropileno aditivas con nanoparículas de plata para la mejora de propiedades bioactivas en el sector textil*. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/21065/tesisUPV3999.pdf?sequence=1>
- Fibercord. (2022). *¿Qué es la rafia y para que sirve?* <https://www.fibercord.es/fibras-naturales-sisal-canamo-algodon-2-2/>
- García, J. (2021). Fortalecimiento y mejoramiento de la cadena productiva y del sector artesanal en Santander. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952., 2013–2015.
- Google Maps. (2019). *Laboratorio Textiles*.

https://www.google.com/maps/place/Laboratorio+CITEX/@0.3790174,-78.1240667,17z/data=!3m1!4b1!4m6!3m5!1s0x8e2a3b459fd2ed19:0x1cdcdfaf1b90a1d!8m2!3d0.3790132!4d-78.1220335!16s%2Fg%2F11gfhb_p9z

Guevara, C., & Vallejo, E. (2014). Potencialidades medicinales de los géneros *Furcraea* y *Agave*. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 19(1), 248–263. <http://goo.gl/1bWIF3>

Hernández, O. A., & Gómez, R. M. (2017). Tratamiento biológico-ultrasónico nueva alternativa en la degradación de polipropileno. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 18(2), 115–126.

Hernández, R., & Mendoza, C. (2018). Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta Las rutas Cuantitativa Cualitativa y Mixta. In *McGRAW-HILL Interamericana Editores S.A. de C.V.* <http://repositorio.uasb.edu.bo:8080/bitstream/54000/1292/1/Hernández-Metodología de la investigación.pdf>

Hernandis, C. V. (2012). *Ecofibras y su alianza con la Ongd Atelier*.

Humani, F., & Mongue, E. (2019). Universidad Nacional De Huancavelica "Violencia. *Repositorio Institucional - UNH*, 80. <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/2755>

Ingeborg, Z., & Peña, F. (2013). Plásticos en la agricultura: beneficio y costo ambiental: una revisión. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 16(1), 139–150. <https://doi.org/10.31910/rudca.v16.n1.2013.868>

James Heal. (2015). *Titan 5 universal strength tester at james heal we don ' t design instruments*.

Lopera, J., Ramírez, C., Zuluaga, M., & Ortiz, J. (2020). El Método Analítico. In *Teoría General del derecho*. <https://doi.org/10.2307/j.ctv1503jsf.6>

- Manjarrés, F. J., Santillán, E. R., Guerrero, V., & Pachacama, V. (2015). Diseño, caracterización y aplicación de un material compuesto con base de resina epoxi y refuerzo de fibras orgánicas para la aplicación en un prototipo de capot de la camioneta mazda bt50 2010. *Universidad de Las Fuerzas Armadas ESPE* , 1–9. <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/10124/1/AC-ESPEL-MAI-0527.pdf>
- Ministerio de Ambiente. (2015). Reforma Texto Unificado Legislación Secundaria, Medio Ambiente, Libro VI. In *LexisFunder* (Issue 74, pp. 1–75).
- Montufar, A., & Remache, A. (2021). Materiales Compuestos De Polímero Reforzado Con Fibra De Cabuya y coco aplicado al sector automotriz. *Revista Científica*, 7(3), 436–465.
- Organización Internacional de Normalización. (2014). *ECUATORIANA NTE INEN-ISO 2061*.
- Organización Internacional de Normalización. (2017). *ESTÁNDAR* (Vol. 2009).
- Páez, K. (2020). *Proceso de Suavizado a la Fibra Natural Cabuya para la Aplicación en una línea e Accesorios de Moda*. <https://all3dp.com/2/fused-deposition-modeling-fdm-3d-printing-simply-explained/>
- Patino, J. D. P., & Arbelaz, I. C. L. (2016). Analytical orientation human management: A path to responsabilization. *RAE Revista de Administracao de Empresas*, 56(1), 101–113. <https://doi.org/10.1590/S0034-759020160109>
- Picón, J. (2020). *La industria auxiliar de la agricultura*.
- Pinchao, Y., Osorio, O., Checa, O., & Tobar, E. (2019). Study on the rate and time of biodegradation under controlled conditions of natural fibers of fique (*Furcraea andina*) and cotton (*Gossypium barbadense*). *Informacion Tecnologica*, 30(4), 59–67. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000400059>

