



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN CAMBIO CLIMÁTICO Y DESARROLLO
SOSTENIBLE
TESIS

**OBTENCIÓN SOSTENIBLE DE FIBRAS DE NANOCELULOSA A
PARTIR DE *Stipa obtusa***

**PARA OPTAR AL GRADO ACADEMICO DE MAESTRO EN CAMBIO
CLIMÁTICO Y DESARROLLO SOSTENIBLE**

AUTOR

Br. BITIA KURI CHAVEZ BERMUDEZ

ASESOR:

MSc. URIEL RAUL FERNANDEZ BERNAOLA

CO ASESORA:

MSc. KAREN MELISSA GARCES PORRAS

TESIS FINANCIADA POR CONVENIO N° 141-2020-
FONDECYT

CUSCO- PERÚ

2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro. CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, asesor del trabajo de investigación/tesis titulado:.....
..... OBTENCIÓN SOSTENIBLE DE FIBRAS DE NANOCELULOSA A PARTIR DE *Stipa obtusa*
presentado por: BITIA KURI CHÁVEZ BERMÚDEZ con Nro. de
DNI:45026869....., para optar el título profesional/grado académico de..... MAESTRO EN
CAMBIO CLIMÁTICO Y DESARROLLO SOSTENIBLE Informo que el trabajo de
investigación ha sido sometido a revisión por...2.. veces, mediante el Software Antiplagio,
conforme al Art. 6° del *Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC* y de la
evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de.....9.....

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o
título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y
adjunto la primera hoja del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, ...27. de.....junio.... de 2023.....



Firma

Post firma...URIEL RAUL FERNANDEZ BERNAOLA....

Nro. de DNI...43130855....

ORCID del Asesor: <https://orcid.org/0000-0002-9386-702X>

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: <https://unsaac.turnitin.com/viewer/submissions/oid:27259:242381334?locale=es-MX>

NOMBRE DEL TRABAJO

**02. VFTesis_levantamiento observacione
s.doc**

AUTOR

Bitia Chavez

RECUENTO DE PALABRAS

31364 Words

RECUENTO DE CARACTERES

169158 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

132 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

16.0MB

FECHA DE ENTREGA

Jun 27, 2023 12:30 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jun 27, 2023 12:32 PM GMT-5**● 9% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 7% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 4% Base de datos de trabajos entregados
- 6% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 15 palabras)



DEDICATORIA

A mi panaka, mi familia, principal
inspiración y motor para seguir
adelante.

AGRADECIMIENTOS

La presente investigación se realizó gracias al Convenio: N° 141 - 2020 FONDECYT (Actualmente PROCIENCIA) Proyecto de elaboración y caracterización de biopolímeros antibacteriales reforzados con nanocelulosa, obtenidos a partir de plantas endémicas del Perú, para ser utilizados como empaque de alimentos.

Un especial agradecimiento especial a mis asesores Mgt. Uriel Fernández y Mgt. Karen Garces quienes me brindaron su apoyo constante.

Contenido

INTRODUCCIÓN.....	9
CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
1.1. Descripción del problema.....	11
1.2. Formulación de preguntas.....	11
Problema general.....	11
Problemas específicos.....	11
1.3. Justificación de la investigación.....	12
1.4. Objetivos de la investigación.....	13
Objetivo general.....	13
Objetivos específicos.....	13
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.....	14
2.1. Bases teóricas.....	14
Nanomateriales de celulosa.....	14
Polímeros constituyentes de los materiales lignocelulósicos.....	15
Celulosa.....	15
Hemicelulosa.....	16
Lignina.....	16
Nanocelulosa.....	16
2.2. Marco conceptual.....	19
2.2.1. <i>Stipa obtusa</i>	19
2.2.2. Composición química de la <i>Stipa obtusa</i>	20
2.2.3. Conservación y uso sostenible de los recursos bajo un enfoque integrado.....	20
2.2.4. Innovación tecnológica para la puesta en valor y uso sostenible de la biodiversidad.....	21
2.2.5. Producción de plásticos biodegradables bajo sistemas de producción limpia.....	22
2.2.6. Métodos de pretratamiento para la producción de celulosa.....	22
2.2.7. Métodos de producción de nanocelulosa.....	24
2.2.7.1. Métodos físicos de obtención de nanocelulosa.....	24
2.2.7.2. Métodos químicos de obtención de nanocelulosa.....	26
2.2.7.3. Métodos físicos- químicos para la obtención de nanocelulosa.....	27
2.2.7.4. Métodos biológicos de obtención de nanocelulosa.....	28
2.2.7.5. Métodos combinados de obtención de nanocelulosa.....	28
2.2.8. Evaluación de métodos de producción de nanocelulosa.....	29
2.3. Antecedentes empíricos de la investigación.....	35
A nivel internacional.....	35
A nivel nacional.....	36
CAPITULO III. HIPOTESIS Y VARIABLES.....	37
3.1. Hipótesis.....	37
Hipótesis general.....	37
Hipótesis específicas.....	37

3.2. Identificación de variables e indicadores.....	38
3.3. Operacionalización de variables	39
CAPITULO IV. METODOLOGÍA	40
4.1. Ámbito de estudio.....	40
4.2. Tipo y nivel de investigación	42
4.3. Unidad de análisis	43
4.4. Población de estudio	43
4.5. Tamaño de muestra	43
4.6. Metodología de trabajo para la obtención de fibras de nanocelulosa (FNC).....	44
4.6.1. Pre tratamiento mecánico de las fibras	45
4.6.2. Obtención de celulosa y fibras de nanocelulosa.....	46
4.7. Metodología de trabajo para la caracterización física y química de FNC.....	48
a. Caracterización de la composición química de FNC	48
b. Caracterización química de micro y fibras de nanocelulosa por DRX	54
c. Caracterización química de nanofibras de celulosa por FTIR.....	54
d. Caracterización química de nanofibras de celulosa por SEM y EDS	55
e. Caracterización física de nanofibras de celulosa mediante TEM y SEM.....	56
4.8. Metodología de trabajo para la evaluación de impactos ambientales	57
a. Evaluación de componentes interactuantes.....	59
b. Identificación de impactos	60
c. Identificación de aspectos ambientales.....	60
d. Identificación de riesgos ambientales	60
e. Identificación y evaluación de impactos ambientales	61
f. Grado de importancia de los impactos ambientales	66
g. Descripción de impactos evaluados.....	67
CAPITULO V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	68
5.1. Resultado 1: Determinación de las características fisicoquímicas para identificar el potencial de producción de FNC a partir de <i>Stipa obtusa</i>	68
5.1.1. Composición química de las micro fibras y nano fibras de celulosa.....	68
5.2. Resultado 2: Determinación de la metodología para la obtención sostenible de FNC a partir de <i>Stipa obtusa</i>	71
5.2.1. Metodología de obtención sostenible de FNC a partir de <i>Stipa obtusa</i> validada	71
5.3. Resultado 3: Evaluación de las características fisicoquímicas de FNC obtenidas.....	73
5.3.1. Caracterización de micro y nano fibras de celulosa por DRX.....	73
5.3.2. Caracterización de FNC por FTIR.....	77
5.3.3. Caracterización de FNC por TEM	79
5.3.4. Caracterización de microfibras de celulosa por SEM	80
5.4. Resultado 4: Identificación y valoración de los impactos ambientales asociados	84
5.4.1. Identificación de aspectos ambientales.....	84
5.4.2. Identificación de riesgos ambientales	86
5.4.3. Identificación de impactos ambientales.....	87

5.4.4. Identificación de aspectos ambientales.....	89
5.4.5. Valorización de impactos por intensidad.....	90
5.4.6. Valorización de impactos por extensión.....	91
5.4.7. Valorización de impactos por momento.....	92
5.4.8. Valorización de impactos por persistencia.....	93
5.4.9. Valorización de impactos por reversibilidad.....	94
5.4.10. Valorización de impactos por sinergia del impacto.....	95
5.4.11. Valorización de impactos por acumulación.....	96
5.4.12. Valorización de impactos por efecto.....	97
5.4.13. Valorización de impactos por periodicidad.....	98
5.4.14. Valorización de impactos por recuperabilidad.....	99
5.4.15. Grado de importancia de los impactos ambientales.....	100
CONCLUSIONES.....	114
RECOMENDACIONES.....	116
BIBLIOGRAFIA.....	117
ANEXOS.....	126

Lista de tablas

Tabla 1.	Composición de la paja (<i>Stipa obtusa</i>).....	20
Tabla 2.	Producción de nanocelulosa por métodos físicos	30
Tabla 3.	Producción de nanocelulosa por métodos químicos	31
Tabla 4.	Producción de nanocelulosa por métodos físico químicos	32
Tabla 5.	Producción de nanocelulosa por métodos biológicos.....	33
Tabla 6.	Producción de nanocelulosa por métodos combinados	34
Tabla 7.	Matriz de indicadores, técnicas e instrumentos.....	38
Tabla 8.	Matriz de operacionalización de variables	39
Tabla 9.	Identificación de etapas susceptibles de impacto en la obtención de FNC	58
Tabla 10.	Principales actividades identificadas en el proceso de producción de FNC.....	60
Tabla 11.	Criterios de Valoración de impactos ambientales	61
Tabla 12.	Calificación de la Intensidad del impacto.....	62
Tabla 13.	Calificación de la extensión del impacto	63
Tabla 14.	Calificación del momento del impacto	63
Tabla 15.	Calificación de la Persistencia del impacto.....	63
Tabla 16.	Calificación de la reversibilidad del impacto	64
Tabla 17.	Calificación de la sinergia del impacto.....	64
Tabla 18.	Calificación de la acumulación del impacto	65
Tabla 19.	Calificación del efecto del impacto	65
Tabla 20.	Calificación de periodicidad del impacto.....	66
Tabla 21.	Calificación de recuperabilidad el impacto.....	66
Tabla 22.	Grado de importancia del impacto ambiental	67
Tabla 23.	Composición química de las fibras de <i>Stipa obtusa</i> según norma TAPPI.....	68
Tabla 24.	Contenido de celulosa después de 2º explosión por vapor en medio ácido por 1 y 2h	69
Tabla 25.	Contenido de celulosa después de tratamiento alcalino y tratamiento ácido ...	70
Tabla 26.	Grado de cristalinidad medido mediante DRX de FNC durante el tratamiento químico térmico.....	75
Tabla 27.	Contenido de concentración molecular	76
Tabla 28.	Asignación de grupos funcionales	79
Tabla 29.	Composición química analizada por EDS.....	83
Tabla 30.	Identificación de aspectos ambientales	85
Tabla 31.	Matriz de riesgos ambientales.....	86
Tabla 32.	Identificación y evaluación de impactos ambientales	87
Tabla 33.	Matriz de impactos por naturaleza.....	89
Tabla 34.	Matriz de intensidad	90
Tabla 35.	Matriz de extensión	91
Tabla 36.	Matriz de momento	92
Tabla 37.	Matriz de persistencia	93
Tabla 38.	Matriz de reversibilidad	94
Tabla 39.	Matriz de sinergia del impacto.....	95
Tabla 40.	Matriz de acumulación	96
Tabla 41.	Matriz de efecto.....	97
Tabla 42.	Matriz de impactos por periodicidad	98
Tabla 43.	Matriz de recuperabilidad	99
Tabla 44.	Valorización de impactos por recuperabilidad	100
Tabla 45.	Descripción de impactos ambientales por etapas.....	101
Tabla 46.	Resumen de evaluación de impactos ambientales de la obtención de FNC..	112

Lista de figuras

Figura 1.	Términos estándar para nano materiales de celulosa	14
Figura 2.	Esquema de la estructura de fibras de celulosa vegetal	17
Figura 3.	Representación esquemática de la estructura de biomasa de lignocelulosa	18
Figura 4.	<i>Stipa obtusa</i>	19
Figura 5.	Ilustración de los principales enfoques en la producción de nanocelulosa	23
Figura 6.	Ubicación del muestreo de <i>Stipa obtusa</i>	40
Figura 7.	Mapa de cobertura vegetal de la provincia de Canchis- Cusco.....	41
Figura 8.	ZEE de la zona de muestreo	42
Figura 9.	Etapas de trabajo durante la obtención de FNC a partir de <i>Stipa obtusa</i>	44
Figura 10.	Proceso de trituración de las fibras	45
Figura 11.	Diagrama de bloques del proceso de obtención de FNC.....	46
Figura 12.	Equipo de explosión de vapor	47
Figura 13.	Agitador mecánico tipo Stirrer CATR50.....	48
Figura 14.	Equipo FTIR utilizado para las pruebas.....	55
Figura 15.	Equipo SEM utilizado para las pruebas	56
Figura 16.	Equipo TEM y SEM utilizado para las pruebas	57
Figura 17.	Estructura de un Análisis de Ciclo de Vida	57
Figura 18.	Estructura de evaluación de impactos- método CONESA	59
Figura 19.	Diagrama de bloques del proceso de obtención de FNC.....	72
Figura 20.	Difractogramas DRX de las fibras de nanocelulosa obtenidas	74
Figura 21.	Difractogramas DRX de FNC obtenidas	76
Figura 22.	Evaluación de composición de FNC por DRX	77
Figura 23.	Espectro infrarrojo de la muestra	79
Figura 24.	Imágenes TEM de fibras de micro y nano celulosa	80
Figura 25.	Imágenes SEM de fibras de micro y nano celulosa	81
Figura 26.	Muestreo de fibras de micro y nano celulosa por EDS	82
Figura 27.	Composición química de fibras de micro y nano celulosa por EDS	82

Lista de abreviaturas

CNC : Celulosa nanocristalina

CNF ó FNC : Celulosa nanofibrilada

DRX : Difracción de rayos X

EDS o EDX : Espectroscopia de rayos X de energía dispersiva

FTIR : Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier

GEI : Gases de efecto invernadero

NCB : Nanocelulosa bacteriana

NC : Nanocelulosa

SEM : Microscopía electrónica de barrido

TEM : Transmisión por Microscopia Electrónica

Resumen

Hoy en día se hace necesario utilizar materiales biodegradables con bajo impacto ambiental. La presente investigación se centró en el desarrollo de un sistema de obtención sostenible de fibras de nanocelulosa a partir de *Stipa obtusa*, para lo cual se utilizó una metodología de producción de fibras menos contaminante. Se realizó un pre tratamiento mecánico de trituración, pasando las fibras por la malla ASTM N°30 (600 μm), para la obtención de nanocelulosa se realizó un primer tratamiento de explosión de vapor por 1 hora a 130 °C y 20 lb/pulg^2 a diferentes concentraciones 0.05 M 0.5 M y 1.5 M de hidróxido de sodio (NaOH), obteniéndose los mejores resultados a 0.5 M, un segundo tratamiento de blanqueamiento con 3.4ml de ácido acético ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$) por cada 10 g de muestra y 25% (v/v) de hipoclorito de sodio (NaClO). Posteriormente, se realizó un tercer tratamiento de fibrilación mediante tratamiento térmico químico, utilizando soluciones de 6, 8 y 12% (m/v) de ácido oxálico ($\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$) a una presión de 20 lb/pulg^2 y 130°C, obteniéndose mejores resultados al 8%. Finalmente, las fibras fueron separadas de la solución y homogeneizadas. Se realizó una caracterización química usando las normas de la Asociación Técnica de las Industrias de la Celulosa y el Papel (TAPPI) para la determinación de celulosa en diferentes etapas del proceso y se encontró que el mayor porcentaje de celulosa obtenido en las nanofibras fue de 79.50%. Se analizó la estructura, composición química, morfología mediante técnicas de Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR), Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) y Transmisión por Microscopía Electrónica (TEM) llegando a observar nanofibras entre 30 nm a 50 nm. Finalmente se realizó una evaluación del impacto ambiental generado en los diferentes procesos de extracción y se realizaron propuestas para la reducción del impacto utilizando la matriz CONESA.

Palabras clave: *Nanocelulosa, Fibra de Stipa obtusa, nanofibras, fibras naturales, explosión por vapor, SEM, TEM, FTIR*

Abstract

Today, it is imperative to utilize biodegradable materials with minimal environmental impact. This research focuses on the development of a sustainable methodology for producing nanocellulose fibers from *Stipa obtusa*, aiming to achieve a less environmentally harmful fiber production process.

The process began with a mechanical crushing pre-treatment, where the fibers were passed through an ASTM No. 30 mesh (600 μm) to obtain nanocellulose. Subsequently, a first steam explosion treatment was conducted for one hour at 130°C and 20 lb/in² pressure, with varying sodium hydroxide (NaOH) concentrations of 0.05M, 0.5M, and 1.5M. The best results were obtained at a concentration of 0.5M. Next, a second bleaching treatment was applied, consisting of 3.4ml of acetic acid (C₂H₄O₂) per every 10g sample and 25% (v/v) sodium hypochlorite (NaClO).

Following this, a third fibrillation treatment was performed using thermal chemical treatment. Solutions with concentrations of 6%, 8%, and 12% (m/v) of oxalic acid (C₂H₂O₄) were used at a pressure of 20 lb/in² and 130°C. The most favorable results were obtained at an 8% concentration. Subsequently, the fibers were separated from the solution and homogenized. Chemical characterization was carried out following the Technical Association of the Pulp and Paper Industries (TAPPI) standards for cellulose determination at different stages of the process. The highest percentage of cellulose obtained in the nanofibers was found to be 79.50%.

To analyze the structure, chemical composition, and morphology of the nanofibers, Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), Scanning Electron Microscopy (SEM), and Transmission Electron Microscopy (TEM) techniques were employed, revealing nanofibers ranging in size from 30 nm to 50 nm.

Finally, an evaluation of the environmental impact generated by the various extraction processes was conducted, and recommendations for reducing this impact were proposed using the CONESA matrix."

Keywords: *Nanocellulose, Stipa obtusa fiber, nanofibers, natural fibers, steam explosion, SEM, TEM, FTIR*

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, el consumo de recursos materiales alcanzó los 79 Gt en 2011, y se espera que aumente a 167 Gt en 2060 debido al crecimiento continuo de la población y al desarrollo económico insostenible. El consumismo ha llevado a un incremento en la extracción, procesamiento y desperdicio de materiales, lo que a su vez ha provocado graves consecuencias ambientales y ha puesto en peligro el bienestar futuro de nuestra economía. (Global Material Resources Outlook to 2060, 2019).

Por otro lado, existe una relación directa entre la cantidad de materias primas y energía utilizadas en los procesos industriales y la generación de gases de efecto invernadero (GEI) a lo largo del ciclo de vida de un producto. La producción de materias primas es responsable de aproximadamente el 19% de las emisiones globales de GEI, mientras que el sector de residuos contribuye con otro 3%. El Acuerdo de París, firmado en 2015, tiene como objetivo limitar el aumento de la temperatura global a menos de 2 °C por encima de los niveles preindustriales, y perseguir esfuerzos para limitar el aumento a 1.5 °C para el año 2100. Para lograr este objetivo, se requieren reducciones sustanciales en las emisiones globales de GEI, y se estima que más de la mitad de todas las emisiones de GEI están relacionadas con las actividades de gestión de materiales. Se espera que las emisiones de GEI relacionadas con la gestión de materiales aumenten a alrededor de 50 Gt de equivalentes de CO₂ para 2060. (Global Material Resources Outlook to 2060, 2019).

Según el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) 2005, en los últimos años se ha observado una tendencia mundial hacia el uso y consumo de productos derivados de bioinsumos, biomateriales, bioservicios, biomedicina y bioenergía, lo que ha llevado a ampliar significativamente los usos tradicionales de los productos agroindustriales. En este contexto, los pastizales naturales, y en particular la *Stipa obtusa* (también conocida como ichu, gramínea característica de la región andina), presentan una gran cantidad de celulosa que podría ser aprovechada para la producción sostenible de nuevos materiales. A pesar de ello, en la actualidad, el principal uso que se les

da a los pastizales es como cobertura vegetal y alimento para animales. Sin embargo, se han reportado casos en los cuales los agricultores al incrementar la frontera agrícola, realizan quemas indiscriminadas que derivan a incendios, provocando grandes daños ambientales. (CENEPRED, 2021)

Actualmente se viene implementando la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible a nivel nacional, que establece 17 objetivos de desarrollo sostenible con indicadores clave para promover una gestión sostenible de los recursos. La propuesta de imagen de futuro del Perú al 2030 incluye esfuerzos concertados para la conservación y gestión sostenible de los recursos naturales y medidas frente al cambio climático. La presente investigación está alineada con el objetivo de desarrollo sostenible número 12: consumo y producción responsable, que busca fomentar la investigación y el desarrollo de tecnologías ecológicamente racionales para lograr un consumo y producción sostenibles (Informe Nacional Voluntario sobre la implementación de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, 2017).

Por otro lado, la Agenda de Investigación Ambiental en Perú al 2021 en el eje temático N°1: conservación y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y de la diversidad biológica, dentro del componente de aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, el Ministerio del Ambiente- MINAM promueve la innovación de productos con alto potencial y valor agregado y con métodos de obtención limpia. Es por ello, que el presente estudio, busca aplicar una transferencia tecnológica para el desarrollo de un proceso de obtención sostenible a partir de *Stipa obtusa*, como medio de producción de fibras de nanocelulosa, los cuales podrán servir de base para la elaboración de nuevos materiales. Brindando de esta manera una alternativa de producción sostenible de fibras para futuras aplicaciones al desarrollo de biopolímeros que puedan ser sustitutos al plástico.

CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

El sistema actual de consumo fomenta la necesidad constante de una mayor cantidad de materiales, lo que pone en peligro la sostenibilidad del planeta. En especial, el uso de plásticos está incrementando cada vez más, En el mundo se utilizan 5 billones de bolsas al año, casi 10 millones de bolsas por cada minuto y en Perú 30 kilos de plástico por ciudadano (MINAM 2021). Por esta razón, es fundamental encontrar soluciones sostenibles para la fabricación de estos materiales. Por otro lado, existe un potencial en los pajonales altoandinos, (2836.92 Km² registradas en Ad/ev según la ZEE 2005 en la región Cusco), esta fibra contiene un gran porcentaje de celulosa, insumo base para producción de materiales biodegradables. Pese a tener una fuente potencialmente valiosa de celulosa, actualmente no se está aprovechando de manera sostenible en procesos productivos para la elaboración de biomateriales. Por lo tanto, se necesita realizar una investigación para determinar una metodología de producción de fibras de nanocelulosa a partir de la *Stipa obtusa*.

1.2. Formulación de preguntas

Problema general

¿Cómo obtener sosteniblemente fibras de nanocelulosa a partir de *Stipa obtusa*, como una alternativa viable para producir materiales plásticos biodegradables?

Problemas específicos

- ¿Cómo determinar las características fisicoquímicas para identificar el potencial de producción de fibras de nanocelulosa a partir de *Stipa obtusa*?
- ¿Cómo diseñar una metodología para la obtención sostenible de fibras de nanocelulosa a partir de *Stipa obtusa*?
- ¿Cómo evaluar las características fisicoquímicas de las fibras de nanocelulosa obtenidas?

- ¿Cómo identificar y valorar los impactos ambientales y efectos en la salud humana asociados a la obtención sostenible de fibras de nanocelulosa a partir de *Stipa obtusa*?

1.3. Justificación de la investigación

La región Cusco ha registrado la mayor cantidad de emergencias históricas debido a incendios forestales, los cuales se originan principalmente por la acción humana. Una de las principales consecuencias de los incendios ha sido la pérdida de cobertura vegetal y fauna silvestre, el deterioro del patrimonio cultural y la contaminación del aire. De acuerdo con la base de datos de ocurrencias de incendios forestales del periodo 2003-2020, las provincias de La Convención, Canchis, Espinar, Quispicanchi y Calca son las que presentan una mayor cantidad de eventos registrados. Según el estudio Escenarios de riesgo por incendios forestales en la región Cusco, se observó que el 21.6% del territorio de la región Cusco está expuesto a un riesgo muy alto, mientras que el 4.1% está expuesto a riesgo alto (CENEPRED, 2021).

Por otro lado, el Plan Bicentenario “Perú hacia el 2021” (CEPLAN, 2011) concibe como un objetivo prioritario nacional la conservación y uso sostenible de los recursos naturales y la biodiversidad, bajo un enfoque integrado, ambiental y ecosistémico; es así que dentro de las prioridades desarrolladas por el Programa Nacional Transversal de Valorización de la Biodiversidad es el incremento del conocimiento científico y tecnológico, así como la innovación tecnológica para la puesta en valor y uso sostenible de la biodiversidad en beneficio de la sociedad (CONCYTEC, 2021).

En el contexto actual, existe una creciente demanda de biomateriales que satisfagan los requerimientos de sostenibilidad y rendimiento. La nanocelulosa es un material ideal para la producción de bioplásticos y otros productos; la *Stipa obtusa* debido a su alto contenido de celulosa, es una materia prima atractiva para esta industria emergente.

El presente estudio de obtención sostenible de fibras de nanocelulosa a partir de *Stipa obtusa*, permitirá diseñar una metodología para la obtención de un biomaterial con un bajo impacto ambiental en la emisión de efluentes contaminantes, frente a los métodos tradicionales de obtención a partir de

ácidos fuertes. Así mismo, la producción sostenible de fibras de nanocelulosa a partir de esta gramínea podría ofrecer una alternativa rentable y respetuosa con el medio ambiente para las comunidades locales que dependen de la ganadería y la agricultura. Al valorar los pastizales y promover su conservación, se podrían reducir los incendios forestales y proteger los ecosistemas naturales.

1.4. Objetivos de la investigación

Objetivo general

- Obtener sosteniblemente fibras de nanocelulosa a partir de *Stipa obtusa* como una alternativa viable para producir materiales plásticos biodegradables.

Objetivos específicos

- Determinar las características fisicoquímicas para identificar el potencial de producción de fibras de nanocelulosa a partir de *Stipa obtusa*.
- Desarrollar una metodología para la obtención sostenible de fibras de nanocelulosa a partir de *Stipa obtusa*.
- Evaluar las características fisicoquímicas de las fibras de nanocelulosa obtenidas.
- Identificar y valorar los impactos ambientales y efectos en la salud humana asociados a la obtención sostenible de fibras de nanocelulosa a partir de *Stipa obtusa*.

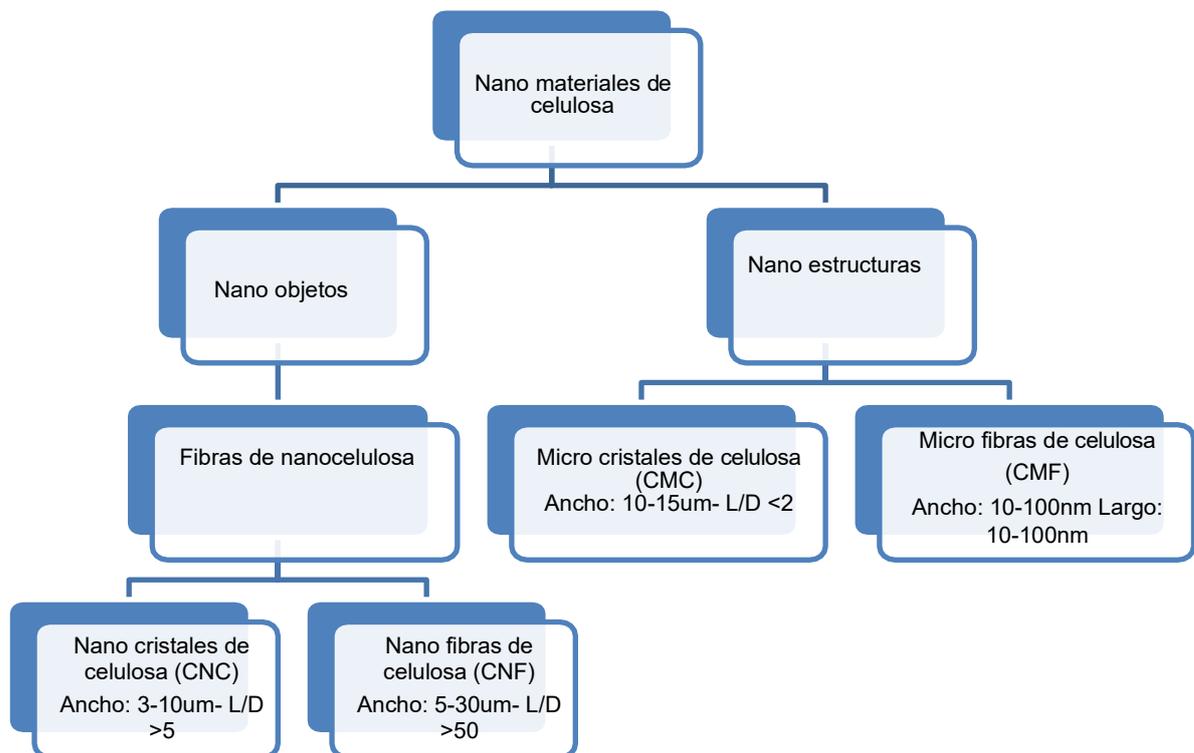
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

2.1. Bases teóricas

Nanomateriales de celulosa

La celulosa es una de las materias orgánicas renovables más abundante e importante en las plantas y sirve para mantener la estructura celular. Desde un punto de vista estructural, la celulosa es un homopolisacárido de alto peso molecular compuesto por unidades de b-1,4-anhidroD-glucopiranosas. (Habibi, Y. 2014). La arquitectura de la celulosa natural consta de cristales y fibrillas a nano escala. Las nano fibrillas de celulosa (CNF) son formaciones largas, delgadas y flexibles compuestas de dominios cristalinos y amorfos alternados, mientras que los nanocristales de celulosa (CNC) obtenidos son cristalinos en forma de varilla. (Kargarzadeh et al., 2017) En la figura N°1 se observa la categorización de nanomateriales de celulosa.

Figura 1. Términos estándar para nano materiales de celulosa



Fuente: Kargarzadeh et al., 2014.

Polímeros constituyentes de los materiales lignocelulósicos

La pared de las células vegetales tiene una estructura compleja formada por una pared primaria y secundaria, compuesta por hidratos de carbono, proteínas, lignina, agua y otros compuestos.

En la estructura de la pared celular vegetal se puede distinguir las fases fibrilar y amorfa. La fase fibrilar está conformada por celulosa, mientras que la amorfa formada por hemicelulosa, compuestos pécticos, glicoproteínas y lignina. Los principales componentes primarios son la celulosa, hemicelulosa, pectina y agua, mientras que las paredes secundarias están conformadas por hemicelulosa, lignina y agua (Cerde, L. 2016). Las hemicelulosas cubren a la celulosa y en conjunto con la pectina, contribuyen a unir las fibras de celulosa. La lignina es una molécula compleja de la fase amorfa que confiere rigidez a la pared, en la pared primaria predomina la matriz amorfa formada por polisacáridos no celulósicos y en la pared secundaria predomina la hemicelulosa y lignina (Somerville, C. 2006).

Celulosa

La celulosa es el biopolímero más abundante en la naturaleza, ya que se trata del principal componente estructural de las células vegetales. Este biopolímero está conformado por microfibrillas cristalinas insolubles, y por subunidades de glucosa que se unen mediante enlaces glucosídicos en la configuración β -1-4 dando lugar a la unidad central celobiosa que se repite exactamente en la cadena polimérica. Este tipo de estructuras forman a las microfibrillas que, a su vez, al acoplarse una con otra, crean arreglos cristalinos y algunos arreglos amorfos. Estas microfibrillas se unen formando múltiples capas que están embebidas en una matriz de hemicelulosa y/o lignina (Esau, K. 1985).

Hemicelulosa

La hemicelulosa es un polisacárido que está constituido por pentosas y hexosas. En la hemicelulosa, encontramos diversas subunidades, como las pentosas (xilosa, ramnosa y arabinosa) y las hexosas (glucosa, manosa y galactosa). En menor proporción, también hay ácidos urónicos (4- OMetilglucurónico, D-Glucurónico, y D-Galacturónico). Este último grupo de monosacáridos (ácidos urónicos), constituyen las sustancias pécticas, las cuales se presentan principalmente de tres formas: protopectina, pectina y ácido péctico (Esau, K. 1985).

