

**EVALUACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE UNA FIBRA TEXTIL A PARTIR DE
PSEUDOTALLO DE PLÁTANO**

**DIANA ALEJANDRA MORENO SAENZ
JUAN SEBASTIAN NEUSA REY**

**Proyecto Integral de Grado para optar el título de:
Ingeniero Químico**

Director

**Luis Miguel Chaparro Hernández
Ingeniero Químico**

Codirector

**William Javier Espitia
Ingeniero Químico**

Orientador

**Edgar Fernando Moreno Torres
Ingeniero Químico**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.**

2021

Nota de aceptación

Nombre

Firma del Director

Nombre

Firma Docente Jurado 1

Nombre

Firma Docente Jurado 2

Bogotá, D.C., febrero de 2021

DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. MARIO POSADA GARCÍA-PEÑA

Vicerrectoría Académica y de Investigaciones

Dra. MARÍA CLAUDIA APONTE GÓNZALEZ

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. RICARDO ALFONSO PEÑARANDA CASTRO

Secretaría General

Dra. ALEXANDRA MEJÍA GUZMÁN

Decano de la Facultad de Ingenierías

Ing. JULIO CESAR FUENTES ARISMENDI

Director del Programa de Ingeniería Química

Ing. NUBIA LILIANA BECERRA OSPINA

DEDICATORIA

Primero que todo, le agradezco a Dios y a la virgen santísima por permitirme cumplir este sueño tan anhelado para mí, sin ellos nada de esto hubiera sido posible.

Este trabajo se lo dedico a mis papás por siempre estar ahí para mí, por apoyarme, por darme consejos y enseñarme que las cosas con esfuerzo y dedicación siempre se pueden lograr; a mis hermanas Adriana y Laura por ser ejemplos a seguir, gracias a ellos por ser mi motor y por motivarme siempre, por ellos soy la persona que soy hoy en día.

A mis amigos de la universidad (Lorena, Santiago, Nicolas, Brayan, Juan Esteban entre otros), por cada momento compartido, por cada enseñanza y por emprender este camino lleno de aventuras conmigo, sin ustedes nada de esto hubiera sido lo mismo y siempre los llevare en mi corazón. A Karol y Andrés por aconsejarme y apoyarme para cumplir mis sueños y siempre ayudarme a convertirme en una mejor persona y profesional día a día. A mis amigas del colegio por siempre estar presente en cada paso importante de mi vida.

A Sebastian por creer en esta idea desde el principio y a por apoyarme en cada momento difícil que afrontamos durante la realización de este trabajo, por cada traspasada y risa, por tenerme paciencia y ser mi complemento para realizar con éxito este proyecto de grado, no pude contar con un mejor compañero que él.

Por último, quiero dedicárselo a todas las personas, amigos o familia que me apoyaron y que de una u otra manera aportaron un granito de arena para que este proyecto y este sueño fuera posible.

Diana Alejandra Moreno Saenz

DEDICATORIA

Primeramente, debo agradecerle a Dios por permitirme vivir uno de mis mayores sueños, de la mano de él todo este proceso se pudo llevar a cabo satisfactoriamente.

A mi angelito, mi abuelito Epi, el cuál amo con todo mi corazón y con toda mi vida desearía que pudiera vivir este momento a mi lado y sabría que lo haría el hombre más dichoso del mundo.

A mis padres por su ardua labor, los cuales día a día “se parten el lomo” para nunca verme desfallecer, porque todo el esfuerzo que han hecho ya empieza a dar sus frutos, infinitas gracias a ellos porque nada de esto sería posible sin su ayuda, porque este es un triunfo que ellos merecen, ustedes me han dado todo su amor y apoyo para poderme convertir en lo que hoy soy y de los cuales me siento orgulloso de tener. A mis hermanos Luisa, Julián y Ana María y a mi sobrinita Luciana, también este triunfo se los dedico. A mi gatico Kotik por llenarme de amor, por acompañarme en esas noches de desvelo, por enamorarme día tras día.

A mis tíos, tías, primos y primas, quienes me han visto crecer, me han visto caer y siempre me han tendido la mano y nunca me han dejado derrumbarme.

A mis mejores amigos Juancho y Camila, los cuales inagotablemente me han brindado todo su apoyo y toda su comprensión a lo largo de este proceso, quienes siempre tuvieron el tiempo para escucharme cuando más lo necesite y siempre me dieron aquel consejo que debía escuchar. A mis amigos Iván, Olaya, Jhader, Villa, Gordillo, Romerito, Oscar, Pedreros, Santi, Karol, Juanes y a todos los que alguna vez me han hecho sentir acompañado, porque cada uno de ustedes me ha enseñado el valor de la amistad. A Daniela quien han sido un motor en este proyecto, que en incontables momentos me ha ayudado a ver el panorama más claro y darme a entender de todo el potencial que tengo para dar.

A la mejor compañera que pude tener en este proyecto, a Dianis, a la cual no sé cómo le pagare por todo el trabajo que ha hecho conmigo durante esta travesía, con la cual inicie desde inducción hasta el último día, solo puedo decirte gracias por todo.

Juan Sebastian Neusa Rey

AGRADECIMIENTOS

A nuestras familias por apoyarnos día a día en este sueño y se participes de nuestra educación profesional, por todos los consejos dados, por la colaboración y dedicación ya que sin ellos esto no hubiera sido posible.

A nuestro director el ingeniero Luis Miguel Chaparro Hernández por su dedicación, preocupación y entrega en este proyecto, en la confianza depositada durante este proceso y los consejos que nos brindó para culminar con éxito y calidad este trabajo.

A nuestro codirector el ingeniero William Javier Espitia por su colaboración y dedicación en el proyecto, así como también los consejos que nos brindó no solo para este proyecto sino para nuestra vida profesional.

A nuestro orientador el ingeniero Edgar Fernando Moreno Torres quien con su profesionalismo y dedicación nos guio y aconsejo para cumplir con los objetivos propuestos y culminar de manera satisfactoria este proyecto.

A todos los educadores que han sido parte de nuestro proceso de formación profesional, los cuales de una u otra manera nos han enseñado de manera íntegra los valores y la calidad de un buen ingeniero.

Las directivas de la Fundación Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente son exentos de la responsabilidad de los criterios e ideas expuestos en el presente documento. La responsabilidad es exclusiva de los autores.

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	15
INTRODUCCION	17
OBJETIVOS	18
1. GENERALIDADES DE LA REGIÓN ANDINA ORIENTAL	19
1.1. Contexto geográfico de la región Andina oriental	19
1.2. Clima	19
1.3. Suelo	20
1.4. Agrícola	21
1.5. Selección del municipio de investigación	23
1.6. Planadas	27
1.6.1. Caracterización agrícola de la producción de plátano en el municipio de Planadas	28
2. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA	31
2.1. Parámetros fisicoquímicos	32
2.1.1. Contenido de humedad	33
2.1.2. Contenido y eliminación de extraíbles	33
2.1.3. Determinación de cenizas	33
2.1.4. Contenido de lignina	34
2.1.5. Contenido de celulosa	34
2.1.6. Contenido de holocelulosa	35
2.1.7. Contenido de hemicelulosa	35
2.1.8. Diámetro de la fibra	35
2.1.9. Ensayo de flexión	36
2.1.10. Ensayo de compresión	36
2.1.11. Ensayo de tracción	36
2.2. Caracterización del pseudotallo de plátano	37
2.2.1. Características físicas	37
2.2.2. Características químicas	38
2.3. Caracterización de la fibra obtenida a partir del pseudotallo de plátano	39
2.3.1. Características físicas y mecánicas	39

2.3.2. Características químicas y térmicas	40
3. MÉTODOS DE EXTRACCIÓN	42
3.1. Método biológico	43
3.1.1. Enriado	43
3.2. Método físico	44
3.2.1. Decorticado mecánico	44
3.2.2. Decorticado manual	44
3.3. Método químico	44
3.3.1. Enriado químico	45
4. ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DEL PSEUDOTALLO	51
4.1. Proceso de obtención de fibras	51
4.1.2. Pretratamiento	52
4.1.3. Extracción por decorticado mecánico	53
4.1.4. Primer secado	54
4.1.5. Blanqueamiento	55
4.1.6. Lavado	56
4.1.7. Tinturado	56
4.1.8. Segundo secado	58
4.1.9. Hilado	58
4.2. Equipos de proceso	61
4.2.1. Banda transportadora	61
4.2.2. Decortidora mecánica	62
4.2.3. Tanque de lavado	63
4.2.4. Tanque de blanqueado	64
4.2.5. Tanque de tinturado	65
4.2.6. Calentador	66
4.2.7. Compresor	67
4.2.8. Bomba centrífuga	68
4.2.9. Secador	69
4.2.10. Hiladora	70
5. COSTOS DE PROCESO	72

6. CONCLUSIONES	77
BIBLIOGRAFIA	78
ANEXOS	86

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Datos por departamento con base en el área sembrada, cosechada y producción	22
Figura 2. Rendimiento por departamento con base en el área cosechada	23
Figura 3. Datos recolectados por 2 municipios de cada departamento con base en su área	25
Figura 4. Datos recolectados por 2 municipios de cada departamento con base en su producción	25
Figura 5. Rendimiento por 2 municipios de cada departamento con base en su área cosechada	26
Figura 6. Mapa agrologico de Planadas, Tolima	27
Figura 7. Morfología de la planta de pseudotallo de plátano	32
Figura 8. Pseudotallo de plátano	38
Figura 9. Clasificación de los métodos de extracción de la fibra del pseudotallo de plátano	42
Figura 10. Fibras obtenidas según los métodos físicos, químicos y biológicos	47
Figura 11. Diagrama de bloques (BFD)	51
Figura 12. Entrada del proceso	52
Figura 13. Primer lavado	53
Figura 14. Extracción	54
Figura 15. Primer secado	55
Figura 16. Blanqueado	56
Figura 17. Segundo lavado	56
Figura 18. Tinturado	57
Figura 19. Segundo secado	58
Figura 20. Hilado	58
Figura 21. Tiempos de proceso de operación	59
Figura 22. Diagrama PFD para la obtención de la fibra a partir de pseudotallo	60
Figura 23. Banda transportadora de material vegetal	61
Figura 24. Máquina decorticadora de fibras de pseudotallo de plátano	62
Figura 25. Tanque de lavado de materia prima y fibras	63
Figura 26. Tanque de blanqueo de fibras de pseudotallo	64

Figura 27. Tanque de tinturado	65
Figura 28. Calentador	66
Figura 29. Compresor	67
Figura 30. Bomba centrifuga	68
Figura 31. Secador de fibras vegetales	69
Figura 32. Máquina hiladora	70

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Climas de los principales municipios productores de plátano	20
Tabla 2. Datos por departamento con base en el área cosechada	21
Tabla 3. Datos recolectados por 2 municipios de cada departamento con base en su área cosechada	24
Tabla 4. Uso principal del suelo en el municipio de Planadas	28
Tabla 5. Condiciones del municipio y condiciones ideales para el cultivo de plátano	29
Tabla 6. Morfología para el plátano dominico hartón	31
Tabla 7. Características físicas típicas del pseudotallo de plátano	37
Tabla 8. Características químicas típicas del pseudotallo de plátano	38
Tabla 9. Características físicas y mecánicas típicas de la fibra obtenida a partir del pseudotallo de plátano	39
Tabla 10. Características químicas y térmicas típicas de la fibra obtenida a partir del pseudotallo de plátano	40
Tabla 11. Comparación de los métodos de extracción en cuanto a sus parámetros fisicoquímicos	46
Tabla 12. Comparación cualitativa de los métodos de extracción	48
Tabla 13. Matriz de selección de los métodos de extracción	49
Tabla 14. Concentración de colorante y sulfato de sodio para la fibra	57
Tabla 15. Tiempos de proceso de operación	59
Tabla 16. Ficha técnica - banda transportadora	62
Tabla 17. Ficha técnica - máquina decortadora	63
Tabla 18. Ficha técnica - tanque de lavado	64
Tabla 19. Ficha técnica - tanque de blanqueo	65
Tabla 20. Ficha técnica - tanque de tinturado	66
Tabla 21. Ficha técnica - calentador	67
Tabla 22. Ficha técnica - compresor	68
Tabla 23. Ficha técnica - bomba centrífuga	69
Tabla 24. Ficha técnica - secador de bandejas	70
Tabla 25. Ficha técnica - hiladora de anillos	71
Tabla 26. Servicios energéticos	71

Tabla 27. Consumo de servicios para el año 2020	72
Tabla 28. Seguridad social	74
Tabla 29. Provisiones	74
Tabla 30. Costos del proceso de producción de fibras a partir del pseudotallo de plátano	76

RESUMEN

El presente trabajo de grado evalúa la obtención de una fibra textil a partir del pseudotallo de plátano como una alternativa eco amigable, reduciendo el consumo hídrico que usualmente se requiere para una materia prima convencional como lo es el algodón y en el aprovechamiento de un residuo agroindustrial con propiedades físicas y químicas que pueden ser utilizadas en la industria textil, estableciendo principalmente las cualidades de esta materia prima como lo son los parámetros fisicoquímicos que pueden ser el contenido de celulosa (30 – 60%), contenido de lignina (15 – 20%), entre otros. Posteriormente una selección entre los métodos de extracción, el cual debe cumplir algunos parámetros cualitativos y cuantitativos para asegurar la calidad de la fibra y que las condiciones sean las más adecuadas en el proceso. Se establecerán los equipos de operación y sus respectivas capacidades, y por último se determinarán los costos relacionados a la extracción y manipulación de la fibra contando con una inversión inicial de 108.523.687COP con un aumento del 10% correspondiente a imprevistos (daños en las maquinas, deterioro de la materia prima, entre otros) para un total de 119.376.055COP.

Palabras claves: Pseudotallo de plátano, fibras vegetales, textiles, residuos agrícolas, consumo hídrico, métodos de extracción.

GLOSARIO

Área cosechada: es la superficie agrícola en la cual se deposita la semilla de cualquier cultivo, previa preparación del suelo y de la cual se lleva el seguimiento estadístico, es la variable más importante de las que genera la actividad agrícola. [1]

Área sembrada: es la superficie de la cual se obtuvo producción, esta variable se genera a partir de que inicia la recolección, la cual puede ser en una sola ocasión como en el caso del Maíz Grano o del Frijol; o en varios cortes como ocurre con los cultivos de recolección, tales como el Tomate Rojo, el Chile verde o la Calabacita, incluye la superficie en que presentó siniestro parcial. [2]

Decorticado: extirpar la corteza de una formación orgánica normal o patológica [3]

Desgomado: consiste en la remoción de impurezas y contaminantes que trae la fibra que dificulta el proceso de extracción, además de contribuir a la eliminación de gomas y la pectina de la fibra vegetal. [4]

Edafoclimáticas: se refiere a suelo y clima, por esto en el modelo se investiga para definir el grado de aptitud de los suelos para la agricultura. [5]

Enriado: el enriado es un proceso de fermentación para la destrucción del aglomerado existente entre el tallo y la capa fibrosa, por disolución de la materia aglutinante. [6]

Producción: es la superficie agrícola en la cual se deposita la semilla de cualquier cultivo, previa preparación del suelo y de la cual se lleva el seguimiento estadístico, es la variable más importante de las que genera la actividad agrícola. [1]

Raquis: es el nombre para la parte axial de numerosas estructuras compuestas en animales, hongos y vegetales. En botánica, nervio principal de una hoja; pecíolo común de una hoja compuesta. [7]

Rendimiento: es la superficie agrícola en la cual se deposita la semilla de cualquier cultivo, previa preparación del suelo y de la cual se lleva el seguimiento estadístico, es la variable más importante de las que genera la actividad agrícola. [1]

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la fibra de algodón es una de las materias primas más importantes dentro de la industria textil, debido a su versatilidad y amplia gama de uso en diferentes prendas, en donde aproximadamente el 78% de la producción textil está hecha a base de algodón y de fibras sintéticas (39% cada uno), 10% artificiales, 5% lana y 7% en otras clases de fibras [8].

El aumento creciente de la contaminación de fuentes hídricas generadas por la industria textil ha provocado la utilización de materias primas provenientes de procesos agrícolas que puedan servir como alternativa a las fibras convencionales. Según el instituto colombiano agropecuario (ICA), «se estima que en Colombia existen más de 400.000 ha destinadas al cultivo del plátano, debido al continuo aumento de la población y el consumo de este producto, se ha generado un incremento en la cantidad de residuos agrícolas (hojas, pseudotallo, raquis), los cuales no se están aprovechando por el agricultor, y estos son empleados como abono o en la mayoría de las ocasiones desechado por el campesino». [9]. Esto es causado principalmente por el desconocimiento de los diferentes procesos que se pueden implementar a los residuos, como el pseudotallo de plátano, el cual aplicando los debidos procesos de manipulación es considerado como una materia prima ecológica y con gran versatilidad de uso en esta industria. [10]. El presente proyecto de grado ilustra de manera detallada la implementación de este residuo agrícola generado en la región andina oriental como una alternativa amigable con el ambiente para la fabricación de fibras textiles, estableciendo los parámetros fisicoquímicos, manipulación de la materia prima, técnicas de extracción y un análisis de costos del proceso.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la obtención de una fibra textil a partir del pseudotallo de plátano de manera teórica.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar las propiedades físicas y químicas del pseudotallo de plátano como materia prima para la elaboración de fibras textiles.

Seleccionar el método de extracción de fibras partiendo del pseudotallo del plátano.

Establecer las especificaciones técnicas del proceso de obtención de la fibra a partir del pseudotallo de plátano de manera teórica.

Determinar los costos del proyecto partiendo de la revisión realizada.

1. GENERALIDADES Y CONTEXTO AGRICOLA

Para este capítulo, se empleará un análisis entre todos los departamentos de la región Andina oriental de Colombia, en la cual se describirán algunos aspectos importantes para el crecimiento óptimo de la planta de plátano como: el clima, el suelo y otros parámetros. Solo se van a tener en cuenta estos departamentos puesto que se quiere evaluar la producción de estos y el coste de distribución de la materia prima hacia la capital en donde se estaría realizando este proyecto.

La información para elaborar este capítulo, se recopiló de diversas bases de datos, como por ejemplo: el DANE, Ministerio de Agricultura, entre otras. En las cuales se usaron palabras claves como: clima, suelos, parámetros y producción, para poder identificar las propiedades más idóneas a la hora de hacer la segmentación correspondiente para poder trabajar sobre ese lugar específico.