- Pozo, W., & Valencia, B. (2020). *Universidad técnica del norte*.
- Pruna, L., Velasco, F., Chachapoya, F., & Paredes, C. (2020). Elaboración de la fibra de cabuya en tejido plano como matriz de refuerzo para la construcción de un retrovisor. *Ingenius*, 24, 81–86. <https://doi.org/10.17163/ings.n24.2020.08>
- Quitama, A. (2020). *Análisis de resistencia a la tracción de hilos retorcidos 100% algodón en relación a su título, torsiones y doblados*. 1–84. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10964>
- Salinas, J. G. P., Salinas, C. F. P., & Miniguano, C. B. C. (2017). Analysis of the mechanical properties of the composite of polyester matrix reinforced with glass fiber 375 and cabuya applied to the automotive industry. *Enfoque UTE*, 1–15.
- Serna, M. (2018). Revista electrónica de AnestesiaR. *Revista Electronica de AnestesiaR*, 4(10), 2–5. <http://revistaanestesar.org/index.php/rear/article/view/671/1190>
- Solupackag. (2023). *Rafia*. <https://solupackag.com/rafia/>
- TurkanaBeads. (2023). *Hilo fique Cordel 1.2-1.8mm diámetro*. <https://www.etsy.com/mx/listing/1060876325/hilo-fique-cordel-12-18mm-diametro-50>
- Universidad Técnica del Norte. (2021). *Líneas de Investigación*. Universidad Técnica Del Norte. <https://www.utn.edu.ec/direccion/#1678470247794-cf300289-335c>
- Viera, P., Morillo, D., & Parion, J. (2022). Influencia de fibras naturales y sintéticas en la permeabilidad de morteros de cemento - arena, y cemento, cal y arena. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 13(1), 59–71. <https://doi.org/10.29166/revfig.v13i1.3410>

Anexos

Anexo 1. Pruebas de resistencia a rotura y alargamiento



Fuente: Autor

Anexo 2. Probetas ensayadas



Fuente: Autor

Anexo 3. Pruebas de determinación de torsiones



Fuente: Autor

Anexo 4. Datos técnicos del equipo dinamómetro empleado

TITAN⁵ TECHNICAL DATA

Measuring Principle:	Constant Rate of Extension (CRE)
Capacity (Tension & Compression):	5000 N, 5kN, 500kgf and 1100lbf
Load Cells:	Three (3) load cells can be configured from a choice of five (5): 5000 N 1,000 N or 500 N (not 1000N and 500N) 100 N or 200 N (not 200N and 100N) Quick-change cartridge, auto-recognition "S" beam cells
Test / Return / Jog Speed:	1 - 2000mm/min
Accuracy of Load Cells Class:	0.5 (±0.5%) from 2 - 100% of load cell capacity
Speed Accuracy:	±0.005%
Maximum Stroke:	560mm - Maximum usable extension with T27 jaws fitted
Total Vertical Stroke:	700mm - Maximum movement of the head between limit switches when no jaws are fitted
Positional Accuracy:	± 0.00125mm
Calibration:	Load Cells: ISO 7500-1 (UKAS accredited) & ASTM E4 Instrument: ISO 7500-1 & ASTM D76
Safety:	CE marked (complies with Machinery, Low Voltage & EMC Directives)
Warranty:	18 months

DIMENSIONS

Height (mm)	Width (mm)	Depth (mm)	Approx. Weight (kg)
1339	400	568.5	82*

*Excludes transit frame

COMPUTER SPECIFICATION

Personal Computer (PC) - Minimum Specification	
PC	Personal Computer (PC) running Microsoft Windows The use of the operating systems running in Windows as a VM is not supported
Processor	As specified or required by the operating system (OS)
RAM	As specified or required by the operating system (OS)
OS	Windows 8, Windows 7, Windows Vista Not compatible with Windows XP Microsoft.NET 4.0 framework is required (included on disc)
Monitor	Minimum resolution of 1024x768 pixels
HDD	Minimum 250GB
Ports	At least 2 free USB 2.0 ports
Printer	Any Windows compatible printer Colour printer recommended but not essential

Fuente: (James Heal, 2015)

Anexo 5. Aplicaciones del equipo dinamómetro Titán 5

TITAN APPLICATIONS

The applications for the Titan[®] are numerous. A selection some of the diverse range of tests, with the relevant tooling and grips, is shown below.

Fabric Strength Test (T27)



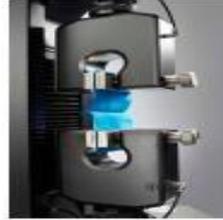
Tear Strength Test (T27)



Stretch & Recovery Test (T27)



Seam Slippage Test (T27)



Baumann Tear Strength



Hank (Lea) Strength Test



Compression Test (T20A)



Compression Test (T20B)



Button Strength (T4)



Security of Attachments Test (T12)



TITAN APPLICATIONS

Octogrip



Stud Strength (T14)



Puncture Test (T13)



Line Contact



Coefficient of Friction



Fuente: (James Heal, 2015)