Lignina

La lignina es un heteropolímero amorfo, tridimensional y ramificado compuesto por alcoholes aromáticos, los cuales le dan soporte estructural, rigidez, protección e impermeabilidad a los polisacáridos estructurales de celulosa y hemicelulosa (Aro et al. 2005). La composición química de este biopolímero, se encuentra constituido principalmente por: cumaril (H), guaiacil (G) y sirigil (S) (Munguia D. 2016).

Nanocelulosa

La nanocelulosa es un polisacárido estructural que puede extraerse de cualquier materia orgánica celulósica. La nanocelulosa tiene morfologías, características y nanoestructuras superficiales únicas, preparadas a partir de recursos de biomasa vegetal abundantes y renovables.

Existen diferentes métodos de extracción de nanocelulosa, entre los que destacan: hidrólisis química, disrupción mecánica, enzimática o la combinación de dos o más enfoques (Lindström, 2017). Dependiendo del proceso de obtención de nanocelulosa se observan una variedad de propiedades características químicas, físicas, como el grado de cristalinidad, elasticidad, dureza, entre otros. La elección del método de obtención de la nanocelulosa, deberá tomar en cuenta estas variables que determinarán sus aplicaciones posteriores.

Según la TAPPI (Technical Association of the Pulp and Paper Industry), la designación "nanocelulosa" se refiere comúnmente a todos los tipos de

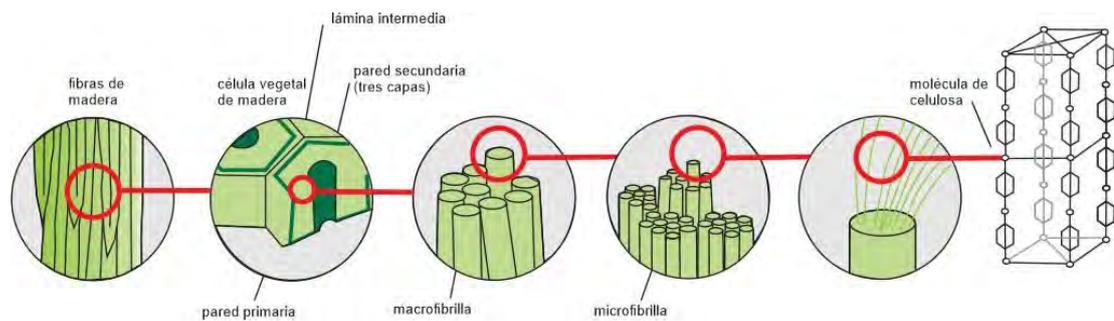
sustratos celulósicos nanométricos, incluidos los CNC, NFC y BNC. Pero vale la pena indicar que aún hay una considerable discrepancia en la terminología y la definición de estos productos dictada por la gran variabilidad de materias primas, metodologías de obtención y procesamiento, lo que lleva a algunos malentendidos y ambigüedad. Sin embargo, la institución está regularizando esta situación a través del establecimiento de términos estándar y su definición para Nanomaterial de celulosa que aún no está disponible. (Habibi, Y. 2014)

Es así, que la nanocelulosa podría clasificarse en dos grupos:

- a. Nanofibras de celulosa (CNF, o celulosa nanofibrilada), con una estructura fibrilar semicristalina más larga
- b. Nanocristales de celulosa (CNC o celulosa nanocristalina), con una estructura altamente cristalina

Las estructuras jerárquicas de las fibras de celulosa de fibras vegetales, cuentan con diversas secciones, las paredes primarias son estructuras externas que conjuntamente con la lignina ofrecen características de rigidez a las fibras, las macro y microfibrillas internas son estructuras de soporte en las cuales se encuentran las moléculas de celulosa, como se puede observar en la figura N°2.

Figura 2. Esquema de la estructura de fibras de celulosa vegetal

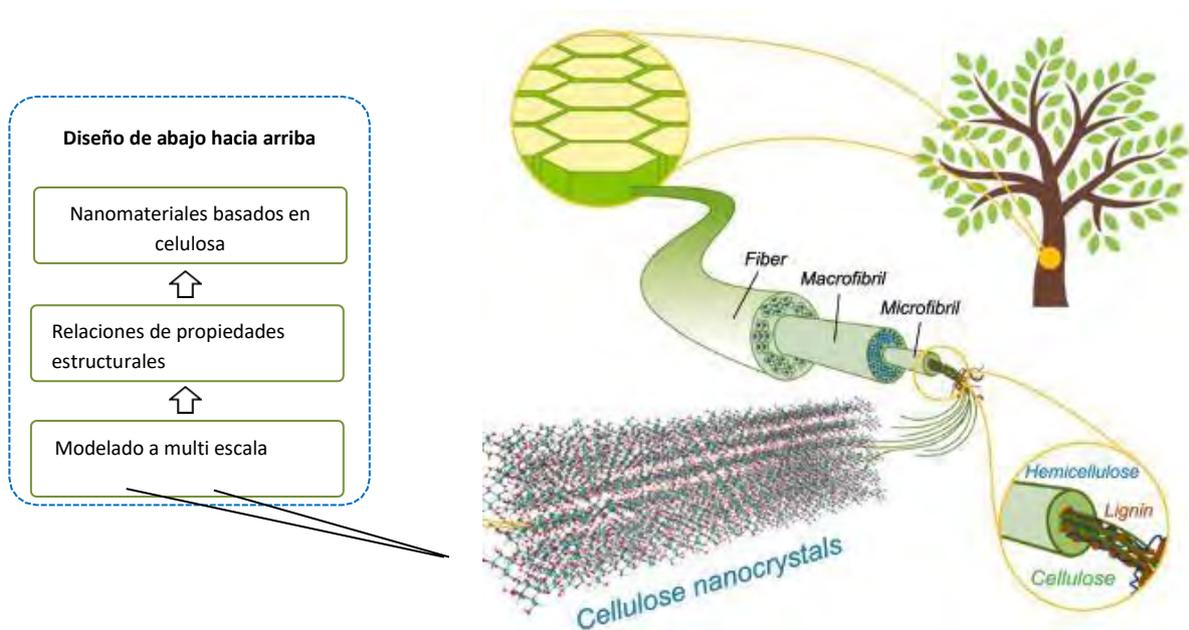


Fuente: Celluforce

Según Martínez, F., 2018., la estructura compleja de los cristales de celulosa a nanoescala influye en las propiedades de los materiales de celulosa a nivel macro escala; por lo tanto, el comprender estos mecanismos proporciona pautas para el diseño de nanomateriales basados en celulosa.

Las cadenas de celulosa se auto ensamblan en fibrillas orientadas helicoidalmente que se organizan en estructuras de orden superior, lo que da como resultado una disposición en capas (Figura 3). Modelar y simular estos mecanismos ayuda en el desarrollo de tecnologías para controlarlos. Además, los enlaces de hidrógeno estabilizan los cristales de celulosa, mientras que el enlace covalente continuo a lo largo de las nano fibrillas proporciona rigidez y resistencia.

Figura 3. Representación esquemática de la estructura de biomasa de lignocelulosa



Fuente: Martinez, F. 2018

2.2. Marco conceptual

2.2.1. *Stipa obtusa*

La *Stipa obtusa*, conocida también como ichu es una especie vegetal que tiene la capacidad de crecer en diversas condiciones geográficas con suelos húmedos y fértiles, como quebradas abruptas, laderas de montañas, pampas, lomas y orillas de ríos. Esta gramínea perenne, está distribuida geográficamente en el ámbito altoandino en pajonales a campo abierto entre los 3700- 4800 msnm. Tiene cañas entre 25 a 60 cm de altura y hojas de 10-15 cm de longitud con pelos diminutos.

Es común encontrar esta especie formando parte de la vegetación en la ecorregión Puna, ubicada en la zona altiplánica central de la cordillera andina (Reynel, C.2012).

Figura 4. *Stipa obtusa*



Fuente: Imagen propia

2.2.2. Composición química de la *Stipa obtusa*

Según el estudio realizado por Tenazoa, et al. (2019), la composición de la fibra se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1. Composición de la paja (*Stipa obtusa*)

	<i>Stipa obtusa</i> sin tratamiento	
	Promedio (%)	Desv. Estandar (%)
Celulosa	69.37	0.79
Hemicelulosa	2.63	1.63
Lignina	12.13	0.29
Extractivos	10.49	0.36
Cenizas	5.05	0.41
Suma	99.68	3.49
Humedad	9.43	0.20
Densidad (g/cm ³)	1.34	

Fuente: Tenazoa, C., Savastano, Charca, Quinta y Flores (2019)

2.2.3. Conservación y uso sostenible de los recursos bajo un enfoque integrado

En Perú, hay alrededor de 22 millones de hectáreas de áreas cubiertas de pastizales. Aproximadamente, 15 millones de estas se encuentran en la región Puna (Flores, et al., 2014). Estas vastas extensiones de pastizales son valiosas no solo como fuentes de alimento para el pastoreo, sino también por los beneficios ambientales que brindan. No obstante, es preocupante que más del 60% de los pastizales altoandinos estén experimentando una clara degradación e incluso desertificación (Pignataro et al., 2017).

Según Vega, et al., 2013; algunas causas del deterioro de las praderas naturales son

- a. Aspectos sociales: parcelación de territorios comunales, sobrepastoreo, limitada planificación y manejo de pastizales.
- b. Cambio climático: incremento de temperatura, distribución irregular de la precipitación pluvial.
- c. Manejo inadecuado de actividades productivas: Tala y quema de pastizales, ampliación de terrenos de cultivo y deficiente uso y manejo del agua.

Por un lado, en Perú la Ley General del Ambiente N° 28611, Ley Forestal y de Fauna Silvestre N° 29763 y la Ley de Conservación y Aprovechamiento Sostenibles N° 26839; brindan un marco normativo de utilización sostenible de la diversidad biológica. Sin embargo, según la Ley General de Comunidades N° 24656, brinda a las comunidades autonomía en cuanto a la decisión sobre el número de animales y las prácticas de utilización de los pastizales en forma de empresa comunal, familiar o individual. Por lo cual, es necesario trabajar de manera consensuada con la comunidad para poder realizar proyectos que fomenten un uso sostenible de los recursos de la biodiversidad.

2.2.4. Innovación tecnológica para la puesta en valor y uso sostenible de la biodiversidad

El Perú es un país megadiverso, cuenta con 84 de las 104 zonas de vida existentes en el planeta. La geografía característica y los climas generan condiciones únicas para el desarrollo de la biodiversidad. Sin embargo, a pesar de esta riqueza natural, aun no se aprovecha de manera sostenible estos recursos. Es por ello que se ha creado un programa de fomento al uso sostenible de los recursos de la biodiversidad, el Programa Nacional Transversal de Valorización de la Biodiversidad 2015- 2021 tiene como objetivo Incrementar el conocimiento científico y tecnológico, así como la innovación tecnológica para la puesta en valor y uso sostenible de la biodiversidad en beneficio de la sociedad (VALBIO, 2021).

Se ha observado que “La biodiversidad amazónica y la agrobiodiversidad andina no solo se ven erosionadas por el mal manejo, sino que son subutilizadas y desaprovechadas en su valor potencial, mientras que las poblaciones vinculadas a ellos siguen sumidas en la pobreza” (VALBIO, 2021). Como respuesta a este problema, la planificación del gobierno a través del programa Valbio considera el enfoque de cadena de valor, manejo adaptativo y enfoque ecosistémico para el desarrollo de modelos de aprovechamiento sostenible de la biodiversidad de manera articulada, implementando practicas sostenibles y permitiendo una visión integrada de los sistemas productivos.

Si bien es cierto, actualmente la inversión en investigación, desarrollo e innovación destinada a aprovechar la biodiversidad es mínima. Es crucial

promover la investigación fundamental para ampliar nuestro entendimiento sobre la biodiversidad y su entorno, desarrollando estrategias para su utilización sostenible. Asimismo, es importante llevar a cabo investigación aplicada para descubrir nuevos compuestos con potencial de utilización en la industria.

2.2.5. Producción de plásticos biodegradables bajo sistemas de producción limpia

La producción de plástico se ha multiplicado en 20 en los últimos 50 años, a nivel mundial, se han producido aproximadamente 9200 millones de toneladas métricas (Mt) de plástico y más de 6900 Mt se han depositado en vertederos contribuyendo a la contaminación ambiental (Geyer, et al. 2017)

El aumento de la población global y la demanda de productos están generando una creciente necesidad de producir más alimentos, lo que a su vez implica un mayor uso de plásticos. La industria alimentaria es altamente dependiente de envases de plástico desechables en grandes cantidades. Esto ha generado una demanda de soluciones de envasado sostenibles, así como de métodos eficientes de manejo y eliminación de residuos de envases (Ncube, et al. 2021).

Una de las alternativas sostenibles que hoy en día se utilizan son los plásticos biodegradables. La preparación de estos plásticos tiene una base celulósica, la investigación de estos materiales se ha desarrollado ampliamente en los últimos años. La celulosa puede ser obtenida a partir de diversos recursos, como residuos orgánicos de piña, arroz, algodón, entre otros. Los resultados de las investigaciones mostraron que la celulosa y nanocelulosa mejoran las propiedades de los bioplásticos (Steven, et al. 2022).

2.2.6. Métodos de pretratamiento para la producción de celulosa

La composición química de los residuos orgánicos agroindustriales consiste principalmente en celulosa, hemicelulosa y lignina; estos pueden fraccionarse, extraerse y purificarse para producir diferentes productos de valor agregado, como biocombustibles, ácidos orgánicos, enzimas, biopolímeros y aditivos químicos.

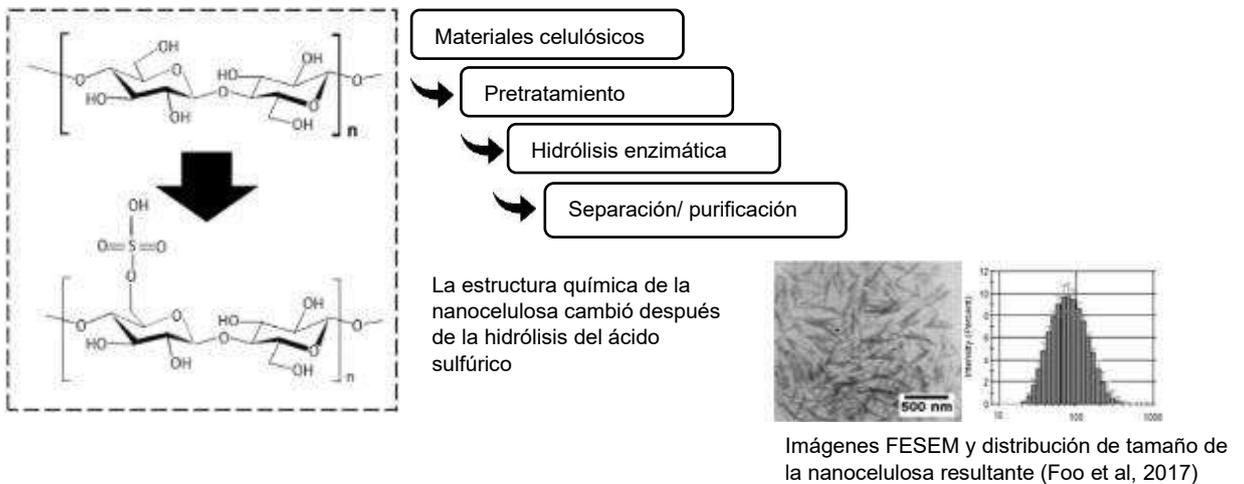
Para producir nanocelulosa, se requiere extraer la celulosa y lignina en una primera etapa, utilizando diversos métodos químicos, físicos o mixtos.

Existen diferentes procesos de producción de nanocelulosa, la selección del método de producción depende de la fuente de materia prima, disponibilidad de reactivos, tecnología disponible y uso final de la fibra obtenida.

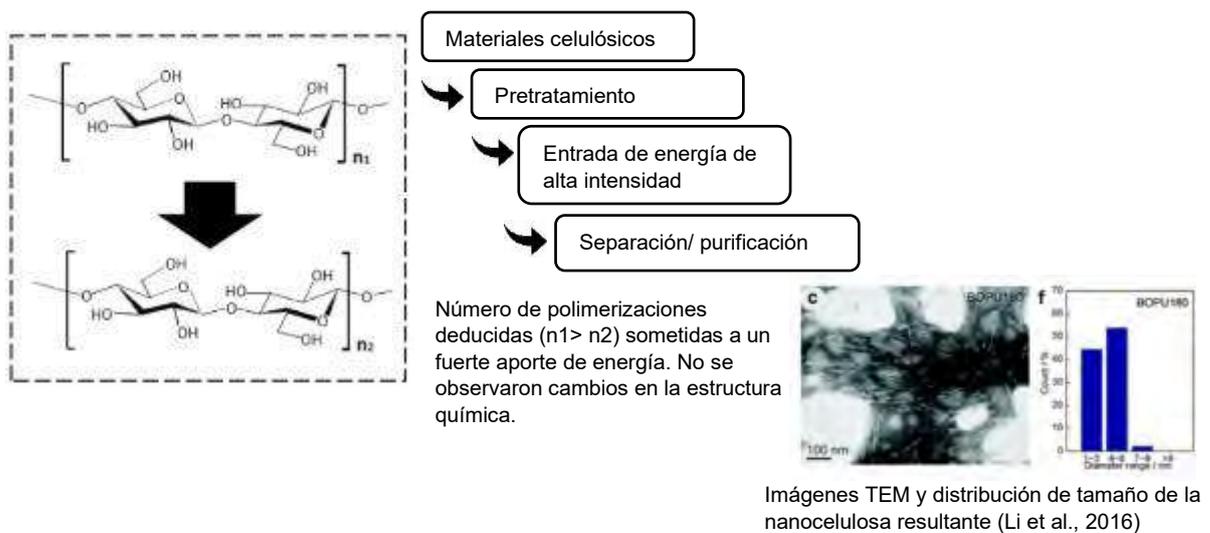
Según KhangWei et., al 2018, se presentan tres métodos, los cuales se observan en la figura 5:

Figura 5. Ilustración de los principales enfoques en la producción de nanocelulosa

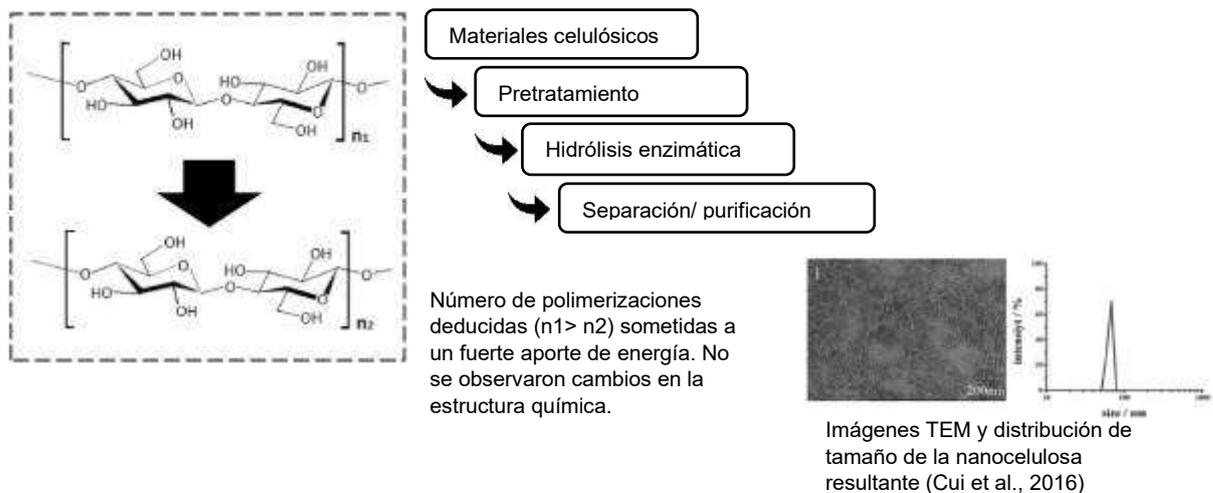
a) Método químico mediante hidrólisis acida



b) Método mecánico mediante cavitación ultrasónica de alta intensidad



c) Método enzimático mediante hidrólisis de celulosa



Fuente: KhangWei et. al 2018

2.2.7. Métodos de producción de nanocelulosa

Existen diversos métodos de producción de nanocelulosa: físicos, químicos, físico químicos y biológicos. La diferencia entre ellos radica en el resultado obtenido y en el grado de impacto ambiental que pueda producirse.

2.2.7.1. Métodos físicos de obtención de nanocelulosa

- **Astillado mecánico/fibrilación:** En este método se utiliza un equipo mecánico, lo cual aumenta la superficie específica y disminuye el tamaño de las partículas, mejorando así el rendimiento de la hidrólisis. Desde el punto de vista energético son procesos menos eficientes comparados con los métodos químicos, ya que se usa más energía para la madera dura que los residuos agrícolas (Nakagaito, A. 2004).
- **Astillado mecánico a baja temperatura (Cryocrushing):** Con este método se incrementa la superficie específica y disminuye el tamaño de las partículas, lo que mejora el rendimiento de la hidrólisis. Es un proceso menos eficiente, ya que se usa más energía para el descenso de la temperatura (Surached, E., Nattaporn, T.2015).

- **Ultrasonido de alta intensidad:** La biomasa lignocelulósica se trata mediante ondas acústicas (rango de frecuencia de 10 kHz a 20 MHz). Las cavitaciones generadas, dependientes de la frecuencia, colapsarán y liberarán una gran cantidad de energía que crearán puntos calientes localizados a una temperatura de 2.000–5.000°C y una presión de 500–1.800 bares con una vida útil de unos pocos microsegundos. El ultrasonido produce sus efectos principalmente a través de la cavitación, que puede introducir muchos efectos como fuerzas de cizallamiento intensas, ondas de choque y microjets, y genera puntos calientes localizados con temperaturas, presiones y tasas de calentamiento / enfriamiento muy altas. Estos entornos extremos proporcionan una plataforma única para romper el fuerte enlace de hidrógeno interfibrilar de celulosa, lo que permite que las nanofibras se desintegren gradualmente. (Tian, 2017).
- **Radiación de microondas:** El proceso se puede realizar a una temperatura de 50°C a 210° C durante 5–25 min. Se utilizará también una radiación de microondas no ionizante con longitudes de onda de 1 mm a 1 m a una frecuencia de 300 a 300 000 Mhz (De la Hoz et al. 2005), lo cual permitirá un cambio en la estructura de las fibras otorgándole propiedades estructurales diferenciadas (Pradhan, D., et al. 2014).
- **Radiación gamma:** Esta radiación es obtenida de los radioisótopos Cobalto-60 o Cesio-137, la que puede penetrar fácilmente en la estructura lignocelulósica. Las dosis de irradiación más efectivas van desde 891–1,200 kGy y poseen la mayor eficiencia como sistemas de pretratamiento. Sin embargo, ello tendrá una gran repercusión en la mejora de la eficiencia de post- tratamientos (Pradhan, D., et al. 2014).

2.2.7.2. Métodos químicos de obtención de nanocelulosa

- **Ácidos diluidos:** Con este método se utiliza bajas cantidades de ácido y se logra una degradación de la hemicelulosa. Sin embargo, una de las desventajas es la corrosión de los equipos con los que entra en contacto la solución. Algunos de los ácidos utilizados son el ácido sulfúrico y ácido clorhídrico (Agbor et al., 2011).
- **Ácidos concentrados:** Se realizará una degradación extensiva de la hemicelulosa, se sabe además que la formación de inhibidores aumentará con el incremento de la concentración del ácido. Este método es altamente corrosivo para el equipo, tóxico para el ambiente y requiere grandes cantidades de ácido y consumo energético para la recuperación del ácido. Algunos de los ácidos utilizados son el ácido sulfúrico y ácido clorhídrico. (Qian, M. et al., 2021).
- **Ácidos orgánicos:** La aplicación de este método reduce la corrosión de los equipos, tiene un bajo consumo energético desde el punto de vista de recuperación de ácido. Sin embargo, es un proceso menos eficiente si se parte de una biomasa con gran cantidad de contenido de hemicelulosa. Algunos de los ácidos utilizados son ácido láctico, ácido (L) tartárico y ácido cítrico. (Agbor et al., 2011).
- **Reactivos alcalinos:** Mediante este método se altera la estructura de la lignina, eliminando los grupos acetilo de la hemicelulosa. Los tiempos de residencia son mucho más largos, comparados con los métodos ácidos ya que las condiciones de reacción son leves. Los medios alcalinos más utilizados son mediante el uso de Hidróxido de sodio (Agbor et al., 2011).
- **Líquidos iónicos (ILs):** Este método se basa en la utilización de líquidos iónicos, mediante la cual se realiza una eliminación eficiente de la lignina, bajo unas condiciones de reacción leve. Algunos de los líquidos eutécticos son reutilizables y tienen mejor estabilidad térmica. Entre sus principales desventajas se tiene el alto costo en la adquisición de reactivos y la recuperación de polisacáridos (Agbor et al., 2011).

- **Disolventes eutécticos profundos (DES):** Estos disolventes son fáciles de preparar, son estables, rentables y la mayoría no son dañinos con el medio ambiente. Pese a tener condiciones de reacción leve, poseen una capacidad de disolución eficiente de la lignina, lo cual altera los complejos de lignina-carbohidratos. Se viene ampliando cada vez más el uso de estos solventes orgánicos, aunque aún tienen un precio elevado (Agbor et al., 2011).
- **Mediante oxidación TEMPO:** La oxidación es uno de los principales métodos utilizados para oxidar selectivamente grupos hidroxilo primarios de polisacáridos neutros en carboxílicos ácidos para obtener poliuronidas. Un sistema TEMPO / NaOCl / NaBr a pH 10 fue el primer sistema utilizado para convertir hidroxilos primarios C6 en grupos carboxilo en polisacáridos neutros almidón e inulina, y sigue siendo la condición más utilizada para oxidar polisacáridos (Agbor et al., 2011).
- **Organosolv:** Metodología de pretratamiento selectivo que genera tres fracciones separadas: lignina seca, fracción de celulosa relativamente pura y una corriente de hemicelulosa acuosa. Los disolventes orgánicos de bajo punto de ebullición son siempre fáciles de recuperar por destilación (Agbor et al., 2011).

2.2.7.3. Métodos físicos- químicos para la obtención de nanocelulosa

- **Oxidación húmeda:** El proceso requiere tratamiento con agua y aire u oxígeno a temperaturas superiores a 120 ° C, bajo presión de hasta 20 MPa durante un período de tiempo de 5 a 120 min. Con este método se logra ayudar a la hidrólisis de hemicelulosa (Agbor et al., 2011).
- **Explosión de vapor:** La biomasa se trata con vapor caliente a 180-240 °C bajo presión (1-3,5 MPa) para mejorar la hidrólisis de la hemicelulosa y la despolimerización de la lignina, que luego se potencian con la segunda etapa de despresurización (Pielhop, T. et al., 2016). Se utilizan además algunos reactivos como NaOH, C₂H₂O₄ en series de diversas concentraciones para lograr una mejor calidad de NFC (Cherian, B. et al., 2010).

- **Explosión de fibra de amoníaco (AFEX):** En este proceso de explosión de fibra, se utiliza amoníaco en equipos a alta presión. Al no existir corrientes externas o corrientes de lavado durante el proceso, no se producen productos químicos tóxicos para los procesos posteriores (Agbor et al., 2011).
- **Percolación de reciclaje de amoníaco acuoso:** En el proceso APR, el amoníaco acuoso (10-15% en peso) pasa a través de la biomasa a temperaturas elevadas (150-170°C); sin embargo, también se han realizado pruebas utilizando temperaturas más bajas (80-150°C), con tiempos de residencia entre 5 y 30 min. Observándose que las pruebas realizadas a mayores temperaturas tienen mejores resultados. Este tratamiento es altamente eficiente para maderas duras y herbáceas (Agbor et al., 2011).

2.2.7.4. Métodos biológicos de obtención de nanocelulosa

- **Método por fuente microbial:** Este método, conocido también como Nanocelulosa bacteriana o BNC causa la despolimerización de la lignina, es altamente reciclable, de bajo costo y ambientalmente amigable ya que no se consume energía. Entre sus desventajas está que muestra mejor efectividad con materiales duros. Entre las bacterias utilizadas están *Komagataibacter saccharivorans* MD1 (Aro, N., 2005).

2.2.7.5. Métodos combinados de obtención de nanocelulosa

- **Métodos por fuente fúngica:** Este método se utiliza para incrementar la eficiencia de la eliminación de lignina y hemicelulosa en un tiempo razonable. Así mismo están los métodos enzimáticos y de bioprocesamiento en los cuales se utilizan consorcios microbianos y fúngicos (Djalal, et. al., 2020). Los hongos que actualmente vienen siendo utilizados son *Pholiota adiposa* y *Armillaria gemina* (Shirkavand et.al, 2016).