1.1. Contexto geográfico de la región andina oriental

«La región andina oriental es uno de los territorios más extensos en cuanto a las 6 regiones de Colombia, debido a que abarca desde la cordillera central, pasando por el valle del río Magdalena y la cordillera oriental, cabe resaltar que gran parte de estas zonas son adecuadas para el cultivo de diversas clases de frutas y verduras entre ellos la producción y distribución de plátano a nivel nacional e internacional. Esta región está compuesta por 6 Departamentos, los cuales son Santander, Norte de Santander, Boyacá, Cundinamarca, Tolima y Huila». [11].

1.2. Clima

«En cuanto a las características físicas que posee esta región se resaltan las condiciones climáticas, ya que al estar en la zona central de todo el país se puede encontrar una gran variedad de climas, permitiendo así tener una mejor integración entre la vegetación, el tipo de relieve y las variables meteorológicas que se pueden presentar en cada uno de los departamentos que integran esta región». [12]. “El régimen de humedad varía de acuerdo con los diferentes pisos térmicos, siendo generalmente semiárido en los terrenos bajos, semihúmedo en los medios y húmedo en los altos” [13]. Debido a la gran

variedad de climas que puede presentar esta región en la tabla 1 se ilustran algunos climas que se presentan en los departamentos:

Tabla 1.

Climas de los principales municipios productores de plátano

Departamento	Ciudad	Clima
Cundinamarca	Yacopí	Templado
Santander	Puerto Wilches	Cálido húmedo
Norte de Santander	Sardinata	Cálido húmedo
Boyacá	Moniquirá	Templado
Tolima	Planadas	Templado
Huila	Pitalito	Templado

Nota. Esta tabla muestra el clima de seis municipios de la región Andina Oriental. Tomado de: MinVivienda, Mapa de clasificación del clima en Colombia según la temperatura y la humedad relativa y listado de municipios.

<https://cutt.ly/GkvxQ9K>

1.3. Suelo

«Las características de cada suelo dependen de varios factores. Los más importantes son el tipo de roca que los originó, su antigüedad, el relieve, el clima, la vegetación y los animales que viven en él, además de las modificaciones causadas por la actividad humana. Los suelos no tienen una estructura uniforme: están constituidos por capas que se diferencian por el tamaño y composición de las partículas. La capa superficial es más compacta, se seca con rapidez y está poblada por pocos organismos, especialmente lombrices. Por debajo de ella, está el humus, donde se acumulan microorganismos y nutrientes». [14]

“En cuanto a la dinámica natural entre el suelo y la vegetación se presentan procesos como pérdidas de hábitats, fertilidad de suelos y fenómenos de fragmentación” [15]. «Según el Ministerio del Medio Ambiente más del 80% de los suelos están siendo afectados por erosión severa, provocando una baja sostenibilidad de los recursos

productivos de la región, debido a esto existen diversos factores que afectan en esta problemática como es el uso excesivo de suelo sin embargo al ser una región tan amplia cada zona específica reporta diversas causas, por lo tanto, es necesario implementar diferentes prácticas de uso de suelo para cada zona». [16]

1.4. Agrícola

Tabla 2.

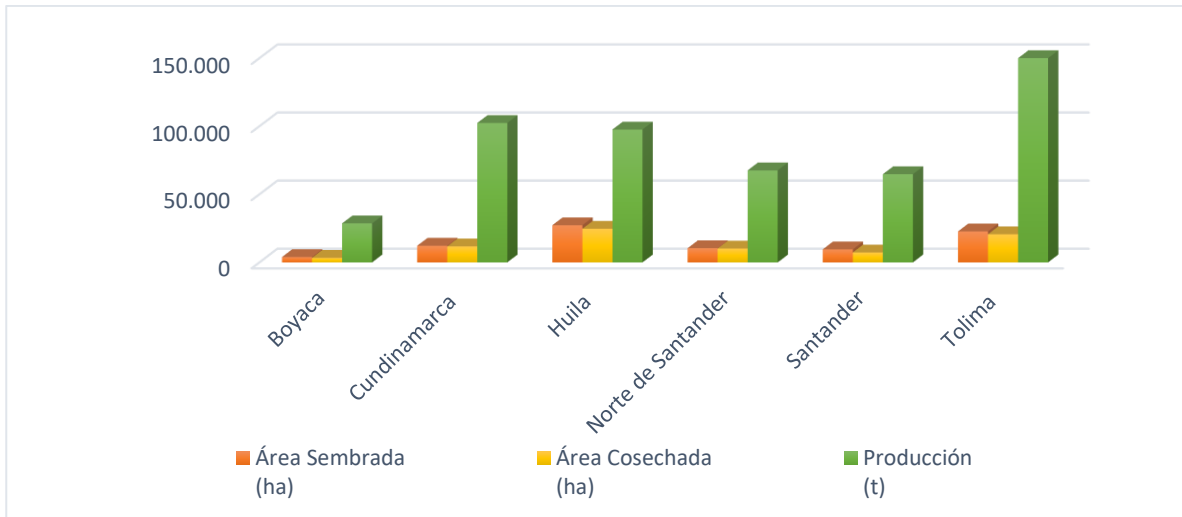
Datos por departamento con base en el área cosechada

Departamento	Área sembrada (ha)	Área cosechada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t/ha)
Boyacá	3.901	3.339	28.654	8,58
Cundinamarca	12.234	11.747	102.350	8,71
Huila	27.288	24.699	97.573	3,95
Norte de Santander	10.417	10.201	67.552	6,62
Santander	9.572	7.269	64.741	8,91
Tolima	22.726	20.632	150.106	7,28
Subtotal	86.138	77.887	510.979	6,56

Nota. Esta tabla muestra el área cosechada, área sembrada, producción de plátano y rendimiento de los 6 departamentos de la región Andina Oriental. Tomado de: MinAgricultura, Base Agrícola EVA 2007-2019 (P). <https://cutt.ly/GkvcOrv>

Figura 1.

Datos por departamento con base en el área sembrada, cosechada y producción

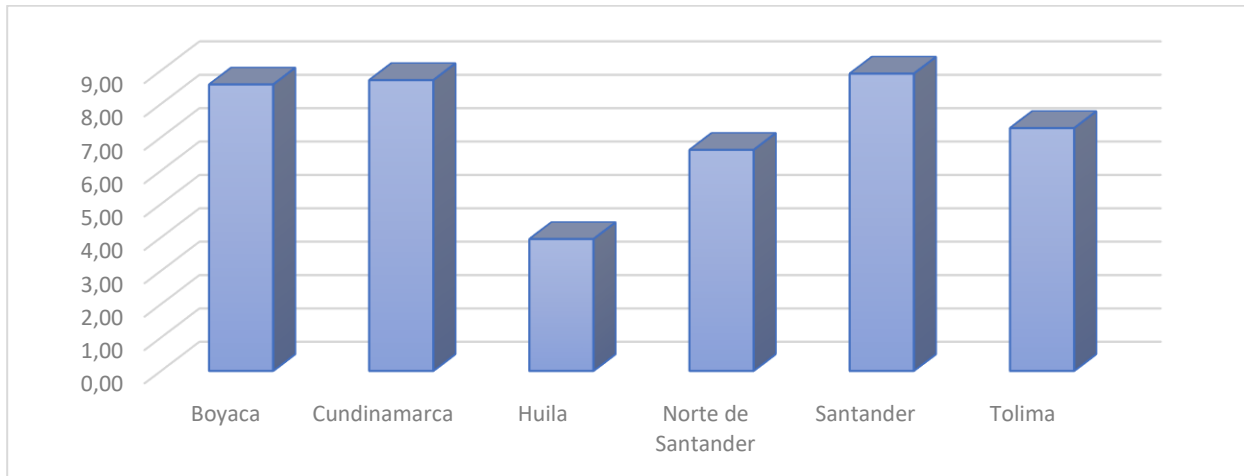


Nota. La figura representa el área sembrada, área cosechada y producción de plátano por los 6 departamentos de la región Andina Oriental. Tomado de: MinAgricultura, Base Agrícola EVA 2007-2019 (P). <https://cutt.ly/GkvcOrv>

En la figura 1 se evidencian los resultados entre área sembrada vs área cosechada vs producción para cada uno de los departamentos mostrados. La gráfica muestra que Huila tiene la mayor área sembrada y cosechada, pero Tolima es el departamento que mayor producción de plátano tiene. Por otro lado, Boyacá por su clima no se caracteriza por el cultivo de este tipo de producto.

Figura 2.

Rendimiento por departamento con base en el área cosechada



Nota. La figura representa el rendimiento de los 6 departamentos de la región Andina Oriental. Tomado de: MinAgricultura, Base Agrícola EVA 2007-2019 (P). <https://cutt.ly/GkvcOrv>

En la figura 2 se evidencia que el departamento de Huila pese a tener la mayor área sembrada y cosechada no tiene un rendimiento alto (3,95) por lo tanto, da a entender que el aprovechamiento de estas tierras es bajo. El departamento de Santander es el de mayor rendimiento en el uso de sus tierras y aprovechamiento de estas. También se evidencia el uso rentable de las tierras en el departamento de Boyacá, pese a tener una baja producción tienen un alto rendimiento.

1.5. Selección del municipio de investigación

Para seleccionar el municipio de estudio, se deben tener en cuenta todos los datos suministrados anteriormente y se espera seleccionar una región, que cumpla con las mejores condiciones de humedad, clima, suelo, entre otras.

La tabla 3 presentada a continuación, detalla información sobre los dos municipios con mayor área cosechada para cada uno de los departamentos seleccionados en esta región.

Tabla 3.

Datos recolectados por 2 municipios de cada departamento con base en su área cosechada

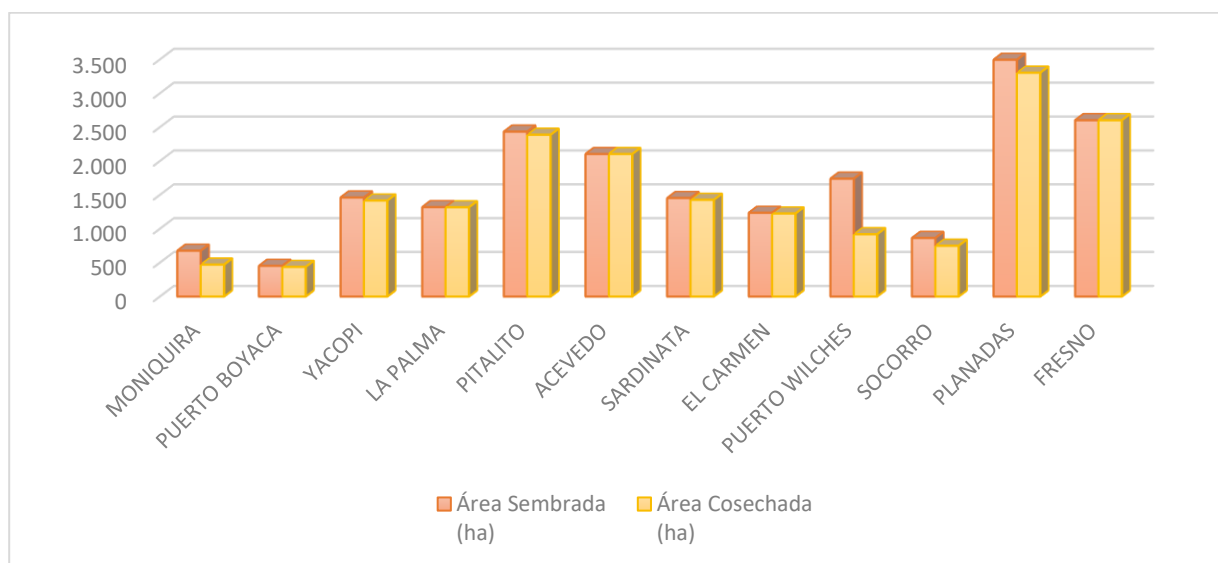
Departamento	Municipio	Área sembrada (ha)	Área cosechada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t/ha)
Boyacá	Moniquirá	676	471	5.268	11,18
	Puerto Boyacá	454	438	4.009	9,16
Cundinamarca	Yacopí	1.462	1.417	15.671	11,06
	La Palma	1.320	1.318	13.180	10,00
Huila	Pitalito	2.435	2.389	7.099	2,97
	Acevedo	2.104	2.104	8.436	4,01
Norte de Santander	Sardinata	1.454	1.428	7.140	5,00
	El Carmen	1.236	1.226	5.050	4,12
Santander	Puerto Wilches	1.740	920	4.140	4,50
	Socorro	865	750	9.375	12,50
	Planadas	3.496	3.305	23.135	7,00
Tolima	Fresno	2.603	2.603	7.809	3,00
	Subtotal	19.843	18.368	110.312	6,01

Nota. Esta tabla muestra el área cosechada, área sembrada, producción de plátano y rendimiento de 2 municipios por cada uno de los 6 departamentos de la región Andina Oriental. Tomado de: MinAgricultura, Base Agrícola EVA 2007-2019 (P).

<https://cutt.ly/GkvcOrv>

Figura 3.

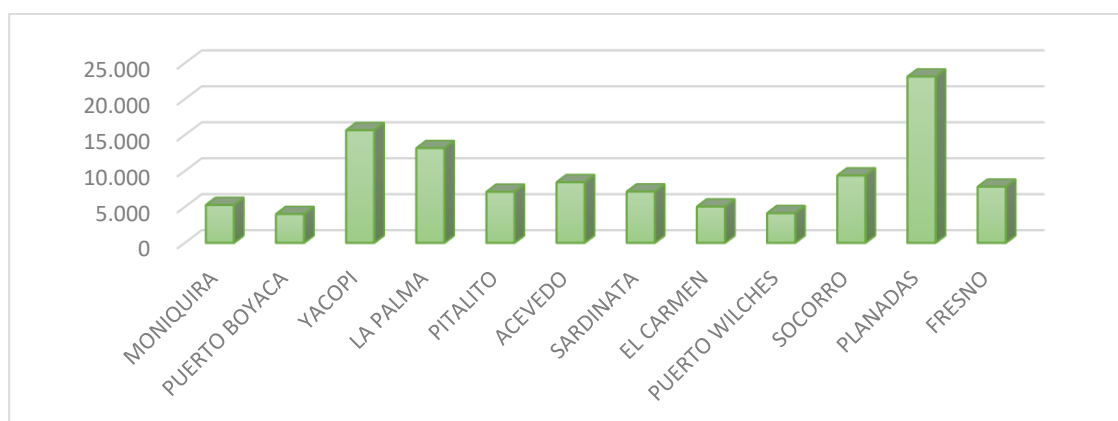
Datos recolectados por 2 municipios de cada departamento con base en su área



Nota. La figura representa el área sembrada y área cosechada de plátano de 2 municipios por cada uno de los 6 departamentos de la región Andina Oriental. Tomado de: MinAgricultura, Base Agrícola EVA 2007-2019 (P). <https://cutt.ly/GkvcOrv>

Figura 4.

Datos recolectados por 2 municipios de cada departamento con base en su producción.

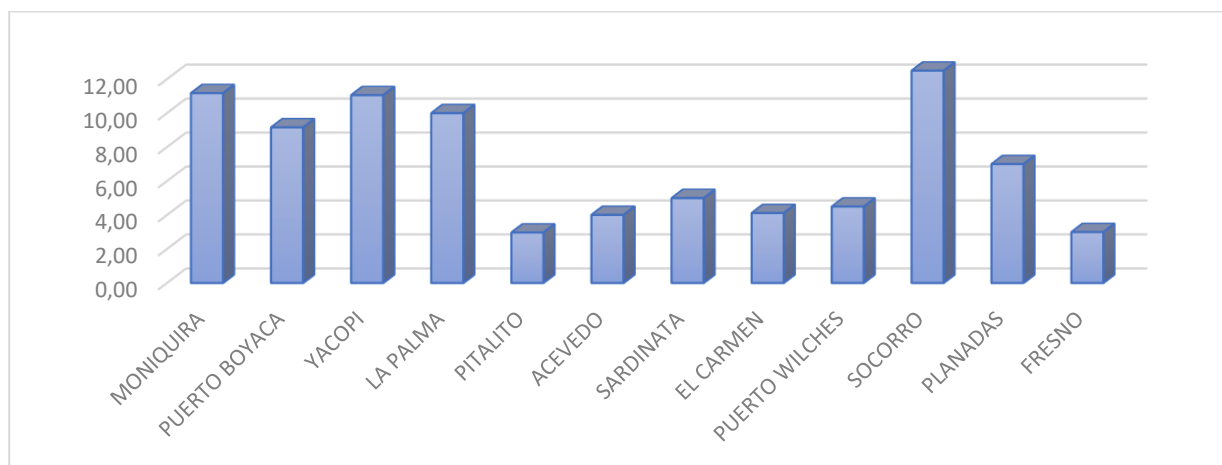


Nota. La figura representa la producción de plátano de 2 municipios por cada uno de los 6 departamentos de la región Andina Oriental. Tomado de: MinAgricultura, Base Agrícola EVA 2007-2019 (P). <https://cutt.ly/GkvcOrv>

En la figura 3 se evidencia que el municipio de Planadas ubicado en el departamento de Tolima es el de mayor área sembrada, área cosechada y producción. Siguiendo el orden de los factores presentados en la tabla 3, Moniquirá y Puerto Boyacá, ubicados en el departamento de Boyacá son los de menor área sembrada y cosechada. Por último, en el municipio de Socorro existe una mayor producción pese a tener una baja área cosechada comparándola con el municipio de Puerto Wilches tiene una mayor área de cosecha, pero una baja producción de este.

Figura 5.

Rendimiento por 2 municipios de cada departamento con base en su área cosechada



Nota. La figura representa la producción de plátano de 2 municipios por cada uno de los 6 departamentos de la región Andina Oriental. Tomado de: MinAgricultura, Base Agrícola EVA 2007-2019 (P). <https://cutt.ly/GkvcOrv>

Como se mencionó anteriormente con respecto al municipio de Socorro se evidencia que es el municipio con mayor rendimiento (12,50) por encima de todos los seleccionados. Por otro lado, la gráfica muestra a Pitalito con el menor rendimiento posible entre los municipios más representativos de cada departamento.

Teniendo en cuenta la información de las gráficas y tablas descritas anteriormente, se selecciona el municipio de Planadas como lugar de estudio para este proyecto. Debido a que en esta región se presentan óptimas condiciones edafoclimáticas (**ver tabla 5**) y un gran uso de suelo para la producción de plátano (**ver tabla 3**) se obtendrán mayores

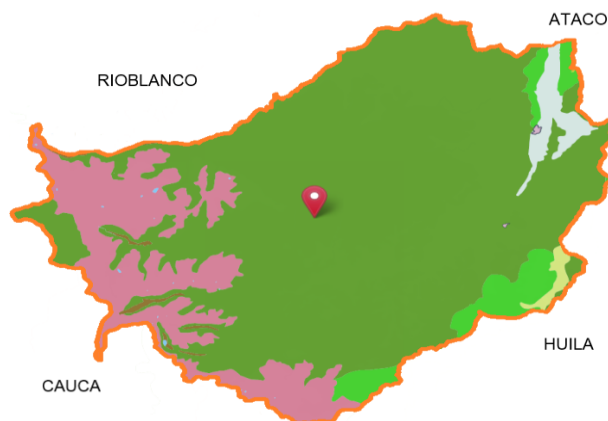
cantidades de residuos agrícolas (pseudotallo y hojas) que pueden ser aprovechadas para otro proceso.

1.6. Planadas

«El municipio de planadas está ubicado al sur oriente del departamento del Tolima, en las estribaciones de la cordillera central de los Andes colombianos. Tiene una extensión total de 1646 Km², limita al Norte con los municipios de Ataco y Río Blanco, al Occidente con el departamento del Cauca, al sur y Oriente con el departamento del Huila. Planadas posee una temperatura media de 20°C y con una altitud aproximada de 1.450 m.s.n.m. Este municipio cuenta con una gran oferta ambiental que lo hace ideal para implementar diferentes sistemas de producción entre ellos el cultivo del plátano por su alta extensión en zona forestal y su extensión de cultivos permanentes para clima medio, como se detalla en la tabla 4. Se puede observar el uso principal del suelo dentro de este municipio y los tipos de cultivos que se pueden encontrar según el clima que se presente en cada zona el cual se ve reflejado en la Figura 6» [17]

Figura 6.









Mapa Agrologico de Planadas, Tolima.



Nota. La figura representa el uso del suelo en todo el municipio de Planadas. Tomado de: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). <https://cutt.ly/WkvmxNk>

Tabla 4.

Uso principal del suelo en el municipio de planadas

Color	Vocacion	Uso principal
	Conservacion de suelos	Conservacion de Recursos Hidrobiologicos
	Zonas urbanas	Zonas urbanas
	Forestal	Proteccion - produccion
	Forestal	Forestal de proteccion
	Agroforestal	Agrosilvicola con cultivos transitorios
	Agricola	Cultivos permanentes semi intensivos de clima medio
	Agricola	Cultivos transitorios semi intensivos de clima medio
	Cuerpo de agua	Cuerpo de agua

Nota. Esta tabla representa los diferentes usos de suelo en el Municipio de Planadas. Tomado de: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

<https://cutt.ly/WkvmxNk>

1.6.1. Caracterización agrícola de la producción de plátano en el municipio de Planadas

«El cultivo de la planta de plátano se ha extendido entre las zonas tropicales y/o cálidas que comprendan temperaturas entre 26-27 °C, también es debido resaltar que a una temperatura de 18-24 °C el crecimiento será óptimo, se producirán daños a temperaturas menores a 15 °C y superiores a 28 °C. Otro factor importante para resaltar es la altitud la cual influye directamente en la duración del periodo vegetativo, este deberá comprender un rango desde los 1000 - 2000 msnm. La precipitación afecta directamente las raíces puesto que estas son superficiales así que necesitan gran cantidad de agua, pero al momento de alguna inundación también se verán afectadas, lo recomendado para obtener una buena producción es tener una precipitación de 120 a 180 mm de lluvia. La luminosidad también es un factor importante debido a que esta afecta el desarrollo de las yemas o brotes laterales, por lo que cortas distancias de siembra afectan el crecimiento y retarda el ciclo vegetativo». [18] El cultivo de plátano en este municipio cuenta con buenas condiciones ambientales para su producción, como se detalla en la tabla 5, donde se visualizan las mejores condiciones para el cultivo de plátano.

Tabla 5.*Condiciones del municipio y condiciones ideales para el cultivo de plátano*

Parámetros climáticos	Condiciones climáticas para el cultivo de plátano		Condiciones del municipio de planadas
	Condiciones adecuadas	Condiciones inadecuadas	
Temperatura (°C)	18-24	<15 o >28	20,7
Humedad relativa	70%	<69% o > 75%	66%-78%
Precipitaciones (mm)	120-180 mensual	<80 o >250 mensual	1780 mm
Horas luz	4,5,6	<3 o> 8	6
m.s.n.m.	1.000-2.000	<800 o > 2.000	1400
Suelo (textura)	Media, ligeramente pesada	Arcillosa, arenosa, limosa	Franco arenoso

Nota. Esta tabla muestra los requerimientos edafoclimáticos del cultivo de plátano dominico hartón. Tomado de: Universidad de La Salle. El plátano, una alternativa de diversificación de cultivos y generación de nuevos ingresos en pro del aporte a la seguridad alimentaria del municipio de Planadas Tolima. <https://cutt.ly/Mkv9jic>

Como se logra evidenciar las condiciones que presenta el municipio están dentro de los rangos permitidos para el cultivo adecuado de plátano, destinando mayores áreas de siembra y generando mayores ingresos a los campesinos y sembradores en la región. «Si se comparan los parámetros evaluados con los de otras regiones se debe realizar con base a los principales centros plataneros como la región pacífica en donde su temperatura esta entre los 26,6 °C a 32,2 °C, con un porcentaje de humedad relativa esta entre el 82% - 89%, con una precipitación entre los 2500 mm a 8000 mm, las cuales varían de acuerdo a la ubicación en la zona y la época del año (Norte, central o sur) » [19], en cuanto a su suelo está caracterizada por ser fértil y con bajo contenido de ácido [20].

“Para a la región de la Orinoquia esta cuenta con una variación de temperatura entre los 26,2°C - 27,6 °C alcanzando una temperatura máxima durante el mes de febrero de 29,28 °C, con un índice de humedad que varía entre 46,6% - 80,6%, una precipitación anual entre 2137 mm a 2507 mm” [21] , con un tipo de suelo de baja fertilidad y alta resistencia [20], cabe destacar que tanto las condiciones edafoclimáticas de la región pacífica y Orinoquía pueden variar según el departamento, municipio y tipo de cultivo que se esté estudiando, de acuerdo con lo establecido anteriormente, “la región andina cuenta con las mejores condiciones para realizar el proyecto además de ser la región que destina más hectáreas para este cultivo (234 ha) aportando el 59% de la producción nacional de plátano” [22].

2. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

El plátano es una planta esencialmente del trópico húmedo, originada en el suroeste asiático (selvas tropicales de la India y la península Malaya), perteneciente a la familia musáceas.

“En el municipio de Planadas - Tolima se cultiva el plátano dominico hartón (*musa AAB simmonds*), el cual es procedente del cruzamiento de la *Musa balbisana* y la *Musa acuminata*, este tipo de planta tiene mejores adaptaciones en las zonas donde se presenten climas cálidos” [4], “además de poderse cultivar desde el nivel del mar hasta los 1500 m.s.n.m., la duración del ciclo vegetativo va a depender de la altitud a la cual este la siembra, las cuales pueden ser de 10 a 12 meses para los 20msnm y pasa de los 16 a 18 meses a los 1350 msnm” [5].

Cabe resaltar que las condiciones edafoclimáticas son parámetros relevantes para el crecimiento y desarrollo del cultivo de plátano, por ende se deben tener en cuenta las condiciones ilustradas en la tabla 5, además de la morfología que presenta el plátano dominico ilustrada en la tabla 6.

Tabla 6.

Morfología para el plátano dominico hartón

Parte	Descripción
Hojas	Lisas, tiernas, tiene el ápice trunco y la base redonda, verdes por el haz y más claras por el envés, los márgenes lisos y las nervaduras pinadas. Hasta alcanzar 2 m de largo y hasta 90 cm de ancho
Racimo	Conjunto de frutos que aparecen a lo largo del raquis.
Rizoma o Cormo	Es el tallo verdadero de la planta y se encuentra bajo tierra.
Hijuelo	Es un brote lateral que se desarrolla desde el rizoma, y generalmente surge muy cerca de la planta progenitora.
Raíz	Raíces de tipo fibroso, con abundantes raíces secundarias (el numero variara de acuerdo con el tiempo de la planta).

Tabla 6.

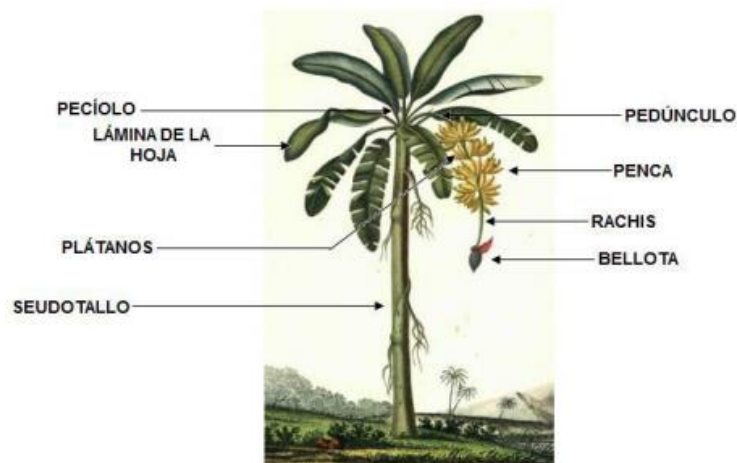
Continuación

Parte	Descripción
Pseudotallo	Conjunto apretado de vainas foliares superpuestas
Inflorescencia	Estructura compleja que contiene las flores que se desarrollarán en frutos.

Nota. Esta tabla muestra una breve descripción física de la planta de plátano. Tomado de: Universidad de La Salle. El plátano, una alternativa de diversificación de cultivos y generación de nuevos ingresos en pro del aporte a la seguridad alimentaria del municipio de Planadas Tolima. <https://cutt.ly/Mkvm9jc>

Figura 7.

Morfología de la planta de pseudotallo de plátano



Nota. La figura representa cada una de las partes de la planta de plátano. Blasco, G, Gómez, J. Tomado de: Universidad Veracruzana. Propiedades funcionales del plátano. <https://cutt.ly/hkvQGZ7>

2.1. Parámetros fisicoquímicos

Para realizar el análisis de los parámetros químicos del pseudotallo y de la fibra obtenida, se deben tener en cuenta algunos de estos con el fin de establecer si se cumplen o no con las condiciones estipuladas para ser usada como materia prima en la industria textil.

2.1.1. Contenido de Humedad

“Se debe determinar el grado de humedad con el fin de establecer si el pseudotallo cumple con la cantidad necesaria para la elaboración de la fibra textil, esta es calculada mediante la ecuación 1” [23] . “Para determinar el contenido de humedad se utiliza un método basado en la norma ASTM D 1348-61, está basada en la valoración de Karl-Fischer el cual establece los parámetros y la metodología para estimar el contenido de humedad en la muestra a analizar ”. [24]

Ecuación 1.

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{\text{Peso residuo humedo (g)} - \text{peso residuo seco (g)}}{\text{peso residuo seco (g)}} * 100$$

2.1.2. Contenido y eliminación de extraíbles

«Se debe eliminar el contenido de extraíbles para evitar que estos componentes puedan representar interferencias en las cantidades de lignocelulosa que se obtengan, para obtener el contenido de extraíbles se debe tener en cuenta la norma TAPPI-204 cm-97, la cual utiliza un dedal de extracción en un aparato de extracción Soxhlet. Se pueden usar tres diferentes solventes, la selección de estos depende de los requerimientos de cada laboratorio». [25] “Se utiliza la ecuación 2 para estimar el porcentaje de la muestra, la cual está basada en la pérdida de peso antes y después de la extracción y el secado”. [23]

Ecuación 2.

$$\text{Extraíbles (\%)} = \frac{(PM_O - PM_F)}{PM_O} * 100$$

PM_O = Peso antes de la extracción y secado.

PM_F = Peso después de la extracción y secado.

2.1.3. Determinación de Cenizas

“El contenido de cenizas se utiliza para establecer la cantidad de sales minerales y la materia inorgánica de las fibras, el procedimiento para establecer este parámetro se

basa en la norma TAPPI 211 om-80 y el porcentaje de este es determinado mediante la ecuación 3". [24]

Ecuación 3.

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{Ax100}{B}$$

Donde:

A= Peso de cenizas (g)

B= Peso de la muestra seca (g)

2.1.4. Contenido de Lignina

«Para establecer la cantidad de lignina presente se debe tener en cuenta la norma TAPPI T-222 om-98 (método Klason), la cual para su determinación se lleva a cabo un ataque ácido, cuantificando el residuo que queda después de la hidrólisis. La ecuación 4 muestra la forma de obtener el contenido de lignina basándose en el peso del residuo antes y después de realizar una hidrólisis ácida a la muestra». [23]

Ecuación 4.

$$\text{Lignina}(\%) = \frac{\text{Peso de lignina contenida en el residuo}}{\text{Peso residuo libre de extraíbles (g)}} * 100$$

2.1.5. Contenido de celulosa

«El análisis de la celulosa se utiliza con el fin de determinar el porcentaje de celulosa presente en la muestra del pseudotallo de plátano, para estimar el porcentaje por medio de la holocelulosa y con base en la norma TAPPI T 212 (solubilidad de 1% de hidróxido de sodio), midiendo el peso antes del tratamiento (PM_o) y después del tratamiento (PM_f)». [23]

Ecuación 5.

$$\text{Celulosa}(\%) = \frac{PM_f}{PM_o} * 100$$

2.1.6. Contenido de Holocelulosa

«La cantidad de holocelulosa, se debe aislar de los otros compuestos para determinar porcentaje presente usando el método de las ASTM D-1104 en una muestra libre de extraíbles, el clorito de sodio reacciona con el ácido acético para formar ácido cloroso, que se descompone para liberar dióxido de cloro y algunos subproductos, el dióxido de cloro oxida la lignina para su conversión en productos solubles en agua, que se eliminan mediante el filtrado y lavado. La ecuación 6, en donde establece el peso de la muestra antes del tratamiento (PM_o) y después del tratamiento (PM_f) ». [23]

Ecuación 6.

$$\text{Holocelulosa}(\%) = \frac{PM_f}{PM_o} * 100$$

2.1.7. Contenido de Hemicelulosa

«Para determinar el contenido de hemicelulosa hasta el momento no hay un método estandarizado que establezca de manera confiable este porcentaje, esto es debido a que la hemicelulosa forma junto a la lignina un complejo de uniones químicas que son difíciles de aislar sin causar cambios significativos en la materia prima, sin embargo, es posible determinar el porcentaje a través de la ecuación 7». [23]

Ecuación 7.

$$\text{Hemicelulosa}(\%) = \text{Holocelulosa}(\%) - \text{Celulosa}(\%).$$

Para realizar el análisis de los parámetros físicos del pseudotallo y de la fibra obtenida, se deben tener en cuenta algunas normas técnicas como lo son:

2.1.8. Diámetro de la fibra

“Para la realización de esta prueba se necesita acondicionar las fibras del pseudotallo, sobre una lámina de vidrio, la cual se lleva a un estereoscopio electrónico. Se toman las micrografías de las fibras y mediante un software denominado Lancer Image Focus, que el mismo instrumento posee, se logra medir el diámetro de las fibras”. [26]

2.1.9. Ensayo de flexión

“Este ensayo se realiza mediante la norma ASTM D7264/D7264M-07. Este método determina la rigidez a la flexión y propiedades de resistencia de un compuesto de matriz polimérica, la cual puede ser calculada mediante la ecuación 8. Las propiedades a flexión pueden variar dependiendo de la superficie de la probeta, pues ningún laminado es perfectamente simétrico”. [10]

Ecuación 8.

$$\sigma = \frac{3PL}{2bf^2}$$

Donde:

P: Fuerza aplicada

L: Longitud de la probeta

b: Ancho de la probeta

f: Espesor de la probeta

2.1.10. Ensayo de compresión

«El ensayo de compresión se realizó bajo la norma ASTM D3410/D3410M – 03. Este método de prueba determina las propiedades de compresión en el plano de los materiales compuestos de matriz polimérica reforzados con fibras de alto módulo.

Este procedimiento de prueba introduce la fuerza de compresión en la muestra a través del corte en las interfaces de agarre de cuña». [10]

2.1.11. Ensayo de tracción

«Consiste en someter una probeta normalizada a esfuerzos progresivos y crecientes de tracción en la dirección de su eje hasta que llegue a la deformación y a la rotura correspondiente. Este ensayo se puede calcular mediante la ecuación 9, en el que se deben tener en cuenta variables como los son la fuerza aplicada al material y el área en donde es aplicada ». [27].

Ecuación 9

$$\sigma_t = \frac{F}{A}$$

Donde:

F: Fuerza aplicada

A: Área donde la fuerza es aplicada

2.2. Caracterización del pseudotallo de plátano

2.2.1. Características físicas

Se deben tener en cuenta algunos aspectos físicos los cuales son determinantes para poder extraer una gran cantidad de fibra del pseudotallo, algunos de estos parámetros se pueden evidenciar en la tabla 7.

Tabla 7.

Características físicas típicas del pseudotallo de plátano

Parámetro	Rango del pseudotallo
Altura	2-5 m
Diámetro	40-60 cm
Peso (Aproximado)	21,5 - 40 kg

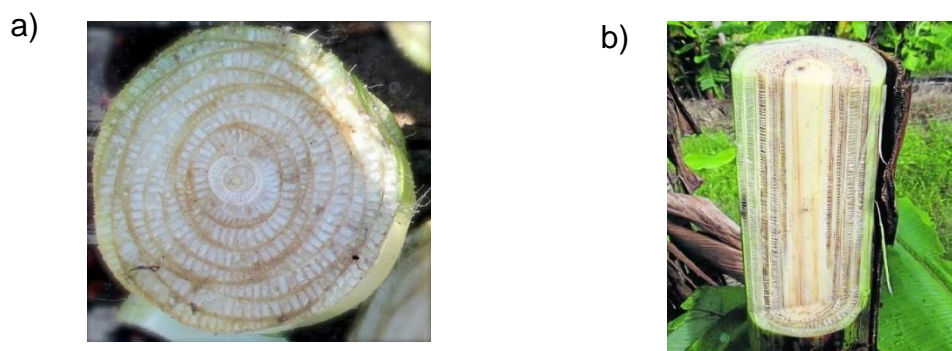
Nota. Esta tabla muestra las características físicas típicas del pseudotallo de plátano.

Tomado de: <https://cutt.ly/skvWGcT>

«El pseudotallo originalmente presenta un color blanco, tornándose verde al exponerse a luz solar, este tiene una forma cilíndrica, rígida y recta, dentro de sus propiedades es muy parecido al tallo verdadero (rizoma o cormo) con la diferencial de que estructuralmente tienen menor espesor en su corteza, además de que el pseudotallo está rodeado por vainas foliares otorgándoles la capacidad de almacenar grandes contenidos de agua». [28]

Figura 8.