2.2.8. Evaluación de métodos de producción de nanocelulosa

Se realizó una sistematización de diversos métodos de producción de nano celulosa, identificándose de acuerdo a las características mostradas, una evaluación bajo los criterios de sostenibilidad ambiental, viabilidad técnica, costo estimado y demanda energética. Se brindó una ponderación de alto, medio y bajo de acuerdo a criterios del investigador en base a la bibliografía citada. Los resultados de este análisis se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 2. Producción de nanocelulosa por métodos físicos

N°	Tipo de nano celulosa (CNC, NFC)	Método/ proceso de obtención	Características				Escala de propuesta	Referencia
			Sostenibilidad ambiental	Viabilidad técnica	Costo estimado	Demanda energética		
1	CNF	Astillado mecánico/fibrilación	Media	Se reduce el tamaño de partículas	Medio-alto	Medio- alto	Laboratorio-piloto	Singh R. et al., 2014;
2	CNF	Astillado mecánico a baja temperatura (Cryocrushing)	Media	Se reduce el tamaño de partículas	Medio-alto	Alta	Laboratorio-piloto	Bhutto et al., 2017;
3	CNF	Ultrasonidos de alta intensidad	No tóxico con tiempo de reacción reducido.	Depende mucho de la naturaleza de la biomasa y las condiciones experimentales. Disminuye el contenido de hemicelulosa.	Alto	Medio- alto	Laboratorio	Rodríguez et al., 2017; Hassan et al.2018;
4	CNF	Radiación de microondas	Media	Accesible por la hidrólisis enzimática	Alto	Medio- alto	Laboratorio	Liu et al., 2019a; Rezania et al., 2020
5	CNF	Radiación gamma	Media	Puede provocar la degradación de la celulosa.	Alto	Medio- alto	Laboratorio	
6	CNF, CNC	Fraccionamiento	Media	Alta	Medio-alto	Medio	Laboratorio-piloto	

Fuente: Elaboración propia en base a Djalal. et. al., 2020

Tabla 3. Producción de nanocelulosa por métodos químicos

N°	Tipo de nano celulosa (CNC, NFC)	Método/ proceso de obtención	Características				Escala de propuesta	Referencia
			Sostenibilidad ambiental	Viabilidad técnica	Costo estimado	Demanda energética		
7	CNC, NFC	Dilución ácida	Bajo consumo de ácido.	Amplia degradación de la hemicelulosa, degradación de la celulosa. Corrosión del equipo, pero se requiere baja temperatura.	Medio-bajo	Baja	Industrial	Agbor et al., 2011
8	CNC, NFC	Ácido concentrado	Toxicidad del medio ambiente, requiere alta cantidad de ácido y consumo de energía para la recuperación del ácido	Amplia degradación de la hemicelulosa, corrosión del equipo, Degradación de la celulosa.	Medio-bajo	Baja		Bhutto et al., 2017;
9	CNC, NFC	Ácidos orgánicos	Bajo consumo energético para la recuperación de ácido.	Evita la corrosión del equipo	Medio	Baja	Laboratorio-piloto	Chen et al., 2017;
10	CNC, NFC	Alcalino		Largo tiempo de residencia, Problemas de neutralización, Altera la estructura de la lignina	Medio	Baja	Laboratorio-piloto	Hassan et al., 2018;
11	CNC	Líquidos iónicos (IL): eliminación eficiente de la lignina.	La aplicación comercial requiere una mayor implementación para superar los desafíos de escala. Alto precio de los productos químicos. Degradación de la celulosa.				Laboratorio	Satlewal et al., 2018
12	CNC	Disolventes eutécticos profundos (DES)		Su eficiencia depende de la naturaleza de la biomasa. Presentan alta viscosidad. Los DES deben fabricarse a escala industrial para que estén disponibles			Laboratorio	
13	CNC	Oxidación TEMPO						
14	CNC	Organosolv	Media-baja Fácil recuperación	Formación de inhibidor durante la disolución de la lignina. Alta presión requerida durante el pretratamiento.	Medio-alto	Baja	Laboratorio-piloto	

Fuente: Elaboración propia en base a Djalal. et. al., 2020

Tabla 4. Producción de nanocelulosa por métodos físico químicos

N°	Tipo de nano celulosa (CNC, NFC)	Método/ proceso de obtención	Sostenibilidad ambiental	Características			Escala de propuesta	Referencia
				Viabilidad técnica	Costo estimado	Demanda energética		
15	CNC	Oxidación húmeda	Bajo-medio	Medio-alto	Los costos pueden ser elevados.	Medio	Laboratorio-piloto	
16	CNC/CNF	Hidrotermólisis	Medio-alto	Medio-alto	Los costos pueden ser elevados	Más energía demandante	Laboratorio-piloto	
17	CNC	Explosión de vapor	Medio-alto	Rotura incompleta de la matriz lignina-carbohidrato.	Puede utilizarse a escala industrial	Menor consumo de energía, Requiere alta presión	Laboratorio-piloto	Singh R. et al., 2014;
18	CNC	Fluido supercrítico	El CO ₂ es de naturaleza inerte, económico, no tóxico, no inflamable	Medio-alto	Medio-alto	Medio - bajo	Laboratorio	Karimi and Taherzadeh, 2016; Bhutto et al., 2017; Chen et al., 2017; Hassan et al., 2018; Rezania et al., 2020; Cherian, B. et al. 2010;
19	CNC	Explosión de fibra de amoníaco (AFEX)	El amoníaco es el químico común altamente contaminante	Asegurar la escisión de los enlaces del complejo lignina-carbohidrato, así como los enlaces C-O-C en la lignina. Menos eficaz para biomasa con alto contenido de lignina. Requiere un elevado aporte energético para su reciclaje y recuperación.	Media-alta	Media-alta	Laboratorio	Zhao et al., 2020
20	CNC	Percolación de reciclaje de amoníaco (APR)	Media-alta	Media-alta	Media-alta	Media-alta	Laboratorio	

Fuente: Elaboración propia en base a Djalal. et. al., 2020

Tabla 5. Producción de nanocelulosa por métodos biológicos

N°	Tipo de nanocelulosa obtenida (CNC, NFC)	Método/ proceso de obtención	Características			Escala de propuesta (laboratorio, piloto, industrial)	Referencia	
			Sostenibilidad ambiental	Viabilidad técnica	Costo estimado			Demanda energética
21	BC	Provoca la despolimerización de la lignina y la escisión de los enlaces lignina-carbohidratos. Eliminación de lignina y hemicelulosa. Condiciones de reacción leve Sin liberación de compuestos peligrosos y nocivos.	Reciclable.	Procesos relativamente laboriosos. Requiere más actividades de investigación para comprender algunos parámetros importantes, como la cinética.	Algunos pretratamientos adicionales pueden incrementar los costos.	Bajo consumo energético	Laboratorio-piloto	Behera et al., 2014; Singh R. et al., 2014; Chen et al., 2017

Fuente: Elaboración propia en base a Djalal. et. al., 2020

Tabla 6. Producción de nanocelulosa por métodos combinados

N°	Tipo de nanocelulosa obtenida (CNC, NFC)	Método/ proceso de obtención	Características			Escala de propuesta (laboratorio, piloto, industrial)	Referencia		
			Sostenibilidad ambiental	Viabilidad técnica	Costo estimado			Demanda energética	
22	CNC	Especies de hongos	<ul style="list-style-type: none"> • Puede aumentar el costo operativo. • Requerir mayor trabajo de investigación para optimizar los procesos. 	Baja-medio	Es necesario encontrar un equilibrio entre la mejora de la eficiencia y el costo.	Baja-media	Chen et al., 2017;		
		Enzimático						Laboratorio-piloto	Liu et al., 2019
		Consolidado bioprocesamiento Al menos dos de los procesos de pretratamiento mencionados anteriormente							

Fuente: Elaboración propia en base a Djalal. et. al., 2020

2.3. Antecedentes empíricos de la investigación

A nivel internacional

Prado (2019), realizó el estudio “Tacuara (*Guadua Trinii*) y Bambú (*Guadua Angustifolia*) como recurso lignocelulósico no tradicional para la obtención de nanocelulosa”, a través de un proceso de hidrólisis ácida se obtuvo nanocelulosa, además se caracterizó física, química y morfológicamente las muestras y realizando un fraccionamiento químico para la producción y caracterización de CNF. Mediante la caracterización morfológica se obtuvo un largo promedio de fibra de *Guadua Trinii* de 1,044 mm y para *Guadua angustifolia* de 1,441 mm, y un espesor de pared promedio de 3,78 μm y 2,01 μm , respectivamente. A pesar de pertenecen al mismo género *Guadua*, presentan distintas propiedades y características; esto se debe a la zona de la que son oriundas y a la disposición y cantidad de sus elementos constitutivos.

Cherian et al., (2010), realizó el estudio “Isolation and Characterization of Nanocellulose from Pineapple Leaf Fibres via Chemo-Mechanical Method”, en el cuál se utilizaron métodos combinados de obtención de nanocelulosa (químicos y físicos), tomando como materia prima las fibras de hojas de piña. En el estudio se ha encontrado que el tratamiento con ácido oxálico, acoplado con vapor en las fibras de las hojas de la piña logró ser eficaz en la despolimerización y desfibrilación de la fibra para producir nanofibrillas. Se realizó una caracterización de las fibras por SEM, AFM y TEM lo cual respaldó la evidencia del éxito del aislamiento de nanofibras de hoja de piña.

Benini, C. et al., (2018), realizó el estudio “Preparation of nanocellulose from *Imperata Brasiliensis* grass using Taguchi method”, se prepararon nanopartículas de celulosa (CN) por hidrólisis ácida de la pulpa de celulosa extraída de *Imperata Brasiliensis* utilizando un método convencional y libre de cloro total. Inicialmente, se llevó a cabo un diseño estadístico de experimento utilizando arreglos ortogonales de Taguchi para estudiar los parámetros de hidrólisis y las principales propiedades (cristalinidad, estabilidad térmica, morfología y tamaños) de la nanocelulosa. Se llevaron a cabo difracción de rayos X (XRD), espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), microscopía electrónica de barrido de emisión de campo (FE-SEM), dispersión

de luz dinámica (DLS), potencial zeta y análisis termogravimétrico (TGA). Se obtuvieron con éxito nanopartículas de celulosa con un diámetro entre 10 y 60 nm y una longitud entre 150 y 250 nm a una concentración de ácido sulfúrico de 64 % (m/m), temperatura de 35 °C, tiempo de reacción de 75 min y relación de 1:20 (g/ml) relación pulpa-solución. Bajo esta condición, los naftalenos clorados de *Imperata Brasiliensis* mostraron buena estabilidad en suspensión, índice de cristalinidad del 65% y una temperatura de degradación de la celulosa de alrededor de 117 °C.

A nivel nacional

Tenazoa, C., et al (2019) realizaron el estudio “The Effect of Alkali Treatment on Chemical and Physical Properties of Ichu and Cabuya Fibers”, en el cual caracterizaron y estudiaron el efecto del tratamiento alcalino sobre las propiedades químicas y físicas de las fibras de Ichu y Cabuya. Este tratamiento se llevó a cabo para eliminar componentes no celulósicos con el fin de mejorar la adherencia de estas fibras para ser utilizadas como compuestos de refuerzo. Las propiedades químicas se investigaron mediante estándares TAPPI y espectroscopía FTIR. Las propiedades físicas (ángulo microfibrilar y densidad) se analizaron mediante microscopía de luz polarizada y picnómetro de gas, respectivamente. Los resultados muestran que con este tratamiento químico es posible eliminar el 53,9% de lignina y el 22,7% de hemicelulosa para la fibra de ichu y el 50,7% y 91,7%, respectivamente, para la Cabuya. Además, se encontró que el ángulo microfibrilar no se ve afectado por este tratamiento químico ya que su efecto es solo superficial. Además, las imágenes SEM muestran que la fibra de ichu tiene partículas de sílice amorfa en su superficie, en las que se convierte en una fibra potencial para los compuestos de cemento.

CAPITULO III. HIPOTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

Hipótesis general

Existe la factibilidad de obtener sosteniblemente fibras de nanocelulosa a partir de *Stipa obtusa* como una alternativa viable para producir materiales plásticos biodegradables.

Hipótesis específicas

- La determinación de las características fisicoquímicas permitirá identificar el potencial de producción de fibras de nanocelulosa a partir de *Stipa obtusa*.
- El diseño de una metodología adecuada permitirá la obtención sostenible de fibras de nanocelulosa a partir de *Stipa obtusa*.
- La evaluación de las características fisicoquímicas permitirá evaluar la calidad de las fibras de nanocelulosa obtenidas.
- La identificación y valoración de los impactos ambientales y efectos en la salud humana permitirán una obtención sostenible de fibras de nanocelulosa a partir de *Stipa obtusa*.

3.2. Identificación de variables e indicadores

Tabla 7. Matriz de indicadores, técnicas e instrumentos

	Objetivos	Indicadores	Técnicas	Instrumentos
General	Obtener sosteniblemente fibras de nanocelulosa a partir de <i>Stipa obtusa</i> como una alternativa viable para producir materiales plásticos biodegradables. Determinar las características			
Específico 1	fisicoquímicas para identificar el potencial de producción de fibras de nanocelulosa a partir de <i>Stipa obtusa</i> .	% de celulosa % de hemicelulosa	Análisis químico	Guía de observación
Específico 2	Desarrollar una metodología para la obtención sostenible de fibras de nanocelulosa a partir de <i>Stipa obtusa</i> .	tamaño de fibras de nanocelulosa	Análisis químico	Guía de observación
Específico 3	Evaluar las características fisicoquímicas de las fibras de nanocelulosa obtenidas.	tamaño de fibras, composición química de nanocelulosa	FTIR SEM TEM EDS	Guía de observación
Específico 4	Identificar y valorar los impactos ambientales y efectos en la salud humana asociados a la obtención sostenible de fibras de nanocelulosa a partir de <i>Stipa obtusa</i> .	Índice de significancia de los impactos ambientales	Evaluación por matrices	Guía de observación Matriz CONESA Matriz Leopold

3.3. Operacionalización de variables

Tabla 8. Matriz de operacionalización de variables

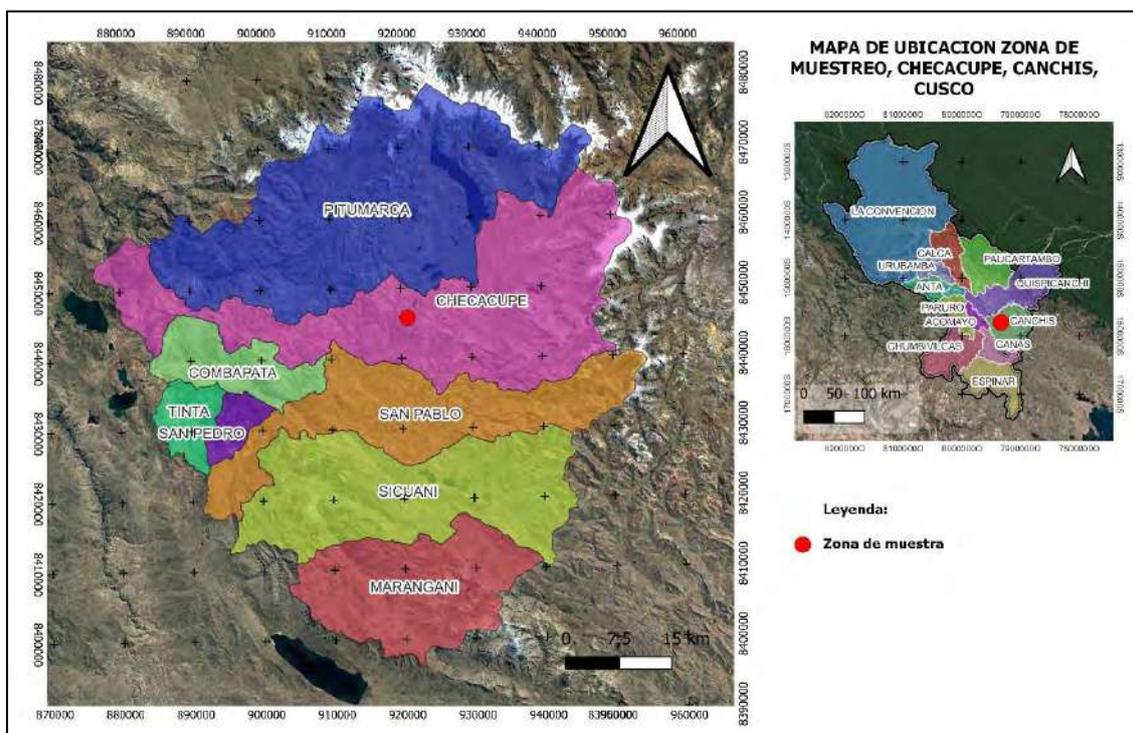
Variable	Dimensiones	Indicadores
Fibra de nanocelulosa	Técnico	Tamaño de fibra
Obtención sostenible	Social	Volumen de producción
	Ambiental	Impacto irrelevante Impacto moderado Impacto severo

CAPITULO IV. METODOLOGÍA

4.1. Ámbito de estudio

Las muestras fueron tomadas de los pastizales en el distrito de Checacupe, provincia de Canchis, departamento de Cusco, ubicado alrededor de los 3600 msnm, coordenadas 14°01'36.4"S 71°26'13.4"W. Geográficamente el distrito de Checacupe se ubica en la vertiente del Atlántico, colinda con por el norte con el distrito de Pitumarca, por el sur con el distrito de San Pablo, oeste Combapata y este con el departamento de Puno, tal como se puede observar en la figura N° 6.

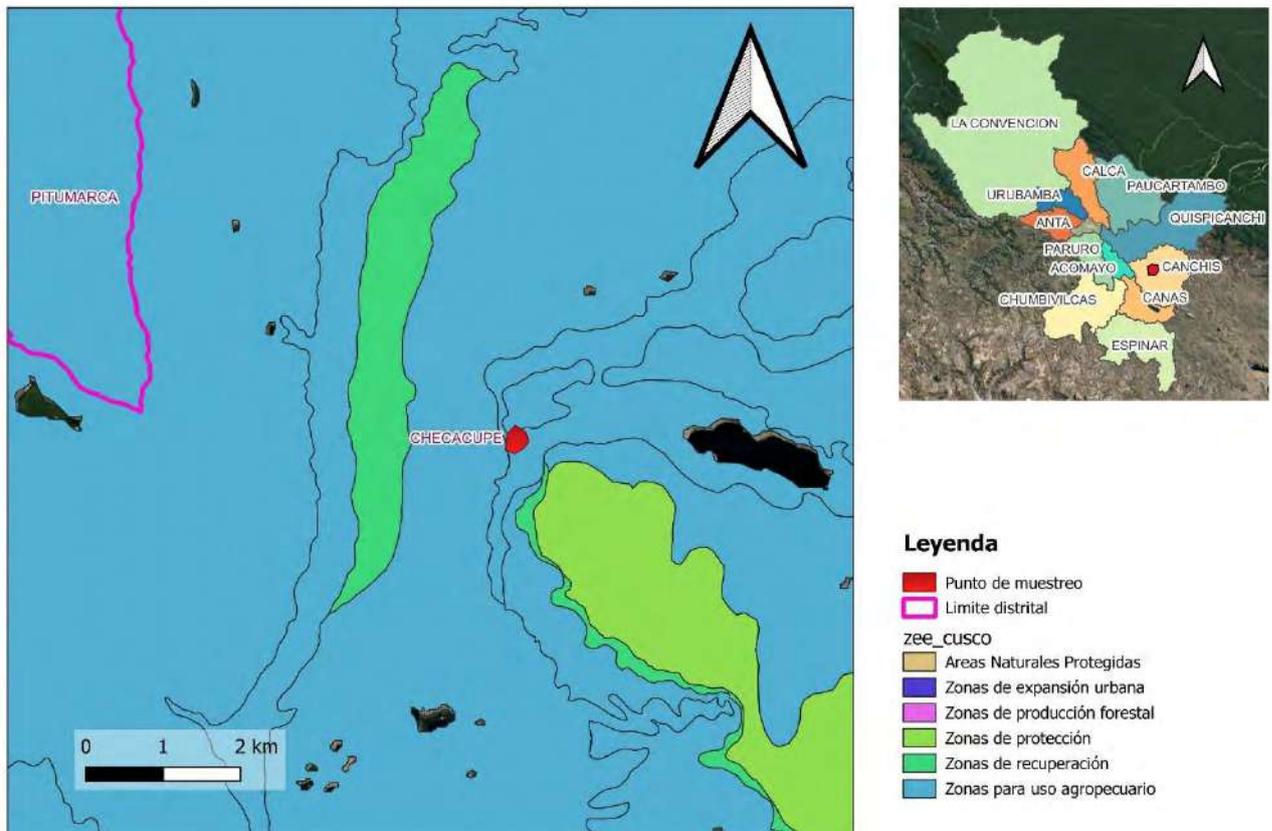
Figura 6. Ubicación del muestreo de *Stipa obtusa*



Fuente: Elaboración propia

Asimismo, los pastizales andinos se encuentran a lo largo de la Cordillera de los Andes en altitudes elevadas (3800 – 4700 ms.n.m.). Este tipo de vegetación se desarrolla sobre terrenos con pendientes suaves a muy empinadas y en condiciones climáticas adversas con alta intensidad de radiación solar durante el día y los cambios bruscos de temperatura durante la noche.

Figura 8. ZEE de la zona de muestreo



Fuente: Elaboración propia

4.2. Tipo y nivel de investigación

La presente investigación se clasifica como aplicada y utiliza un enfoque experimental como método principal, con el objetivo central de abordar problemas específicos y claramente definidos para encontrar soluciones, la investigación aplicada busca confrontar la teoría con la realidad, es por eso su íntima relación con la investigación pura pues depende de todas las conjeturas y descubrimientos realizados. La investigación aplicada se vale también del uso de la técnica del muestreo y las deducciones acerca de la población estudiada y tiene como propósito mejorar el producto o proceso, así como también dar solución a problemas. (Tamayo, M., 2004).

La investigación aplicada parte por lo general, aunque no siempre, del conocimiento generado por la investigación básica, tanto para identificar problemas sobre los que se debe intervenir como para definir las estrategias de solución (Tamayo, M., 2004).

En cuanto al nivel, la presente investigación corresponde al exploratorio de naturaleza cualitativa- cuantitativa ya que busca responder el por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta (Tamayo, M., 2004).

La Investigación de naturaleza cuantitativa sirve para recoger información en base a hechos observables sujetos a medición y el análisis de datos para contestar preguntas de investigación y probar hipótesis preestablecidas, como es en el caso del presente estudio (Tamayo, M., 2004).

La investigación de naturaleza cualitativa sirve para recoger información en base a hechos observables que no están sujetos a medición cuantitativa (Tamayo, M., 2004).

4.3. Unidad de análisis

Muestras de *Stipa obtusa* tomadas de los pastizales del distrito de Checacupe, provincia de Canchis, departamento de Cusco, ubicado alrededor de los 3600 msnm, coordenadas 14°01'36.4"S 71°26'13.4"W.

4.4. Población de estudio

Pastizales *Stipa obtusa* del departamento de Cusco.

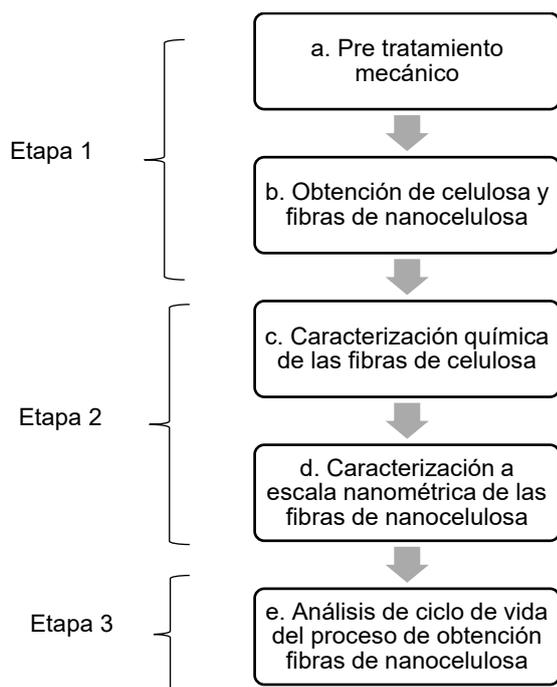
4.5. Tamaño de muestra

Se utilizaron 10 kg de fibra para la presente investigación.

4.6. Metodología de trabajo para la obtención de fibras de nanocelulosa (FNC)

Para la obtención de fibras de nanocelulosa a partir de *Stipa obtusa*, se utilizó como base la metodología de Cherian et al., 2010, realizando modificaciones según los resultados obtenidos en tres etapas diferenciadas. Durante la primera etapa, se realizaron los procesos relacionados a la obtención de fibras de nanocelulosa, en la etapa 2 se realizaron la caracterización química y física y finalmente en la tercera etapa se procedió a realizar la evaluación de análisis de ciclo de vida de los procesos involucrados, tal como se observa en el siguiente diagrama:

Figura 9. Etapas de trabajo durante la obtención de FNC a partir de *Stipa obtusa*



Fuente: Elaboración propia

4.6.1. Pre tratamiento mecánico de las fibras

Para el presente estudio, se utilizó como referencia la metodología de Cherian et al., 2010.

Las fibras fueron sometidas a un pre tratamiento mecánico mediante un lavado, secado, cortado, triturado y posterior tamizaje en malla ASTM N°30 (600 μm). Los pasos antes descritos se realizaron con el objetivo de contar con fibras más uniformes durante los siguientes procesos, como se muestra en la figura 10.

Figura 10. Proceso de trituración de las fibras



a) Fibra de *Stipa obtusa* sin triturar

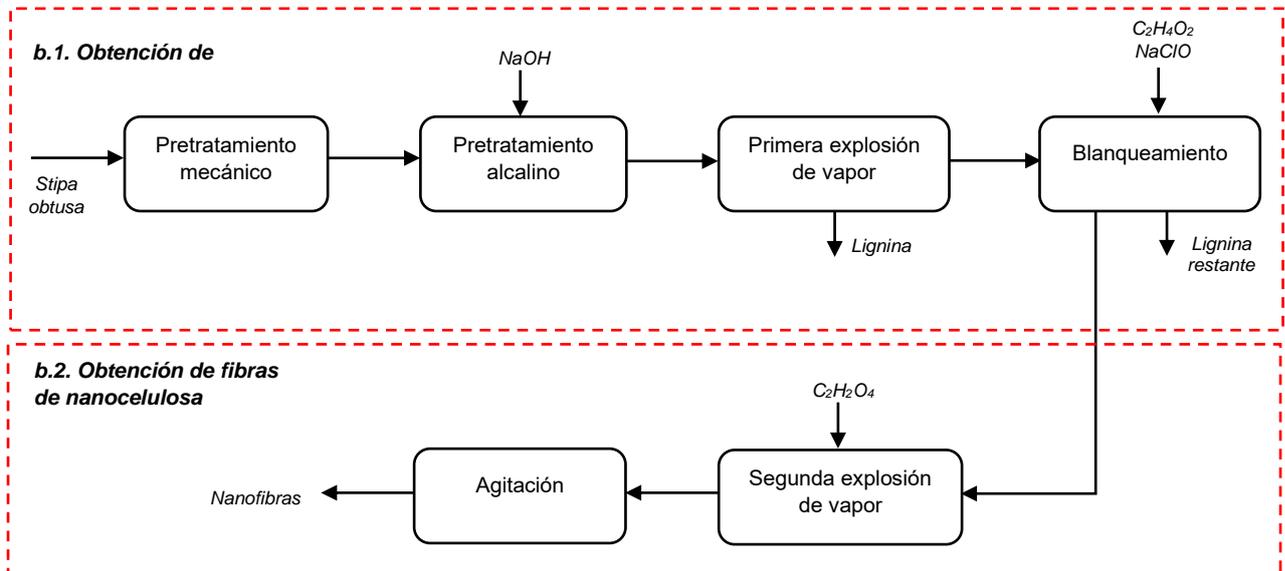


b) Fibras de *Stipa obtusa* triturada y pasante en malla ASTM N°30

4.6.2. Obtención de celulosa y fibras de nanocelulosa

Para realizar la obtención de nanocelulosa, es necesario realizar el aislamiento de la celulosa tal como se muestra en el siguiente diagrama de flujo:

Figura 11. Diagrama de bloques del proceso de obtención de FNC



Fuente: Elaboración propia

b.1. Obtención de celulosa

Para la obtención de celulosa a partir de fibras de *Stipa obtusa*, se utilizaron los siguientes reactivos y procesos:

Reactivos: Los materiales utilizados para el estudio incluyen fibras de *Stipa obtusa*. En la etapa de pretratamiento alcalino se utilizó NaOH (pureza analítica) de la marca Spectrum insumos lab. para el blanqueamiento $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ ácido acético (pureza analítica) de la marca Spectrum insumos lab y NaClO hipoclorito de sodio (grado comercial).

Procedimiento: Las fibras trituradas fueron sometidas a un pretratamiento alcalino de remojo durante 1 hora con NaOH a diferentes concentraciones 0.05 M 0.5 M y 1.5 M y posterior explosión por vapor en autoclave a 20 lb/pulg^2 , 130°C por 1 hora. Se obtuvieron los mejores resultados a 0.5M, la pulpa de celulosa obtenida fue lavada hasta alcanzar ph neutro, para posteriormente pasar por una etapa de blanqueamiento con 3.4ml de $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ por cada g de

muestra y 25% (v/v) de $NaClO$ durante 1 hora.

Figura 12. Equipo de explosión de vapor



b.2. Obtención de fibras de nanocelulosa

Reactivos: Para este proceso se empleó $C_2H_2O_4$ ácido oxálico (pureza analítica) de la marca Interm chemie.

Procedimiento: Se realizó el tratamiento de fibrilación mediante tratamiento térmico químico, utilizando soluciones de 6, 8 y 12 % (m/v) de $C_2H_2O_4$ a una presión de $20lb/pulg^2$ y $130^\circ C$, obteniéndose mejores resultados al 8%. Finalmente, las nanofibras fueron sumergidas en agua destilada y llevadas a agitación por 4 horas a 600rpm.

Figura 13. Agitador mecánico tipo Stirrer CATR50



4.7. Metodología de trabajo para la caracterización física y química de FNC

a. Caracterización de la composición química de FNC

a.1. Determinación de Humedad

En el proceso de determinación del contenido de humedad en muestras vegetales, se siguió el estándar TAPPI T 421 om-02. Se secaron las muestras a $105^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, durante tres horas en una luna de reloj previamente tratada. Tras el secado, se enfriaron en un desecador antes de pesarlás en una balanza analítica. Se colocaron 2 g de fibra sobre una luna de reloj previamente secada a 60°C por 30 min. Posteriormente se colocó el conjunto recipiente/muestra en la estufa, el cual permaneció a $105 \pm 2^{\circ}\text{C}$ durante tres horas. Finalmente, el conjunto fue llevado a un desecador, donde permaneció por 30 minutos y pesado en una balanza analítica.

Este procedimiento se realizó para todas las fibras a caracterizar y el porcentaje de humedad fue determinado de la siguiente manera

$$TU\% = \frac{(MRAU - MRAS)}{MAU} \times 100\% \quad \text{Ec. 1.}$$

Donde: MRAU=masa del conjunto recipiente/muestra húmeda
 MRAS=masa del conjunto recipiente/muestra seca
 MAU=masa de la muestra húmeda
 TU%=porcentaje de humedad obtenido

a.2. Determinación del contenido de cenizas

Para determinar el contenido de cenizas en las muestras vegetales, se aplicó el estándar TAPPI T 211 om-02. El proceso comenzó con la calcinación de la muestra a 600°C durante seis horas en una mufla de la marca Nabertherm, con una velocidad de calentamiento de 9.6°C por minuto. Se empleó un crisol de porcelana que se calentó a 600°C durante 30 minutos antes de enfriarse a temperatura ambiente en un desecador y luego se pesaron 1 gramo de fibras en él utilizando una balanza analítica. El conjunto que contenía la muestra y el crisol se introdujo en la mufla con un aumento de temperatura de aproximadamente 9.6°C por minuto, manteniéndose a esta temperatura durante tres horas. Posteriormente, se mantuvo la muestra a 200°C en una estufa durante una hora antes de retirarla y colocarla en un desecador durante 30 minutos para su enfriamiento. Finalmente, se procedió al pesaje del conjunto crisol/muestra calcinada.

Este procedimiento se realizó para todas las fibras a caracterizar y el porcentaje de cenizas fue determinado de la siguiente manera:

$$TC\% = \frac{(MRAC - MR)}{MA} \times 100\% \quad \text{Ec. 2.}$$

Donde: MRAC=masa del conjunto recipiente/muestra calcinada
 MR =masa del recipiente
 MA=masa de la muestra vegetal
 TC%=porcentaje de cenizas obtenido

a.3. Determinación del contenido de extractivos

La determinación del contenido de extractivos se realizó de acuerdo a la norma TAPPI. T 204 cm-97. Para esto, se realizó una extracción por Soxhlet usando etanol como solvente orgánico.

Se pesó 2 g de fibra seca y luego esta fue envuelta en un papel filtro para evitar que la fibra sea arrastrada por el solvente. Posteriormente, en un balón de vidrio de 500 ml se añadió 150 ml de solvente (etanol al 96%) y seguidamente se armó el equipo de extracción Soxhlet. La fibra envuelta en el papel filtro fue colocada dentro del cartucho Soxhlet y se dio inicio al proceso de extracción, el cual fue ajustado para que ocurran como máximo 6 descargas durante 5 horas.

Después de ese tiempo, el contenido del balón (extractivos + solvente) fue recolectado en un vaso de precipitados y la muestra (sin extractivos) fue retirada del cartucho Soxhlet y posteriormente colocada en una luna de reloj para proceder a secar en la estufa a 100°C por 3 horas. Luego, el conjunto luna de reloj/muestra seca sin extractivos fue colocado en un desecador por 30 min para finalmente ser pesado en una balanza analítica.

Este procedimiento se realizó para todas las fibras naturales a caracterizar y el porcentaje de extractivos fue determinado de la siguiente manera:

$$TE\% = \frac{(MRE - MRSE)}{MAE} * 100\% \quad \text{Ec. 3.}$$

Donde: MRE=masa del conjunto recipiente/muestra
MRSE =masa del conjunto recipiente /muestra sin extractivos
MAE=masa de la muestra
TE%=porcentaje de extractivos obtenido

Dado que los resultados se refieren a la masa de muestra seca fue necesario hacer más de un cálculo con la finalidad de corregir los valores obtenidos por lo cual se usó la siguiente ecuación:

$$TE\%_{\text{corregido}} = \frac{TE\% * (100 - TU\%)}{MA} \quad \text{Ec. 4.}$$

Donde: TE%=porcentaje de extractivos obtenido

MA=masa de la muestra vegetal

TU%=porcentaje de humedad obtenido

a.4. Determinación del contenido de Holocelulosa

La holocelulosa es la combinación de celulosa y hemicelulosa. Su determinación está basada en la técnica utilizada por Herbst conocida como preparación de clorito de sodio. Esta técnica consiste en la oxidación de la lignina de la muestra vegetal en un medio ácido para obtener solamente la holocelulosa.

Inicialmente, el papel filtro a usar (Whatman N°42) fue colocado sobre una luna de reloj para secarlo en la estufa durante 1 hora a 60°C. Luego, el conjunto papel filtro/luna de reloj fue llevado a un desecador donde permaneció por 30 minutos y luego se pesó el papel filtro en una balanza analítica hasta peso constante.

En un matraz Erlenmeyer de 250 ml, se introdujeron 3 g de fibra seca y se añadieron 120 ml de agua destilada. Se preparó un baño de glicerina a $70 \pm 2^\circ\text{C}$ y se colocó el matraz sobre él, luego se agregaron 2.5 g de clorito de sodio (NaClO_2) y 1 ml de ácido acético glacial, manteniendo la agitación. Después de una hora, se repitió esta adición y se continuó calentando durante una hora más. Tras dos horas adicionales, se repitió el proceso y se mantuvo el calentamiento durante tres horas. Durante este proceso, se observó la formación de cloro en el matraz.

Luego de cinco horas de calentamiento y degradación de la lignina, se enfrió el matraz en un baño de hielo durante 30 minutos. A continuación, se filtró el contenido al vacío, se lavó con agua destilada y se enjuagó hasta alcanzar un pH casi neutro. El precipitado se secó en una estufa a 100°C durante 18 horas,

se colocó en un desecador durante 30 minutos y se pesó en una balanza analítica. El filtrado ácido se eliminó adecuadamente en un contenedor de residuos.

Este procedimiento fue realizado para todas las fibras naturales a caracterizar y el porcentaje de holocelulosa fue determinado de la siguiente manera:

$$TH\% = \frac{MFH-MF}{MA} * 100\% \quad \text{Ec. 5.}$$

Donde: MFH=masa del conjunto papel filtro/holocelulosa
MF=masa del papel filtro
MA=masa de la muestra vegetal
TH%=porcentaje de holocelulosa obtenido

El cálculo de corrección de holocelulosa obtenido se realizó mediante la siguiente ecuación:

$$TH\% \text{ corregido} = \frac{TH\%(100-(TE\%+TU\%))}{100} \quad \text{Ec. 6.}$$

Donde: TE%=porcentaje de extractivos promedio
TU%=porcentaje de humedad promedio

a.5. Determinación del contenido de Celulosa

Para la determinación de celulosa se siguió la norma TAPPI, T 203 cm-99, la cual consiste en determinar la fracción de holocelulosa que no se disuelve en una solución de 17.5% (m/v) de hidróxido de sodio. La fracción no disuelta representa la celulosa y la fracción disuelta es la hemicelulosa.

Inicialmente el papel de filtro a usar (Whatman N°42) fue colocado sobre una luna de reloj para secarlo durante 1 hora a 60°C en la estufa. Luego, el conjunto papel filtro/luna de reloj fue llevado a un desecador donde permaneció por 30 minutos y luego se pesó el papel filtro en una balanza analítica.

Se pesa 1 gramo de holocelulosa seca y colocándola en un mortero a temperatura ambiente. Se añadieron 15 ml de una solución de NaOH al 17.5%, permitiendo una interacción de dos minutos entre la solución y la muestra. Luego, se trituro el material durante ocho minutos. Tras este proceso, se incorporaron 40 ml de agua destilada en el mortero, y el contenido se filtró al vacío con precaución para evitar pérdidas. El precipitado recolectado en el papel filtro se enjuagó con agua destilada hasta que alcanzó un pH casi neutro.

El conjunto que comprende el papel filtro y la alfacelulosa se sometió a un secado en una estufa a $60 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 18 horas hasta que se alcanzó un peso constante. Después del secado, se colocó en un desecador durante 30 minutos y posteriormente se pesó en una balanza.

Finalmente, se llevó a cabo un análisis de la alfacelulosa obtenida mediante espectroscopia IR para identificar los picos de los enlaces de los grupos funcionales presentes, comparando el espectro resultante con un espectro estándar de celulosa en la base de datos del software.

Este procedimiento fue realizado para todas las fibras naturales a caracterizar y el porcentaje de alfacelulosa fue determinado de la siguiente manera:

$$TA\% = \frac{(MFA-MF)}{MAH} \times 100\% \quad \text{Ec. 7.}$$

Donde: MFA=masa del conjunto papel filtro alfacelulosa

MF=masa del papel filtro

MAH=masa de la muestra de holocelulosa

TA%=porcentaje de alfacelulosa obtenida

Para obtener el porcentaje corregido de alfacelulosa en base al porcentaje corregido de holocelulosa, se usó la siguiente fórmula:

$$TA\% \text{ corregido} = \frac{TH \text{ corregido} \times TA}{100} \quad \text{Ec. 8.}$$

Además, por medio del cálculo de la diferencia entre los valores de los porcentajes corregidos de holocelulosa y alfa-celulosa se pudo determinar el porcentaje corregido de hemicelulosa.

$$TH_e C_{\text{corregido}} = TH_{\text{corregido}} - TA_{\text{corregido}} \quad \text{Ec. 9.}$$

b. Caracterización química de micro y fibras de nanocelulosa por DRX

La estructura de las micro y nanofibras se determinó mediante Difracción de Rayos X (DRX)

Caracterización química de microfibras de celulosa por DRX

La cristalinidad de las muestras de nanocelulosa obtenidas se determinó mediante DRX empleando el método de relación de área, no fue requerido un tratamiento previo de la muestra, este análisis se realizó en un equipo Bruker, ADVANCE D8, con fuente de RX Cu, potencia de la fuente: 30 mA, 40 kV, tipo de difracción: Theta/Theta, se realizaron barridos de 5° a 29.97° 2 θ con tamaño de paso de 0.5° y tiempo de medida por paso de 80 s. El grado de cristalinidad se determinó de la relación entre el área cristalina y el área total.

$$\text{Grado}_{\text{cristalinidad}} = \frac{\text{Área cristalina}}{\text{Área cristalina} + \text{Área amorfa}} \quad \text{Ec. 10.}$$

Caracterización química de nanofibras de celulosa por DRX

La cristalinidad de las muestras de nanocelulosa obtenidas se determinó mediante DRX empleando un difractómetro de rayos X Miniflex 600, RIGAKU, tubo de cobre 40 kV, 15 mA, con un detector D/teXUltra2 y un rango de medida 2 θ entre 3 y 90°. Para la identificación se utilizó la base de datos Crystallography Open Database (COD) y la cuantificación realizada a través del método de refinamiento Rietveld (WPPF- PDXL Rietveld Analysis)

c. Caracterización química de nanofibras de celulosa por FTIR

(Transformación Infrarroja de Fourier): Para esta caracterización se siguieron los lineamientos de la norma ASTM E1252-98 (2021) "Standard Practice for

General Techniques for Obtaining Infrared Spectra for Qualitative Analysis”, con un rango de número de número de onda desde 650 cm^{-1} hasta 4000 cm^{-1} y accesorio de reflectancia total atenuada universal.

Este análisis se realizó en un equipo marca Perkin Elmer, modelo Frontier FT-IR/NIR, se realizaron barridos de 4000 cm^{-1} - 650 cm^{-1} , se utilizó un cristal UATR Diamante/ZnSe con 3 saltos UATR.

Figura 14. Equipo FTIR utilizado para las pruebas



Fuente: Perkin Elmer

d. Caracterización química de nanofibras de celulosa por SEM y EDS

La Microscopía Electrónica de Barrido- SEM y Espectroscopia de Energía Dispersiva -EDS, son dos técnicas que permitirán evaluar las nano fibras obtenidas a nivel estructural. Se utilizó un microscopio de barrido electrónico y espectroscopia de energía dispersiva para el análisis de la composición química en un punto concreto. Las imágenes obtenidas corresponden a detectores de electrones emitidos tras interacciones de muestras con haz incidente entre 5 y 30 keV. El equipo utilizado fue un equipo marca Thermofischer Scios™ 2 DualBeam™ for Materials Science con una flexibilidad de 100mm y y Nav-Cam en la cámara.

Adicionalmente para evaluar la composición elemental de las muestras de nanocelulosa se realizó el análisis Espectrometria - EDS

Figura 15. Equipo SEM utilizado para las pruebas



Fuente: Thermofischer

e. Caracterización física de nanofibras de celulosa mediante TEM y SEM

Microscopio Electrónico de Transmisión - TEM y Escaneo de microscopía electrónica - SEM

La morfología de las nanofibras fue observada en un microscopio electrónico de transmisión Thermo Scientific Scios 2 DualBeam es un sistema analítico de microscopía electrónica de barrido con haz de iones enfocado (FIB-SEM) de ultra alta resolución que proporciona una excelente preparación de muestras y un rendimiento de caracterización 3D.

Figura 16. Equipo TEM y SEM utilizado para las pruebas



Fuente: Thermofischer

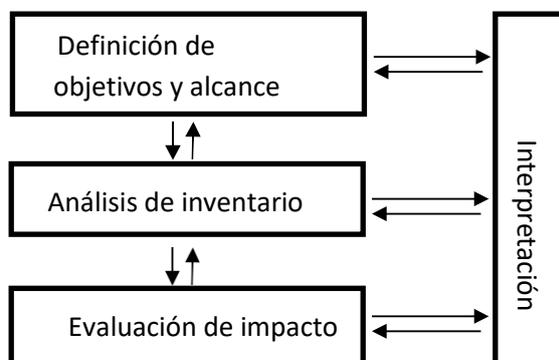
4.8. Metodología de trabajo para la evaluación de impactos ambientales

Para la evaluación de los impactos producidos durante el proceso de producción de fibras de nanocelulosa, se ha considerado la evaluación del análisis de ciclo de vida conjuntamente con la evaluación de impactos a través de la matriz Leopold y CONESA.

Análisis de Ciclo de Vida (ACV)

Esta herramienta de gestión medioambiental analiza de forma objetiva el impacto ambiental originado por un proceso/producto durante su ciclo de vida completo. Para el presente estudio se realizó el análisis durante el proceso de obtención de fibras de nanocelulosa.

Figura 17. Estructura de un Análisis de Ciclo de Vida



Fuente: UNE – EN ISO 14040. Etapas de un ACV

- **Etapa 1: Definición del Objetivo y Alcance del ACV**

En los objetivos se define el alcance del estudio.

Objetivo: Evaluar los impactos ambientales durante el proceso de obtención de fibras de nanocelulosa a partir de *Stipa obtusa*.

Alcance: Proceso de producción a escala laboratorio de fibras de nanocelulosa.

- **Etapa 2: Análisis de Inventario de Ciclo de Vida**

En esta fase se identificará y cuantificarán los recursos utilizados y los impactos producidos.

Tabla 9. Identificación de etapas susceptibles de impacto en la obtención de FNC

Etapa	Área de impacto	Indicador
Pre tratamiento mecánico	Aire	PM 2.5 Energía consumida (kw-h)
Pre tratamiento alcalino	Agua	Agua utilizada (m ³) pH efluentes
Explosión por vapor I	Agua, energía	Agua utilizada (m ³) pH efluentes Energía consumida (kw-h)
Blanqueamiento	Agua	Agua utilizada (m ³) pH efluentes
Explosión de vapor II	Agua, energía	Agua utilizada (m ³) pH efluentes Energía consumida (kw-h)
Agitación	Energía	Energía consumida (kw-h)

Fuente: Elaboración propia

- **Etapa 3: Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida**

A partir de los datos anteriores, se evaluaron los impactos generados durante el ciclo. Se tomará la metodología recomendada por la RM N°455-2018-MINAM, que aprueba “La Guía para la identificación y caracterización de impactos ambientales en el marco del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental – SEIA”.

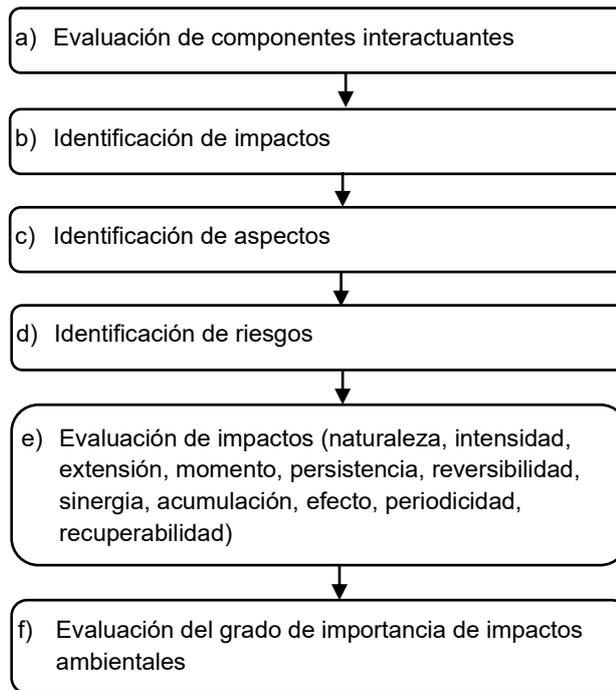
Para el caso de la evaluación de los impactos ambientales se ha tenido en consideración la utilización de la metodología de Conesa (2010), la cual contempla la Valoración y la estimación de la importancia de los impactos.

- **Etapa 4: Interpretación de datos**

Se incluirá la interpretación de los datos de las fases anteriores, con el objetivo de brindar conclusiones y recomendaciones.

De acuerdo a los lineamientos de la metodología presentada, se evaluarán los impactos y formularán las medidas apropiadas para la mitigación de impactos.

Figura 18. Estructura de evaluación de impactos- método CONESA



Fuente: Elaboración propia

a. Evaluación de componentes interactuantes

Con el fin de definir y explicar los posibles efectos sobre el ambiente, es necesario evaluar los elementos que interactúan entre sí. Ello conlleva a identificar las principales actividades y los elementos ambientales más relevantes.

A continuación, se presentan tablas que detallan los impactos y componentes dentro de las etapas de trabajo identificadas.

Tabla 10. Principales actividades identificadas en el proceso de producción de FNC

Etapa	Actividades	Componente ambiental afectado	Medio
Recolección de fibras	Corte y selección	Biológico	Flora Fauna
Pre tratamiento mecánico	Molienda Tamizaje	Aire	Físico
Pre tratamiento alcalino	Remojo con NaOH	Agua	Físico
Explosión por vapor I	Liberación de vapor Lavado	Aire Agua Energía	Físico
Blanqueamiento	Remojo con CH ₃ COOH Lavado	Agua	Físico
Explosión de vapor II	Liberación de vapor Lavado	Aire Agua Energía	Físico
Agitación	Lavado Homogeneización del gel obtenido	Agua Energía	Físico
Obtención de fibras de nanocelulosa	Secado y preservación	Energía	Físico

Fuente: Elaboración propia

b. Identificación de impactos

La evaluación de impactos ambientales que cuentan con mayor potencial o incidencia, se llevará a cabo a través de la construcción de una matriz de Leopold, con el objetivo de examinar la interacción entre las actividades desarrolladas en el proyecto y los factores ambientales.

c. Identificación de aspectos ambientales

Los aspectos ambientales son elementos de actividades relacionadas al proceso productivo que podrían interactuar con el medio ambiente. Es así, que se identificarán los principales aspectos que cada etapa de producción de fibras de nanocelulosa en los medios físico, biológico y socioeconómico.

d. Identificación de riesgos ambientales

Los riesgos ambientales son factores que favorecerán la ocurrencia de un daño en el medio ambiente, se analizarán los riesgos ambientales asociados a cada etapa de producción de fibras de nanocelulosa.

e. Identificación y evaluación de impactos ambientales

Los impactos ambientales son alteraciones que podrían ocurrir en el medio ambiente como resultado de la ejecución de actividades durante la producción de fibras de nanocelulosa.

Para el desarrollo de la evaluación de los impactos ambientales potenciales, se ha tomado en consideración utilizar el método propuesto por Conesa (2010), en su Guía Metodológica para Evaluación de Impacto Ambiental.

Esta metodología implica la utilización de once criterios de valoración aplicables a los impactos ambientales identificados.

A continuación, se describen los once criterios incluidos en el método propuesto:

Tabla 11. Criterios de Valoración de impactos ambientales

Criterios de Valorización de Impactos	Símbolo	Escala Jerárquica Cualitativa	Valoración
Naturaleza	+	Impacto Positivo	+
		Impacto Negativo	-
Extensión	EX	Puntual	1
		Parcial	2
		Amplio o Extenso	4
Efecto	EF	Total	8
		Indirecto o Secundario	1
		Directo o Primario	4
Intensidad	IN	Baja o Mínima	1
		Media	2
		Alta	4
		Muy Alta	8
Persistencia	PE	Fugaz o Efímero	1
		Momentáneo	1
		Temporal o Transitorio	2
Acumulación	AC	Pertinaz o Persistente	3
		Permanente y Constante	4
		Simple	1
Reversibilidad	RV	Acumulativo	4
		Corto Plazo	1
		Medio Plazo	2
		Largo Plazo	3
Recuperabilidad	MC	Irreversible	4
		Recuperable de manera inmediata	1
		Recuperable a corto plazo	2
		Recuperable a medio plazo	3
		Recuperable a largo plazo	4
Periodicidad	PR	Mitigable, Sustituible y Minimizarle	4
		Irrecuperable	8
		Irregular (aperiódico y esporádico)	1
Sinergia	SI	Periódico o Intermitente	2
		Continuo	4
		Sin Sinergismo o Simple	1
Momento	MO	Sinergismo Moderado	2
		Muy Sinérgico	4
		Largo Plazo	1

Medio Plazo	2
Corto Plazo	3
Inmediato	4
Critico	(+4)

Fuente: Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental, Conesa (2010).

e.1. Naturaleza (+/-)

El "signo del impacto" se refiere a la naturaleza beneficiosa (+) o perjudicial (-) de las diferentes acciones que afectan a los diversos factores ambientales considerados. Considerándose un impacto positivo cuando la acción realizada sobre un factor ambiental conduce a una mejora en la calidad ambiental. Por otro lado, se considera un impacto negativo cuando la acción provoca una disminución en la calidad ambiental del factor analizado.

Se evalúan los impactos en cada una de las etapas de producción de fibras de nanocelulosa.

e.2. Intensidad (IN)

Este criterio esta referido al nivel de influencia de una acción sobre un factor ambiental. Indica el grado de deterioro del factor, sin tener en cuenta la extensión afectada.

Tabla 12. Calificación de la Intensidad del impacto

Intensidad	Valor	Descripción
Baja o mínima	1	Afección mínima y poco significativa
Media	2	Afectación media sobre el factor
Alta	4	Afectación alta sobre el factor
Muy alta	8	Afectación muy alta sobre el factor
Total	12	Expresa una destrucción total del factor en el área de influencia directa

Fuente: Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental, Conesa (2010)

e.3. Extensión (EX)

Este ítem representa la proporción del medio ambiente afectada por la acción del proyecto. Esta referida al área teórica de influencia del impacto en relación con el entorno del proyecto donde se encuentra el factor ambiental. En cuanto a la calificación de la extensión, analiza el área geográfica donde ocurre el impacto, es decir, donde el componente ambiental se ve afectado por una acción específica.

Tabla 13. Calificación de la extensión del impacto

Extensión	Valor	Descripción
Puntual	1	Cuando la acción generadora de impacto tiene un efecto altamente focalizado
Parcial	2	El efecto se nota claramente en una porción específica del entorno
Amplio o extenso	4	Aquel cuyo efecto se observa en una gran extensión del entorno considerado
Total	8	Aquel cuyo efecto se manifiesta de manera amplia y generalizada en el entorno

Fuente: Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental, Conesa (2010)

e.4. Momento (MO)

Hace referencia al plazo de manifestación del impacto. Alude al tiempo que transcurre entre la aparición de la acción y el inicio del efecto sobre el factor del medio considerado.

Tabla 14. Calificación del momento del impacto

Momento	Valor	Descripción
Largo plazo	1	Cuando el efecto tarda en hacerse evidente más de 10 años
Medio plazo	2	Cuando el lapso entre la acción y el efecto varía de 1 a 10 años
Corto plazo	3	Cuando el lapso entre la acción y el efecto es inferior a 1 año
Inmediato	4	El lapso entre la acción y el inicio del efecto es nulo
Critico	(+4)	Aquel en el que el momento de la acción es crucial sin importar el plazo de manifestación

Fuente: Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental, Conesa (2010)

e.5. Persistencia (PE)

Este criterio tiene en cuenta el tiempo durante el cual se espera que el efecto perdure desde su aparición, y a partir del cual el factor afectado volvería a las condiciones iniciales anteriores a la acción.

Tabla 15. Calificación de la Persistencia del impacto

Persistencia	Valor	Descripción
Fugaz o efímera	1	Persistencia del efecto es mínima o inexistente, la acción y el impacto cesan.
Momentánea	1	Duración es inferior a 1 año
Temporal o transitorio	2	Duración varía entre 1 a 10 años
Pertinaz o persistente	3	Duración varía entre 10 a 15 años
Permanente y constante	4	Duración supera los 15 años

Fuente: Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental, Conesa (2010)

e.6. Reversibilidad (RV)

Se refiere a la capacidad de restaurar el factor afectado por el proyecto, es decir, la posibilidad de regresar a las condiciones iniciales anteriores a la acción, de manera natural, una vez que esta deja de actuar sobre el medio ambiente.

Un impacto se considera reversible cuando el factor ambiental alterado puede regresar, sin intervención humana, a sus condiciones originales. Por otra parte, un impacto irreversible implica la imposibilidad o una dificultad extrema de volver, mediante procesos naturales, a la situación anterior o a la acción que lo originó.

Tabla 16. Calificación de la reversibilidad del impacto

Reversibilidad	Valor	Descripción
Corto plazo	1	Tiempo de recuperación es inmediato o menor de 1 año
Medio plazo	2	Tiempo de recuperación varía entre 1 a 10 años
Largo plazo	3	Tiempo de recuperación varía entre 10 a 15 años
Irreversible	4	Tiempo de recuperación supera los 15 años

Fuente: Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental, Conesa (2010)

e.7. Sinergia (SI)

Hace referencia a la interacción de dos o más causas cuyo efecto combinado es mayor que la suma de los efectos individuales. Este atributo considera el refuerzo de dos o más efectos simples.

Tabla 17. Calificación de la sinergia del impacto

Sinergia	Valor	Descripción
Sin sinergismo o simple	1	Acción no es sinérgica
Sinergismo moderado	2	Interacción sinérgica moderada en comparación con una situación extrema
Muy sinérgico	4	Interacción altamente sinérgica que amplifica notablemente la manifestación

Fuente: Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental, Conesa (2010)

e.8. Acumulación (AC)

Este atributo señala el aumento gradual de la manifestación del efecto cuando la acción que lo genera persiste de manera continua o repetida. El valor de acumulación considerado permite identificar impactos acumulativos significativos al relacionarlos con otras actividades y determinar si el impacto acumulativo resultante es significativo.

Tabla 18. Calificación de la acumulación del impacto

Acumulación	Valor	Descripción
Simple	1	Cuando la acción afecta únicamente a un componente específico o se dirige de manera individualizada.
Acumulativo	4	Cuando la acción se prolonga en el tiempo, aumentando así la magnitud del efecto.

Fuente: Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental, Conesa (2010)

e.9. Efecto (EF)

Esta referido a la relación causa-efecto, evaluando la manifestación del efecto sobre un factor como consecuencia de una acción. Los impactos son directos cuando la relación causa-efecto es directa, sin intermediarios previos. Los impactos son indirectos cuando son resultado de un impacto anterior que actúa como agente causal.

Tabla 19. Calificación del efecto del impacto

Efecto	Valor	Descripción
Indirecto o secundario	1	Cuando la acción afecta a un componente o su efecto es individualizado.
Directo o primario	4	Cuando la acción se extiende en el tiempo, aumenta la intensidad del efecto.

Fuente: Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental, Conesa (2010)

e.10. Periodicidad (PR)

Este ítem hace referencia a la regularidad con la que se manifiesta el efecto, ya sea de forma continua o discontinua. En el caso de una periodicidad continua, las acciones que lo generan ocurren de manera regular o intermitente en el tiempo. Por otro lado, en el caso de una periodicidad discontinua, las acciones que lo producen ocurren de manera irregular o esporádica en el tiempo.

Tabla 20. Calificación de periodicidad del impacto

Periodicidad	Valor	Descripción
Irregular (aperiódico y esporádico)	1	Manifestación discontinua del efecto de manera irregular e imprevisible.
Periódico o intermitente	2	Plazos de manifestación con regularidad y una cadencia establecida
Continuo	4	Efectos continuos en el tiempo

Fuente: Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental, Conesa (2010)

e.11. Recuperabilidad (MC)

Se refiere a la capacidad de reconstruir, tanto total como parcialmente, el factor afectado, es decir, la posibilidad de volver a las condiciones iniciales anteriores a la intervención mediante la intervención humana a través de medidas correctivas o de restauración.

Tabla 21. Calificación de recuperabilidad el impacto

Recuperabilidad	Valor	Descripción
De manera inmediata	1	Recuperable de manera inmediata
A corto plazo	2	Recuperable en un plazo < 1 año
A medio plazo	3	Recuperable entre 1 a 10 años
A largo plazo	4	Recuperable entre 10 a 15 años
Mitigable, sustituible y minimizable	4	Sin importar el tiempo transcurrido
Irrecuperable	8	Alteración irreversible

Fuente: Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental, Conesa (2010)

f. Grado de importancia de los impactos ambientales

Con el objetivo de calcular el índice de significancia de los impactos ambientales, que se deriva de la calificación asignada a cada impacto, se ha considerado utilizar la fórmula propuesta por Conesa (2010), la cual abarca los once criterios establecidos para la evaluación de los impactos ambientales. A continuación, se presenta y describe la fórmula:

$$S = \pm (3IN + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC) \quad \text{Ec. 11.}$$

Dónde: IN: Intensidad, EX: Extensión, MO: Momento, PE: Persistencia, RV: Reversibilidad, SI: Sinergia, AC: Acumulación, EF: Efecto, PR: Periodicidad y MC: Recuperabilidad.

En la siguiente tabla, se observan los valores del grado de importancia de los impactos ambientales. Los valores oscilan entre ± 13 y ± 100 .

Tabla 22. Grado de importancia del impacto ambiental

RANGOS DE VALOR Y CODIGO DE COLOR		
Rangos de valor	Efecto Pronosticado	Código de Color
Entre -25 y 0	Impacto Negativo Irrelevante	
Entre -50 y -26	Impacto Negativo Moderado	
Entre -75 y -51	Impacto Negativo Severo	
Mayores a 75	Impacto Negativo Critico	
Mayores a 0	Impacto Positivo	

Fuente: Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental, Conesa (2010)

g. Descripción de impactos evaluados

Una vez analizados los impactos y evaluando el grado de importancia, se procede a realizar la puntuación. Estos resultados permitirán tomar acciones preventivas y/o de control para reducir o mitigar la contaminación.

CAPITULO V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Resultado 1: Determinación de las características fisicoquímicas para identificar el potencial de producción de FNC a partir de *Stipa obtusa*.

5.1.1. Composición química de las micro fibras y nano fibras de celulosa

Como se puede observar en la tabla 23, las fibras presentaron un porcentaje en peso de celulosa de 29.54%, los tratamientos posteriores a los cuales fueron sometidas las fibras buscaron incrementar el contenido de celulosa, mediante la remoción de la lignina, hemicelulosa, extractivos y cenizas. Los valores encontrados en la bibliografía referentes al contenido de celulosa son variados, así por ejemplo Mori, S. et al., (2019), trabajó con fibras de *Jarava ichu* cuyo porcentaje de celulosa fue de 42.81 ± 0.51 ; Cherian et al., 2010 trabajo con fibras de piña reportando un porcentaje de α celulosa de 81.27, estas variaciones se deben a las diferentes especies vegetales empleadas en los estudios.

Tabla 23. Composición química de las fibras de *Stipa obtusa* según norma TAPPI

Parámetro	(% en peso)
Celulosa	29.54
Hemicelulosa	27.57
Lignina	23.76
Extractivos	9.53
Humedad	7.03
Cenizas	3.52

Se realizaron pruebas para evaluar la relación de la concentración de ácido oxálico, tiempo de explosión de vapor en el porcentaje final de celulosa obtenida. Inicialmente se compararon los resultados del contenido de celulosa en muestras con diferentes tiempos de explosión de vapor. Para ello a las muestras M01 y M02 con tratamiento alcalino a una concentración de 0.05M de NaOH se les realizó el blanqueamiento bajo los mismos parámetros en ambos casos y a continuación, se realizó la segunda explosión de vapor con ácido oxálico al 4% durante 1 hora.

Como se puede observar en la tabla 24 al incrementar el tiempo de explosión por vapor no genera un incremento significativo en la concentración de

celulosa, las muestras M01 y M02 presentan un porcentaje promedio de celulosa 52% y fueron sometidas a explosión de vapor durante 1 y 2 horas respectivamente. De igual manera se realizó la comparación con los mismos parámetros con una hora de explosión de vapor para la muestra M03 y dos horas para la muestra M04, pero en estas dos últimas pruebas se usó una concentración de ácido oxálico de 8% en la segunda explosión de vapor. Los resultados obtenidos al final de la experiencia mostraron que un mayor tiempo no tuvo influencia en el contenido de celulosa, y se obtuvieron valores sin una diferencia significativa para las muestras M03 y M04. Sin embargo, sí hubo un notable aumento en el contenido de celulosa de las muestras al aumentar la concentración de ácido oxálico tanto a una hora como a dos horas.

Para los experimentos M01 y M03 se observa un aumento de 8.5 % en el porcentaje de celulosa de las muestras al aumentar la concentración de ácido oxálico de 4 a 8 %. Por otro lado, de la comparación de los resultados para las muestras M02 y M04 se tuvo que el contenido de celulosa aumentó en 11,4% con el incremento de concentración de ácido oxálico.

Tabla 24. Contenido de celulosa después de 2º explosión por vapor en medio ácido por 1 y 2h

Muestra	NaOH (M)	Segunda explosión de vapor (h)	Ácido Oxálico (%)	Celulosa (%)
M01	0.05	1	4	52.62%
M02	0.05	2	4	51.89%
M03	0.05	1	8	57.07%
M04	0.05	2	8	57.83%

A partir de estos resultados se realizaron posteriores ensayos, variando las concentraciones de NaOH en el tratamiento alcalino y de ácido oxálico en el tratamiento ácido para evaluar su influencia en el contenido de celulosa, pero manteniendo las fibras solamente durante una hora en la segunda explosión de vapor.

En la tabla 25 se presentan los resultados para los ensayos realizados con tratamiento alcalino a 0.05M 0.5M y 1.5M de NaOH y una hora de explosión de vapor.

Tabla 25. Contenido de celulosa después de tratamiento alcalino y tratamiento ácido

Muestra	NaOH (M)	Segunda explosión de vapor (h)	Ácido Oxálico (%)	Celulosa (%)
M01	0.05	1	4	52.62%
M03	0.05	1	8	57.07%
M05	0.5	1	6	75.21%
M06	0.5	1	8	82.97%
M07	0.5	1	12	82.88%
M08	0.5	1	8	79.50%
M09	1.5	1	6	75.24%
M10	1.5	1	12	75.13%

Nota: Las muestras M07 a M15 se trabajaron con fibras a 5 cm. Para la muestra M16 se utilizó trituración mecánica de las fibras (pasante con malla ASTM N°30 (600 µm))

Para los ensayos realizados con un tratamiento alcalino inicial con concentración de 0.5M de NaOH por explosión de vapor a tres diferentes concentraciones de ácido oxálico (M05, M06 y M07) se pudo corroborar un incremento de alrededor de 10% en el contenido de celulosa al aumentar la concentración de ácido oxálico de 6 a 8%, vistas en las muestras M05 y M06 respectivamente. Una variación similar se tiene con el aumento en la concentración de ácido oxálico desde 8 a 12% (M06 y M07). Por lo tanto, se determinó que no es necesario una adición en la concentración de ácido oxálico por encima de 8% para observar un cambio en el contenido de celulosa en las nanofibras obtenidas.