Pseudotallo de plátano



Nota. La figura detalla cómo es el pseudotallo de plátano desde diferentes ángulos. Tomado de: La Unión. Envases hechos de plantas de plátano, una opción muy atractiva. <https://cutt.ly/VkvWZth>

2.2.2. Características químicas

Para hablar de las características químicas del pseudotallo de plátano se deben tener en cuenta algunos aspectos como el contenido de humedad, celulosa, hemicelulosa, lignina y cenizas, los cuales son factores importantes a la hora de determinar si se cumplen con las cantidades necesarias y requeridas para la obtención de una fibra textil.

Tabla 8.

Características químicas típicas del pseudotallo de plátano

Parámetro	Pseudotallo de plátano (%)	Referencia
Humedad	15,86 - 96,7	[29] [30]
Celulosa	30 – 60	[29] [31]
Hemicelulosa	15 – 30	[29] [31]
Lignina	15 – 20	[29] [31]
Cenizas	10,7	[29]

Nota. Esta tabla muestra los parámetros químicos típicos que posee el pseudotallo de plátano. La elaboración de la tabla se hizo con las referencias presentes en esta.

2.3. Caracterización de la fibra obtenida a partir del pseudotallo de plátano

2.3.1. Características físicas y mecánicas

“Su apariencia es similar a la fibra natural del bambú y fibra de ramio, pero su finura y flexibilidad es mejor que cualquier otra fibra. La longitud es relativa al uso que se le vaya a dar. Así mismo posee características de alta resistencia, buen brillo, peso ligero y gran absorción a la humedad y no se degrada fácilmente”. [8]

Tabla 9.

Características físicas y mecánicas típicas de la fibra obtenida a partir del pseudotallo de plátano

Parámetro	Fibra de plátano	Referencia
Elasticidad	19,8 N/tex	[32]
Resistencia a la tracción	0,47N/tex o 72MPa	[26] [32]
Deformación de ruptura	1,9%	[32]
Longitud	1cm – 3m	[26]
Diámetro	0,18mm – 0,20mm	[26]
Densidad	0,298 ^g / _{cm³}	[26]
Elongación	5.9%	[26]

Nota. Esta tabla muestra algunas características físicas y mecánicas de la fibra. La elaboración de la tabla fue suministrada por las fuentes bibliográficas presentes en esta.

«Las fibras del pseudotallo tienen una resistencia a la tracción similar a la fibra de jute (0,31 N/tex) y el Cñamo (0,47 N/tex). Algunas propiedades mecánicas como lo son la dureza, resistencia a las deformaciones, elasticidad entre otras mejoran las características del compuesto final. Lo cual indica que este tipo de fibras pueden tener diversas aplicaciones en el refuerzo y/o fabricación de compuestos». [32]

2.3.2. Características químicas y térmicas

Algunas de las propiedades químicas y sustancias que componen las fibras son la celulosa, hemicelulosa y lignina, las cuales le atribuyen características de fácil biodegradabilidad, absorción y liberación de humedad.

Tabla 10.

Características químicas y térmicas típicas de la fibra obtenida a partir del pseudotallo de plátano

Parámetro	Fibra de plátano	Referencias
Celulosa	50 – 75%	[26] [32]
Hemicelulosa	6 - 30%	[26] [32]
Lignina	12 – 18%	[32]
Pectinas	3 – 5%	[32]
Materiales solubles en agua	3 – 5%	[32]
Ceras	3 – 5%	[32]
Cenizas	1 – 8%	[26] [32]
Capacidad calorífica volumétrica	$0,67 \times 10^6 \frac{J}{K * m^3}$	[32]
Difusividad	$0,82 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}$	[32]
Conductividad térmica	$0,55 \frac{W}{m * K}$	[32]

Nota. Esta tabla muestra algunas características químicas y térmicas de la fibra. La elaboración de la tabla fue suministrada por las fuentes bibliográficas presentes en esta.

«El contenido de celulosa para la fibra de plátano es comparable con el de las fibras de madera, convirtiendo así este tipo de fibra en una posible alternativa para la fabricación de distintos materiales. La cantidad de lignina que está presente en la fibra le atribuye resistencia a la intemperie y protección UV. También, este tipo de fibra posee una conductividad térmica que es comparable con la de algunos

materiales poliméricos como el polietileno de alta densidad (HDPE), una difusividad térmica, la cual es cercana al polietileno de baja densidad (LDPE). Juntando las características mencionadas anteriormente» [33], la fibra de plátano se puede usar para la fabricación de aislantes térmicos con posibilidad de sustituir los materiales tradicionales. [32]

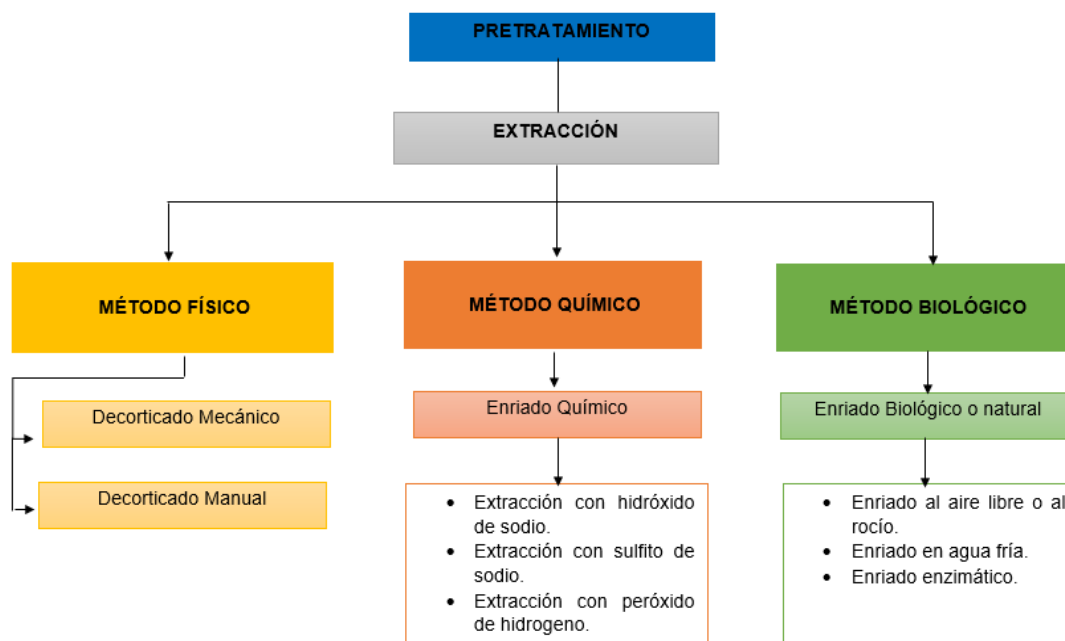
3. MÉTODO DE EXTRACCIÓN DE LA FIBRA

Para establecer los métodos de extracción de la fibra del pseudotallo, se debe realizar un pretratamiento a la materia prima con el fin de poder obtener un mayor rendimiento a la hora de obtener las fibras deseadas.

«El pretratamiento consiste en realizar una limpieza al pseudotallo retirando todo residuo o algún tipo de impureza que este pueda contener, además de verificar que la materia prima se encuentre en buenas condiciones (se recomienda realizar los cortes de pseudotallo e inmediatamente realizar el proceso de extracción de la fibra para evitar que este se oxide al estar expuesto al ambiente), posteriormente se debe retirar el contenido de humedad que contienen las vainas foliares mediante prensas, luego se debe secar la materia prima a temperatura ambiente o en un horno a 80 °C por 45 min». [18]. En la figura 9 se detalla de manera ilustrada la clasificación de los métodos de extracción.

Figura 9.

Clasificación de los métodos de extracción de la fibra del pseudotallo de plátano.



Nota. En la figura se establece de manera general la clasificación y la subclasificación de los métodos de extracción.

Para la obtención de la fibra a partir del pseudotallo de plátano existen diferentes métodos que se pueden clasificar según el procedimiento, estos pueden ser biológicos, químicos o físicos.

3.1. Método biológico

3.1.1. Enriado

“Consiste en extraer las fibras del tallo sumergiéndolo en agua, este puede utilizar la acción de los microorganismos (hongos, bacterias) para descomponer los tejidos celulares que rodean las fibras, facilitando así la extracción”. [32]

«El enriado puede llevarse a cabo de forma natural, por la acción de microorganismos o también de forma artificial adicionando algunas sustancias químicas, ya sean ácidos o bases que permitan una mejor separación de las fibras sin afectar su calidad. El proceso ocurre cuando los hongos y las bacterias que se hallan añadido al proceso de descomposición se expandan a lo largo de la materia prima y las enzimas que generan empiecen a degradar los componentes no celulósicos, permitiendo que se pueda extraer la fibra de manera sencilla». [32]

3.1.1.a. Enriado al aire libre o al rocío. «Este tipo de método es desarrollado a la intemperie, el pseudotallo es cortado y dejado en el campo para su descomposición por la acción de hongos y bacterias. Al utilizar este método para la obtención de fibras estas pueden sufrir muchas variaciones en cuanto a sus propiedades mecánicas. El tiempo empleado para este método tarda entre 21 a 42 días. Debido a que este método es desarrollado en el suelo, las fibras que resultan de este proceso son de baja calidad, aunque emplea un bajo costo comparado con otros métodos de extracción». [32]

3.1.1.b. Enriado en agua fría. “Consiste en sumergir los tallos en corrientes de agua (ríos), en este proceso también son empleados microorganismos que liberan fibras y normalmente tarda de 7 a 14 días. Las fibras obtenidas son de mejor calidad en comparación con el enriado al aire libre, pero esta requiere de mayores cantidades de agua, generando contaminación en el vertimiento por aguas residuales”. [32]

3.1.1.c. Enriado enzimático. “En el enriado enzimático se degradan sustancias como la pectina, lignina y hemicelulosa por una gran variedad de bacterias, levaduras y hongos. El tiempo adecuado de extracción es de 6 días para garantizar una homogeneidad en la longitud y su resistencia a la tracción no disminuya” [32]

3.2. Métodos Físicos

“Los métodos mecánicos usualmente son empelados para la obtención de fibras, sin embargo, existen diferentes métodos para su extracción. Este tipo de extracción se realiza tan pronto como se corta el pseudotallo, es una combinación de lavado con agua y un raspado el cual puede ser de manera manual o mecánica”. [32]

3.2.1. Decorticado mecánico

“Este proceso consiste en separar las fibras del pseudotallo mediante una máquina compuesta por varios rodillos, el rodillo alimentador es el que dirige el material vegetal hacia los rodillos dentados los cuales cumplen la función de separar las fibras en un determinado tiempo”. [32]

3.2.2. Decorticado manual

“El decorticado manual a diferencia del mecánico emplea mano de obra capacitada para poder separar la fibra de la materia prima, este método emplea un mayor tiempo debido a esta extracción se hace usando un cuchillo dentado para realizar el proceso de raspado de la materia prima”. [32]

3.3. Método Químico

«Este método consiste en un enriado químico, en donde se diluye soluciones ya sean alcalinas o ácidas para poder separar las fibras del pseudotallo, empleadas a diferentes concentraciones y tiempos. Para este caso se realiza la separación mediante una solución de Hidróxido de Sodio (NaOH) debido a que si se emplea una solución ácida es más abrasiva y no es recomendada para este tipo de materia prima». [32]

3.3.1. Enriado químico

“El enriado químico reemplaza la acción de las bacterias y hongos en la descomposición, por otras sustancias como la soda caustica, carbonato de sodio, jabones y ácidos. La duración de este proceso es aproximadamente de 3 horas. Este tipo de enriados produce fibras de mejor calidad, pero su costo es más elevado en comparación a los dos anteriores”. [32]

3.3.1.a. Extracción con hidróxido de sodio. «Se procede a realizar una inmersión en dos diferentes baños, el primero en un baño de impregnación y la segunda en un baño de deslignificación. Estos baños consisten en soluciones acuosas de hidróxido de sodio a concentraciones de 25, 31 o 50 g/L. El rango de tiempo para trabajar el baño de deslignificación es entre 10 a 30 min, mientras que en el baño de impregnación es de 10 a 20 min». [34]

3.1.1.b. Extracción con sulfito de sodio. «El baño consiste en soluciones acuosas de sulfito de sodio de concentración 15, 30 y 50% sobre peso de material seco. Para la extracción de las fibras es muy importante la regulación del pH de la mezcla, el cual debe estar entre 9 y 12. El tiempo de inmersión del baño de deslignificación varía entre los 60, 120, 180 y 240 min». [34]

3.1.1.c. Extracción con peróxido de hidrogeno. “Este baño consiste en soluciones de peróxido de hidrogeno en ácido acético, a concentraciones de 24, 37.5 y 50% en peso del total de la solución. El tiempo de inmersión del baño de deslignificación varía entre 60, 120, 180 y 240 min”. [34]

Teniendo en cuenta los métodos explicados anteriormente se establecen los parámetros fisicoquímicos más relevantes como lo son el contenido de celulosa, lignina, porcentaje de humedad, diámetro, elongación, módulo de Young y fuerza de tensión para cada método general. En la tabla 11 se realiza la comparación de estas variables de manera cuantitativa.

Tabla 11.

Comparación de métodos de extracción en cuanto a sus parámetros fisicoquímicos típicos

Parámetro	Método			REF
	Físico	Químico	Biológico	
Celulosa (%)	60,6	63,94	59,3	[34] [35]
Lignina (%)	18,9	10,42	17,5	[34] [35]
Hemicelulosa (%)	12,4	----	10,2	[34] [35]
Humedad (%)	9,7	9,72	9,1	[35]
Diámetro (mm)	0,095 ±	0,075 ±	0,125 ±	[36]
	0,028	0,015	0,13	
Fuerza de tensión (MPa)	210 ± 86	333 ± 92	235 ± 94	[36]
Módulo de Young (GPa)	26,86 ±	22,95 ±	16,36 ±	[36]
	11,84	7,75	5,51	
Elongación (%)	0,8 ± 0,3	1,6 ± 0,5	1,4 ± 0,5	[36]

Nota. Esta tabla muestra de manera cuantitativa la comparación de los métodos generales para la extracción de las fibras. Para la elaboración de la tabla se tuvieron en cuenta las referencias presentes en esta.

Para hacer la respectiva selección del método se deben tener en cuenta los parámetros presentados en las tablas 9 y 10, las cuales hacen referencia a los datos promedio que debe tener una fibra obtenida a partir del pseudotallo de plátano por métodos físicos, químicos o biológicos, los cuales están representados en la tabla 11. El método físico resalta puesto que tiene mejores propiedades mecánicas con respecto a los otros dos métodos mencionados, debido a que no requiere de un agente químico o biológico que pueda degradar o disminuir estas propiedades. En cuanto al método químico, este tendrá mejores propiedades químicas como la cantidad de celulosa, esto es causado por la interacción de los agentes químicos que permiten conservar una mayor cantidad de dicha propiedad, pero este proceso debido a la diversidad de químicos que requiere para su extracción lo hace un proceso muy

contaminante. Por ultimo, con respecto al metodo biológico se obtiene buenos parametros fisicoquimicos comparados con el metodo mecanico y menores que con el metodo quimico que a diferencia de este no emplea agentes quimicos si no biologicos para su extraccion sin embargo para que estos logren la separacion adecuada requiere de un mayor tiempo (puede tardar semanas) de exposicion para separar la fibra haciendo de este un metodo demorado. En la figura 10 se ilustran las apariencias que obtiene la fibra para cada una de las técnicas generales y el proceso por el cual se extrajo.

Figura 10.

Fibras obtenidas según los métodos físicos, químicos y biológicos.



Nota. Ilustración de los aspectos de las fibras empleados: a) método físico (Decorticado manual), b) método químico (enriado químico), c) método biológico (enriado enzimático). Tomado de: Xu *et al.* (2015). BPSFs mechanical extraction, vol. 10. N° 2. <https://cutt.ly/4kvE0gz>

Tabla 12.*Comparación cualitativa de los métodos de extracción*

	Biológico		Mecánico		Químico	
Método	Enriado al aire libre	Enriado en agua fría	Enriado enzimático	Decortinado mecánico	Decortinado manual	Enriado químico
Tiempo	Alto	Medio	Medio	Bajo	Medio	Medio
Calidad	Baja	Media	Alta	Alta	Bajo	Alta
Impacto ambiental	Bajo	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Alto

Nota. En la tabla se observan algunos parámetros cualitativos para tener en cuenta para la selección del método de extracción del pseudotallo. Para el método químico las condiciones pueden variar dependiendo del tipo de solución a la que se trabaje y la concentración de esta. Tomado de: Universidad Pontificia Bolivariana. Propuesta de aprovechamiento de la fibra de plátano en la región del Ariari departamento del Meta. <https://cutt.ly/FkvUu59>

En la tabla 12 se presentan tres parámetros fundamentales para la selección del método de extracción, ellos son: tiempo de extracción, Calidad de la fibra e impacto ambiental. Para hablar del tiempo, este se clasifico en tiempo alto (referido a una extracción que puede durar semanas o meses), medio (una extracción entre 3 días a 1 semana) y bajo (extracción en un día, horas o minutos), lo cual demostró que los métodos mecánicos son los que gastarían un menor tiempo a la hora de la extracción. En cuanto al impacto ambiental, donde la contaminación del agua fue el factor fundamental a la hora de la selección del método, los enriados químicos se verían afectados debido al uso excesivo de agua a la hora de la extracción. Por ultimo las características mecánicas (porcentaje de elongación, fuerza de tensión y módulo de Young) será el factor fundamental a la hora de evaluar la calidad de la fibra.

Tabla 13*Matriz de selección de los métodos de extracción*

Método	Biológico			Mecánico		Químico
	Enriado al aire libre	Enriado en agua fría	Enriado enzimático	Decortinado mecánico	Decortinado manual	Enriado químico
Tiempo	-10	-5	-5	-1	-5	-5
Calidad	1	5	10	10	1	10
Impacto ambiental	-1	-10	-1	-1	-1	-10
Total	-10	-10	-5	8	-5	-5

Nota. En la tabla se observan los valores numéricos de los parámetros representativos para la selección del método de extracción del pseudotallo.

En la tabla 13 se presentan los parámetros a evaluar de manera cuantitativa, en ella se observa que tanto para el parámetro del tiempo y del impacto ambiental se muestran valores negativos, esto debido a que son características que pueden afectar de manera negativa en la selección del método y el parámetro de calidad si tendrá valores positivos, ya que es un ítem fundamental para mirar que tan buena es la fibra. Se tienen los siguientes puntajes para cada uno de los parámetros:

➤ **Tiempo**

- Alto (-10)
- Medio (-5)
- Bajo (-1)

➤ **Calidad**

- Alta (10)
- Medio (5)
- Bajo (1)

➤ **Impacto ambiental**

- Alto (-10)
- Medio (-5)
- Bajo (-1)

Partiendo de la información recopilada en las tablas 11, 12 y 13 el método más apropiado para la extracción de fibras a partir del pseudotallo de plátano, es el **decorticado mecánico**, esto es debido a que al realizar una comparación entre las diferentes clases de extracciones fue el que presentó mejores características fisicoquímicas a la hora de compararlo con los datos encontrados en las diferentes fuentes bibliográficas.