Se pudo corroborar que para el ensayo realizado a 1.5M de NaOH no se presentó un incremento en el contenido de celulosa al aumentar la concentración de ácido oxálico de 6 a 12%, análisis presentado en las muestras M09 y M10, respectivamente.

En la muestra M08, se trabajó con fibras previamente triturado pasante en malla ASTM N°30 (600 µm), bajo las mismas condiciones que la muestra M06, (0.5M de NaOH, 1 hora de explosión de vapor y 8% de ácido oxálico), el contenido de celulosa obtenida fue de 79.50%, demostrando que la metodología utilizada ha logrado remover una gran cantidad de lignina y manteniendo aun un alto porcentaje de celulosa (79.5%)

5.2. Resultado 2: Determinación de la metodología para la obtención sostenible de FNC a partir de *Stipa obtusa*.

5.2.1. Metodología de obtención sostenible de FNC a partir de *Stipa obtusa* validada

Después de realizar diversas pruebas basadas en la metodología presentada por Cherian et al. (2010), se evaluaron los resultados y se determinó la metodología de trabajo a la cual se obtuvieron mejores resultados en términos de eficiencia en el uso de reactivos, energía y nanocelulosa obtenida

Pretratamiento mecánico: Las fibras fueron sometidas a un pre tratamiento mecánico mediante un lavado, secado, cortado, triturado y posterior tamizaje en malla ASTM N°30 (600 μm), el tratamiento mecánico de trituración logra incrementar los resultados en obtención de nanocelulosa en el tratamiento alcali.

Pretratamiento alcalino con explosión de vapor: Las fibras trituradas fueron sometidas a un pretratamiento alcalino de remojo durante 1 hora con NaOH a 0.5 M y posterior explosión por vapor en autoclave a 20 lb/pulg^2 , 130°C por 1 hora, finalmente la pulpa de celulosa obtenida fue lavada hasta alcanzar ph neutro.

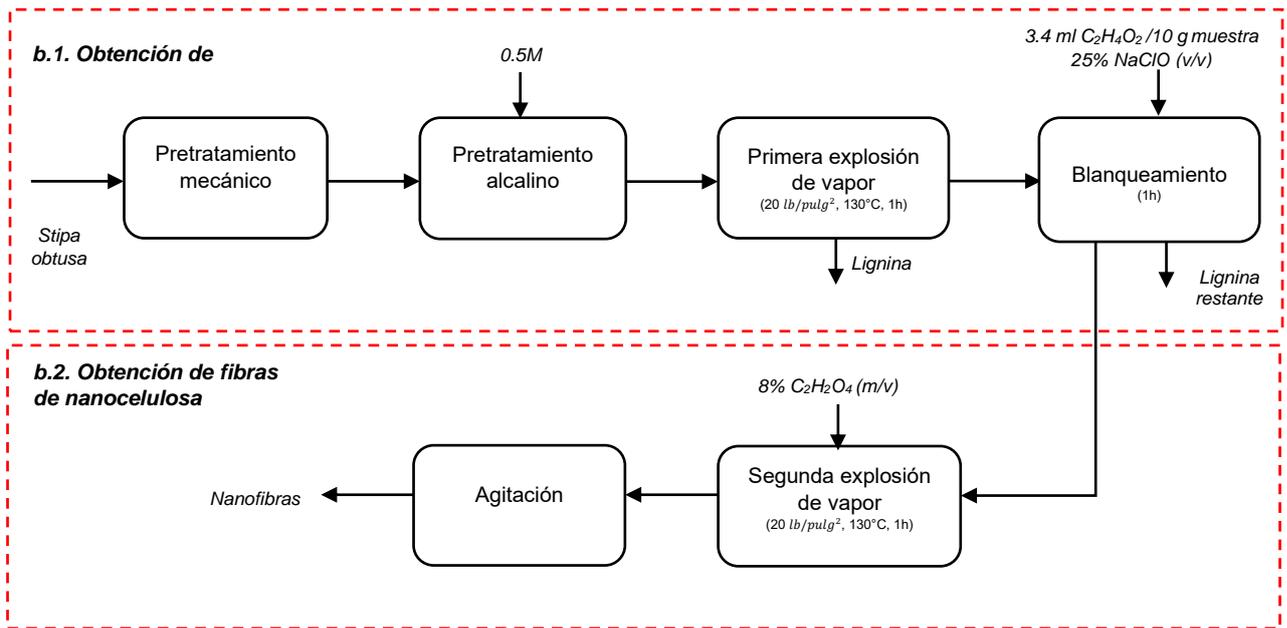
Blanqueamiento: La muestra pasante por la etapa anterior es sometida a remojo durante 1 hora con 3.4ml de ácido acético ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$) por cada 10 g de muestra y 25% (v/v) de hipoclorito de sodio (NaClO), posteriormente la pulpa de celulosa obtenida fue lavada hasta alcanzar ph neutro.

Tratamiento acido con explosión de vapor: Se realizó un tercer tratamiento de fibrilación mediante tratamiento térmico químico, utilizando soluciones de 8% (m/v) de ácido oxálico ($\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$) a una presión de 20 lb/pulg^2 y 130°C, obteniéndose mejores resultados al 8% (m/v).

Agitación: Finalmente, las fibras fueron separadas de la solución y homogeneizadas.

El diagrama de bloques puede observarse en la figura 18.

Figura 19. Diagrama de bloques del proceso de obtención de FNC



Fuente: Elaboración propia

5.3. Resultado 3: Evaluación de las características fisicoquímicas de FNC obtenidas

5.3.1. Caracterización de micro y nano fibras de celulosa por DRX

De acuerdo al análisis de los difractogramas obtenidos presentados en la figura 20 se observa que las muestras poseen los picos característicos de la celulosa tipo I β ; en la muestra de fibra sin tratamiento, se observan dos picos bien definidos en $2\theta = 22^\circ$ y 26.3° . Por otro lado, en la figura 20 b. se observa el difractograma de la muestra M09 correspondiente a un tratamiento químico térmico con 6% de ácido oxálico en las nanofibras de celulosa obtenida se identificaron cinco picos en $2\theta = 15^\circ$; $15,5^\circ$, 16.2° , 22.5° y 24° .

El difractograma de la muestra M06 correspondiente a un tratamiento químico térmico con 8% de ácido oxálico en las nanofibras de celulosa obtenidas, se identificaron tres picos en $2\theta = 15^\circ$; $15,5^\circ$ y 22.5° . Asimismo, el difractograma de la muestra M07 correspondiente a un tratamiento químico térmico con 12% de ácido oxálico en las nanofibras de celulosa obtenida se identificaron seis picos en $2\theta = 15^\circ$; $15,5^\circ$, 16° , $18,8^\circ$, 22.5° y 24°

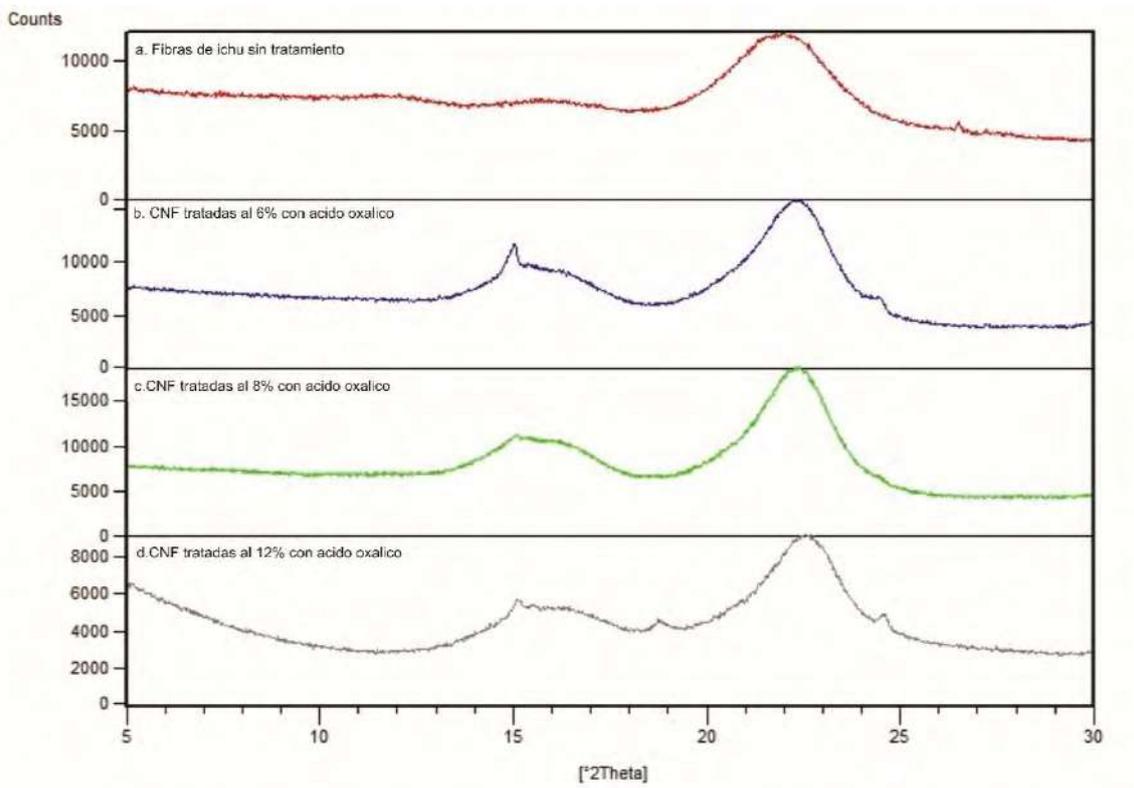
En todas las muestras tratadas con ácido oxálico se observa el pico característico de la celulosa en $2\theta = 22,5^\circ$ así mismo en la muestra M06 estos picos se observan más intensos que las muestra IST (*Stipa obtusa* antes del tratamiento) y la muestra M09, lo que indica una mayor perfección de la red cristalina, esto debido al hidrólisis ácida que ayuda a eliminar los materiales amorfos no-celulósicos, lo que hace que los picos sean más definidos y con mayor intensidad.

La presencia de un mayor número de picos poco definidos en la muestra correspondiente a un tratamiento químico térmico con 12%, y la baja intensidad difractada a un valor de $2\theta = 18.8^\circ$, se traduce en un mayor grado de áreas amorfas, esto se puede atribuir a un cambio en la estructura de las nanocelulosa obtenida por el mayor porcentaje de ácido oxálico empleado durante su tratamiento, tal como se observa en el estudio de Pulido, E., et al., 2017.

Se observa el pico característico de la celulosa en 22.5° , esto se debe a que la trituración mecánica previa contribuye a mejorar la hidrólisis ácida, lo que hace

que los picos sean más definidos y con mayor intensidad. El difractograma obtenido en la presente investigación (CNF tratada al 12% con ácido oxálico) tiene un comportamiento similar al obtenido en el estudio de Herrera, M. et al (2019); en cuyo difractograma DRX de los NCC obtenidos con las mejores condiciones mostró los picos característicos de la celulosa I β 3,14. El pico correspondiente a $2\theta = 22,6^\circ$ asignado al plano 200 de los NCC, se observó con mayor intensidad que el pico de la celulosa original, lo que indica una mayor perfección de la estructura cristalina. Además, el pico a $2\theta = 14,7^\circ$ del plano 0 también se muestra más definido y distanciado del pico a $2\theta = 16,4^\circ$.

Figura 20. Difractogramas DRX de las fibras de nanocelulosa obtenidas



En la tabla 26, se presentan los resultados del análisis químico por difracción de rayos X de las nanofibras obtenidas mediante el método fisicoquímico por explosión de vapor, sintetizadas a diferentes niveles de concentración de ácido oxálico durante el tratamiento químico térmico. El grado de cristalinidad se determinó de la relación entre el área cristalina y el área total (Ec. 10).

Tabla 26. Grado de cristalinidad medido mediante DRX de FNC durante el tratamiento químico térmico

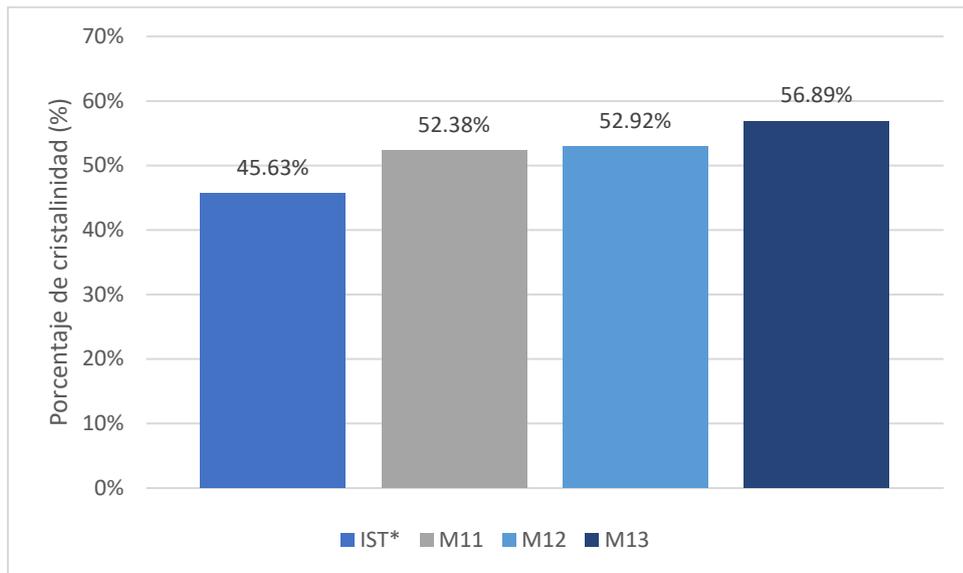
Muestra	Ácido Oxálico (%)	Area cristalina	Area amorfa	Grado de cristalinidad
IST*	--	29390.98	35020.00	45,63%
M11	6%	38180.20	34715.01	52,38%
M12	8%	46728.69	41580.00	52,92%
M13	12%	16364.01	21600.00	56,89%

* Corresponde a las muestras de *Stipa obtusa* sin tratamiento

El grado de cristalinidad obtenida en las muestras M11 y M12 es de 52.38% y 52.92% respectivamente, en promedio superior en 6% al grado de cristalinidad de la fibra sin tratamiento (IST), esto es debido a la eliminación de lignina amorfa y hemicelulosa a través del deslignificación del pretratamiento alcalino y el tratamiento químico térmico que produce la ruptura de los enlaces glucosídicos, lo que conduce a la reorganización de las moléculas de celulosa.

Por otro lado, el grado de cristalinidad de la muestra M13, que fue tratada con un mayor porcentaje de ácido oxálico (12%), es de 56.89%, este resultado sugiere que la mayor concentración del ácido empleado durante el tratamiento químico térmico modificó la estructura de las nanofibras. Asimismo, este comportamiento se atribuye a la eliminación de lignina y hemicelulosa a través de la deslignificación en el pretratamiento alcalino, el blanqueo y el tratamiento químico-térmico que provoca la ruptura de los enlaces glucosídicos, permitiendo la reorganización de las moléculas de celulosa (Abraham et al., 2013). En la figura 21, se puede observar un gráfico comparativo del grado de cristalinidad obtenida en las muestras realizadas.

Figura 21. Difractogramas DRX de FNC obtenidas

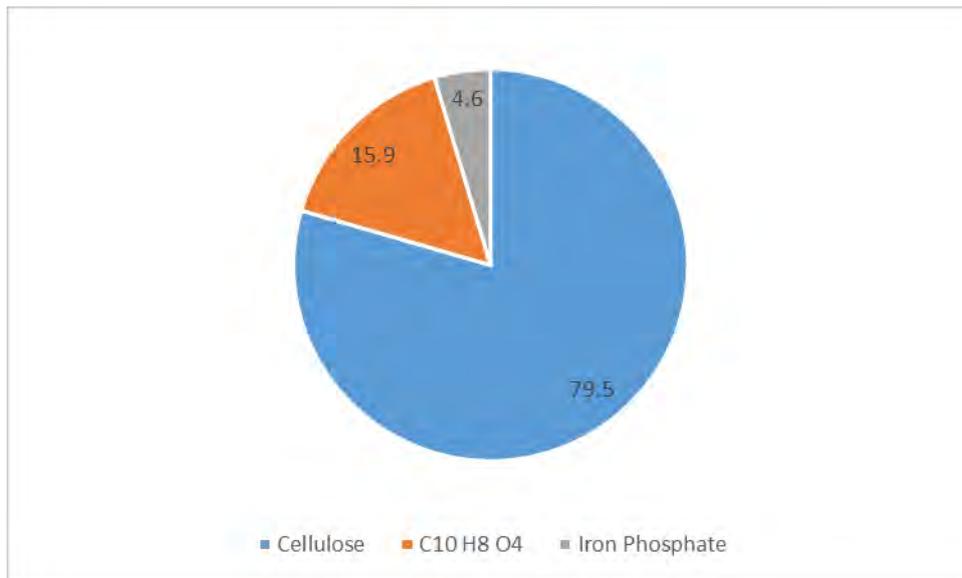


Así mismo, para la identificación de los componentes presentes en la muestra M08 en base al difractograma obtenido se utilizó una base de datos de cristalografía Crystallography Open Database (COD) y para la cuantificación se utilizó el Método Refinamiento Rietveld (WPPF - PDXL Rietveld Analysis), se encontró un contenido de celulosa del 79.50% en la muestra, 15.9% de $C_{10}H_8O_4$ y 4.60% de fosfato de hierro (ver tabla 27). Por lo cual se valida que, tras los tratamientos realizados con hidrólisis ácida y explosión de vapor, el contenido de celulosa fue incrementando.

Tabla 27. Contenido de concentración molecular

Phase name	(%)
Cellulose	79.50
C10 H8 O4	15.90
Iron Phosphate	4.60

Figura 22. Evaluación de composición de FNC por DRX



5.3.2. Caracterización de FNC por FTIR

Los espectros infrarrojos se muestran en la figura N°23. En los espectros se observa una banda de 3330, la cual corresponde a la vibración del grupo funcional O-H presente en la nanocelulosa, esto indica la vibración de los grupos OH en las moléculas del agua y de la celulosa, este mismo comportamiento fue encontrado en los estudios de Sheltami, R.M. et al. (2012).

Así mismo en la banda 2909 se presentan los grupos C-H, mientras que en la banda 1640 los grupos O-H / C=C. Evaluando los resultados de Benini, et.al 2018, se encontraron también que los picos alrededor de 2900 cm^{-1} se deben a la vibración de estiramiento de C-H en celulosa y hemicelulosa y los picos ubicados en 1640 cm^{-1} se atribuyen a vibraciones de flexión de los grupos OH de la celulosa (Kargarzadeh, H. et al., (2012)).

Se evidencia en el rango de bandas 1425 - 1640 la presencia del grupo funcional -CH₂, mientras que en las bandas 1125 - 1290 los grupos funcionales C-O-C. En los estudios realizados por Saelee et al., 2016; Wang et al., 2017; Shankar, S., Rhim, J., 2016; Kargarzadeh et al., 2017, se observaron que las bandas observadas a 1425 cm^{-1} están relacionadas con el estiramiento C=C

y/o la flexión simétrica del CH₂ en grupos aromáticos de celulosa debido a la banda de cristalinidad.

En la banda 1030 se encontró la presencia de los grupos C-O / C-O-C, en la banda 1030.63 los grupos presentes son C-O y en la banda 882 se observa el grupo C-O (glycosidic bonds). La banda de absorción a 1030 cm⁻¹ está asociada con el estiramiento de C-O y la vibración oscilante de C-H del esqueleto del anillo de piranosa (Kargarzadeh et al., 2017). La banda de 875 cm⁻¹ en los espectros corresponde a enlaces glucosídicos β entre las unidades de glucosa de la celulosa (Mandal, A., Chakrabarty, D. (2011). Estos comportamientos son un indicativo de que el material celulósico puede no haberse perdido durante la hidrólisis ácida. En la tabla N°28 se pueden observar la asignación de grupos funcionales de acuerdo al número de onda presentes en todo el análisis.

Se presenta la discusión de resultados de la fibra sin tratamiento (IST), fibras blanqueadas y fibras con tratamiento ácido oxálico al 8% (M08)

Figura 23. Espectro infrarrojo de la muestra

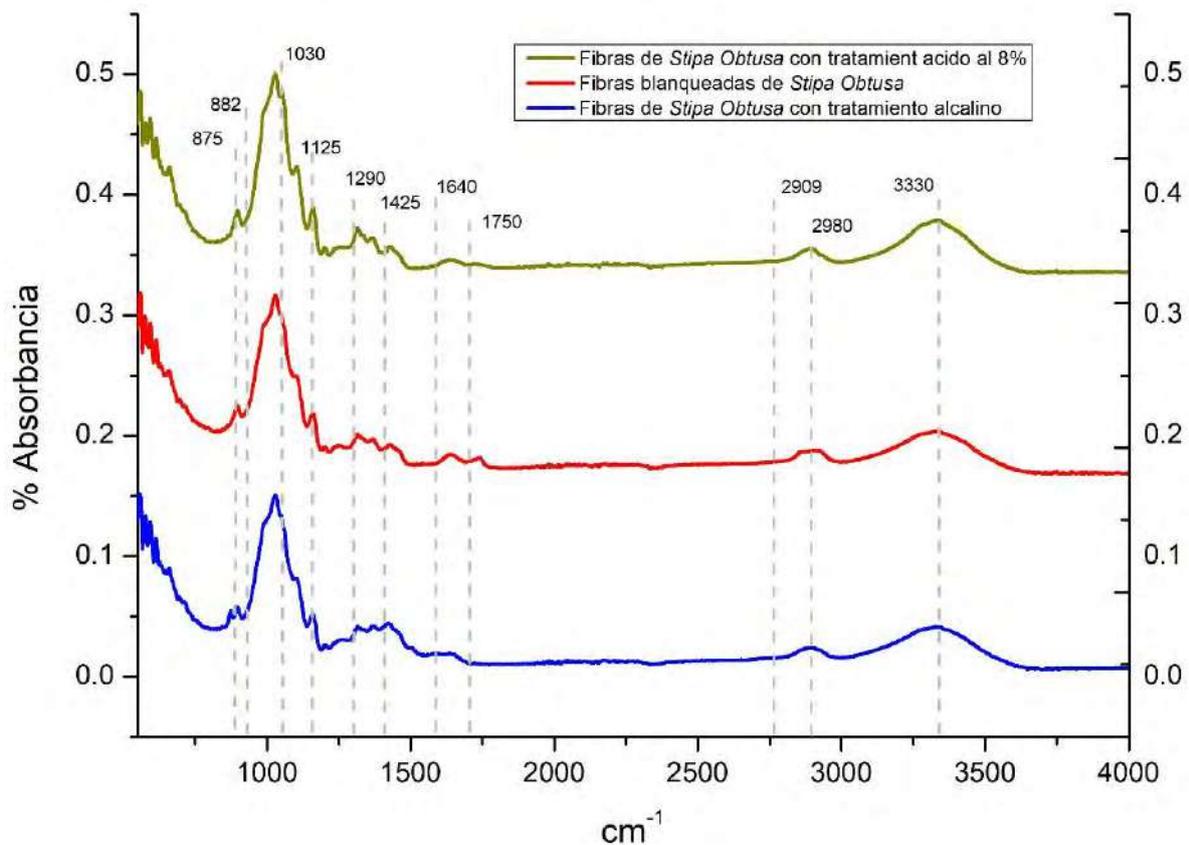


Tabla 28. Asignación de grupos funcionales

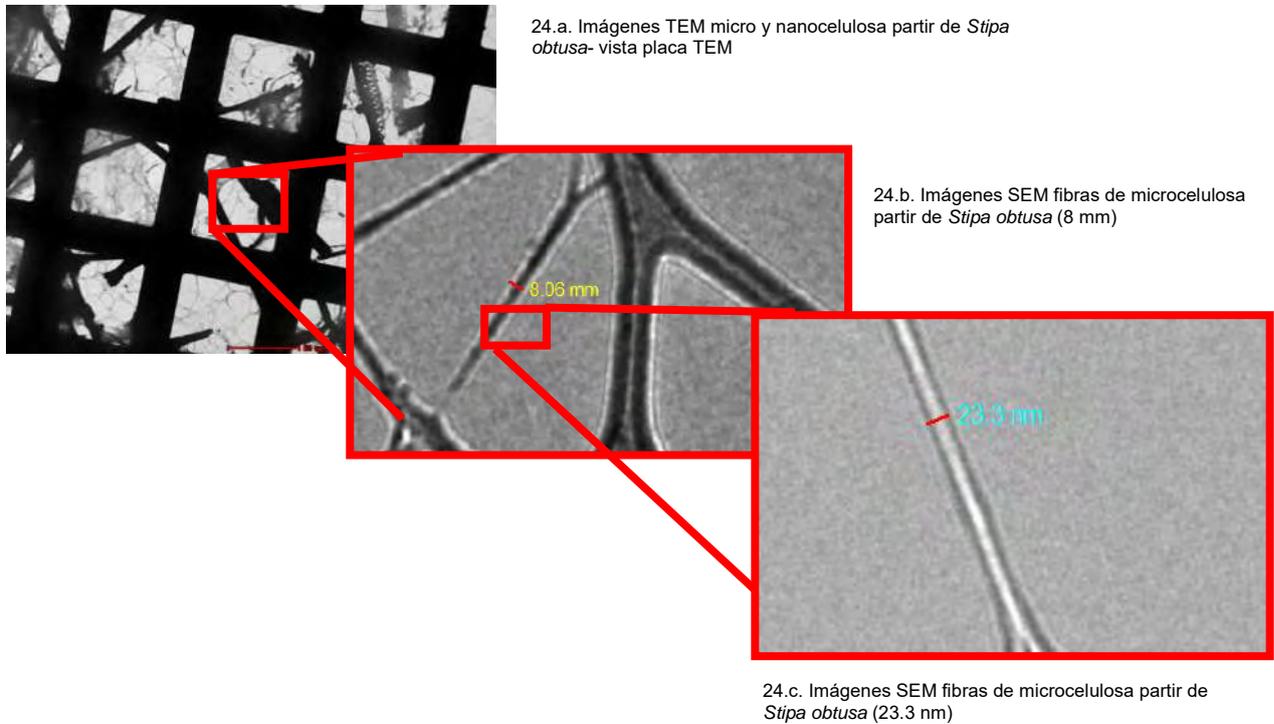
Número de onda	Grupo funcional
3333.98	O-H
2897.28	C-H
1637.23	O-H / C=C
1428.00 - 1314.49	-CH ₂
1201.00- 1104.12	C-O-C
1053.41	C-O / C-O-C
1030.63	C-O
897.30	C-O (glycosidic bonds)
660.43	=C-H

5.3.3. Caracterización de FNC por TEM

Se realizaron las pruebas a las muestras con un tratamiento del 8% de ácido oxálico (M08). Las muestras fueron sonicadas durante 20 min antes de ser ingresadas al equipo SEM, se observaron estructuras no uniformes amorfas. Con respecto al tamaño de fibra obtenida, se observaron tamaños de nanofibras variables desde 23 nm hasta microfibras con tamaños variables entre 8mm. Esta aglomeración podría ser atribuida a la unión de los grupos

hidroxilo entre las fibrillas (Saelee et al., 2016). La ruptura de algunas fibras puede haber resultado de la agitación y sonicación a la que fueron expuestas (Saito et al., 2007).

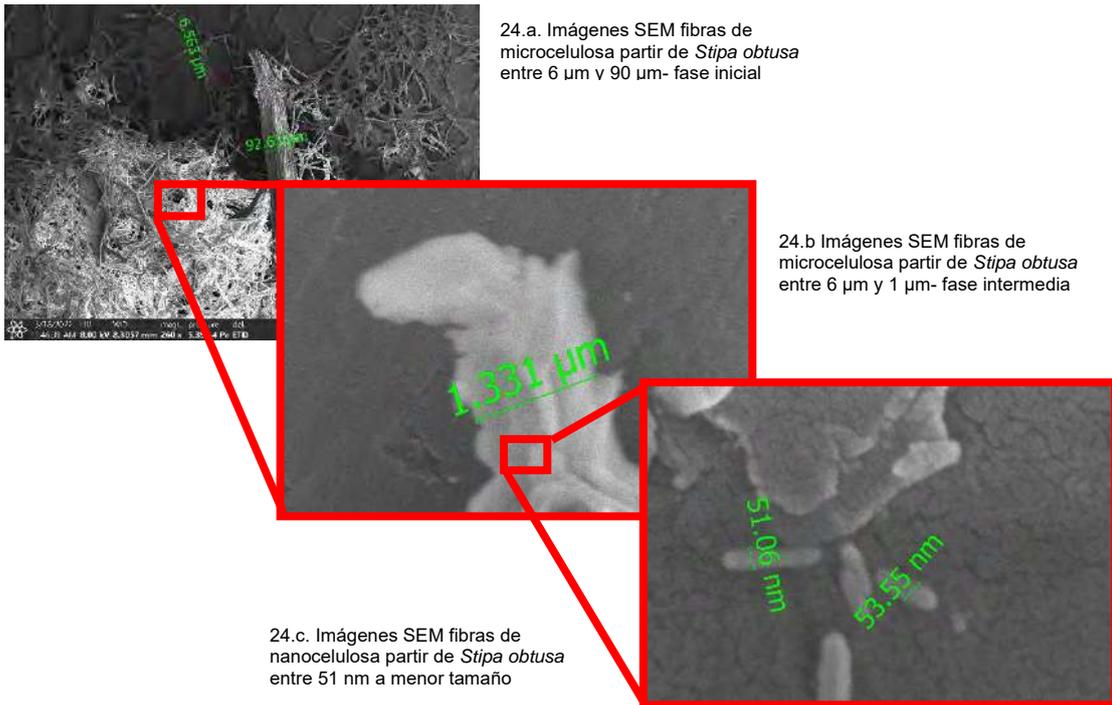
Figura 24. Imágenes TEM de fibras de micro y nano celulosa



5.3.4. Caracterización de microfibras de celulosa por SEM

En el análisis SEM, se obtuvieron estructuras no uniformes amorfas, con respecto al tamaño de fibra obtenida, se observaron tamaños de fibras variables entre 92 μ m hasta 51 nm, esto se debe a la desfibrilación que la fibra sufre por el ataque de explosión de vapor y tratamiento ácido al eliminar la lignina, tal como se puede observar en la figura 25.

Figura 25. Imágenes SEM de fibras de micro y nano celulosa



Así mismo, se realizaron pruebas por EDS a voltaje 8Kv y magnificación de 2000 en puntos representativos de la muestra (ver fig. 26), en los cuales se pudo observar la composición de la muestra (ver fig. 27 a. b. y c.) y tabla 29. Los resultados obtenidos indican que el material analizado consiste principalmente en carbono e hidrógeno, los cuales son los elementos fundamentales de la celulosa. Esto sugiere que se ha eliminado la mayoría de las impurezas superficiales y los residuos de los reactivos utilizados durante el aislamiento de las nanofibras.

Figura 26. Muestreo de fibras de micro y nano celulosa por EDS

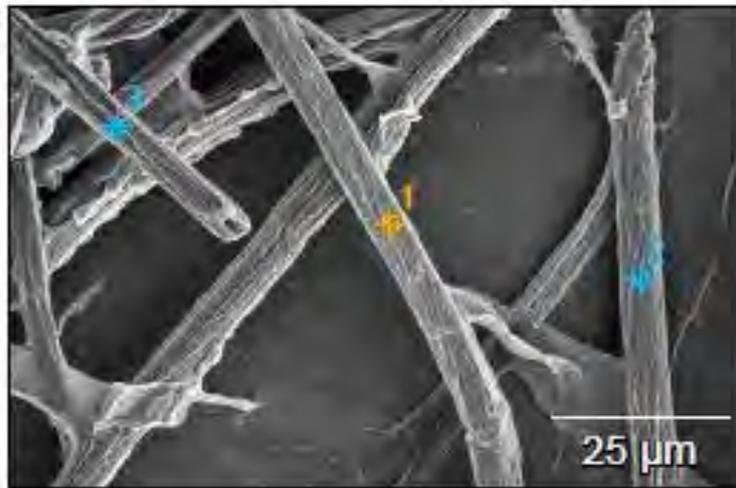
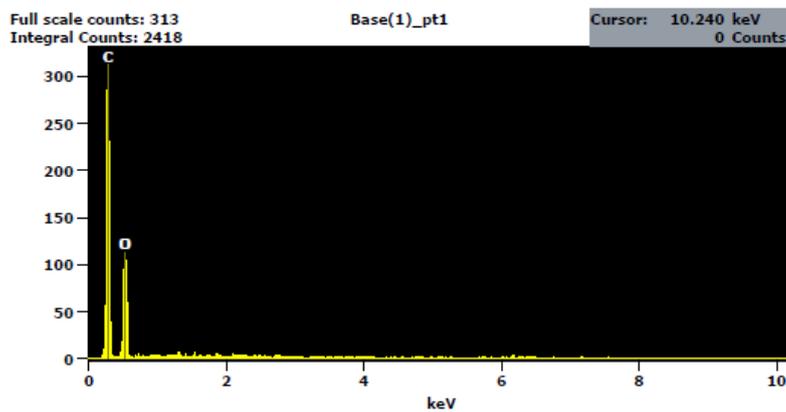
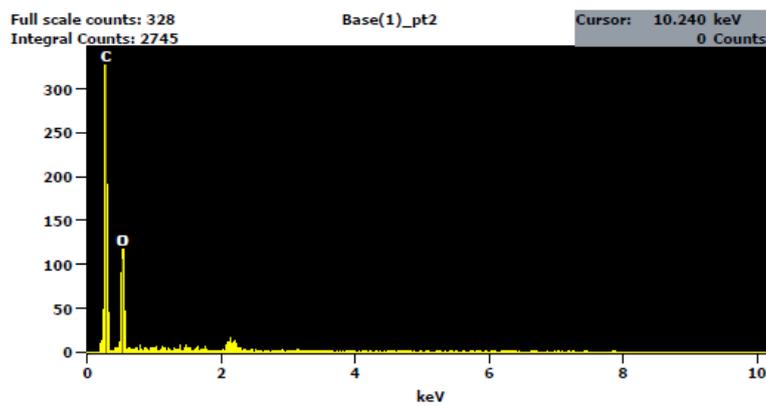


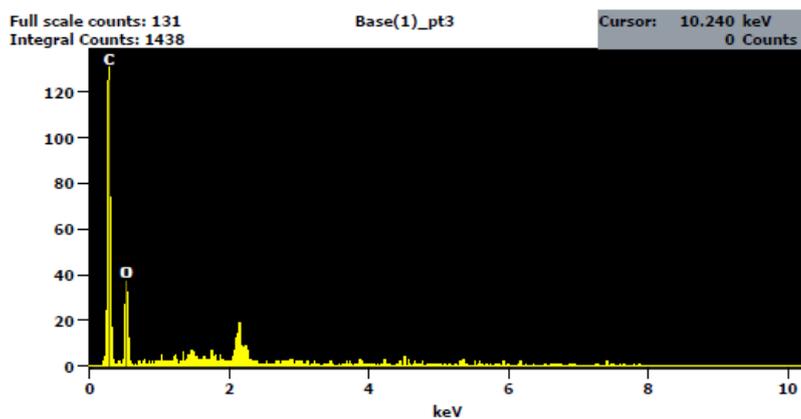
Figura 27. Composición química de fibras de micro y nano celulosa por EDS



27.a. Análisis EDS fibras de microcelulosa y nano celulosa partir de *Stipa obtusa* en el punto 1



27.b. Análisis EDS fibras de microcelulosa y nano celulosa partir de *Stipa obtusa* en el punto 2



27.c. Análisis EDS fibras de microcelulosa y nano celulosa partir de *Stipa obtusa* en el punto 3

Tabla 29. Composición química analizada por EDS

Punto	Cuenta neta		%peso		% Atom	
	C	O	C	O	C	O
1	450	567	46.46	53.54	53.61	46.39
2	475	540	47.73	52.27	54.89	45.11
3	576	177	51.20	48.80	58.29	41.71

5.4. Resultado 4: Identificación y valoración de los impactos ambientales asociados

5.4.1. Identificación de aspectos ambientales

Se evaluaron los impactos ambientales asociados a las etapas de producción de nanocelulosa, identificando los aspectos (Tabla 30), riesgos (Tabla 31) e impactos (Tabla 32). Mediante la metodología CONESA se otorgó una valoración a los impactos asociados por la naturaleza (Tabla 33), intensidad (Tabla 34), extensión (Tabla 35), momento (Tabla 36), persistencia (Tabla 37), reversibilidad (Tabla 38), sinergia (Tabla 39), acumulación (Tabla 40), efecto (Tabla 41), periodicidad (Tabla 42) y recuperabilidad (Tabla 43). A partir del análisis realizado anteriormente se procedió a valorizar los impactos por recuperabilidad (Tabla 44).

Finalmente, se procedió a realizar el análisis de impactos ambientales por etapa otorgando una coloración de acuerdo al efecto pronosticado (Tabla 45), de tal manera que posteriormente esta valoración permita priorizar las etapas con mayor impacto ambiental.

El resumen del impacto evaluado y priorizado por etapa, se muestra en la tabla 46, identificando los impactos y actividades a realizar para reducirlos. Se ha identificado que el mayor impacto se da en las etapas de extracción de *Stipa obtusa*, lo cual podría reducirse con un plan de manejo adecuado para garantizar un uso sostenible de los recursos de la biodiversidad.

Tabla 30. Identificación de aspectos ambientales

Etapa	Actividad	Identificación de Aspectos									
		Aire	Medio Físico Agua	Suelo	Flora	Medio Biológico Fauna	Paisaje	Social	Económico	Cultural	
Recolección de muestra	Corte y selección							Modificación del paisaje de la zona.	Compras locales	Compras locales	Comunidades Nativas
Pre tratamiento mecánico	Molienda	Producción de material particulado (MP)		Producción de residuos	Producción de material particulado (MP)	Generación de ruido					
	Tamizaje										Compras locales
Pre tratamiento alcalino	Remojo con NaOH	Producción de emisiones gaseosas.								Compras locales	
Explosión por vapor I	Liberación de vapor	Producción de emisiones gaseosas	Generación de efluentes			Generación de ruido					
	Lavado	Generación de ruido									
Blanqueamiento	Remojo con CH ₃ COOH	Producción de emisiones gaseosas	Generación de efluentes							Compras locales	
	Lavado										
Explosión de vapor II	Liberación de vapor	Producción de emisiones gaseosas	Generación de efluentes			Generación de ruido					
	Lavado	Generación de ruido									
Agitación	Homogeneización del gel obtenido	Producción de vibraciones						Compras locales			
Obtención de fibras de nanocelulosa	Secado y preservación							Percepciones positivas y negativas de la población.			

5.4.2. Identificación de riesgos ambientales

Tabla 31. Matriz de riesgos ambientales

Etapa	Actividad	Aire		Medio físico Agua		Suelo	Medio biológico			Medio socioeconómico	
		Calidad	Ruido	Caudal	Calidad	Calidad	Flora Cobertura	Fauna Diversidad	Paisaje	Social Seguridad	Económico Empleo Ingresos
Recolección de muestra	Corte y selección									RI-03	RI-02
Pre tratamiento mecánico	Molienda										RI-02
	Tamizaje										RI-02
Pre tratamiento alcalino	Remojo con NaOH	RI-01			RI-01						RI-02
Explosión por vapor I	Liberación de vapor	RI-01			RI-01						RI-02
	Lavado										
Blanqueamiento	Remojo con CH ₃ COOH	RI-01			RI-01						RI-02
	Lavado										
Explosión de vapor II	Liberación de vapor	RI-01			RI-01						RI-02
	Lavado										
Agitación	Homogeneización del gel obtenido										
Obtención de fibras de nanocelulosa	Secado y preservación										

RI-01: Riesgo de derrame de sustancias químicas peligrosas.

RI-02: Riesgo de accidentes laborales.

RI-03: Riesgo de alteraciones en el paisaje.

5.4.3. Identificación de impactos ambientales

Tabla 32. Identificación y evaluación de impactos ambientales

Etapa	Actividad	Impactos sobre el medio								
		Aire	Físico Agua	Suelo	Flora	Biológico Fauna	Paisaje	Social	Económico	Cultural
Recolección de muestra	Corte y selección				Alteración de la flora por recolección	Alteración de la fauna por recolección	Alteración del paisaje por recolección	Posibilidad de creación de empleo y oportunidades de negocios a nivel local	Posibilidad de creación de empleo y oportunidades de negocios a nivel local	Oportunidad de generación de empleo para comunidades
Pre tratamiento mecánico	Molienda Tamizaje	Alteración de la calidad del aire por la producción de PM 10 y PM 2.5.						Posibilidad de creación de empleo y oportunidades de negocios a nivel local	Posibilidad de creación de empleo y oportunidades de negocios a nivel local	
Pre tratamiento alcalino	Remojo con NaOH	Alteración de la calidad del aire por generación de emisiones gaseosas		Alteración de la calidad del suelo por posible derrame de residuos peligrosos				Impacto en la salud y seguridad debido a PM 2.5	Afectación a la salud y seguridad por emisión de gases	
Explosión por vapor I	Liberación de vapor Lavado	Incremento de niveles de ruido Alteración de la calidad del aire por la generación de emisiones gaseosas	Alteración de la calidad del agua por posibles efluentes de sustancias químicas	Alteración de la calidad del suelo por posible derrame de residuos peligrosos.				Afectación a la salud y seguridad por emisión de gases		

Etapa	Actividad	Impactos sobre el medio									
		Aire	Físico		Biológico			Socioeconómico			
			Agua	Suelo	Flora	Fauna	Paisaje	Social	Económico	Cultural	
Blanqueamiento	Remojo con CH ₃ COOH Lavado	Cambios en la calidad de aire por la emisión de gases	Alteración de la calidad del agua por posibles efluentes de sustancias químicas	Alteración de la calidad del suelo por posible derrame de residuos peligrosos.						Afectación a la salud y seguridad por emisión de gases	
Explosión de vapor II	Liberación de vapor Lavado	Aumento en niveles de ruido Cambios en calidad de aire por emisión de gases	Alteración de la calidad del agua por posibles efluentes de sustancias químicas	Alteración de la calidad del suelo por posible derrame de residuos peligrosos.						Daños en la salud y seguridad por emisión de gases	
Agitación	Homogeneización del gel obtenido	Incremento de vibraciones									
Obtención de fibras de nanocelulosa	Secado y preservación									Generación de empleo y negocios locales	Oportunidad de generación de empleo para comunidades

5.4.4. Identificación de aspectos ambientales

Tabla 33. Matriz de impactos por naturaleza

Medio	Factores Ambientales Receptores de Impacto (FARI)	Aspectos Susceptibles de Producir Impacto (ASPI)	Impactos Ambientales	Recolección		Pre trat. mecánico		Pre trat. alcalino	Explosión por vapor I		Blanqueamiento		Explosión de vapor II		Agitación	Obtención de fibras de NC
				Corte y selección	Lavado de fibra	Molienda	Tamizaje	Remojo con NaOH	Liberación de vapor	Lavado	Remojo con CH3COOH	Lavado	Liberación de vapor	Lavado	Homogeneización del gel obtenido	Secado y preservación
FISICO	AIRE	Producción de material particulado. Generación de ruido. Producción de emisiones gaseosas. Utilización del recurso hídrico.	Alteración de la calidad del aire por la generación de material particulado PM 10 y PM 2.5. emisiones gaseosas e incremento de los niveles de ruido.	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	
	AGUA	Generación de insumos químicos y/o combustibles.	Cambios en la calidad del agua	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	
	SUELO	Producción de residuos peligrosos. Generación de efluentes domésticos. Generación de residuos.	Modificaciones en la calidad del suelo por posible derrame de residuos peligrosos, generación de efluentes domésticos y acumulación de residuos.	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1
BIOLOGICO	FLORA	Generación de material particulado. Retiro de vegetación.	Alteración de la flora por presencia de material particulado y retiro de vegetación.	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	FAUNA	Generación de ruido.	Perturbación de la fauna silvestre.	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	
	PAISAJE	Modificación del paisaje de la zona.	Alteración de la calidad visual del paisaje.	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
SOCIOECONOMIC	SOCIAL	Percepciones positivas y negativas de la población.	Daños a la salud y seguridad de la población aledaña y a los trabajadores, cambios en los hábitos y costumbres de la población local.	-1	1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	ECONOMICO	Generación de empleo. Salario competitivo.	Oportunidad de generación de empleo y negocios locales. Incremento del ingreso familiar y dinamización de la economía local.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	CULTURAL	Compras locales. Comunidades Nativas	Alteraciones del patrimonio cultural	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

5.4.5. Valorización de impactos por intensidad

Tabla 34. Matriz de intensidad

Medio	Factores Ambientales Receptores de Impacto (FARI)	Aspectos Susceptibles de Producir Impacto (ASPI)	Impactos Ambientales	Recolección		Pre trat. mecánico		Pre trat. alcalino	Explosión por vapor I		Blanqueamiento		Explosión de vapor II		Agitación	Obtención de fibras de NC
				Corte y selección	Lavado de fibra	Molienda	Tamizaje	Remojo con NaOH	Liberación de vapor	Lavado	Remojo con CH ₃ COOH	Lavado	Liberación de vapor	Lavado	Homogeneización del gel obtenido	Secado y preservación
FISICO	AIRE	Producción de material particulado. Generación de ruido. Producción de emisiones gaseosas. Utilización del recurso hídrico.	Alteración de la calidad del aire por la generación de material particulado PM 10 y PM 2.5. emisiones gaseosas e incremento de los niveles de ruido.	1	1	2	2	1	2	1	1	1	2	1	2	2
	AGUA	Generación de insumos químicos y/o combustibles.	Alteración de la calidad del agua	1	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1
	SUELO	Producción de residuos peligrosos. Producción de efluentes domésticos. Generación de residuos.	Alteración de la calidad del suelo por posible derrame de residuos peligrosos, generación de efluentes domésticos y acumulación de residuos.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
BIOLOGICO	FLORA	Generación de material particulado. Retiro de vegetación.	Alteración de la flora por presencia de material particulado y retiro de vegetación.	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	FAUNA	Generación de ruido.	Perturbación de la fauna silvestre.	2	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1
	PAISAJE	Modificación del paisaje de la zona.	Cambios en la calidad visual del paisaje.	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SOCIOECONOMIC	SOCIAL	Percepciones positivas y negativas de la población.	Daños a la salud y seguridad de la población aledaña y a los trabajadores, cambios en los hábitos y costumbres de la población local.	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	ECONOMICO	Generación de empleo. Salario competitivo. Compras locales.	Oportunidad de generación de empleos locales. Incremento del ingreso familiar y dinamización de la economía local.	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	CULTURAL	Comunidades Nativas	Alteraciones del patrimonio cultural	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

5.4.6. Valorización de impactos por extensión

Tabla 35. Matriz de extensión

Medio	Factores Ambientales Receptores de Impacto (FARI)	Aspectos Susceptibles de Producir Impacto (ASPI)	Impactos Ambientales	Recolección		Pre trat. mecánico		Pre trat. alcalino	Explosión por vapor I		Blanqueamiento		Explosión de vapor II		Agitación	Obtención de fibras de NC
				Corte y selección	Lavado de fibra	Molienda	Tamizaje	Remojo con NaOH	Liberación de vapor	Lavado	Remojo con CH ₃ COOH	Lavado	Liberación de vapor	Lavado	Homogeneización del gel obtenido	Secado y preservación
FISICO	AIRE	Producción de material particulado. Generación de ruido. Producción de emisiones gaseosas. Utilización del recurso hídrico.	Modificación de la calidad del aire por la generación de material particulado PM 10 y PM 2.5. emisiones gaseosas e incremento de los niveles de ruido.	1	1	2	2	1	2	1	1	1	2	1	2	2
	AGUA	Generación de insumos químicos y/o combustibles.	Alteración de la calidad del agua	1	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1
	SUELO	Generación de residuos peligrosos. Producción de efluentes domésticos. Generación de residuos.	Cambios en la calidad del suelo por posible derrame de residuos peligrosos, generación de efluentes domésticos y acumulación de residuos.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
BIOLOGICO	FLORA	Generación de material particulado. Retiro de vegetación.	Alteración de la flora por presencia de material particulado y retiro de vegetación.	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	FAUNA	Generación de ruido.	Perturbación de la fauna silvestre.	2	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1
	PAISAJE	Modificación del paisaje de la zona.	Alteración de la calidad visual del paisaje.	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SOCIOECONOMIC	SOCIAL	Percepciones positivas y negativas de la población.	Afectación a la salud y seguridad de la población aledaña y a los trabajadores, cambios en los hábitos y costumbres locales.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	ECONOMICO	Generación de empleo. Salario competitivo. Compras locales.	Oportunidad de generación de empleos locales. Incremento del ingreso familiar y dinamización de la economía local.	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	CULTURAL	Comunidades Nativas	Alteraciones del patrimonio cultural	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

5.4.7. Valorización de impactos por momento

Tabla 36. Matriz de momento

Medio	Factores Ambientales Receptores de Impacto (FARI)	Aspectos Susceptibles de Producir Impacto (ASPI)	Impactos Ambientales	Recolección		Pre trat. mecánico		Pre trat. alcalino	Explosión por vapor I		Blanqueamiento		Explosión de vapor II		Agitación	Obtención de fibras de NC
				Corte y selección	Lavado de fibra	Molienda	Tamizaje	Remojo con NaOH	Liberación de vapor	Lavado	Remojo con CH ₃ COOH	Lavado	Liberación de vapor	Lavado	Homogeneización del gel obtenido	Secado y preservación
FISICO	AIRE	Producción de material particulado. Generación de ruido. Producción de emisiones gaseosas. Utilización del recurso hídrico.	Alteración de la calidad del aire por la generación de material particulado PM 10 y PM 2.5. emisiones gaseosas e incremento de los niveles de ruido.	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	AGUA	Generación de insumos químicos y/o combustibles.	Alteración de la calidad del agua	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	SUELO	Producción de residuos peligrosos. Producción de efluentes domésticos. Generación de residuos.	Cambios en la calidad del suelo por posible derrame de residuos peligrosos, generación de efluentes domésticos y acumulación de residuos.	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
BIOLOGICO	FLORA	Generación de material particulado. Retiro de vegetación.	Alteración de la flora por presencia de material particulado y retiro de vegetación.	3	3	3	4	4	3	4	4	4	3	4	4	3
	FAUNA PAISAJE	Generación de ruido. Modificación del paisaje de la zona.	Perturbación de la fauna silvestre. Alteración de la calidad visual del paisaje.	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
SOCIOECONOMIC	SOCIAL	Percepciones positivas y negativas de la población.	Daños a la salud y seguridad de la población cercana y a los trabajadores, cambios en los hábitos y costumbres de la población local.	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3
	ECONOMICO	Generación de empleo. Salario competitivo. Compras locales.	Oportunidad de generación de empleo y negocios locales. Incremento del ingreso familiar y dinamización de la economía local.	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2
	CULTURAL	Comunidades Nativas	Alteraciones del patrimonio cultural	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2

5.4.8. Valorización de impactos por persistencia

Tabla 37. Matriz de persistencia

Medio	Factores Ambientales Receptores de Impacto (FARI)	Aspectos Susceptibles de Producir Impacto (ASPI)	Impactos Ambientales	Recolección		Pre trat. mecánico		Pre trat. alcalino	Explosión por vapor I		Blanqueamiento		Explosión de vapor II		Agitación	Obtención de fibras de NC
				Corte y selección	Lavado de fibra	Molienda	Tamizaje	Remojo con NaOH	Liberación de vapor	Lavado	Remojo con CH ₃ COOH	Lavado	Liberación de vapor	Lavado	Homogeneización del gel obtenido	Secado y preservación
FISICO	AIRE	Producción de material particulado. Generación de ruido. Producción de emisiones gaseosas. Utilización del recurso hídrico.	Cambios en la calidad del aire por la generación de PM 10 y PM 2.5. emisiones gaseosas e incremento de los niveles de ruido.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	AGUA	Generación de insumos químicos y/o combustibles.	Cambios en la calidad del agua	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	SUELO	Generación de residuos peligrosos. Generación de efluentes domésticos. Generación de residuos.	Alteración de la calidad del suelo por posible derrame de residuos peligrosos, generación de efluentes domésticos y acumulación de residuos.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
BIOLOGICO	FLORA	Generación de material particulado. Retiro de vegetación.	Alteración de la flora por presencia de material particulado y retiro de vegetación.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	FAUNA	Generación de ruido.	Perturbación de la fauna silvestre.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	PAISAJE	Modificación del paisaje de la zona.	Modificaciones en la calidad visual del paisaje.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SOCIOECONOMIC	SOCIAL	Percepciones positivas y negativas de la población.	Daños a la salud y seguridad de la población aledaña y a los trabajadores, cambios en los hábitos y costumbres de la población.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	ECONOMICO	Generación de empleo. Salario competitivo. Compras locales.	Oportunidad de generación de empleos locales. Incremento del ingreso familiar y dinamización de la economía local.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	CULTURAL	Comunidades Nativas	Alteraciones del patrimonio cultural	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

5.4.9. Valorización de impactos por reversibilidad

Tabla 38. Matriz de reversibilidad

Medio	Factores Ambientales Receptores de Impacto (FARI)	Aspectos Susceptibles de Producir Impacto (ASPI)	Impactos Ambientales	Recolección		Pre trat. mecánico		Pre trat. alcalino		Explosión por vapor I		Blanqueamiento		Explosión de vapor II		Agitación		Obtención de fibras de NC	
				Corte y selección	Lavado de fibra	Molienda	Tamizaje	Remojo con NaOH	Liberación de vapor	Lavado	Remojo con CH ₃ COO	Lavado	Liberación de vapor	Lavado	Homogeneización del gel obtenido	Secado y preservación			
FISICO	AIRE	Producción de material particulado. Generación de ruido. Producción de emisiones gaseosas.	Cambios en la calidad del aire por la generación de material particulado PM 10 y PM 2.5. emisiones gaseosas e incremento de los niveles de ruido.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	AGUA	Utilización del recurso hídrico. Generación de insumos químicos y/o combustibles.	Cambios de la calidad del agua	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	SUELO	Producción de residuos peligrosos. Generación de efluentes domésticos. Generación de residuos.	Alteración de la calidad del suelo por posible derrame de residuos peligrosos, generación de efluentes domésticos y acumulación de residuos.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
BIOLOGICO	FLORA	Generación de material particulado. Retiro de vegetación.	Alteración de la flora por presencia de material particulado y retiro de vegetación.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	FAUNA	Generación de ruido.	Perturbación de la fauna silvestre.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	PAISAJE	Modificación del paisaje de la zona.	Alteración de la calidad visual del paisaje.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SOCIOECONOMIC	SOCIAL	Percepciones positivas y negativas de la población.	Daños a la salud y seguridad de la población aledaña y a los trabajadores, cambios en los hábitos y costumbres de la población local.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	ECONOMICO	Generación de empleo. Salario competitivo.	Oportunidad de generación de empleo local. Incremento del ingreso familiar y dinamización de la economía local.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	CULTURAL	Compras locales. Comunidades Nativas	Alteraciones del patrimonio cultural	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

5.4.10. Valorización de impactos por sinergia del impacto

Tabla 39. Matriz de sinergia del impacto

Medio	Factores Ambientales Receptores de Impacto (FARI)	Aspectos Susceptibles de Producir Impacto (ASPI)	Impactos Ambientales	Recolección		Pre trat. mecánico		Pre trat. alcalino	Explosión por vapor I		Blanqueamiento		Explosión de vapor II		Agitación	Obtención de fibras de NC
				Corte y selección	Lavado de fibra	Molienda	Tamizaje	Remojo con NaOH	Liberación de vapor	Lavado	Remojo con CH ₃ COOH	Lavado	Liberación de vapor	Lavado	Homogeneización del gel obtenido	Secado y preservación
FISICO	AIRE	Producción de material particulado. Generación de ruido. Producción de emisiones gaseosas. Utilización del recurso hídrico.	Modificación de la calidad del aire por la generación de PM 10 y PM 2.5. emisiones gaseosas e incremento de los niveles de ruido.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	AGUA	Generación de insumos químicos y/o combustibles.	Cambios en la calidad del agua	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	SUELO	Generación de residuos peligrosos. Generación de efluentes domésticos. Generación de residuos.	Alteración de la calidad del suelo por posible derrame de residuos peligrosos, generación de efluentes domésticos y acumulación de residuos.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
BIOLOGICO	FLORA	Generación de material particulado. Retiro de vegetación.	Alteración de la flora por presencia de material particulado y retiro de vegetación.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	FAUNA	Generación de ruido.	Perturbación de la fauna silvestre.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	PAISAJE	Modificación del paisaje de la zona.	Cambios en la calidad visual del paisaje.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SOCIOECONOMIC	SOCIAL	Percepciones positivas y negativas de la población.	Daños a la salud y seguridad de la población aledaña y a los trabajadores, cambios en los hábitos y costumbres locales.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		Generación de empleo.	Oportunidad de generación de empleos locales.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	ECONOMICO	Salario competitivo. Compras locales.	Incremento del ingreso familiar y dinamización de la economía local.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
CULTURAL	Comunidades Nativas	Alteraciones del patrimonio cultural	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

5.4.11. Valorización de impactos por acumulación

Tabla 40. Matriz de acumulación

Medio	Factores Ambientales Receptores de Impacto (FARI)	Aspectos Susceptibles de Producir Impacto (ASPI)	Impactos Ambientales	Recolección		Pre trat. mecánico		Pre trat. alcalino	Explosión por vapor I		Blanqueo		Explosión de vapor II		Agitación	Obtención de fibras de NC
				Corte y selección	Lavado de fibra	Molienda	Tamizaje	Remojo con NaOH	Liberación de vapor	Lavado	Remojo con CH ₃ COOH	Lavado	Liberación de vapor	Lavado	Homogeneización del gel obtenido	Secado y preservación
FISICO	AIRE	Producción de material particulado. Generación de ruido. Producción de emisiones gaseosas. Utilización del recurso hídrico.	Cambios en la calidad del aire por la generación de PM 10 y PM 2.5. emisiones gaseosas e incremento de los niveles de ruido.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	AGUA	Generación de insumos químicos y/o combustibles.	Cambios de la calidad del agua	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	SUELO	Generación de residuos peligrosos. Generación de efluentes domésticos. Producción de residuos.	Alteración de la calidad del suelo por posible derrame de residuos peligrosos, generación de efluentes domésticos y acumulación de residuos.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
BIOLOGICO	FLORA	Generación de material particulado. Retiro de vegetación.	Alteración de la flora por presencia de material particulado y retiro de vegetación.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	FAUNA	Generación de ruido.	Perturbación de la fauna silvestre.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	PAISAJE	Modificación del paisaje de la zona.	Alteración de la calidad visual del paisaje.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SOCIOECONOMIC	SOCIAL	Percepciones positivas y negativas de la población.	Daños a la salud y seguridad de la población aledaña y a los trabajadores, cambios en los hábitos y costumbres de la población local.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	ECONOMICO	Generación de empleo.	Oportunidad de generación de empleos locales.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	CULTURAL	Salario competitivo. Compras locales. Comunidades Nativas	Incremento del ingreso familiar y dinamización de la economía local. Alteraciones del patrimonio cultural	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

5.4.12. Valorización de impactos por efecto

Tabla 41. Matriz de efecto

Medio	Factores Ambientales Receptores de Impacto (FARI)	Aspectos Susceptibles de Producir Impacto (ASPI)	Impactos Ambientales	Recolección		Pre trat. mecánico		Pre trat. alcalino	Explosión por vapor I		Blanqueamiento		Explosión de vapor II		Agitación	Obtención de fibras de NC
				Corte y selección	Lavado de fibra	Molienda	Tamizaje	Remojo con NaOH	Liberación de vapor	Lavado	Remojo con CH ₃ COOH	Lavado	Liberación de vapor	Lavado	Homogeneización del gel obtenido	Secado y preservación
FISICO	AIRE	Producción de material particulado. Generación de ruido. Producción de emisiones gaseosas. Utilización del recurso hídrico.	Modificación de la calidad del aire por la generación de material particulado PM 10 y PM 2.5. emisiones gaseosas e incremento de los niveles de ruido.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	AGUA	Generación de insumos químicos y/o combustibles.	Cambios en la calidad del agua	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	SUELO	Producción de residuos peligrosos. Generación de efluentes domésticos. Generación de residuos.	Alteración de la calidad del suelo por posible derrame de residuos peligrosos, generación de efluentes domésticos y acumulación de residuos.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
BIOLOGICO	FLORA	Generación de material particulado. Retiro de vegetación.	Cambios en la flora por presencia de material particulado y retiro de vegetación.	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	FAUNA	Generación de ruido.	Perturbación de la fauna silvestre.	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	PAISAJE	Modificación del paisaje de la zona.	Alteración de la calidad visual del paisaje.	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SOCIOECONOMICO	SOCIAL	Percepciones positivas y negativas de la población.	Daños a la salud y seguridad de la población aledaña y a los trabajadores, cambios en los hábitos y costumbres de la población local.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	ECONOMICO	Generación de empleo. Salario competitivo. Compras locales.	Oportunidad de generación de empleos locales. Incremento del ingreso familiar y dinamización de la economía local.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	CULTURAL	Comunidades Nativas	Alteraciones del patrimonio cultural	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

5.4.13. Valorización de impactos por periodicidad

Tabla 42. Matriz de impactos por periodicidad

Medio	Factores Ambientales Receptores de Impacto (FARI)	Aspectos Susceptibles de Producir Impacto (ASPI)	Impactos Ambientales	Recolección		Pre trat. mecánico		Pre trat. alcalino	Explosión por vapor I		Blanqueo		Explosión de vapor II		Agitación	Obtención de fibras de NC
				Corte y selección	Lavado de fibra	Molienda	Tamizaje	Remojo con NaOH	Liberación de vapor	Lavado	Remojo con CH ₃ COOH	Lavado	Liberación de vapor	Lavado	Homogeneización del gel obtenido	Secado y preservación
FISICO	AIRE	Generación de material particulado. Generación de ruido. Generación de emisiones gaseosas. Utilización del recurso hídrico.	Alteración de la calidad del aire por la generación de material particulado PM 10 y PM 2.5. emisiones gaseosas e incremento de los niveles de ruido.	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	AGUA	Generación de insumos químicos y/o combustibles.	Cambios en la calidad del agua	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	SUELO	Generación de residuos peligrosos. Generación de efluentes domésticos. Generación de residuos.	Alteración de la calidad del suelo por posible derrame de residuos peligrosos, generación de efluentes domésticos y acumulación de residuos.	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
BIOLOGICO	FLORA	Generación de material particulado. Retiro de vegetación.	Alteración de la flora por presencia de material particulado y retiro de vegetación.	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	FAUNA	Generación de ruido.	Perturbación de la fauna silvestre.	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	PAISAJE	Modificación del paisaje de la zona.	Alteración de la calidad visual del paisaje.	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
SOCIOECONOMICO	SOCIAL	Percepciones positivas y negativas de la población.	Afectación a la salud y seguridad de la población aledaña y a los trabajadores, cambios en los hábitos y costumbres de la población local.	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	ECONOMICO	Generación de empleo. Salario competitivo. Compras locales.	Oportunidad de generación de empleo y negocios locales. Incremento del ingreso familiar y dinamización de la economía local.	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	CULTURAL	Comunidades Nativas	Alteraciones del patrimonio cultural	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