Es posible el uso de varios métodos en simultaneo para la extracción de las fibras con el fin de obtener una mayor calidad en las mismas.

Para los capítulos 2 y 3 los cuales dan respuesta a los objetivos 1 y 2, la información que se utilizó se hizo con base en palabras claves como: métodos de extracción de fibras, parámetros fisicoquímicos y caracterización de pseudotallo de plátano. Esto se hizo con el fin de tratar de identificar cuál era el método óptimo para la extracción de las fibras basados en los parámetros y la caracterización que se logró realizar. Algunas de las bases de datos y fuentes de información como el DANE, Ministerio de Agricultura, artículos científicos, trabajos de grado, propuestas de proyectos, entre otros suministraron datos puntuales y facilitaron la elaboración de las tablas y la comparación de estas.

4. ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL PROCESO DE OBTENCION DEL PSEUDOTALLO

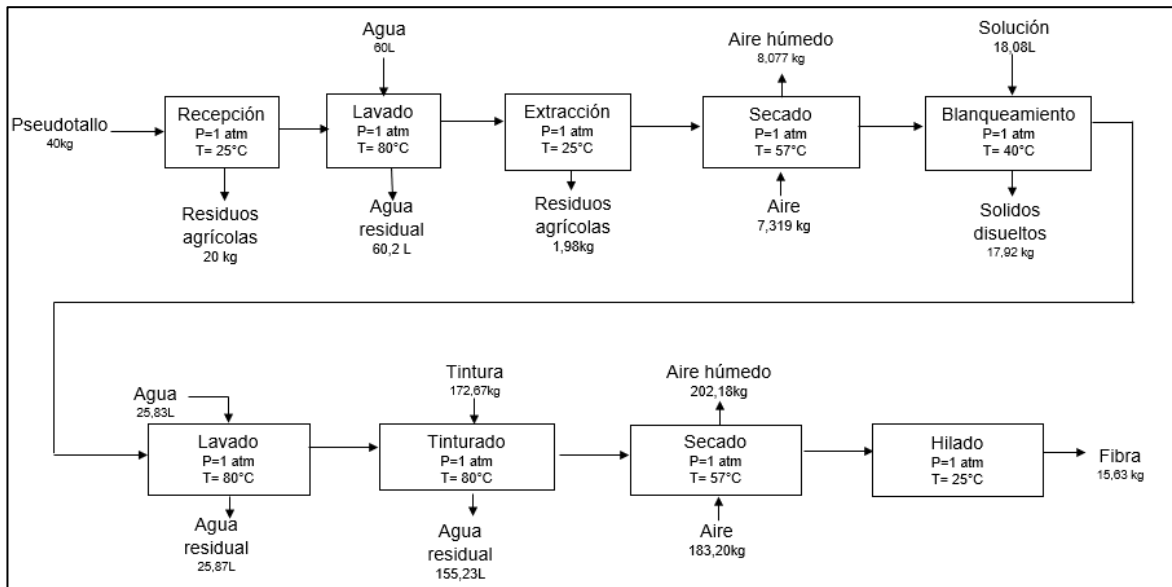
Para determinar las especificaciones técnicas, se deben tener en cuenta los procesos necesarios para la obtención de la fibra a partir de pseudotallo, estableciendo en primera instancia variables de operación (Temperatura y presión), así como los balances de materia tanto global y para cada proceso, la energía requerida para los equipos utilizados y dimensionamiento de equipos a trabajar, también se debe tener en cuenta que esta propuesta se realizara como un proceso Batch.

En la figura 11 se detalla el BFD de este proceso el cual es una recopilación de distintas fuentes bibliográficas que están presentes en este trabajo de grado, por tal motivo esta es una propuesta en donde se evidencian los procesos generales para la extracción y obtención de la fibra.

4.1. Proceso de obtención de fibras

Figura 11.

Diagrama de bloques (BFD)



Nota. La figura presenta el diagrama de bloques del proceso de inicio a fin

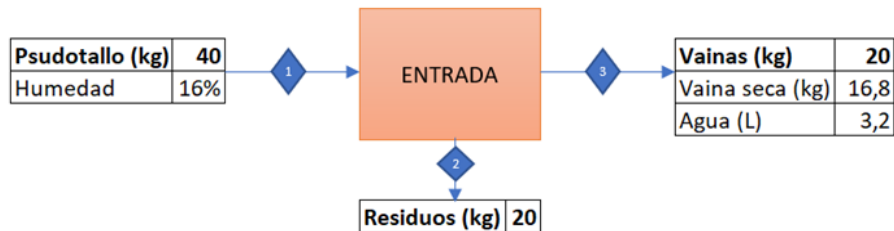
Para realizar los cálculos de balance de materia se tomó como condición inicial un solo pseudotallo para determinar la cantidad de fibra que se puede extraer de este. A continuación se establecen los diferentes procesos necesarios para la obtención de la fibra.

4.1.1. Pretratamiento

“Consiste en retirar residuos de materia orgánica que se adhirieron a la materia prima, haciendo un lavado con agua y posterior a ello se realizan cortes al pseudotallo (vainas foliares) para facilitar la extracción de la fibra del material vegetal” [8]. En las figuras 12 y 13 se detallan los balances de materia para estas etapas, se parte de una base de cálculo de 40 kg teniendo en cuenta el peso de un solo pseudotallo (Tabla 7). Por cada hectárea de plátano cosechado se puede producir aproximadamente 2,4 Ton de fibra [32], se estima que en el municipio de Planadas se podría tener un potencial de producción de fibra aproximado de 7.932 Ton al año debido a que se alcanzó un área cosechada de 3.305 hectáreas para el 2019 (Tabla 3), usando este dato se decide el escalamiento a planta piloto donde la utilización del pseudotallo incrementa a 300 kg/día.

Figura 12.

Entrada del proceso

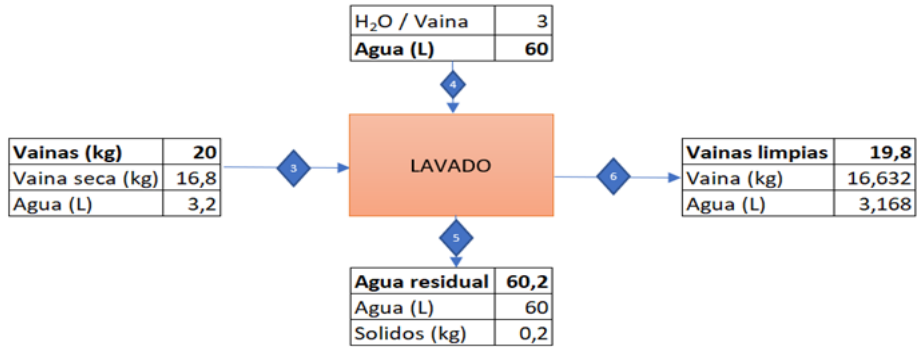


Nota. La figura representa el balance de materia a la entrada del proceso.

Partiendo de la base de cálculo (40 kg de pseudotallo) con una humedad del 16% [30], se obtienen dos corrientes de salida para este proceso, en la corriente 2 saldrán aproximadamente 20 kg (50% de la materia prima) de residuos del pseudotallo, los cuales contendrá material vegetal y vainas que ya están en estado de descomposición [8]. Cabe resaltar que esta etapa se realiza de manera manual por lo que es necesario contar con personal capacitado. En la corriente 3 saldrá el 50% restante de la materia prima (ver Anexo A).

Figura 13.

Primer lavado



Nota. La figura representa el balance de materia para el primer lavado del proceso.

Para esta segunda parte del pretratamiento se realiza el lavado de la materia prima, en la corriente 4 entra el contenido agua con una relación 3 L/kg de vaina, la corriente 5 corresponde al agua residual del proceso en el que se estima que el contenido de agua inyectada en esta etapa es retirado en su totalidad junto con un 1% de sólidos disueltos (tierra y materia orgánica) procedentes de la corriente 3 (ver anexo A). En la corriente 6 se obtendrán las vainas limpias sin ningún contaminante con un peso aproximado de 19,8 kg con un porcentaje de humedad del 16% [30] de la materia prima, esto en consecuencia del procedimiento previamente descrito.

4.1.2. Extracción por decorticado mecánico

“Las vainas limpias y cortadas pasan por una serie de rodillos mecánicos que extraen las fibras del pseudotallo, el tiempo requerido para este proceso es de aproximadamente 6 min/kg de vaina” [32]. En la figura 14 se detalla el balance para esta etapa donde salen dos corrientes, en la corriente 7 se obtienen residuos vegetales que se generaron al extraer las fibras, este se estima que es del 10% ya que la mayoría del material vegetal será convertido en fibras, en cuanto a la corriente 8 se obtendrá 17,82 kg de fibras y un 10% correspondiente al agua que ha quedado en ella (ver Anexo 1).

Figura 14.

Extracción

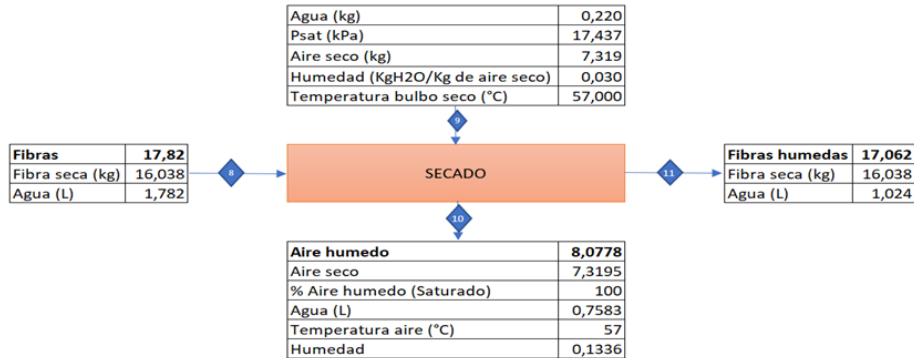


Nota. La figura representa el balance de materia para el proceso de extracción del pseudotallo.

4.1.3. Primer Secado

En la figura 15 se muestra el balance de materia para el primer secador, «para este caso se obtiene un contenido de humedad del 6%, se debe tener en cuenta que la fibra no debe quedar completamente seca (<5%) o con grandes contenidos de humedad (>7%), debido a que es posible que se pueda dañar o sus propiedades mecánicas puedan ser modificadas, por ende, se recomienda que el contenido de humedad debe estar entre el 6-7%» [37], el contenido restante de humedad será retirado en la corriente 10. “Se asume que este secador de bandejas es isotérmico por lo tanto la temperatura de bulbo seco será de 57 °C y el aire sale saturado para que exista un equilibrio termodinámico entre las fases” [38]. Con una base de cálculo se logra estimar la cantidad de humedad en la corriente 10 a condiciones ideales (ver Anexo 2). Basado en el resultado de la corriente 10 se realiza una relación entre la humedad y la cantidad de agua de salida para poder estimar la cantidad de agua mínima que ingresa a la corriente 9 (ver Anexo 1) y con base en ello establecer cuál es la cantidad mínima de aire que debe ingresar para retirar la cantidad de humedad deseada.

Figura 15.
Primer secado

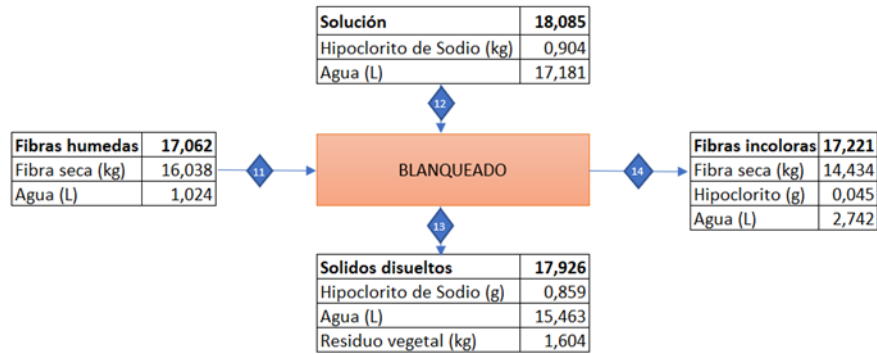


Nota. La figura representa el balance de materia para el primer secado del proceso.

4.1.4. Blanqueamiento

Este proceso químico consiste en eliminar la coloración natural de las fibras vegetales para obtener un blanco puro. Para este caso se emplea una solución de hipoclorito de sodio al 5% con un litro de agua [39], “esta es añadida a un tanque de mezclado junto con las fibras operando a temperatura entre 35-45 °C por un tiempo de 1-5 horas (esto dependerá del grado de blancura que se desee obtener en la fibra)” [40]. Como se detalla en la figura 16 de este proceso entran y salen 2 corrientes, para la corriente 12 “se tiene una relación del 5,3% de hipoclorito en gramos por cada kilogramo de fibra que está ingresando a esta etapa” [41], en la corriente 13 se extrae el agua residual con sólidos disueltos (residuos de fibra e hipoclorito disuelto) y en la corriente 14 se obtienen 17,22 kg de fibras incoloras.

Figura 16.
Blanqueado

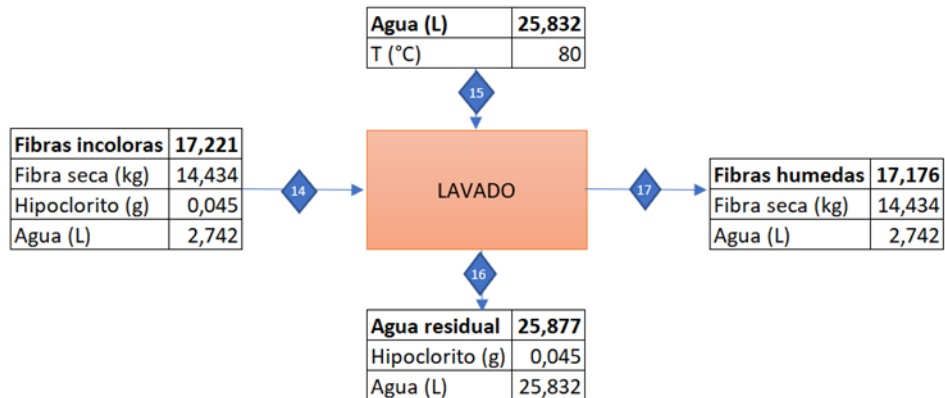


Nota. La figura representa el balance de materia para el blanqueado de la fibra obtenida.

4.1.5. Lavado

“Se limpian las fibras después de haber sido blanqueadas con el fin de retirar el exceso de hipoclorito de la fibra, evitando que estas lleguen a adquirir una tonalidad amarillenta, este lavado se realiza con agua caliente a 80 °C por 60 min” [42]. En la figura 17 se detalla el balance para este proceso.

Figura 17.
Segundo lavado



Nota. La figura representa el balance de materia para el segundo lavado del proceso.

4.1.6. Tinturado

El proceso de tinturado consiste en otorgar color a las fibras limpias, “para el desarrollo del procedimiento se debe iniciar por humedecer las fibras con agua, luego se diluye el tinte a elección completamente en el agua, se introducen las fibras en el recipiente

y se deja hervir durante 30 min, pasado el tiempo se deja enfriar y se retira el exceso de tinte para dejar secar” [42]. La cantidad de colorante va a depender de la tonalidad que se desee adquirir para la fibra, como se evidencia en la tabla 14, “en este proceso se desea adquirir una tonalidad color pastel por ende se añadirán 3 g al proceso y 50 g de sulfato de sodio por cada kg de fibra obtenida (este es añadido con el fin de fijar el colorante a la fibra)” [42], estas sustancias son mezcladas con 10 Litros de H₂O/kg de fibra y en él se introducen la fibras provenientes de la corriente 17 como se evidencia en la figura 18, las aguas residuales saldrán por la corriente 19 junto con los sólidos disueltos y por la corriente 20 se obtendrá las fibras teñidas (34,61 kg) de los cuales 14,43 kg son fibras secas.

Tabla 14.

Concentración de colorante y sulfato de sodio para la fibra.

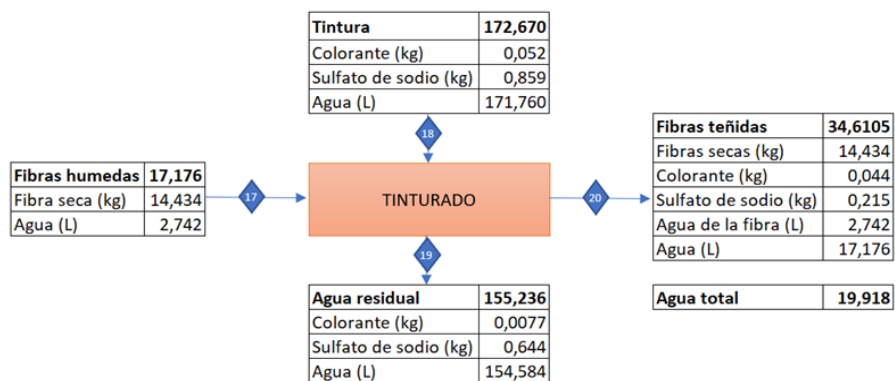
Coloración	Cantidad de colorante (g)	Sulfato de sodio (g)
Intenso	10	250
Medio	6	150
Pastel	3	50

Nota. Esta tabla detalla las cantidades de colorante y de sulfato de sodio según la coloración. Tomado de Manual para las tinturas de fibras naturales.

<https://cutt.ly/OkvSspP>

Figura 18.

Tinturado



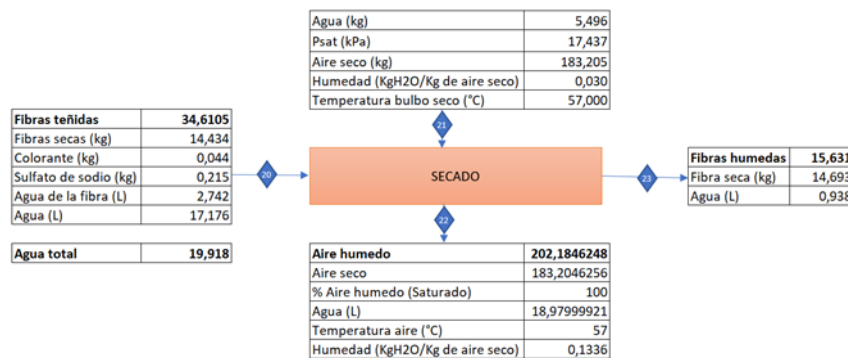
Nota. La figura representa el balance de materia para el segundo lavado del proceso.

4.1.7. Segundo Secado

Al igual que el primer secado en este segundo se retira el contenido de agua en exceso que pueda tener la fibra después de ser teñida, se debe tener en cuenta también el porcentaje de humedad que esta debe tener para evitar posibles daños. Como se demuestra en la figura 19, saldrán 2 corrientes para este proceso, la corriente 22 establece la cantidad de agua retirada en el proceso siendo 0,75 L y por la corriente 23 se extraen 15,63 kg de las fibras manteniendo una humedad del 6%

Figura 19.

Segundo secado



Nota. La figura representa el balance de materia para el segundo secado del proceso.

4.1.8. Hilado

Este proceso se realiza de forma mecánica, “se recogen las hebras a hilar, para ser unidas se retuercen y se estiran de manera constante hasta que se empieza a formar un filamento uniforme y adecuado” [35]. En la figura 20 se observa el balance teórico realizado, dando como resultado una fibra de 15,63 kg a partir de 40 kg de pseudotallo

Figura 20.

Hilado



Nota. La figura representa el balance de materia para el proceso de hilado.

En la figura 21 y en la tabla 15 se observan los tiempos de operación para cada una de las etapas presentes en esta propuesta dando un total de 10 horas por día.

Tabla 15.

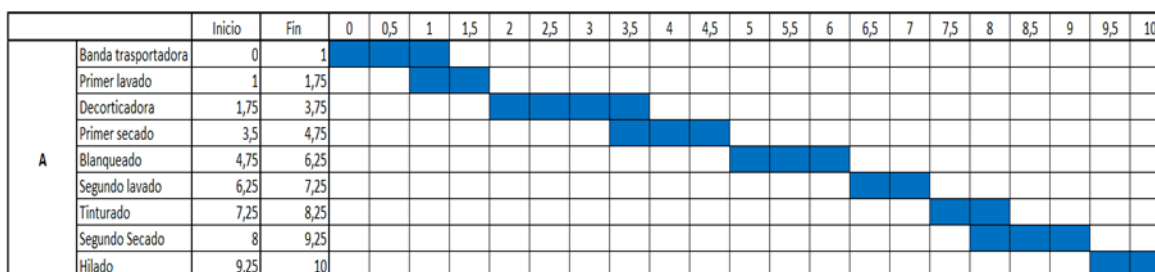
Tiempos de proceso de operación

Producto	Tiempo de duración	
	Duración	Duración en horas
Banda trasportadora	1h	1
Primer lavado	45min	0,75
Decorticadora	2h	2
Primer secado	75min	1,25
Blanqueado	90min	1,5
Segundo lavado	1h	1
Tinturado	1h	1
Segundo Secado	75min	1,25
Hilado	45min	0,75

Nota. La tabla representa los tiempos de duración de cada una de las maquinas del proceso.

Figura 21.

Tiempos de proceso de operación



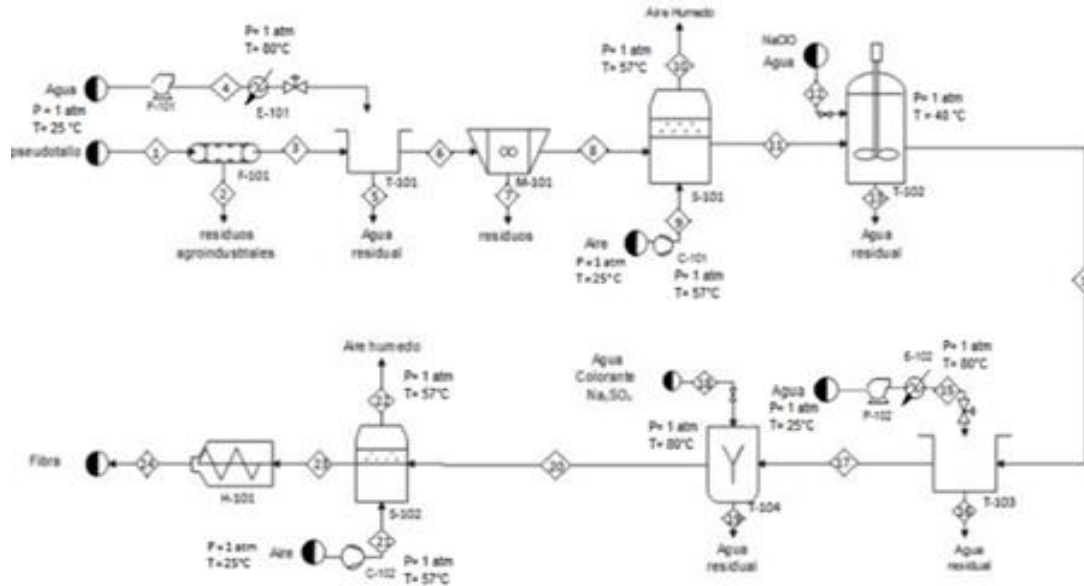
Nota. La figura representa los tiempos de duración de cada una de las maquinas del proceso.

A partir de los balances formulados anteriormente en la figura 22 se detalla el proceso en un diagrama PFD, estableciendo los equipos y la ruta para el proceso de obtención de la fibra.

Figura 22.

Diagrama PFD para la obtención de la fibra a partir de

Lista de Equipos															
Identificación	F-101	E-101	P-101	T-101	M-101	S-101	C-101	T-102	T-103	E-102	P-102	T-104	S-102	C-102	H-101
Equipo	Canal de transporte	Heater	Bomba centrífuga	Tanque de limpieza	Maquina de decorticado	Secador de bandejas	Compresor	Tanque de blanqueamiento	Tanque de lavado	Heater	Bomba centrífuga	Tanque de tinturado	Secador de bandejas	Compresor	Hiladora



Balance de Materia																									
Componentes	Unidades	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Pseudotallo	kg/h	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vainas	kg/h	0	0	150	0	0	148,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Agua	L	0	0	0	450	0	0	0	0	0	0	0	128,859	0	0	193,739	0	0	1288,201	0	0	0	0	0	0
Fibras	kg/h	0	0	0	0	0	0	0	133,65	0	0	127,963	0	0	129,159	0	0	128,820	0	0	259,579	0	0	117,229	117,229
Hipoclorito de sodio al 5%	Kg/h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,782	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Colorante	kg/h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,386	0	0	0	0	0	0
Sulfato de sodio	kg/h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,441	0	0	0	0	0	0
Agua residual	L	0	0	0	0	451,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	194,078	0	0	1164,27	0	0	0	0	0	0
Solidos disueltos	kg/h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	134,444	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Residuos	kg/h	0	150	0	0	0	0	14,85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aire seco	kg/h	0	0	0	0	0	0	0	0	54,896	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aire Humedo	kg H ₂ O/kg aire seco	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60,583	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1516,385	0

Nota. En la figura se detalla el escalamiento a planta piloto del proceso con sus respectivas máquinas y la operación diaria para extraer 117,229 kg de fibra.

De acuerdo con los datos obtenidos en el balance de materia que se estableció para un pseudotallo de 40kg, para este proyecto se requieren de 300 kg/día de pseudotallo, debido al aprovechamiento de los residuos agrícolas que se obtuvieron para el año 2019 en el municipio de Planadas (ver tabla 3) teniendo en cuenta el porcentaje que corresponde a la materia prima para la obtención de 117,23kg de fibra diaria. Con base en ello se realiza la selección y dimensionamiento de los equipos requeridos para este proceso.

4.2. Equipos de proceso

Se realiza una propuesta para la implementación de los equipos requeridos en la obtención de fibras a partir del pseudotallo de plátano, teniendo en cuenta algunas condiciones como: capacidad instalada, tamaño del equipo y técnicas especializadas para algunos procesos.

4.2.1. Banda transportadora

“En este equipo se realizarán el proceso de pretratamiento para el material vegetal, este proceso se realizará de manual, aquí se harán los cortes, limpieza del pseudotallo y extracción de las capas que contienen algún tipo de daño y se dejarán las vainas que sean útiles para el proceso”. [43]

Figura 23.

Banda transportadora de material vegetal.



Nota. La figura representa la banda transportadora a utilizar en el proceso. Tomado de: Alibaba.com.

<https://cutt.ly/UkvHPyF>

Tabla 16.

Ficha técnica - banda transportadora

Capacidad de procesado	300 kg/h
Dimensión (l*a*h)	2,7m x 0,6m x 0,5m
Marca	UNIWEIGH
Energía	550 W
Voltaje	380 V
Material	Cinturón de goma

Nota. En la tabla se establecen algunos parámetros para la banda transportadora Tomado de: Universidad San Ignacio de Loyola, Cuero a partir de la fibra de pseudotallo de plátano. <https://cutt.ly/kkvJqTI>

4.2.2. Decorticatora mecánica

“Se introduce la vaina en la ranura sujetándola por medio de una mordaza, posterior a esto se pasa por una serie de rodillos lo cual comprimirán las vainas para poder extraer la fibra”. [32] Esta máquina presenta grandes ventajas debido a su tiempo de operación y seguridad para el operario.

Figura 24.

Maquina decorticatora de fibras de pseudotallo de plátano.



Nota. La figura ilustra la decorticatora mecánica que se empleara en este proceso. Tomado de: Alibaba.com. <https://cutt.ly/9kvJfTb>

Tabla 17.

Ficha técnica - maquina decortadora.

Capacidad máxima de procesado	300 - 400 kg/h
Dimensión (l*a*h)	0,85 m x 0,85 m X 0,9 m
Marca	Taizy
Peso	260 kg
Potencia de motor	2,2 kW

Nota. En la tabla se establecen algunos parámetros para la maquina decortadora.

Tomado de: Alibaba.com. <https://cutt.ly/9kvJfTb>

4.2.3. Tanque de lavado

Para los tanques de lavado se propone usar un tanque en acero inoxidable que permita la remoción total de los residuos y compuestos de interés. Basados en el balance de materia se puede inferir que el tamaño de este equipo es lo suficientemente grande para depositar la cantidad de materia prima como de fibra en cada proceso correspondiente, la entrada de agua se realiza mediante válvulas para realizar el lavado por aspersion y una válvula de desagüe para la remoción de los residuos, en la figura 23 y la tabla 16 se detalla las condiciones para este equipo.

Figura 25.

Tanque de lavado de materia prima y fibras.



Nota. En la figura se ilustra el tanque de lavado que se empleara en este proceso. Tomado de: Zingal.

<https://cutt.ly/TkvJJhr>

Tabla 18.

Ficha técnica - tanque de lavado.

Capacidad máxima de procesado	300-500 kg
Dimensión (l*a*h)	80 cm x 70 cm x 150 cm
Marca	Zingal
Material	Acero Inoxidable 304

Nota. En la tabla se establecen algunos parámetros para el tanque de lavado. Tomado de: Zingal. <https://cutt.ly/TkvJJhr>

4.2.4. Tanque de blanqueado

Para el proceso de blanqueo se implementa un tanque agitado que permita la mezcla del hipoclorito de sodio y el agua con la fibra para remover el color que este posea, este tanque estará hecho de acero inoxidable 304 para evitar problemas de corrosión.

Figura 26.

Tanque de blanqueo de fibras de pseudotallo.



Nota. En la figura se ilustra el tanque de blanqueo que se empleara en este proceso. Tomado de: Alibaba.com. <https://cutt.ly/akvKetm>

Tabla 19.

Ficha técnica - tanque de blanqueo.

Capacidad de carga	50L - 8000L
Dimensión (l*a*h)	2,26m x 1,2 m x 2 m
Marca	YD
Velocidad	10 - 110 rpm
Energía	1,1 kW
Voltaje	220 V
Material	Acero Inoxidable 304

Nota. En la tabla se establecen algunos parámetros para el tanque de blanqueo. Tomado de: Alibaba.com. <https://cutt.ly/akvKetm>

4.2.5. Tanque de tinturado

«Los agitadores mecánicos consisten en un rodete montado en un eje u accionado por un motor eléctrico. Se dividen en dos clases: los que generan corrientes paralelas al eje del agitador y los que dan origen a corrientes en dirección tangencial o radial. Los primeros se llaman agitadores de flujo axial y los segundos agitadores de flujo radial».[44]

Figura 27.

Tanque de tinturado.



Nota. En la figura se ilustra el tanque de blanqueo que se empleara en este proceso. Tomado de: Alibaba.com.

<https://cutt.ly/RkvKvY4>

Tabla 20.

Ficha técnica – tanque de tinturado.

Capacidad de carga	100000 L
Marca	RAYEN
Velocidad	0 - 3400 rpm
Energía	1,5 kW
Voltaje	220 V

Nota. En la tabla se establecen algunos parámetros para el tanque de tinturado. Tomado de: Alibaba.com. <https://cutt.ly/RkvKvY4>

4.2.6. Calentador

«Son unidades compactas compuestas por un calentador de inmersión con brida o tapón roscado acoplado a una cámara de calefacción con aislamiento térmico, que permiten calentar de manera eficaz un medio fluido al funcionar en el interior de las tuberías o en el lateral. Algunas de sus aplicaciones: Calefacción de agua, protección contra la congelación, calefacción de aceites de transferencia de calor y calefacción de aceites combustibles, vapor, aire y gas, entre otras». [45]

Figura 28.

Calentador.



Nota. En la figura se ilustra el calentador que se empleara en este proceso. Tomado de: Mercadolibre.com.

<https://cutt.ly/skvKHEJ>

Tabla 21.

Ficha técnica – calentador.

Marca	Gesail
Energía	1,5 kW
Voltaje	120 V

Nota. En la tabla se establecen algunos parámetros para el calentador. Tomado de: Mercadolibre.com. <https://cutt.ly/skvKHEJ>

4.2.7. Compresor

“Esta herramienta absorbe aire a presión ambiental, a través de un sistema de filtrado y lo devuelve con la presión deseada, bien a una salida directa, o a un calderín, donde se acumulará a mayor presión”.[46] “Los compresores son maquinas especialmente diseñadas y construidas para aumentar la presión en los gases. Lo más común es que se comprima aire pero en la industria es frecuente la necesidad de comprimir otros gases. A veces se utiliza de manera intermitente o a veces continuo”. [47]

Figura 29.

Compresor.



Nota. En la figura se ilustra el compresor que se empleara en este proceso. Tomado de: Mercadolibre.com.

<https://cutt.ly/dkvK7wW>

Tabla 22.

Ficha técnica - compresor.

Capacidad de carga	250 L
Marca	Alf ITY
Caudal de aire	250L/min
Energía	2.23 kW
Velocidad	2000rpm

Nota. En la tabla se establecen algunos parámetros para el compresor. Tomado de: Mercadolibre.com. <https://cutt.ly/dkvK7wW>

4.2.8. Bomba centrífuga

«La bomba de una instalación hidráulica de calefacción o refrigeración tiene la función de hacer circular el agua desde el equipo generador (caldera o planta frigorífica) hasta el terminal de uso. Para ello la bomba debe suministrar un caudal de agua cuya presión sea suficiente para vencer las resistencias a lo largo del circuito de distribución». [48]

Figura 30.

Bomba centrífuga.



Nota. En la figura se ilustra la bomba centrífuga que se empleara en este proceso. Tomado de: Mercadolibre.com. <https://cutt.ly/QkvLfJG>

Tabla 23.

Ficha técnica – bomba centrífuga.

Dimensión (l*a*h)	26,5 cm x 38 cm x 19,3 cm
Caudal	80 L/min
Energía	1,1 kW
Voltaje	220 V

Nota. En la tabla se establecen algunos parámetros para la bomba centrífuga. Tomado de: Mercadolibre.com. <https://cutt.ly/QkvLfJG>

4.2.9. Secador.

«El secador de bandejas consiste en un gabinete, de tamaño suficientemente grande para alojar los materiales a secar, en el cual se hace correr suficiente cantidad de aire caliente y seco. Su operación inicia durante los 30min finales del proceso anterior, esto se hace con el fin de que el secador logre calentar el aire para así retirar la cantidad de agua necesaria para este proceso. En general, el aire es calentado de modo que pueda arrastrar suficiente agua para un secado eficiente». [49]

Figura 31.

Secador de fibras vegetales.



Nota. En la figura se ilustra el secador de bandejas que se empleara en este proceso. Tomado de: Alibaba.com.

<https://cutt.ly/TkvLXyG>

Tabla 24.

Ficha técnica - secador de bandejas.

Capacidad producción	60-480 Kg/h
Dimensión (l*a*h)	2,26m x 1,2 m x 2 m
Marca	Haciendo maquina
Peso	850 kg
Energía	0,45-1,8 KW
Voltaje	380 V
Material	SUS304- Acero Inoxidable

Nota. En la tabla se establecen algunos parámetros para el secador de bandejas. Tomado de: Alibaba.com. <https://cutt.ly/TkvLXyG>

4.2.10. Hiladora

“En la industria textil hay tres principales sistemas de hilaturas: por anillos, por Open-End a rotor y Vórtex. La hilatura de anillos a pesar de tener una producción baja, la estructura del hilo es más resistente, fino y suave, además de ser la tecnología de hilatura más madura o la más fundamental de todas las mencionadas anteriormente”. [50]

Figura 32.

Maquina hiladora.



Nota. En la figura se ilustra la maquina hiladora que se empleara en este proceso. Tomado de: Alibaba.com. <https://cutt.ly/UkvXGRw>

Tabla 25.*Ficha técnica – hiladora de anillos.*

Capacidad producción máxima	200 kg /h
Dimensión (l*a*h)	7,8m x 1,5 m x 1,8 m
Marca	Anytester
Peso	850 kg
Energía	550 W
Método	Anillo

Nota. En la tabla se establecen algunos parámetros para la maquina hiladora. Tomado de: Alibaba.com. <https://cutt.ly/UkvXGRw>

Tabla 26.*Servicios energéticos.*

Banda transportadora	0,55 kW
Decorticadora mecánica	2,2 kW
Secadores	3,6 kW
Hiladora	0,55 kW
Compresores	4,46 kW
Calentadores	3 kW
Tinturado	1,5 kW
Blanqueo	1,1 kW
Bombas	2,2 kW
Total	19,16 kW

Nota. En la tabla se muestran los valores de la potencia requerida por hora de cada una de las maquinas.

Partiendo de la información suministrada por cada una de las fichas técnicas de los equipos utilizados en el proceso, se hace oportuno la construcción de la tabla 26 la cual resalta el servicio energético total que requiere el proceso de obtención de la fibra desde su extracción hasta su hilado. Se denota una potencia total de 19,16 kW, donde el consumo mayoritario se da en los calentadores, los compresores y los dos secadores.