5.4.14. Valorización de impactos por recuperabilidad

Tabla 43. Matriz de recuperabilidad

Medio	Factores Ambientales Receptores de Impacto (FARI)	Aspectos Susceptibles de Producir Impacto (ASPI)	Impactos Ambientales	Recolección		Pre trat. mecánico		Pre trat. alcalino	Explosión por vapor I		Blanqueamiento		Explosión de vapor II		Agitación	Obtención de fibras de NC
				Corte y selección	Lavado de fibra	Molienda	Tamizaje	Remojo con NaOH	Liberación de vapor	Lavado	Remojo con CH ₃ COOH	Lavado	Liberación de vapor	Lavado	Homogeneización del gel obtenido	Secado y preservación
FISICO	AIRE	Producción de material particulado. Generación de ruido. Producción de emisiones gaseosas. Utilización del recurso hídrico.	Alteración de la calidad del aire por la generación de material particulado PM 10 y PM 2.5. emisiones gaseosas e incremento de los niveles de ruido.	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	AGUA	Generación de insumos químicos y/o combustibles.	Alteración de la calidad del agua	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	SUELO	Producción de residuos peligrosos. Producción de efluentes domésticos. Generación de residuos.	Cambios en la calidad del suelo por posible derrame de residuos peligrosos, generación de efluentes domésticos y acumulación de residuos.	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
BIOLOGICO	FLORA	Generación de material particulado. Retiro de vegetación.	Alteración de la flora por presencia de material particulado y retiro de vegetación.	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	FAUNA	Generación de ruido.	Perturbación de la fauna silvestre.	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	PAISAJE	Modificación del paisaje de la zona.	Alteración de la calidad visual del paisaje.	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
SOCIOECONOMICO	SOCIAL	Percepciones positivas y negativas de la población.	Daños a la salud y seguridad de la población aledaña y a los trabajadores, cambios en los hábitos y costumbres de la población local.	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	ECONOMICO	Generación de empleo. Salario competitivo. Compras locales.	Oportunidad de generación de empleo y negocios locales. Incremento del ingreso familiar y dinamización de la economía local.	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	CULTURAL	Comunidades Nativas	Alteraciones del patrimonio cultural	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

5.4.15. Grado de importancia de los impactos ambientales

Tabla 44. Valorización de impactos por recuperabilidad

Medio	Factores Ambientales Receptores de Impacto (FARI)	Aspectos Susceptibles de Producir Impacto (ASPI)	Impactos Ambientales	Recolección		Pre trat. mecánico		Pre trat. alcalino	Explosión por vapor I		Blanqueamiento		Explosión de vapor II		Agitación	Obtención de fibras de NC
				Corte y selección	Lavado de fibra	Molienda	Tamizaje	Remojo con NaOH	Liberación de vapor	Lavado	Remojo con CH3COOH	Lavado	Liberación de vapor	Lavado	Homogeneización del gel obtenido	Secado y preservación
FISICO	AIRE	Producción de material particulado. Generación de ruido. Producción de emisiones gaseosas. Utilización del recurso hídrico.	Cambios en la calidad del aire por la generación de PM 10 y PM 2.5. emisiones gaseosas e incremento de los niveles de ruido.	-18	18	-23	-23	-18	-23	-18	-18	-18	-23	-18	23	23
	AGUA	Generación de insumos químicos y/o combustibles.	Cambios en la calidad del agua	-18	-23	18	18	-23	-23	-23	-23	-23	-23	-23	18	18
	SUELO	Producción de residuos peligrosos. Producción de efluentes domésticos. Generación de residuos.	Alteración de la calidad del suelo por posible derrame de residuos peligrosos, generación de efluentes domésticos y acumulación de residuos.	18	-18	-18	-18	-18	18	-18	-18	-18	18	-18	18	18
BIOLOGICO	FLORA	Generación de material particulado. Retiro de vegetación.	Cambios en la flora por presencia de material particulado y retiro de vegetación.	-26	17	17	18	18	17	18	18	18	17	18	18	17
	FAUNA	Generación de ruido.	Perturbación de la fauna silvestre.	-26	17	-17	18	18	-23	18	18	18	-23	18	-18	18
	PAISAJE	Modificación del paisaje de la zona.	Alteración de la calidad visual del paisaje.	-26	17	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	17
SOCIOECONOMICO	SOCIAL	Percepciones positivas y negativas de la población.	Afectación a la salud y seguridad de la población aledaña y a los trabajadores, cambios en los hábitos y costumbres de la población local.	-20	17	-18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	17
	ECONOMICO	Generación de empleo. Salario competitivo. Compras locales.	Oportunidad de generación de empleo y negocios locales. Incremento del ingreso familiar y dinamización de la economía local.	21	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	16
	CULTURAL	Comunidades Nativas	Alteraciones del patrimonio cultural	-16	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	16

Tabla 45. Descripción de impactos ambientales por etapas

Análisis de la matriz de calificación de impactos ambientales- Etapa: Recolección de fibra

Medio físico

Componente Ambiental y Social

Componente Ambiental y Social	Factores	Impacto	Actividad	Calificación	Naturaleza	Descripción
AIRE	Producción de material particulado. Generación de ruido. Producción de emisiones gaseosas.	Cambios en la calidad del aire por la generación de PM 10 y PM 2.5. emisiones gaseosas e incremento de los niveles de ruido.	Corte y selección	-18	Negativo irrelevante	En la etapa preliminar de recolección, se realizaron las labores de selección y corte de las fibras. Cabe mencionar que las emisiones generadas como material particulado (PM10,PM2.5) serán controladas utilizando equipos de protección personal al personal que manipula dichos materiales. Se considera de intensidad positiva, puesto que donde el titular priorizará la contratación de mano de obra local con la finalidad de ayudar a la población económicamente además de brindar información adicional sobre el proyecto, sin embargo, se trata de impactos de corta duración y de baja intensidad (por el número de trabajadores no foráneos a contratar). Además, la ejecución del proyecto se considera como un impacto positivo, debido a que esta mejorará la calidad de vida de los pobladores del área de influencia directa del proyecto. El impacto en el aire será negativo de irrelevante intensidad, fugaz, de extensión puntual, y recuperable de manera inmediata
			Lavado de fibra	18	Positivo	
AGUA	Utilización del recurso hídrico. Generación de insumos químicos y/o combustibles	Cambios en la calidad del agua	Corte y selección	-18	Negativo irrelevante	En el caso del agua de lavado de fibras no contiene detergentes, solo materia orgánica proveniente de las fibras por lo que esta agua podría ser reutilizada como agua de riego. Se considera un impacto negativo irrelevante El impacto en el aire será negativo de irrelevante intensidad, fugaz, de extensión puntual, y recuperable de manera rápida
			Lavado de fibra	-23	Negativo irrelevante	
SUELO	Generación de residuos peligrosos. Generación de efluentes domésticos. Producción de residuos.	Cambios en la calidad del suelo por posible derrame de residuos peligrosos, generación de efluentes domésticos y acumulación de residuos.	Corte y selección	18	Positivo	Se realizará una selección de fibra y corte tomando en consideración los cuidados debidos para no dañar ecosistemas frágiles. Se contemplará en etapas de obtención de nanocelulosa a gran escala un programa de siembra para que este pueda ser recolectado de manera sostenible. Si bien es cierto se necesita agua para el lavado inicial de las fibras, estas no contienen detergentes y pueden retornar al suelo como agua de riego. Por lo cual se considera un impacto negativo irrelevante.
			Lavado de fibra	-18	Negativo irrelevante	

Medio biológico

FLORA	Generación de material particulado. Retiro de vegetación.	Alteración de la flora por presencia de material particulado y retiro de vegetación.	Corte y selección	-26	Impacto negativo moderado	En la etapa de corte y selección, se observa un impacto negativo moderado con respecto a la flora, fauna y paisaje, es por ello que se ha considerado sistemas de recolección de manera sostenible acompañado con planes de resiembra. Por otro lado, si bien es cierto se necesita agua para el lavado inicial de las fibras, estas no contienen detergentes y pueden retornar al suelo como agua de riego alimentando así a la flora, fauna para la mejora del paisaje circundante. Por lo cual se considera un impacto positivo
			Lavado de fibra	17	Positivo	
FAUNA	Generación de ruido.	Afectación de la fauna silvestre.	Corte y selección	-26	Impacto negativo moderado	
			Lavado de fibra	17	Positivo	
PAISAJE	Modificación del paisaje de la zona.	Alteración de la calidad visual del paisaje.	Corte y selección	-26	Impacto negativo moderado	
			Lavado de fibra	17	Positivo	

Medio socioeconómico

SOCIAL	Percepciones positivas y negativas de la población.	Daños a la salud y seguridad de la población aledaña y a los trabajadores, cambios en los hábitos y costumbres de la población local.	Corte y selección	-20	Negativo irrelevante	En la etapa de corte y selección, se observa un impacto negativo irrelevante, ya que al momento de hacer la recolección se tiene previsto utilizar las EPP necesarias para evitar accidentes. Asimismo, en la actividad lavado de fibra, se tiene un impacto positivo ya que el agua utilizada libre de detergentes podría ser utilizado como agua de riego. La generación de empleo asociado a las actividades de recolección y lavado de fibra son positivas ya que se tomará en cuenta la contratación de personal de la zona. Asimismo, estas actividades serán remuneradas de manera justa por lo que representara un ingreso familiar adicional.
			Lavado de fibra	17	Positivo	
ECONOMICO	Generación de empleo.	Oportunidad de generación de empleos locales.	Corte y selección	21	Positivo	
			Lavado de fibra	18	Positivo	
ECONOMICO	Salario competitivo. Compras locales.	Aumento de los ingresos familiares y activación de la economía local.	Corte y selección	16	Positivo	
			Lavado de fibra	18	Positivo	
CULTURAL	Comunidades Nativas	Alteraciones del patrimonio cultural	Corte y selección	-16	Negativo irrelevante	
			Lavado de fibra	18	Positivo	

Análisis de la matriz de calificación de impactos ambientales- Etapa: Pretratamiento mecánico

Componente Ambiental y Social	Factores	Impacto	Medio Físico			Descripción
			Actividad	Calificación	Naturaleza	
AIRE	Generación de material particulado.	Cambios en la calidad del aire por la generación de PM 10 y PM 2.5. emisiones gaseosas e incremento de los niveles de ruido.	Molienda	-23	Negativo irrelevante	En la etapa del pretratamiento mecánico, se realizaron las actividades de molienda y tamizaje. Cabe mencionar que las emisiones generadas como material particulado (PM10, PM2.5) presentes serán controladas utilizando equipos de protección personal, se considera un impacto negativo irrelevante ya que esta acción es de baja intensidad y extensión puntual.
	Generación de emisiones gaseosas.		Tamizaje	-23	Negativo irrelevante	
AGUA	Utilización del recurso hídrico.	Alteración de la calidad del agua	Molienda	18	Positivo	En el caso del agua de molienda y tamizaje, el uso de agua asociado tan solo es por el lavado de los equipos utilizados y no corresponde mayor riesgo. Durante el lavado de fibras no se usan detergentes, solo estará presente la materia orgánica proveniente de las fibras por lo que esta agua podría ser reutilizada como agua de riego.
	Generación de insumos químicos y/o combustibles		Tamizaje	18	Positivo	
SUELO	Producción de residuos peligrosos.	Alteración de calidad del suelo por posible derrame de residuos peligrosos, generación de efluentes domésticos y acumulación de residuos.	Molienda	-18	Negativo irrelevante	En las actividades de molienda y tamizaje podrían ocasionarse algunos derrames en el suelo durante el proceso, sin embargo, al ser un material orgánico no trae consigo mayores problemas por la extensión puntual y baja intensidad, el impacto en este caso será negativo irrelevante.
	Generación de efluentes domésticos.		Tamizaje	-18	Negativo irrelevante	
Medio biológico						
FLORA	Generación de material particulado.	Alteración de la flora por presencia de material particulado y retiro de vegetación.	Molienda	17	Positivo	En las actividades de molienda y tamizaje podrían ocasionarse algunos derrames en el suelo durante el proceso, sin embargo, al ser un material orgánico no trae consigo mayores problemas por la extensión puntual y baja intensidad, el impacto en este caso será positivo. Con respecto a la fauna en la actividad de molienda se observa un impacto negativo irrelevante ya que el ruido de las maquinas utilizadas podrían afectar sus medios de vida, para lo cual se contemplará el uso de materiales aislantes acústicos durante el trabajo.
	Retiro de vegetación.		Tamizaje	18	Positivo	
FAUNA	Generación de ruido.	Perturbación de la fauna silvestre.	Molienda	-17	Negativo irrelevante	Analizando los impactos en el paisaje, la principal alteración sería desde el punto de vista de instalación de máquinas en la molienda y tamizaje, sin embargo, se ha considerado utilizar ambientes adecuados para el trabajo que no alteren el uso de suelo designado.
			Tamizaje	18	Positivo	
PAISAJE	Modificación del paisaje de la zona.	Alteración de la calidad visual del paisaje.	Molienda	18	Positivo	
			Tamizaje	18	Positivo	

					Medio socioeconómico	
SOCIAL	Percepciones positivas y negativas de la población.	Afectación a la salud y seguridad de la población aledaña y a los trabajadores, cambios en los hábitos y costumbres de la población.	Molienda	-18	Negativo irrelevante	Se observa un impacto negativo irrelevante en la actividad de molienda, ya que podrían ocasionarse algunas afectaciones mínimas por el material particulado y ruido, para lo cual se tiene previsto utilizar EPP y en cuanto al ruido utilizar instalaciones con materiales termoacústicos. La generación de empleo, el acceso a un salario y la repercusión en las actividades económicas se observan un impacto positivo ya que se tomará en cuenta la contratación de mano de obra local.
			Tamizaje	18	Positivo	
			Molienda	18	Positivo	
			Tamizaje	18	Positivo	
ECONOMICO	Generación de empleo.	Posibilidad de crear empleo y fomentar negocios a nivel local.	Molienda	18	Positivo	
			Tamizaje	18	Positivo	
			Molienda	18	Positivo	
CULTURAL	Comunidades Nativas	Alteraciones del patrimonio cultural	Tamizaje	18	Positivo	
			Molienda	18	Positivo	

Análisis de la matriz de calificación de impactos ambientales- Etapa: Pretratamiento alcalino

Componente Ambiental y Social	Factores	Impacto	Actividad	Medio Físico		
				Calificación	Naturaleza	Descripción
AIRE	Generación de material particulado. Generación de ruido. Generación de emisiones gaseosas.	Cambios en la calidad del aire por la generación de PM 10 y PM 2.5. emisiones gaseosas e incremento de los niveles de ruido.	Remojo con NaOH	-18	Negativo irrelevante	Esta etapa tiene como objetivo ablandar las fibras para eliminar la lignina, es así que la etapa de remojo coadyuvara a acelerar el proceso. Durante este proceso no se tienen impactos ya que se realiza en un medio controlado y no se tienen emisiones. Una vez remojado se procede a ingresar directamente a la autoclave por lo que no hay afectaciones ya sea en el aire, agua o suelo. La solución de remojo utilizada tiene una baja concentración. Se considera un impacto negativo irrelevante por lo fugaz, de extensión puntual, y recuperable de manera inmediata
AGUA	Utilización del recurso hídrico. Generación de insumos químicos y/o combustibles	Cambios en la calidad del agua	Remojo con NaOH	-23	Negativo irrelevante	
SUELO	Generación de residuos peligrosos. Generación de efluentes domésticos. Generación de residuos.	Alteración de la calidad del suelo por posible derrame de residuos peligrosos, generación de efluentes domésticos y acumulación de residuos.	Remojo con NaOH	-18	Negativo irrelevante	
Medio biológico						
FLORA	Generación de material particulado. Retiro de vegetación.	Alteración de la flora por presencia de material particulado y retiro de vegetación.	Remojo con NaOH	18	Positivo	En la etapa de remojo no se observan mayores impactos ya que están en medio controlados.
FAUNA	Generación de ruido.	Perturbación de la fauna silvestre.	Remojo con NaOH	18	Positivo	
PAISAJE	Modificación del paisaje de la zona.	Cambios en la calidad visual del paisaje.	Remojo con NaOH	18	Positivo	
Medio socioeconómico						
SOCIAL	Percepciones positivas y negativas de la población.	Impacto en la salud y seguridad de la comunidad circundante y los trabajadores, alteración de los estilos de vida y tradiciones locales.	Remojo con NaOH	18	Positivo	La etapa de remojo se realiza en entornos controlados por lo que no se tendría mayores afectaciones al medio. La generación de empleo asociado a las actividades es positiva ya que se tomará en cuenta la contratación de personal de la zona. Asimismo, estas actividades serán remuneradas de manera justa por lo que representara un ingreso familiar adicional.
ECONOMICO	Generación de empleo. Salario competitivo. Compras locales.	Potencial para crear empleo y promover negocios a nivel local. Aumento de los ingresos familiares y estimulación de la economía local.	Remojo con NaOH Remojo con NaOH	18 18	Positivo Positivo	
CULTURAL	Comunidades Nativas	Alteraciones del patrimonio cultural	Remojo con NaOH	18	Positivo	

Análisis de la matriz de calificación de impactos ambientales- Etapa: Explosión de vapor con tratamiento alcali

Componente Ambiental y Social	Factores	Impacto	Medio Físico			Descripción
			Actividad	Calificación	Naturaleza	
AIRE	Generación de material particulado. Generación de ruido. Generación de emisiones gaseosas.	Cambios en la calidad del aire por la generación de PM 10 y PM 2.5. emisiones gaseosas e incremento de los niveles de ruido.	Liberación de vapor	-23	Negativo irrelevante	En la etapa de explosión de vapor, se realizaron las actividades de liberación de vapor y posterior lavado de la fibra. Cabe mencionar que las emisiones generadas corresponden a un impacto negativo irrelevante, ya que la concentración de NaOH presente en el autoclave del cual se realizara posteriormente la liberación de vapor se encuentra a una muy baja concentración, esta acción es de baja intensidad y extensión puntual.
			Lavado	-18	Negativo irrelevante	
AGUA	Utilización del recurso hídrico. Generación de insumos químicos y/o combustibles	Cambios en la calidad del agua	Liberación de vapor	-23	Negativo irrelevante	En el caso del agua de molienda y tamizaje, el uso de agua asociado tan solo es por el lavado de los equipos utilizados y no corresponde mayor riesgo. Durante el lavado de fibras no se usan detergentes, solo estará presente la materia orgánica proveniente de las fibras por lo que esta agua podría ser reutilizada como agua de riego.
			Lavado	-23	Negativo irrelevante	
SUELO	Producción de residuos peligrosos. Generación de efluentes domésticos. Generación de residuos.	Alteración de la calidad del suelo por posible derrame de residuos peligrosos, generación de efluentes domésticos y acumulación de residuos.	Liberación de vapor	18	Positivo	En las actividades de molienda y tamizaje podrían ocasionarse algunos derrames en el suelo durante el proceso, sin embargo, al ser un material orgánico no trae consigo mayores problemas por la extensión puntual y baja intensidad, el impacto en este caso será negativo irrelevante.
			Lavado	-18	Negativo irrelevante	
Medio biológico						
FLORA	Producción de material particulado. Retiro de vegetación.	Alteración de la flora por presencia de material particulado y retiro de vegetación.	Liberación de vapor	17	Positivo	El impacto tanto en la flora, fauna y paisaje son relativamente nulos ya que la liberación de vapor no se realiza en un gran volumen y por la concentración del NaOH no tiene mayor efecto. En el caso de la fauna podría evidenciarse una molestia por el ruido realizado, sin embargo, se ha considerado utilizar ambientes adecuados aireados para el trabajo que no afecten directamente.
			Lavado	18	Positivo	
FAUNA	Generación de ruido.	Perturbación de fauna silvestre.	Liberación de vapor	-23	Negativo irrelevante	
			Lavado	18	Positivo	
PAISAJE	Modificación del paisaje de la zona.	Cambios en la calidad visual del paisaje.	Liberación de vapor	18	Positivo	
			Lavado	18	Positivo	

Medio socioeconómico

SOCIAL	Percepciones positivas y negativas de la población.	Afectación a la salud y seguridad de la población aledaña y a los trabajadores, cambios en los hábitos y costumbres de la población.	Liberación de vapor	18	Positivo	Se observa un impacto positivo en las actividades de liberación de vapor y lavado en las áreas social, económico y cultural ya que se busca promover la participación de mano de obra local.
			Lavado	18	Positivo	
ECONOMICO	Generación de empleo.	Potencial para crear empleo y promover negocios a nivel local.	Liberación de vapor	18	Positivo	
			Lavado	18	Positivo	
ECONOMICO	Salario competitivo.	Posibilidad de crear empleo y fomentar negocios a nivel local.	Liberación de vapor	18	Positivo	
	Compras locales.		Lavado	18	Positivo	
CULTURAL	Comunidades Nativas	Alteraciones del patrimonio cultural	Liberación de vapor	18	Positivo	
			Lavado	18	Positivo	

Análisis de la matriz de calificación de impactos ambientales- Etapa: Blanqueamiento

Componente Ambiental y Social	Factores	Impacto	Medio Físico			Descripción
			Actividad	Calificación	Naturaleza	
AIRE	Generación de material particulado. Generación de ruido. Generación de emisiones gaseosas.	Cambios en la calidad del aire por la generación de PM 10 y PM 2.5. emisiones gaseosas e incremento de los niveles de ruido.	Remojo con CH3COOH	-18	Negativo irrelevante	Esta etapa tiene como objetivo ablandar las fibras para eliminar la lignina, es así que la etapa de blanqueamiento coadyuvara a acelerar el proceso. Durante este proceso no se tienen impactos ya que se realiza en un medio controlado y no se tienen emisiones. Una vez remojado se procede a ingresar directamente a la autoclave por lo que no hay afectaciones ya sea en el aire, agua o suelo. La solución de remojo utilizada tiene una baja concentración. Se considera un impacto negativo irrelevante por lo fugaz, de extensión puntual, y recuperable de manera inmediata
			Lavado	-18	Negativo irrelevante	
AGUA	Utilización del recurso hídrico. Generación de insumos químicos y/o combustibles	Cambios en la calidad del agua	Remojo con CH3COOH	-23	Negativo irrelevante	
			Lavado	-23	Negativo irrelevante	
SUELO	Producción de residuos peligrosos. Generación de efluentes domésticos. Generación de residuos.	Alteración de la calidad del suelo por posible derrame de residuos peligrosos, generación de efluentes domésticos y acumulación de residuos.	Remojo con CH3COOH	-18	Negativo irrelevante	
			Lavado	-18	Negativo irrelevante	
Medio biológico						
FLORA	Producción de material particulado. Retiro de vegetación.	Alteración de la flora por presencia de material particulado y retiro de vegetación.	Remojo con CH3COOH	18	Positivo	
FAUNA	Generación de ruido.	Alteración de la fauna silvestre.	Lavado	18	Positivo	
			Remojo con CH3COOH	18	Positivo	
PAISAJE	Modificación del paisaje de la zona.	Cambios en la calidad visual del paisaje.	Lavado	18	Positivo	
			Remojo con CH3COOH	18	Positivo	
SOCIAL	Percepciones positivas y negativas de la población.	Daños a la salud y seguridad de la población aledaña y a los trabajadores, cambios en los hábitos y costumbres de la población local.	Remojo con CH3COOH	18	Positivo	
			Lavado	18	Positivo	
ECONOMICO	Generación de empleo. Salario competitivo. Compras locales.	Oportunidad de generación de empleos locales. Posibilidad de crear empleo y fomentar negocios a nivel local.	Remojo con CH3COOH	18	Positivo	
			Lavado	18	Positivo	
CULTURAL	Comunidades Nativas	Alteraciones del patrimonio cultural	Remojo con CH3COOH	18	Positivo	
			Lavado	18	Positivo	
Medio socioeconómico						

Análisis de la matriz de calificación de impactos ambientales- Etapa: Explosión de vapor con tratamiento ácido

Componente Ambiental y Social	Factores	Impacto	Medio Físico			
			Actividad	Calificación	Naturaleza	Descripción
AIRE	Generación de material particulado. Generación de ruido. Generación de emisiones gaseosas.	Cambios en la calidad del aire por la generación de PM 10 y PM 2.5. emisiones gaseosas e incremento de los niveles de ruido.	Liberación de vapor	-23	Negativo irrelevante	En la etapa de explosión de vapor, se realizaron las actividades de liberación de vapor y posterior lavado de la fibra. Cabe mencionar que las emisiones generadas corresponden a un impacto negativo irrelevante, ya que la concentración de ácido oxálico presente en la autoclave del cual se realizara posteriormente la liberación de vapor se encuentra a una muy baja concentración, esta acción es de baja intensidad y extensión puntual.
			Lavado	-18	Negativo irrelevante	
AGUA	Utilización del recurso hídrico. Generación de insumos químicos y/o combustibles	Cambios en la calidad del agua	Liberación de vapor	-23	Negativo irrelevante	En el caso del agua de la explosión de vapor, el uso de agua asociado es por el lavado de los equipos utilizados y por el lavado del ácido oxálico. Con respecto al lavado, la concentración de ácido oxálico es baja y no tendría mayor efecto, considerándose un impacto negativo irrelevante.
			Lavado	-23	Negativo irrelevante	
SUELO	Generación de residuos peligrosos. Generación de efluentes domésticos. Generación de residuos.	Alteración de la calidad del suelo por posible derrame de residuos peligrosos, generación de efluentes domésticos y acumulación de residuos.	Liberación de vapor	18	Positivo	En las actividades de molienda y tamizaje podrían ocasionarse algunos derrames en el suelo durante el proceso, sin embargo, al ser un material orgánico no trae consigo mayores problemas por la extensión puntual y baja intensidad, el impacto en este caso será negativo irrelevante.
			Lavado	-18	Negativo irrelevante	
Medio biológico						
FLORA	Generación de material particulado. Retiro de vegetación.	Alteración de la flora por presencia de material particulado y retiro de vegetación.	Liberación de vapor	17	Positivo	El impacto tanto en la flora, fauna y paisaje son relativamente nulos ya que la liberación de vapor no se realiza en un gran volumen y por la concentración del ácido oxálico no tiene mayor efecto. En el caso de la fauna podría evidenciarse una molestia por el ruido realizado, sin embargo, se ha considerado utilizar ambientes adecuados aireados para el trabajo que no afecten directamente.
			Lavado	18	Positivo	
FAUNA	Generación de ruido.	Alteración de la fauna silvestre.	Liberación de vapor	-23	Negativo irrelevante	
			Lavado	18	Positivo	
PAISAJE	Modificación del paisaje de la zona.	Cambios en la calidad visual del paisaje.	Liberación de vapor	18	Positivo	
			Lavado	18	Positivo	
Medio socioeconómico						
SOCIAL	Percepciones positivas y negativas de la población.	Daños a la salud y seguridad de la población aledaña y a los trabajadores, cambios en los hábitos y costumbres de la población local.	Liberación de vapor	18	Positivo	Se observa un impacto positivo en las actividades de liberación de vapor y lavado en las áreas social, económico y cultural ya que se busca promover la participación de mano de obra local.
			Lavado	18	Positivo	
ECONOMICO	Generación de empleo. Salario competitivo. Compras locales.	Oportunidad de generación de empleos locales. Posibilidad de crear empleo y fomentar negocios a nivel local.	Liberación de vapor	18	Positivo	
			Lavado	18	Positivo	
			Liberación de vapor	18	Positivo	
			Lavado	18	Positivo	
CULTURAL	Comunidades Nativas	Alteraciones del patrimonio cultural	Liberación de vapor	18	Positivo	
			Lavado	18	Positivo	

Análisis de la matriz de calificación de impactos ambientales- Etapa: Agitación

Componente Ambiental y Social	Factores	Impacto	Medio Físico			
			Actividad	Calificación	Naturaleza	Descripción
AIRE	Producción de material particulado. Generación de ruido. Producción de emisiones gaseosas.	Cambios en la calidad del aire por la generación de PM 10 y PM 2.5. emisiones gaseosas e incremento de los niveles de ruido.	Homogeneización del gel obtenido	23	Positivo	En la etapa de la agitación, se realiza el homogeneizado del gel obtenido. Cabe mencionar que las emisiones generadas como material particulado (PM10, PM2.5) presentes son nulas en esta etapa. El uso de agua asociado tan solo es por el lavado de los equipos utilizados y no corresponde mayor riesgo. Durante el lavado de fibras no se usan detergentes, solo estará presente la materia orgánica proveniente de las fibras por lo que esta agua podría ser reutilizada como agua de riego. Podrían ocasionarse algunos derrames en el suelo durante el proceso, sin embargo, al ser un material orgánico de baja concentración, no trae consigo mayores problemas por la extensión puntual y baja intensidad, el impacto en este caso será negativo irrelevante.
AGUA	Utilización del recurso hídrico. Generación de insumos químicos y/o combustibles	Alteración de la calidad del agua	Homogeneización del gel obtenido	18	Positivo	
SUELO	Producción de residuos peligrosos. Generación de efluentes domésticos. Generación de residuos.	Cambios en la calidad del suelo	Homogeneización del gel obtenido	18	Positivo	
Medio biológico						
FLORA	Producción de material particulado. Retiro de vegetación.	Alteración de la flora por presencia de material particulado y retiro de vegetación.	Homogeneización del gel obtenido	18	Positivo	En la etapa de la agitación, se realiza el homogeneizado del gel obtenido. Cabe mencionar que las emisiones generadas y que podrían afectar a la flora, fauna o paisaje son nulas en esta etapa.
FAUNA	Generación de ruido.	Perturbación de la fauna silvestre.	Homogeneización del gel obtenido	-18	Negativo irrelevante	
PAISAJE	Modificación del paisaje de la zona.	Alteración de la calidad visual del paisaje.	Homogeneización del gel obtenido	18	Positivo	
Medio socioeconómico						
SOCIAL	Percepciones positivas y negativas de la población.	Daños a la salud y seguridad de la población aledaña y a los trabajadores, cambios en los hábitos y costumbres de la población local.	Homogeneización del gel obtenido	18	Positivo	En la etapa de la agitación, se realiza el homogeneizado del gel obtenido. Cabe mencionar que las emisiones generadas y que podrían afectar a la flora, fauna o paisaje son nulas en esta etapa.
ECONOMICO	Generación de empleo.	Oportunidad de generación de empleos locales.	Homogeneización del gel obtenido	18	Positivo	
	Salario competitivo. Compras locales.	Incremento del ingreso familiar y dinamización de la economía local.	Homogeneización del gel obtenido	18	Positivo	
CULTURAL	Comunidades Nativas	Alteraciones del patrimonio cultural	Homogeneización del gel obtenido	18	Positivo	

Análisis de la matriz de calificación de impactos ambientales de la etapa de secado y conservación de muestra

Componente Ambiental y Social	Factores	Impacto	Actividad	Medio Físico Calificación	Naturaleza	Descripción
AIRE	Producción de material particulado. Generación de ruido. Generación de emisiones gaseosas.	Cambios en la calidad del aire por la generación de PM 10 y PM 2.5. emisiones gaseosas e incremento de los niveles de ruido.	Secado y preservación	23	Positivo	En la etapa de obtención de fibras de NC, se realiza el secado y preservación del gel obtenido. Cabe mencionar que las emisiones generadas como material particulado (PM10, PM2.5) presentes son nulas en esta etapa.
AGUA	Utilización del recurso hídrico. Generación de insumos químicos y/o combustibles	Alteración de la calidad del agua	Secado y preservación	18	Positivo	El uso de agua asociado tan solo es por el lavado de los equipos utilizados y no corresponde mayor riesgo. Durante el lavado de fibras no se usan detergentes, solo estará presente la materia orgánica proveniente de las fibras por lo que esta agua podría ser reutilizada como agua de riego.
SUELO	Generación de residuos peligrosos. Generación de efluentes domésticos. Producción de residuos.	Alteración de la calidad del suelo por posible derrame de residuos peligrosos, generación de efluentes domésticos y acumulación de residuos.	Secado y preservación	18	Positivo	Podrían ocasionarse algunos derrames en el suelo durante el proceso, sin embargo, al ser un material orgánico de baja concentración, no trae consigo mayores problemas por la extensión puntual y baja intensidad, el impacto en este caso será negativo irrelevante.
Medio biológico						
FLORA	Generación de material particulado. Retiro de vegetación.	Alteración de la flora por presencia de material particulado y retiro de vegetación.	Secado y preservación	17	Positivo	En la etapa de obtención de fibras de NC, se realiza el secado y preservación del gel obtenido. Cabe mencionar que las emisiones generadas y que podrían afectar a la flora, fauna o paisaje son nulas en esta etapa.
FAUNA	Generación de ruido.	Daños en fauna silvestre.	Secado y preservación	18	Positivo	
PAISAJE	Modificación del paisaje de la zona.	Cambios en la calidad visual del paisaje.	Secado y preservación	17	Positivo	
Medio socioeconómico						
SOCIAL	Percepciones positivas y negativas de la población.	Daños a la salud y seguridad de la población aledaña y a los trabajadores, cambios en los hábitos y costumbres de la población local.	Secado y preservación	17	Positivo	En esta etapa las emisiones generadas y que podrían afectar a la flora, fauna o paisaje son nulas.
ECONOMICO	Generación de empleo.	Oportunidad de generación de empleos locales.	Secado y preservación	16	Positivo	
	Salario competitivo. Compras locales.	Incremento del ingreso familiar y dinamización de la economía local.	Secado y preservación	16	Positivo	
CULTURAL	Comunidades Nativas	Alteraciones del patrimonio cultural	Secado y preservación	16	Positivo	

Tabla 46. Resumen de evaluación de impactos ambientales de la obtención de FNC

Etapa	Componente	Factores	Impacto	Actividad	Calificación	Naturaleza	Descripción	Medio
Recolección de ichu	AGUA	Utilización del recurso hídrico. Generación de insumos químicos y/o combustibles	Alteración de la calidad del agua	Lavado de fibra	-23	Negativo irrelevante	En el caso del agua de lavado de fibras no contiene detergentes, solo materia orgánica proveniente de las fibras por lo que esta agua podría ser reutilizada como agua de riego. Se considera un impacto negativo irrelevante El impacto en el aire será negativo de irrelevante intensidad, fugaz, de extensión puntual, y recuperable de manera rápida	FISICO
	PAISAJE	Modificación del paisaje de la zona.	Perturbación de la fauna silvestre.	Corte y selección de ichu	-26	Impacto negativo moderado	En la etapa de corte y selección de ichu se observa un impacto negativo moderado con respecto a la flora, fauna y paisaje, es por ello que se ha considerado sistemas de recolección de ichu de manera sostenible acompañado con planes de resiembra.	BIOLOGICO
	SOCIAL	Percepciones positivas y negativas de la población.	Afectación a la salud y seguridad de la población aledaña y a los trabajadores	Corte y selección de ichu	-20	Negativo irrelevante	La generación de empleo asociado a las actividades de recolección y lavado de fibra son positivas ya que se tomará en cuenta la contratación de personal de la zona. Asimismo, estas actividades serán remuneradas de manera justa por lo que representara un ingreso familiar adicional.	SOCIOECON.
	ECONOMICO	Salario competitivo. Compras locales.	Incremento del ingreso familiar	Corte y selección de ichu	16	Positivo		SOCIOECON.
Pretratamiento mecánico	AIRE	Generación de material particulado. Generación de ruido.	Alteración de la calidad del aire e incremento de los niveles de ruido.	Molienda de ichu	-23	Negativo irrelevante	En la etapa del pretratamiento mecánico, se realizaron las actividades de molienda y tamizaje. Cabe mencionar que las emisiones generadas como material particulado (PM10, PM2.5) presentes serán controladas utilizando equipos de protección personal, se considera un impacto negativo irrelevante ya que esta acción es de baja intensidad y extensión puntual.	FISICO
	SOCIAL	Percepciones positivas y negativas de la población.	Afectación a la salud y seguridad de la población aledaña	Molienda de ichu	-18	Negativo irrelevante	Se observa un impacto negativo irrelevante en la actividad de molienda, ya que podrían ocasionarse algunas afectaciones mínimas por el material particulado y ruido, para lo cual se tiene previsto utilizar EPP y en cuanto al ruido utilizar instalaciones con materiales termoacústicos. Hay una generación de empleo.	SOCIOECON.