5. COSTOS DE PROCESO

Para determinar los costos proporcionados para el proyecto se realiza un análisis en cual se debe tener en cuenta la inversión inicial, los costos operativos y consumos energéticos que se requieren en el proceso, en las tablas 26 y 27 se detallan los precios para cada uno de los ítems anteriormente mencionados.

Tabla 27.

Consumo de servicios para el año 2020.

CONSUMO DE SERVIOS		
Energía (kW/h)	\$	520
Agua (m ³)	\$	3.601,86
Recargo fijo de agua	\$	17.373,62

Nota. La tabla muestra los valores para el kW/h referente al consumo energetico y los m³ referente al consumo hidrico.

Para hacer el análisis correspondiente de todo el proceso, se elaboró la tabla 27, la cual esta segmentada en tres parámetros: Inversión inicial (comprendida por reactivos y materiales, y los equipos de proceso), costos de la operación y nómina.

La inversión inicial detalla que para la producción diaria se debe operar con aproximadamente 8 pseudotallos de un peso aproximado de 40kg, “partiendo de que a la hora de comercializar un kg de fibra este se encuentre con valores de un dólar o dólar y medio” [32], se estima que el valor del pseudotallo tiene un valor estimado de 3.000 COP. La materia prima será adquirida de fincas en el municipio de Planas – Tolima el cual es el lugar de estudio del proyecto. También se usan reactivos como el hipoclorito de sodio (aproximadamente 7 L) y el sulfato de sodio (6,4 kg) con valores de 20.340 COP [51] y 51.200 COP [52] respectivamente, para el proceso de tinturado se requieren 386g de tinte a elección, el cual tiene un valor comercial de 200.000 COP [53]. En cuanto a los equipos de proceso para este proyecto se cuenta con una banda transportadora (10.397.902COP) [54], una decortadora mecánica (1.732.983COP) [55], dos secadores (8.664.918COP c/u) [56], dos tanques de lavado (4.000.000COP c/u) [57], un tanque blanqueador (6.931.988COP) [58], un tanque de tinturado (8.932.000 COP) [59], dos

calentadores (319.700 COP c/u) [60], dos compresores (4.500.000 COP c/u) [61], dos bombas centrífugas [62] (1.343.000 COP c/u) y una hiladora (34.679.000COP) [63].

Para hablar de los costos de operación es necesario definir cuantas actividades se van a realizar, su tiempo de duración y su consumo (energético [64] o hídrico [65]). La banda transportadora tendrá un tiempo de operación de 1h con un consumo energético de 0,55 kW/h, se efectuarán dos lavados con un tiempo de operación de 1,75 h equivalente a 0,75 h para el primero con un gasto hídrico de 450 L y el segundo con un tiempo de 1 h y un gasto de 193,7 L, el proceso de extracción perteneciente a la máquina decortadora operara durante 1 h con un consumo de 2,2 kW/h, el uso de los secadores tendrán una hora de operación cada uno y un consumo de 1,8 kW/h para cada uno, el proceso de blanqueado contará con un tiempo de operación de 1,5 h y un gasto hídrico de 128,85 L, el tinturado también contará con un tiempo de operación de 1 h, un gasto energético de 1,5 kW/h y un gasto hídrico equivalente a 1288,20 L, los compresores tendrán un consumo energético de 2,23 kW/h cada uno, los calentadores de 1,5 kW/h cada uno, las bombas centrífugas de 1,1 kW/h cada uno y la máquina hiladora operará 40 min con un consumo de 0,55 kW/h.

Por último, el proyecto al contar con ciertas actividades específicas como la descarga de la materia prima, el pretratamiento y el hilado se requerirá de 2 operadores y 1 supervisor, los cuales tendrán una jornada de trabajo de 8h durante un mes hábil laboral (aproximadamente 22 días), cada operario tendrá un salario mensual de 908.526 COP con un auxilio de transporte de 106.454 COP, para un total de 1.014.980 COP y el supervisor tendrá un salario de 1.093.546 COP más un auxilio de transporte de 106.454 COP para un total de 1.200.000 COP. El transporte de la materia prima se realizará de manera semanal y este se calculará empleando la ecuación 10.

Ecuación 10.

Costo de traslado por tonelada.

$$\text{Costo por tonelada} = \text{Costo de traslado por tonelada} + (\text{Horas de espera, carga y descarga}) \times \$811 \text{ (ver Anexo A – costos)}$$

Tabla 28.*Seguridad social.*

SEGURIDAD SOCIAL							
Personal	Salud (COP)	Pensiones (COP)	ARL (COP)	Total deducciones (COP)	Pago por mes (COP)		
Empleador	\$ 247.401	\$ 261.788	\$ 6.807	\$ 509.189			
Empleado	\$ 116.424	\$ 116.424	-----	\$ 232.848	Operadores	Supervisor	
					\$ 782.132	\$ 967.152	
					Total a pagar por mes (COP)	\$ 1.564.264	\$ 967.152

Nota. En la tabla se pueden observar los valores correspondientes a salud, pensión, ARL y el pago por mes.

Tabla 29.*Provisiones.*

PROVISIONES							
Personal	Cantidad	Prima Servicios (COP)	Prima de servicios total (COP)	Cesantias (COP)	Cesantias totales (COP)	Total Intereses cesantias (COP)	Total Vacaciones (COP)
Operadores	2	\$ 169.096	\$ 338.191	\$ 169.096	\$ 338.191	\$ 1.691	\$ 75.771
Supervisor	1	\$ 99.960	\$ 99.960	\$ 99.960	\$ 99.960	\$ 1.000	\$ 45.601
	TOTAL	\$ 269.056	\$ 438.151	\$ 269.056	\$ 438.151	\$ 2.691	\$ 121.372
						TOTAL PROVISIONES	\$ 1.000.365

Nota. En la tabla se pueden observar los valores correspondientes a primas, cesantias, vacaciones e intereses.

En las tablas 28 y 29 se detalla el servicio de seguridad social con el monto asociado a salud (12,5%= el empleador paga el 8,5% y el trabajador el 4% sobre el salario mensual devengado), pensión (16%= el empleador paga el 12% y el trabajador el 4% sobre el salario mensual devengado), ARL (aseguradoras de riesgo laborales) y por otro lado, también se contara con provisiones como servicios de primas (8,33% mensual sobre el salario mensual devengado), cesantías (8,33% mensual sobre el salario mensual devengado) y costo de vacaciones (4,16% mensual sobre el salario mensual devengado, sin auxilio de transporte) [66]

Al contar con todos los valores estipulados, se determina el costo total de operación para la iniciación del proyecto, el cual será de 108.523.687 COP con un aumento del 10% correspondiente a imprevistos (daños en las maquinas, deterioro de la materia prima, entre otros) para un total de 119.376.055 COP, los cuales pueden ser financiados con entidades bancarias y/o inversionistas. El precio mensual de operación aproximado es

de 30.167.374 COP en los cuales se incluyen los gastos por reactivos y materiales, gastos energéticos e hídricos, los gastos por nómina y transporte de materia prima.

Al tener en cuenta que la fibra de plátano tiene aplicaciones similares a la fibra de fique, la cual es utilizada en la elaboración de cortinas, tapetes, telas y más, existe la posibilidad de que las empresas trabajen con fibras naturales alternativas, lo cual incentiva el aprovechamiento y la extracción de la fibra de plátano [32].

Tabla 30.

Costos del proceso de producción de fibras a partir del pseudotallo de plátano.

INVERSIÓN				
REACTIVOS Y MATERIALES				
Item	Cantidad por día	Unidad	Valor Unitario (COP) por kg	Total (COP)
Pseudotallo	300	kg	\$ 3.000	\$ 900.000
Hipoclorito de sodio	6,78	L	\$ 3.000	\$ 20.340
Tintura	0,386	kg	\$ 50.000	\$ 200.000
Sulfato de sodio	6,4	kg	\$ 8.000	\$ 51.200
TOTAL				\$ 1.171.540
TOTAL MENSUAL				\$ 25.773.880
EQUIPOS				
Item	Cantidad	Valor unitario (COP)	Costo total del equipo (COP)	Costo de mantenimiento (7%)
Banda transportadora	1	\$ 10.397.902	\$ 10.397.902	\$ 11.125.755
Decortadora mecánica	1	\$ 1.732.983	\$ 1.732.983	\$ 1.854.292
Secador	2	\$ 8.664.918	\$ 17.329.836	\$ 18.542.925
Tanque de lavado	2	\$ 4.000.000	\$ 8.000.000	\$ 8.560.000
Tanque blanqueador	1	\$ 6.931.988	\$ 6.931.988	\$ 7.417.227
Tanque de Tinturado	1	\$ 8.932.000	\$ 8.932.000	\$ 9.557.240
Calentador	2	\$ 319.700	\$ 639.400	\$ 684.158
Compresor	2	\$ 4.500.000	\$ 9.000.000	\$ 9.630.000
Bombas centrifugas	2	\$ 1.343.000	\$ 2.686.000	\$ 2.874.020
Hiladora	1	\$ 34.679.000	\$ 34.679.000	\$ 37.106.530
TOTAL				\$ 107.352.147
			TOTAL INVERSIÓN INICIAL	\$ 108.523.687
			IMPREVISTOS	\$ 119.376.055
COSTOS DE LA OPERACIÓN				
Item	Tiempo de operación (h)	Cantidad	Consumo energético (kWh)	Consumo hídrico (L)* día
Banda transportadora	1	1	0,55	----
Lavado*	1,75	2	---	643,7388267
Decortadora mecánica	1	1	2,2	---
Secado*	2	2	3,6	---
Blanqueado	1,5	1	1,1	128,8585053
Tinturado	1	1	1,5	1288,201165
Compresor	----	2	4,46	----
Calentador	----	2	3	----
Bombas centrifugas	----	2	2,2	----
Hiladora	0,75	1	0,55	---
Para el primer lavado se emplea un tiempo de 0,75 h y 450 L de agua y para el segundo lavado se emplea un tiempo de 1 h y 193,7 L de agua.		TOTAL (kWh) y (L día)	19,16	2060,798497
		TOTAL (m3)	----	2,060798497
*Para los secadores se emplean en cada uno un tiempo de 1 h		TOTAL DÍA	\$ 9.966	\$ 24.796
		TOTAL MES	\$ 219.241	\$ 545.519
TRANSPORTE				
Tipo	Cantidad a transportar por semana	Unidad	Costo de traslado por Tonelada semanal (COP)	Costo total Mensual(COP)
Materia prima	1500	kg	\$ 63.694	\$ 254.774
NÓMINA				
Personal	Cantidad	Número de horas	Salario (COP)	Total (COP)
Operadores	2	8	\$ 1.014.980	\$ 2.029.960
Supervisor	1	8	\$ 1.200.000	\$ 1.200.000
			TOTAL MENSUAL	\$ 3.229.960

TOTAL OPERACIÓN MENSUAL \$ 30.023.374

Nota. En la tabla se observa el valor total de inicio y mensual del proyecto

6. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta la revisión bibliográfica realizada se analizaron las diferentes propiedades fisicoquímicas necesarias para determinar la utilidad del pseudotallo de plátano Dominico Hartón (musa AAB Simmonds); se deben tener en cuenta algunos parámetros relevantes como: contenido de celulosa (30% – 60 %), contenido de lignina (15%- 20%) y el peso del material vegetal, los cuales son factores clave para dictaminar la calidad con que la fibra puede ser extraída.

Con base en la caracterización fisicoquímica consultada en la bibliografía, tiempo de extracción, impacto ambiental (reducción en el consumo y contaminación de fuentes hídricas) y calidad se identificó que el mejor método de extracción para las fibras obtenidas a partir del pseudotallo de plátano es el decortinado mecánico.

Se definieron las especificaciones técnicas necesarias para la obtención de la fibra teniendo en cuenta algunos factores como los tiempos de un proceso Batch, temperaturas de operación, condiciones de entrada y salida, pretratamientos, operaciones y procesos unitarios, reactivos e insumos necesarios, así como los equipos requeridos para producir 98,55 kg de fibra/día.

Se estimó que los costos para la iniciación del proyecto tendrán un valor de 108.523.687 COP, correspondiente a imprevistos para un total de 119.376.055 COP en el que están incluidos los costos de operación, el gasto de materiales y reactivos empleados en el proceso, así como también el consumo de servicios públicos y nómina de la planta.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ministerio de Agricultura y Riego de Perú, “Estadística agrícola”. Diciembre 2012. [En línea]. Available: http://siea.minagri.gob.pe/siea/sites/default/files/ii_estad%C3%ADstica_agricola.pdf. [Último acceso: 11 Septiembre 2020].
- [2] Gobierno de México, “Características de la información,”. [En línea]. Available: http://www.campomexicano.gob.mx/portal_siap/Integracion/EstadisticaBasica/Agricola/Normatividad/caracteristicasN.htm. [Último acceso: 11 Septiembre 2020].
- [3] REAL ACADEMIA ESPAÑOLA, DICCIONARIO DE LA LENGUA ESPAÑOLA, Madrid: ESPASA, 1992.
- [4] D. Bohórquez, D. Hurtado, A. Peña, G. Quispe y J. Rodríguez, “CUERO A PARTIR DE LA FIBRA DE PSEUDOTALLO DE PLATANO”. 2020. [En línea]. Available: <http://repositorio.usil.edu.pe/handle/USIL/10460>. [Último acceso: 7 Diciembre 2020].
- [5] Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural de la Gobernación del Cauca, “El componente edafoclimático,” [En línea]. Available: <https://proyectosueloscauca.wordpress.com/2019/01/03/el-sub-modelo-edafoclimatico/>. [Último acceso: 22 Septiembre 2020].
- [6] M. Gurtler y W. Kind, “Hilado”. [En línea]. Available: <http://www.xtec.cat/~cgarci38/ceta/tecnologia/hilatura.htm>. [Último acceso: 17 Octubre 2020].
- [7] BioScripts, centro de investigación y Desarrollo de recursos científicos. “BioDic”. [En línea]. Available: <https://www.biodic.net/palabra/raquis/#.YAnIC-hKg2w>. [Último acceso: 21 Enero 2021].
- [8] S. Irene, “DOCUMENTOS DE TRABAJO SOBRE ECONOMÍA REGIONAL”. Banco de la República, [En línea]. Available: https://repositorio.banrep.gov.co/bitstream/handle/20.500.12134/3070/dtser_121.pdf. [Último acceso: 12 Septiembre 2020].
- [9] G. Narváez y G. León, “CARACTERIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN CLIMÁTICA DE LA REGIÓN ANDINA”. Meteorología Colombiana, nº 4, pp. 121-126, Oct. 2001. [En línea]. Available: http://www.gfnun.unal.edu.co/unciencias/data-file/user_23/file/13%20Narvaez%20G%20Leon.pdf. [Último acceso: 12 Agosto 2020].
- [10] Ideam, “Boletín Agroclimático Nacional enero 2020”. [En línea]. Available: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/96341417/Boletin+Agroclimatico+61+Enero+2020/2250553d-3b95-4c8a-a4fb-5c68ee9048af?version=1.0>. [Último acceso: 12 agosto 2020].
- [11] FAO, “El suelo”. [En línea]. Available: <http://www.fao.org/3/w1309s/w1309s04.htm>. [Último acceso: 21 Enero 2021].
- [12] S. Daza, “Factores que determinan la resiliencia socio-ecológica para la alta montaña andina”. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, vol. 13, nº 25, p. 13, Jun.2014. [En línea]. Available: <http://hdl.handle.net/11407/1820>. [Último Acceso: 12 Agosto 2020]

- [13] C. Agudelo, B. Rivera, J. Tapasco y R. Estrada, “*Relaciones entre pobreza rural y deterioro ambiental en una zona de ladera de la región Andina en Colombia*”. V Simposio Latinoamericano sobre Investigación y Extensión en Sistemas Agropecuarios, Florianópolis, 2002. [En línea]. Available: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/3469613/COL0032002.pdf?response-content-disposition=inline%3B+filename%3DRelaciones_entre_pobreza_rural_y_deterio.pdf&Expires=1612825021&Signature=W77jmE538pharkcUBrWdK8O8ADOAC4wzPrgOzuvJO9JhbYVLDfgyuXHe0~16~8ZyBvgY7CzXld6t73m7CvvGcaOm-5pqELi~1jLRYVs-IW0L4OwF6-EUNgw07vi7kwK9daTYDukxsft~rpJcwcK-fVtH9XigWuijji7IYME0HNCzTpUQO0Xe-vz4hMuMs~UQSDwB0ivU5OYXnPt~KxB6zS5ddYV0YYgCP2hcX2SuSIf3mVbzwY-zqSGMrokBJLmLO-jOvYtc-Nsub~CAPrts9UNxOVbSgVENE8WQktGf8xjjkDB7XPbdg2ouHR4VJEWwxQBoChBYS1UkVWNcRjwNEg__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA. [Último Acceso: 11 Septiembre 2020].
- [14] Gobernación de Colombia, “Planadas”. 23 Noviembre 2017. [En línea]. Available: <http://www.planadas-tolima.gov.co/municipio/nuestro-municipio>. [Último acceso: 11 Septiembre 2020].
- [15] A. Manrique y D. Rivera, “Aprovechamiento de los residuos del pseudotallo del banano común (musa AAA) y del bocadillo (musa AA); para la extracción de fibras textiles” Noviembre 2012. [En línea]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/71397042.pdf>. [Último acceso: 30 Octubre 2020].
- [16] J. Rangel y H. Arellano, Diversidad Biótica IV El Chocó Biogeográfico, Unibiblos. Enero 2004, pp. 39-82. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/313670709_Clima_de_la_region_Pacifica_Colombiana. [Último acceso: 31 Enero 2021]
- [17] M. Pallarez, “Tipos de suelos y formas de tratarlos a favor de la ganadería” 2015. [En línea]. Available: <https://www.contextoganadero.com/reportaje/revisada-tipos-de-suelos-y-formas-de-tratarlos-favor-de-la-ganaderia#:~:text=Esta%20regi%C3%B3n%20est%C3%A1%20comprendida%20por,carb%20org%C3%A1nico%20y%20minerales%20primarios..> [Último acceso: 30 Enero 2021].
- [18] j. Rangel-ch, v. Minorta-c y l. Gopar-merino, «Colombia diversidad la región de la serranía de manacacías (meta) Orinoquía colombiana,» de Colombia diversidad biótica XVII, Universidad Nacional de Colombia, 2019, pp. 75-112. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/339697868_EL_CLIMA_DE_LA_REGION_DE_LA_SERRANIA_DE_MANACACIAS_META_ORINOQUIA_COLOMBIANA_The_climate_of_the_region_the_serrania_of_Manacacias_Meta_Colombian_Orinoquian_region. [Último acceso: 31 Enero 2020]
- [19] Ministerio de Agricultura y desarrollo rural observatorio agrocadenas Colombia, “La cadena de plátano en Colombia”. Marzo 2005. [En línea]. Available: <http://asohofrucol.com.co/archivos/Cadenas/platano.pdf>. [Último acceso: 31 Enero 2021].
- [20] M. Palacios, “Caracterización química de la biomasa procedente de las hojas, pseudotallo, raquis y pseudopeciolo de la planta de banano y su relación con el poder calorífico”.

- 2016.[En línea]. Available: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/26232/1/TESIS.pdf>. [Último acceso: 26 septiembre 2020].
- [21] J. Mejía Acuña, “Refinamiento y funcionalización de fibras naturales en el desarrollo de un material compuesto de matriz PVC reforzado con Fibras lignocelulósicas” 2007. [En línea]. Available: <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/9567/u295223.pdf?sequence=1>. [Último acceso: 24 Septiembre 2020].
- [22] M. Buchanan, “Solvent extractives of wood and Pulp”. 12 Marzo 2007. [En línea]. Available: <https://www.tappi.org/content/sarg/t204.pdf>. [Último acceso: 12 Octubre 2020].
- [23] R. Neira y E. Quiroz, “influencia de la concentración de NaOH del proceso de mercerización en fibras de pseudotallo de plátano, sobre la resistencia atracción, en un compuesto de matriz poliéster insaturada”. 2016. [En línea]. Available: <http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/8947/NEIRA%20CASANA%2C%20Ricardo%20Javier%3B%20QUIROZ%20GRADOS%2C%20Eddy%20Roger..pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Último acceso: 28 Septiembre 2020].
- [24] C. Pedraza, “caracterización de la fibra del pseudotallo de plátano como refuerzo y desarrollo de un material compuesto para fabricación de tejas”. Junio 2019. [En línea]. Available: https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/2768/1/TGT_1401.pdf. [Último acceso: 28 Septiembre 2020].
- [25] D. Armas, S. Ruiz, M. Piovan, L. Matamoros y M. Christian, “Characterization of Mechanical Properties of Fiber Banana Crust and Stem Body”. 11 Noviembre 2011. [En línea]. Available: <https://www.redalyc.org/jatsRepo/614/61447568003/html/index.html>. [Último acceso: 28 Septiembre 2020].
- [26] S. Torres, “Guía práctica para el manejo de banano orgánico en el valle del Chira” Junio 2012. [En línea]. Available: https://www.swisscontact.org/fileadmin/user_upload/COUNTRIES/Peru/Documents/Publications/manual_banano.pdf. [Último acceso: 21 Septiembre 2020].
- [27] J. Sánchez, L. Daza, V. Hernández, E. Castro y C. Cardona, “Análisis tecno-económico de una biorrefinería a partir de residuos del plátano”, Rev. Facultad de ciencias Químicas, vol 1, n.º13, pp. 32-39, Dic. 2015. [En línea]. Available: http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/23893/1/4_articulo_Revista_13.pdf. [Último acceso: 5 Octubre 2020].
- [28] K. Ordoñez y C. Sepúlveda, “Caracterización físico química de los residuos del plátano y el café para su posible uso como materias primas en la fabricación del papel”. 2019. [En línea]. Available: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/24795/Ordo%C3%B1ezPinedaKarenLizethSep%C3%BAvedaMonroyCamila2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Último acceso: 12 Octubre 2020].
- [29] C. Jiménez, “Evaluación de polímeros en pseudotallos de Musa acuminata AAA, Musa sapientum ABB y Musa paradisiaca AAB para elaboración de bioplástico” 2017. [En línea]. Available:

- https://ecosur.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1017/1586/1/100000058414_documento.pdf. [Último acceso: 5 Octubre 2020].
- [30] W. Cifuentes y E. Cifuentes, “propuesta de aprovechamiento de la fibra de plátano en la región del Ariari departamento del meta”. Noviembre 2019. [En línea]. Available: <https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/4925/Propuesta%20aprovechamiento%20fibra%20de%20pl%C3%A1tano.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Último acceso: 22 Septiembre 2020].
- [31] W. Callister y D. Rethwisch, “Thermal Properties, en *Materials Science and engineering and introduction*, octava ed., willey, 2016, pp. 781- 796. [En línea]. Available: <http://kaizenha.com/wp-content/uploads/2016/04/Materials-Textbook-8th-Edition.pdf>. [Último acceso: 11 Octubre 2020]
- [32] O. Bonilla, H. Trujillo, S. Guerra, H. Guevara y C. López, “Extracción y caracterización de la fibra de la hoja de la Lengua de Suegra (*Sansevieria trifasciata*)”. 2009. [En línea]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/5549/1/Omar-Bonilla.pdf>. [Último acceso: 17 Octubre 2020].
- [33] J. Jayaprabha, M. Brahmakumar y V. Manilal, “Banana Pseudostem Characterization and Its Fiber Property Evaluation on Physical and Bioextraction”. *Journal of Natural Fibers*, vol. 8, n° 3, pp. 149-160, 2014. [En línea]. Available: <http://dx.doi.org/10.1080/15440478.2011.601614>. [Último acceso: 17 Octubre 2020].
- [34] S. Xu, C. Xiong, W. Tan y Y. Zhang, “Microstructural Thermal, and Tensile Characterization of Banana Pseudo-stem Fibers Obtained with Mechanical, Chemical, and Enzyme Extraction” *Bioresources*, vol. 10, no. 2, pp. 3724-3735, 2015, https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_10_2_3724_Xu_Banana_Pseudo_Stem_Fibers/3527 [Ultimo acceso: 17 Octubre , 2020]
- [35] L. Gómez, “Obtención experimental de nuevas fibras vegetales”. Universidad del Azuay, [En línea]. Available: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/4778>. [Ultimo acceso: 18 Noviembre, 2020]
- [36] K. Franceschi, S. Pérez, Z. Niño y D. Margalelli, “Modelado y Simulación del Secado de Textiles Delgados Mediante un Cilindro Calentado por Inducción Eléctrica”, *Información Tecnológica*, vol. 19, no. 4, pp. 35-46, 2008., doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642008000400006> [Ultimo acceso: 23 Noviembre, 2020]
- [37] Artesanías de Colombia, “Proyecto Musáceas”. [En Línea]. Disponible: <https://repositorio.artesaniasdecolombia.com.co/bitstream/001/2618/1/INST-D%202000.%2058.pdf> [Ultimo acceso: 2 Diciembre, 2020]
- [38] P. Fito, A. Andrés, J. Barat y A. Albors, “Introducción al secado de alimentos por aire caliente”. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA, [En línea]. Available: https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/e8b523c5-4970-4ae6-b2a3-86f576e81359/TOC_4092_02_01.pdf?guest=true [Ultimo acceso: 2 Diciembre, 2020]
- [39] J. Tornero y M. Kasem, “Estudio comparativo entre los hilos vortex respecto a los hilos OE-rotor y anillos”. [En línea]. Available:

- <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/5621/3estudiocomparativo.pdf> [Último acceso: 2 Diciembre 2020]
- [40] S. Huanca, J. Hanco, M. Bravo y J. Huaraca, “Operación de secado en un secador de bandejas”. Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/doc/109002576/OPERACION-DE-SECADO-EN-UN-SECADOR-DE-BANDEJAS> [Último acceso: 4 Diciembre 2020]
- [41] S. Belalcázar, “El cultivo de plátano en altas densidades de siembra”. Instituto Colombiano Agropecuario, [En línea]. Available: <https://www.ica.gov.co/eventos-memorias/institucionales/2012/documentos/conferencia-dr--sylvio-belalcazar-carvajal.aspx#:~:text=En%20Colombia%20existen%20actualmente%20mas,6.1%20ton%20Fha> [Último acceso: 7 Diciembre 2020]
- [42] K. Abad, X. Mogroviejo y F. Rojas, “Experimentación y posibles aplicaciones de la fibra de banano en el campo textil”. Universidad del Azuay, [En línea]. Available: <http://documentacion.cidap.gob.ec:8080/bitstream/cidap/1602/1/Experimentaci%C3%B3n%20y%20posibles%20aplicaciones%20de%20la%20fibra%20de%20banano%20en%20el%20campo%20textil%20-UDA.pdf> [Último acceso: 7 Diciembre 2020]
- [43] J. Saavedra, “Manual para la tintura de fibras naturales”. Artesanías de Colombia, [En línea]. Available: <https://repositorio.artesanasdecolombia.com.co/handle/001/3316> [Último acceso: 2 Diciembre 2020]
- [44] Alibaba.com. “Acero inoxidable 300kg de carga horizontal cinta transportadora”. [En línea]. Available: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/stainless-steel-300kg-load-horizontal-belt-conveyor-60426318120.html> [Último acceso: 26 Enero 2021]
- [45] Alibaba.com. “Cáñamo/Banana Decorticador/fibra de máquina de extracción”. [En línea]. Available: https://spanish.alibaba.com/product-detail/hemp-banana-decorticator-fiber-extraction-machine-60689088451.html?spm=a2700.md_es_ES.maylikeexp.7.29543f6eBK8wkm [Último acceso: 26 Enero 2021]
- [46] Alibaba.com. “Secador de bandeja de aire caliente Industrial”. [En línea]. Available: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/industrial-hot-air-tray-dryer-60429893034.html?spm=a2700.8699010.normalList.19.40197e13b4MosB> [Último acceso: 26 Enero 2021]
- [47] Zingal. “FR5 – TANQUE DE LAVADO DE FRUTAS (300-500Kg)”. [En línea]. Available: <https://www.grupozingal.co/producto/tanque-de-lavado-de-frutas-300-500-kg/> [Último acceso: 26 Enero 2021]
- [48] Alibaba.com. “Barato SS304 de acero inoxidable blanqueador líquido tanque de mezcla”. [En línea]. Available: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/cheap-ss304-stainless-steel-liquid-bleach-mixing-tank-60770143825.html?spm=a2700.8699010.normalList.20.d5cb526dNb3loa> [Último acceso: 26 Enero 2021]
- [49] Alibaba.com. “Máquina giratoria de anillo de laboratorio”. [En línea]. Available: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/laboratory-ring-spinning-machine->

62140781312.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_image.41d36d3d1pZm1f
[Último acceso: 26 Enero 2021]

- [50] Acueducto de Bogotá. (febrero 18, 2020). "Tarifas 2020". [En línea]. Available: https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB2/Home/atencion-al-usuario/tarifas/tarifas_2020!/ut/p/z1/nZFN4NAEIZ_Sw8e64yTrSy9rZJqG4jZFImdS9BgN4Jxg7GV_vtKCqUWSUPnNsPzzsc7wJABN_I7ZfKusk1eD_kL-9uF9CmOJC0ILQRqT83jYK4oiQk2Z8DXIXoSaYmCQqTPq2CdpKG38gTwNXochcJgTcE
[Último acceso: 26 Enero 2021]
- [51] L. Santana y D. Cubillos, "PROPUESTA DE DISEÑO DE UN DESHIDRATADOR TIPO BANDEJA PARA LA PRODUCCIÓN DE FRUTAS ORGÁNICAS TIPO SNAKS PARA ECOVITALE ORGÁNICO". Fundación Universidad de América, [En línea]. Available: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/451/1/6111616-2016-2-IQ.pdf>
[Último acceso: 10 Noviembre 2020]
- [52] S. Vicente, S. Namgoung, D. Yusá, E. Montesinos y L. Fuster, "ESTUDIO DE LA EFECTIVIDAD DE BLANQUEO EN EL TEJIDO DE ALGODÓN MEDIANTE EL SISTEMA TRADICIONAL COREANO Y DOS SISTEMAS QUÍMICOS ACTUALES". Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio de la Universitat Politècnica de València, [En línea]. Available: https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/34466/2012_6-7_399-404.pdf?sequence=1 [Último acceso: 31 Enero 2021]
- [53] P. Bajpai, "Biermann's Handbook of Pulp and Paper", vol. 1, no. 3, pp. 465-491, 2018, Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128142400000197>
[Último acceso: 31 Enero 2021]
- [54] P. Bajpai, "Biermann's Handbook of Pulp and Paper", vol. 1, no. 3, pp. 509-525, 2018, Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128142400000215?via%3Dihub>
[Último acceso: 31 Enero 2021]
- [55] Mercadolibre.com. "Sulfato De Sodio 1 Kilo". [En línea]. Available: https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-587867415-sulfato-de-sodio-1-kilo-_JM#position=2&type=item&tracking_id=dc5906d2-f2f9-4819-8efc-276aa569303b [Último acceso: 31 Enero 2021]
- [56] Mercadolibre.com. "Hipoclorito De Sodio 5% Por 4 Litros - L a \$3000". [En línea]. Available: https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-583224919-hipoclorito-de-sodio-5-por-4-litros-_JM#position=31&type=pad&tracking_id=a0edf1a1-21fc-4fa5-b0f1-edf760592b0f&is_advertising=true&ad_domain=VQCATCORE_LST&ad_position=31&ad_click_id=ZTAzMDU2MDgtZWnkYi00MDI [Último acceso: 31 Enero 2021]
- [57] Mercadolibre.com. "Caja X 12 Colorantes Textiles Tintes Ropa Convencional" [En línea]. Available: https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-515334357-caja-x-12-colorantes-textiles-tintes-ropa-convencional-_JM#position=3&type=item&tracking_id=75eb849b-efb0-4871-8ef0-cf4f5b80f22c [Último acceso: 31 Enero 2021]
- [58] L. Ricaurte, "Diseño y simulación de un Tanque Mezclador de 10,000 gal para la elaboración de aceites lubricantes". Escuela Superior Politécnica del Litoral, [En línea].

Available: <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/96642/D-CD88467.pdf> [Último acceso: 2 Febrero 2021]

- [59] Universidad Mayor de San Andrés, “Manual para el diseño de una red hidráulica de climatización”. [En línea]. Available: <http://etm2021.com/smaterias/ETM351/Bombas/Operaci%C3%B3n%20Bombas%20Centr%C3%ADfugas.pdf> [Último acceso: 2 Febrero 2021]
- [60] Alibaba.com, “Tanque de mezcla con agitador, diseño de hervidor de vapor de acero inoxidable al mejor precio” [En línea]. Available: https://spanish.alibaba.com/product-detail/best-price-stainless-steel-steam-jacketed-kettle-design-mixing-tank-with-agitator-62181180404.html?spm=a2700.7724857.normal_offer.d_title.6aa265eaySIkRO [Último acceso: 2 Febrero 2021]
- [61] Mercadolibre.com, “Compresor Monofásico Industrial 3 Hp Carga Rápida 250 Litros”. [En línea]. Available: https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-599391136-compresor-monofasico-industrial-3-hp-carga-rapida-250-litros-_JM?matt_tool=44486290&matt_word=&matt_source=google&matt_campaign_id=11537840152&matt_ad_group_id=115404097631&matt_match_type=&matt_network=g [Último acceso: 2 Febrero 2021]
- [62] Mercadolibre.com, “Bomba Centrífuga Para Alimentos 1.5hp 220v Acero Inoxidable”. [En línea]. Available: https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-483306098-bomba-centrifuga-para-alimentos-15hp-220v-acero-inoxidable-_JM#reco_item_pos=0&reco_backend=machinalis-seller-items&reco_backend_type=low_level&reco_client=vip-seller_items-above&reco_id=21cfe4c4-649d-4aa [Último acceso: 2 Febrero 2021]
- [63] Enel Codensa, “TARIFAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA (\$/kWh) REGULADAS POR LA COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS (CREG)”. [En línea]. Available: <https://www.enel.com.co/content/dam/enel-co/espa%C3%B1ol/personas/1-17-1/2020/Tarifario-noviembre-2020.pdf> [Último acceso: 2 Febrero 2021].
- [64] Mercadolibre.com, “Calentador De Inmersión Eléctrico Gesail 1500w”. [En línea]. Available: https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-562765563-calentador-de-inmersion-electrico-gesail-1500w-_JM#position=1&type=item&tracking_id=023afea5-77f4-49b4-8aa6-e30cebfca25 [Último acceso: 2 Febrero 2021]
- [65] CarboSystem, “¿Cómo funciona un compresor de aire?”. [En línea]. Available: <https://carbosystem.com/funcionamiento-compresor-aire> [Último acceso: 2 Febrero 2021]
- [66] Starline air compressor, “¿Qué es un compresor?”. [En línea]. Available: <http://www.starline.com.mx/site/empresa/que-es-un-compresor/> [Último acceso: 2 Febrero 2021]
- [67] Universidad EAFIT, “ASPECTOS IMPORTANTES DE LA NOMINA, EL SALARIO Y LOS PARAFISCALES”. [En línea]. Available: <https://www.eafit.edu.co/escuelas/administracion/departamentos/departamento-contaduria-publica/planta-docente/Documents/Nota%20de%20clase%2072%20aspectos%20sobre%20salario,%20nomina%20y%20parafiscales.pdf> [Último acceso: 2 Febrero 2021]

[68] CHROMALOX, “CALENTADORES DE CIRCULACIÓN E INMERSIÓN”. [En línea]. Available: <https://www.chromalox.com/es-MX/catalog/industrial-heaters-and-systems/C2i%20Immersion%20Heaters> [Último acceso: 2 Febrero 2021]

ANEXOS

ANEXO 1
DOCUMENTO DE EXCEL ADJUNTO

ANEXO 2

ECUACIONES DE BALANCE

$$P_{Sat\ aire@57^{\circ}C} = P_{Total} - P_{Sat\ agua@57^{\circ}C}$$

$$P_{Sat\ aire@57^{\circ}C} = 101,325kpa - 17,8884kpa$$

$$P_{Sat\ aire@57^{\circ}C} = 83,8884\ kpa$$

$$\text{Relación de presiones} = \frac{P_{Sat\ agua@57^{\circ}C}}{P_{Sat\ aire@57^{\circ}C}}$$

$$P_{Sat\ aire@57^{\circ}C} = \frac{17,8884kpa}{83,8884kpa} = 0,207854 \frac{kpa\ agua}{kpa\ aire}$$

$$\frac{P_{Sat\ agua@57^{\circ}C}}{P_{Sat\ aire@57^{\circ}C}} = \frac{n_{agua@57^{\circ}C}}{n_{aire@57^{\circ}C}}$$

$$\frac{n_{agua@57^{\circ}C}}{n_{aire@57^{\circ}C}} = 0,207854 \frac{mol\ agua}{mol\ aire} * \frac{18\ g\ agua}{1\ mol\ agua} * \frac{1\ mol\ aire}{28\ g\ aire} = 0,1336\ g_{agua}/g_{aire}$$

$$\text{Humedad a la salida del secador} = 0,1336\ kg_{agua}/kg_{aire}$$