Etapa	Componente	Factores	Impacto	Actividad	Calificación	Naturaleza	Descripción	Medio
Explosión por vapor 1 y 2	AGUA	Utilización del recurso hídrico. Generación de insumos químicos y/o combustibles	Alteración de la calidad del agua	Remojo con NaOH	-23	Negativo irrelevante	Durante este proceso no se tienen impactos ya que se realiza en un medio controlado y no se tienen emisiones. Una vez remojado se procede a ingresar directamente al autoclave por lo que no hay afectaciones ya sea en el aire, agua o suelo. La solución de remojo utilizada tiene una baja concentración. Se considera un impacto negativo irrelevante por lo fugaz, de extensión puntual, y recuperable de manera inmediata	FISICO
	AIRE	Generación de material particulado. Generación de ruido.	Alteración de la calidad del aire e incremento de los niveles de ruido.	Liberación de vapor	-23	Negativo irrelevante	Se realizaron las actividades de liberación de vapor y posterior lavado de la fibra. Cabe mencionar que las emisiones generadas corresponden a un impacto negativo irrelevante, ya que la concentración de NaOH y Acido oxálico en la 1ª y 2ª explosión de vapor respectiva se encuentra a una muy baja concentración, esta acción es de baja intensidad y extensión puntual.	FISICO
				Lavado	-18	Negativo irrelevante		FISICO
Blanqueamiento	AGUA	Utilización del recurso hídrico. Generación de insumos químicos y/o combustibles	Alteración de la calidad del agua	Lavado	-23	Negativo irrelevante	Esta etapa tiene como objetivo ablandar las fibras para eliminar la lignina, es así que la etapa de blanqueamiento coadyuvara a acelerar el proceso. Durante este proceso no se tienen impactos ya que se realiza en un medio controlado y no se tienen emisiones. Una vez remojado se procede a ingresar directamente al autoclave por lo que no hay afectaciones ya sea en el aire, agua o suelo. La solución de remojo utilizada tiene una baja concentración.	FISICO
Obtención de fibra de NC	ECONOMICO	Salario competitivo. Compras locales.	Incremento del ingreso familiar y dinamización de la economía local.	Secado y preservación	16	Positivo	Podrían generarse ingresos económicos por la obtención de FNC a través de proyectos en los que se involucre a la comunidad	SOCIOECON.

RANGOS DE VALOR Y CODIGO DE COLOR

Rangos	Efecto Pronosticado	Cód. de Color
Entre -25 y 0	I. Negativo Irrelevante	
Entre -50 y -26	I. Negativo Moderado	
Entre -75 y -51	I. Negativo Severo	
Mayores a 75	I. Negativo Critico	
Mayores a 0	I. Positivo	

CONCLUSIONES

- Se ha logrado obtener fibras de nanocelulosa sosteniblemente a partir de *Stipa obtusa* utilizando una metodología que permite minimizar los impactos ambientales, sociales e incrementar el valor económico de las fibras ya que la fibra podrá ser utilizada como insumo en la producción de nanocelulosa. Las propiedades evaluadas de la nanocelulosa obtenida, muestran un potencial prometedor para su uso como materia prima en la fabricación de materiales plásticos biodegradables.

- Se estudiaron las características fisicoquímicas de la fibra, encontrándose un alto porcentaje de celulosa en la fibra 29.54%, lográndose validar la existencia de un potencial de producción de fibras de nanocelulosa a partir de *Stipa obtusa*. La abundancia de celulosa presente en la fibra no solo le confiere un valor económico sustancial, sino que también abre las puertas a la obtención de una cantidad significativa de nanocelulosa, siempre y cuando se implemente un plan de extracción y manejo adecuado, en estrecha colaboración con la comunidad local.

- A partir de los experimentos realizados se determinó la metodología de trabajo para la obtención de nanofibras de celulosa, siendo la secuencia: Pretratamiento alcalino por explosión de vapor a 130°C, 20 *lb/pulg*² de presión y 0.5 M de NaOH, blanqueamiento con ácido acético e hipoclorito de sodio en una relación de: 3.4 ml CH₃COOH/10 g de fibra y NaClO 25% (v/v), tratamiento químico térmico por explosión de vapor empleando 8% (m/v) de ácido oxálico durante 1 hora a 130°C, 20 *lb/pulg*² de presión y finalmente la agitación a 600 rpm por 4 horas, con dicha metodología se encontraron los mejores resultados en la obtención de fibras de nanocelulosa. Con la identificación de la metodología descrita anteriormente, se puede concluir que si es posible obtener de manera sostenible fibras de nanocelulosa a partir de *Stipa obtusa*. El aprovechamiento económico de la fibra de nanocelulosa podrá generar nuevas oportunidades en la producción de plásticos biodegradables. Al promover una extracción sostenible y responsable con la comunidad, se contribuirá a la preservación de los pastizales, reduciendo la quema y

sobrepastoreo, ayudando a mitigar la emisión de gases de efecto invernadero que coadyuvan al cambio climático.

- Se evaluó el contenido de celulosa en las nanofibras la cual fue del 79,50%, además se analizó la estructura, composición química y morfología mediante técnicas como Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR), Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) y Transmisión por Microscopía Electrónica (TEM), logrando observar nanofibras con un tamaño entre 30 nm y 50 nm, con estructuras amorfas. Estas estructuras brindan características particulares de resistencia y biodegradabilidad que podrían ser de utilidad para la conformación de nuevos biopolímeros.

- Se ha realizado la identificación y valoración de los impactos ambientales y efectos en la salud humana asociados a la obtención de fibras de nanocelulosa mediante una matriz presentada por la metodología CONESA, se observó que el mayor impacto se da por un lado en la extracción de materia prima por lo que se recomienda elaborar un programa de extracción de manera sostenible en coordinación con la comunidad. Según el análisis realizado utilizando la matriz de impactos, se pudo determinar que el principal impacto ambiental durante el proceso de producción está relacionado con el consumo significativo de agua. En este sentido, se han identificado medidas correctivas para mitigar este impacto, como la reutilización del agua utilizada en el proceso como agua de riego, ya que tiene una baja concentración de reactivos perjudiciales para el medio ambiente y las personas.

RECOMENDACIONES

- Seguir investigando procesos de mejora bajo la metodología presentada para la producción de una mayor cantidad de nanocelulosa.
- Realizar investigaciones para la utilización de las fibras de nanocelulosa a partir de *Stipa obtusa* en la producción matrices poliméricas que permitan la elaboración de biomateriales que reemplacen al plástico.
- Utilizar las medidas preventivas y correctivas de los impactos ambientales asociados al proceso de obtención de fibras de nanocelulosa presentadas en el estudio como base en la ejecución de un proyecto piloto.
- Promover la inversión de equipamiento de alta tecnología por parte de la universidad para futuros estudios que tengan como pilar la nanotecnología.
- Promover investigaciones basadas en el desarrollo del valor agregado de los recursos de la biodiversidad de manera sostenible, estos podrán ser una alternativa de producción con bajas emisiones.

BIBLIOGRAFIA

- Agbor, V., Cicek, N., Sparling, R., Berlin, A., & Levin, D. (2011). Biomass pretreatment: fundamentals toward application. *Biotechnology Advances*, 29(6), 675-685. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2011.05.005>
- Agenda de Investigación Ambiental en Perú al 2021. (2013). Ministerio del Ambiente (MINAM). Perú. <https://investigacion.minam.gob.pe/observatorio/download/file/fid/31618>
- Agenda Nacional de Investigación Científica en Cambio Climático 2010-2021. (2010). Sinia. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/agenda-nacional-investigacion-cientifica-cambio-climatico-2010-2021>
- Aro, N., Pakula, T., & Penttila, M. (2005). Transcriptional regulation of plant cell wall degradation by filamentous fungi. *FEMS Microbiology Reviews*, 29(4), 719-739. <https://doi.org/10.1016/j.femsre.2004.11.006>
- ASTM International. (2015). ASTM E1252-98(2015) Standard practice for general techniques for obtaining infrared spectra for qualitative analysis. ASTM International.
- Behera, S., Arora, R., Nandhagopal, N., and Kumar, S., (2014). Importance of chemical pretreatment for bioconversion of lignocellulosic biomass. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 36, 91–106. <http://doi:10.1016/j.rser.2014.04.047>
- Benini, C., Cornelis, H., Cioffi, M., Rezende, M., & Arantes, V. (2018). Preparation of nanocellulose from *Imperata brasiliensis* grass using Taguchi Method, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.03.055>
- Bhutto, A., Qureshi, K., Harijan, K., Abro, R., Abbas, T., Bazmi, A. A., et al., (2017). Insight into progress in pre-treatment of lignocellulosic biomass. *Energy* 122, 724–745. <http://doi:10.1016/j.energy.2017.01.005>

- Cerda, L. (2016). Enzimas modificadoras de la pared celular vegetal. Celulasas de interés biotecnológico papelerero (Disertación doctoral). Universidad de Barcelona. España. https://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/108021/1/TLC_PhD_THESIS.pdf

- Chen, H., Liu, J., Chang, X., Chen, D., Xue, Y., Liu, P., et al., (2017). A review on the pretreatment of lignocellulose for high-value chemicals. Fuel Process. Technol. 160, 196–206. <http://doi:10.1016/j.fuproc.2016.12.007>

- Cherian, B., Lopes, A., Ferreira de Souza, S., Thomas, S., Pothan, L., & Kottaisamy, M. (2010). Isolation of nanocellulose from pineapple leaf fibres by steam explosion. Carbohydrate Polymers, 81(3), 720-725. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.03.046>

- Djalal, T., Ahmed, F. T., Mehdi, D., Tuan, S. H., Nanang, M., Nicolas, B., Hazwan H., (2020). Nanocellulose: From Fundamentals to Advanced Applications. <https://doi.org/10.3389/fchem.2020.00392>

- Esau, K. (1985). Anatomía vegetal. Ed. Omega. Barcelona. España

- Escenario de riesgo por incendios forestales de la región Cusco. (2021). Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres - CENEPRED. Perú.

- Flores, E.R., Ñaupari, J.A., y Tácuna, R.E. (2014). La economía del cambio climático en el Perú: ganadería altoandina. En: La economía del cambio climático en el Perú. Banco Interamericano de Desarrollo, Comisión Económica para América Latina y el Caribe. http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/37419/S1420992_es.pdf;jsessionid=6A859F66F15CDA337155DD749BC2B74B?sequence=1

- Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. Science advances, 3(7), <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>

- Global Material Resources Outlook to 2060. (2019). Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). <https://doi.org/10.1787/9789264307452-en>

- Guía para la identificación y caracterización de impactos ambientales en el marco del Sistema Nacional de Evaluación del impacto Ambiental – SEIA. (2018). Ministerio del Ambiente (MINAM). <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2018/10/Guia-Impactos.pdf>

- Habibi, Y. (2014). Key Advances in the Chemical Modification of Nanocelluloses. Chemical Society Reviews, 43(5), 1519-1542. <https://doi.org/10.1039/C3CS60204D>

- Hassan, S. S., Williams, G. A., and Jaiswal, A. K., (2018). Emerging technologies for the pretreatment of lignocellulosic biomass. Bioresour. Technol. 262, 310–318. <http://doi:10.1016/j.biortech.2018.04.099>

- Herrera, M.; Sinche, L.; Bonilla, O. “Obtención de Nanocelulosa a partir de Celulosa de Puntas de Abacá”. Journal of Chemical Engineering Theoretical and Applied Chemistry, 2019, Vol. 76, Num. 586, <https://raco.cat/index.php/afinidad/article/view/359059>.

- Información base para la elaboración de un programa de apoyo a la agroindustria y a la agroindustria rural en el Perú, 2005. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).

- Informe Nacional Voluntario sobre la implementación de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. (2017). Centro Nacional de Planeamiento Estratégico. Perú.

- Kargarzadeh, H., Mariano, M., Huang, J., Lin, N., Ahmad, I., Dufresne, A., & Thomas, S. (2017). Recent developments on nanocellulose reinforced polymer

nanocomposites: A review. Polymer.
<https://doi.org/10.1016/j.polymer.2017.09.043>

- Karimi, K., and Taherzadeh, M. J., (2016). A critical review of analytical methods in pretreatment of lignocelluloses: composition, imaging, and crystallinity. *Bioresour. Technol.* 200, 1008–1018.
<http://doi:10.1016/j.biortech.2015.11.022>

- KhangWei, T., SungKu, H., MeiLing F., MeiLeng, C., & ChangKyoo, Y. (2018). An insight into nanocellulose as soft condensed matter: Challenge and future prospective toward environmental sustainability. *Science of The Total Environment*, 650, 1309-1326. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.402>

- Lindström, T. (2017). Aspects on nanofibrillated cellulose (NFC) processing, rheology and NFC-film properties. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 29, 68-75. <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2017.02.005>

- Liu, Y., Nie, Y., Lu, X., Zhang, X., He, H., Pan, F., et al., (2019a). Cascade utilization of lignocellulosic biomass to high-value products. *Green Chem.* 21, 3499–3535. <http://doi:10.1039/C9GC00473D>

- Martinez, F. (2018). Métodos de preparación de muestras de nanocelulosa para su caracterización por microscopía. Simposio de Metrología 2018, Mexico. <https://www.cenam.mx/memorias/doctos/sm2018/pdf/1927.pdf>

- Mori, S., Charca, S., Flores, E., & Savastano, H. (2019). Physical and Thermal Properties of Novel Native Andean Natural Fibers. *Journal of Natural Fibers*, 18(4), 475-491. <https://doi.org/10.1080/15440478.2019.1629150>

- Munguia, D. (2016). Deslignificación de la penca Agave tequilana FAC Weber empleando peróxido de hidrógeno alcalino como pretratamiento para la producción de biohidrógeno (Tesis de maestría). Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A.C. México.

- Mandal, A., & Chakrabarty, D. (2011). Isolation of nanocellulose from waste sugarcane bagasse (SCB) and its characterization. *Carbohydrate Polymers*, 86(3), 1291-1299. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.06.030>

- Nakagaito, A. N., & Yano, H. (2004). The effect of morphological changes from pulp fiber towards nano-scale fibrillated cellulose on the mechanical properties of high-strength plant fiber based composites. *Applied Physics A: Materials Science & Processing*, 78(4), 547-552. <https://doi.org/10.1007/s00339-003-2453-5>

- Ncube, L. K., Ude, A. U., Ogunmuyiwa, E. N., Zulkifli, R., & Beas, I. N. (2021). An overview of plastic waste generation and management in food packaging industries. *Recycling*, 6(1), 12. <https://doi.org/10.3390/recycling6010012>

- Paris Agreement to the United Nations Framework Convention on Climate Change. (2015, December 12).

- Pielhop, T., Amgarten, J., Von Rohr, Pr., Studer, MH. (2016). Steam explosion pretreatment of softwood: the effect of the explosive decompression on enzymatic digestibility. *Biotechnology and Biofuels*, 9(1), 152. <http://doi.org/10.1186/s13068-016-0567-1>

- Pignataro, A. G., Levy-Tacher, S. I., Aguirre-Rivera, J. R., Nahed-Toral, J., González-Espinosa, M., González-Arzac, A., & Biganzoli, F. (2017) Natural regeneration of tree species in pastures on peasant land in Chiapas, Mexico. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 249, 137- 143. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.08.020>

- Plan Bicentenario “Perú hacia el 2021”. (2011). Lima. Perú: CEPLAN.

- Prado, A. (2019). Tacuara (*Guadua trinii*) y Bambú (*Guadua angustifolia*) como recurso lignocelulósico no tradicional para la obtención de nanocelulosa (Tesis de maestria). Universidad Nacional de Misiones, Argentina.

- Pradhan, D., Jaiswal, A., Swarna, J. (2022). Emerging technologies for the production of nanocellulose from lignocellulosic biomass. *Carbohydrate Polymers*. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119258>

- Programa Nacional Transversal de Valorización de la Biodiversidad (VALBIO). (2021). Peru. CONCYTEC.

- Pulido, E., Morales, B., Zamudio, M., & Lugo, F. (2017). Obtención y caracterización de nanocelulosa a partir de tule (*Typha domingensis*). *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 16(1), 191-202.

- Qian, M., Lei, H., Villota, E., Zhao, Y., Wang, C., Huo, E., Zhang, Q., Mateo, W., & Lin, X. (2021). High yield production of nanocrystalline cellulose by microwave-assisted dilute-acid pretreatment combined with enzymatic hydrolysis. *Carbohydrate Polymers*, 254, 117387. <https://doi.org/10.1016/j.ccp.2020.108292>

- Reynel, C. (2012). Guía de identificación de las plantas comunes del derecho de vía del ducto de Perú LNG. Peru: Melchorita LNG.

- Rezania, S., Oryani, B., Cho, J., Talaiekhosani, A., Sabbagh, F., Hashemi, B., et al. (2020). Different pretreatment technologies of lignocellulosic biomass for bioethanol production: an overview. *Energy* 199:117457. <http://doi:10.1016/j.energy.2020.117457>

- Rodríguez Liñan, C. Y. (2016). Obtención de nanocelulosa a partir del agave salmiana y su uso en la preparación de películas conductoras (Disertación doctoral). Universidad Autónoma de Nuevo León. <http://eprints.uanl.mx/18036/>

- Saelee, K., Yingkamhaeng, N., Nimchua, T., & Sukyai, P. (2016). An environmentally friendly xylanase-assisted pretreatment for cellulose nanofibrils isolation from sugarcane bagasse by high-pressure homogenization. *Carbohydrate Polymers*, 151, 392-399. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.11.064>

- Saito T., Isogai A., (2006). Introduction of aldehyde groups on surfaces of native cellulose fibers by TEMPO-mediated oxidation 289, 219–225.
<https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2006.04.038>

- Satlewal, A., Agrawal, R., Bhagia, S., Sangoro, J., and Ragauskas, A. J., (2018). Natural deep eutectic solvents for lignocellulosic biomass pretreatment: recent developments, challenges and novel opportunities. *Biotechnol. Adv.* 36, 2032–2050. <http://doi:10.1016/j.biotechadv.2018.08.009>

- Shankar, S., & Rhim, J. (2018). Bionanocomposite films for food packaging applications. *Advances in Polymer Technology*, 35(4), 201-213.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21875-1>

- Sheltami, R. M., Abdullah, I., Ahmad, I., Dufresne, A., & Kargarzadeh, H. (2012). Extraction of cellulose nanocrystals from mengkuang leaves (*Pandanus tectorius*). *Carbohydrate Polymers*, 88(2), 772-779.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.01.062>.

- Shirkavand, E., Baroutian, S., Gapes, D., Young, B., (2016). Combination of fungal and physicochemical processes for lignocellulosic biomass pretreatment-a review. *Renew Sust Energ Rev* 54:217–234.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.003>

-

- Singh, R., Shukla, A., Tiwari, S., Srivastava, M., (2014). A review on delignification of lignocellulosic biomass for enhancement of ethanol production potential. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 32, 713–728.
<https://doi:10.1016/j.rser.2014.01.051>

- Somerville, C. (2006). Cellulose Synthesis in Higher Plants. *Annual Review of Cell and Developmental Biology*, 22, 53-78.
<https://doi.org/10.1146/annurev.cellbio.22.022206.160206>

- Steven, S., Fauza, A. N., Mardiyati, Y., Santosa, S. P., & Shoimah, S. M. A. (2022). Facile Preparation of Cellulose Bioplastic from *Cladophora* sp. Algae via Hydrogel Method. *Polymers*, 14(21), 4699. <https://doi.org/10.3390/polym14214699>

- Surached, E., & Nattaporn, T. (2015). Preparation of microcrystalline cellulose from dissolving cellulose by cryo-crushing and acid hydrolysis. *Journal of Materials Science Research*, 4(4), 36-43. <https://doi.org/10.1109/TICST.2015.7369359>

- Tamayo, M. (2004). *El proceso de la investigación científica* (4ta edición). México: Editorial Limusa.

- TAPPI. (2000). T 222 om-02. Acid-insoluble lignin in wood and pulp. TAPPI Press.

- TAPPI. (2002). T 211 om-02. Ash in wood, pulp, paper and paperboard: Combustion at 525 °C. TAPPI Press.

- TAPPI. (2002). T 421 om-02. Moisture in pulp, paper and paperboard. TAPPI Press.

- TAPPI. (2009). T 203 cm-99. Alpha-, beta- and gamma-cellulose in pulp. TAPPI Press.

- Tenazoa, C., Savastano Jr., H., Charca, S., Flores, E., & Quintana, M. (2016). The Effect of Alkali Treatment on Chemical and Physical Properties of Ichu and Cabuya Fibers. *Journal of Natural Fibers*, 16(3), 409-423. <https://doi.org/10.1080/15440478.2019.1675211>

- Tian, L., & Fu, S. (2017). Water Sorption and Barrier Properties of Cellulose Nanocomposites. In *Handbook of Nanocellulose and Cellulose Nanocomposites* (pp. 353-373). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9783527689972.ch20>

- Vega, E., & Torres, D. (2013). Manejo y conservación de pasturas naturales y cultivos temporales. Prácticas de adaptación al cambio climático. Proyecto de desarrollo sostenible de la actividad ganadera, MINSUR. Arequipa-Perú. Pág, 9-10.

- Wang S., Cheng Q., Rials T., Lee S., (2006). Cellulose microfibril/nanofibril and its nanocomposites, Proc. 8th Pacific rim bio, 301–308.

- Zonificación ecológica económica departamento del Cusco. Gobierno Regional Cusco. Perú (2005).

ANEXOS

a. Matriz de consistencia

	Formulación del Problema	Objetivos	Hipótesis
General	¿Cómo obtener sosteniblemente de fibras de nanocelulosa a partir de <i>Stipa obtusa</i> como una alternativa viable para producir materiales plásticos biodegradables?	Obtener sosteniblemente fibras de nanocelulosa a partir de <i>Stipa obtusa</i> como una alternativa viable para producir materiales plásticos biodegradables.	Existe la factibilidad de obtener sosteniblemente fibras de nanocelulosa a partir de <i>Stipa obtusa</i> como una alternativa viable para producir materiales plásticos biodegradables.
Específico 1	¿Cómo determinar las características fisicoquímicas para identificar el potencial de producción de fibras de nanocelulosa a partir de <i>Stipa obtusa</i> ?	Determinar las características fisicoquímicas para identificar el potencial de producción de fibras de nanocelulosa a partir de <i>Stipa obtusa</i>	La determinación de las características fisicoquímicas permitirá identificar el potencial de producción de fibras de nanocelulosa a partir de <i>Stipa obtusa</i> .
Específico 2	¿Cómo desarrollar una metodología para la obtención sostenible de fibras de nanocelulosa a partir de <i>Stipa obtusa</i> ?	Desarrollar una metodología para la obtención sostenible de fibras de nanocelulosa a partir de <i>Stipa obtusa</i> .	El diseño de una metodología adecuada permitirá la obtención sostenible de fibras de nanocelulosa a partir de <i>Stipa obtusa</i> .
Específico 3	¿Cómo evaluar las características fisicoquímicas de las fibras de nanocelulosa obtenidas?	Evaluar las características fisicoquímicas de las fibras de nanocelulosa obtenidas.	La evaluación de las características fisicoquímicas permitirá evaluar la calidad de las fibras de nanocelulosa obtenidas.
Específico 4	¿Cómo identificar y valorar los impactos ambientales y efectos en la salud humana asociados a la obtención sostenible de fibras de nanocelulosa a partir de <i>Stipa obtusa</i> ?	Identificar y valorar los impactos ambientales y efectos en la salud humana asociados a la obtención sostenible de fibras de nanocelulosa a partir de <i>Stipa obtusa</i> .	La identificación y valoración de los impactos ambientales y efectos en la salud humana permitirán una obtención sostenible de fibras de nanocelulosa a partir de <i>Stipa obtusa</i> .

b. Galería fotográfica

Procesamiento de fibras de nanocelulosa



b1. Pesaje de fibra



b2. Fibra de *Stipa obtusa*



b3. Fibra cortada a 5 cm



b4. Fibra cortada a 1 cm



b5. Extracción de lignina



b6. Agitación de muestra



b7. Fibra con tratamiento a presión NaOH2%, lavado



b8. Fibra con tratamiento a presión NaOH2%, sin lavar



b9. Fibra lavada después de blanqueamiento



b10. Muestra 1.5 M NaOH, con blanqueamiento y tratamiento con ácido oxálico al 8%

c. Informe de resultados de análisis



**LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Y SERVICIOS PARA LA DETERMINACIÓN
DE ESTRUCTURAS QUÍMICAS**

INFORME DE ENSAYO

ANÁLISIS DIFRACCIÓN DE RAYOS X

PARA:

Dra. Bitia Chávez

Aprobado por:

Coordinadora general del proyecto: Dra. Adriana Edith Larrea Valdivia

Informe de ensayo No: 004-22			
VERSIÓN	RECEPCIÓN DE MUESTRA	EJECUCIÓN DEL ANÁLISIS	EMISIÓN DE INFORME
1	16-Mar-2022	21-Mar-2022	30-Mar-2022
Descargo de Responsabilidad: Los resultados de los ensayos pertenecen solo a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con Normas del Producto o como certificado del Sistema de Calidad de la entidad que lo produce. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización del LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Y SERVICIOS PARA LA DETERMINACIÓN DE ESTRUCTURAS QUÍMICAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.			

1. INTRODUCCIÓN

A solicitud de la investigadora Dra. Bitia Chávez, se ha realizado el análisis por difracción de rayos X, de una muestra.

La muestra identificada como "Nanocelulosa base ichu" se recibió en consistencia de pasta secada en una placa Petri y en cantidad apropiada para el análisis a realizar, la cual fue pulverizada para el análisis.

2. IDENTIFICACIÓN DEL INVESTIGADOR

Nombre	Dra. Bitia Chávez	
Contacto	Teléfono	+51 987 782 517
	Correo electrónico	bitiakcb@gmail.com , bitiakcb@gmail.com

3. CONDICIONES DEL ANÁLISIS POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X

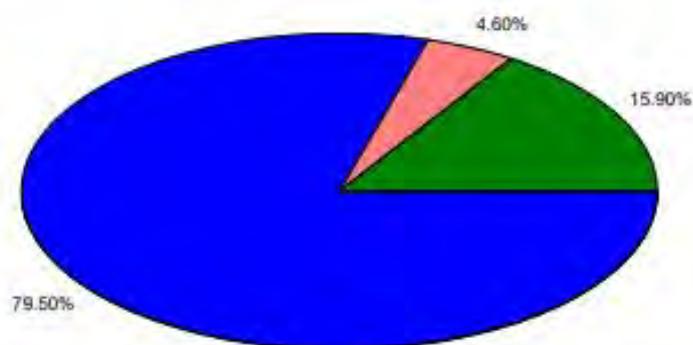
Equipo	Difractómetro de rayos X Miniflex 600, Rigaku
Tubo Cu	40 kV, 15 mA
Detector	D/teX Ultra2
Rango de medida 2 θ	3.00 - 90.00 deg
Identificación	Base de datos Crystallography Open Database (COD)
Cuantificación:	Método Refinamiento Rietveld (WPPF - PDXL Rietveld Analysis).

4. OBSERVACIONES

- ✓ El presente informe no puede ser utilizado como certificado.
- ✓ Los resultados corresponden a las muestras proporcionadas por el cliente, las cuales han sido entregadas en las instalaciones del laboratorio.
- ✓ Está prohibida la reproducción total o parcial de este documento.
- ✓ Este documento va acompañado con la data del equipo, que consta del archivo .RAS y archivo .ASC, que pueden ser manejados en Origin.

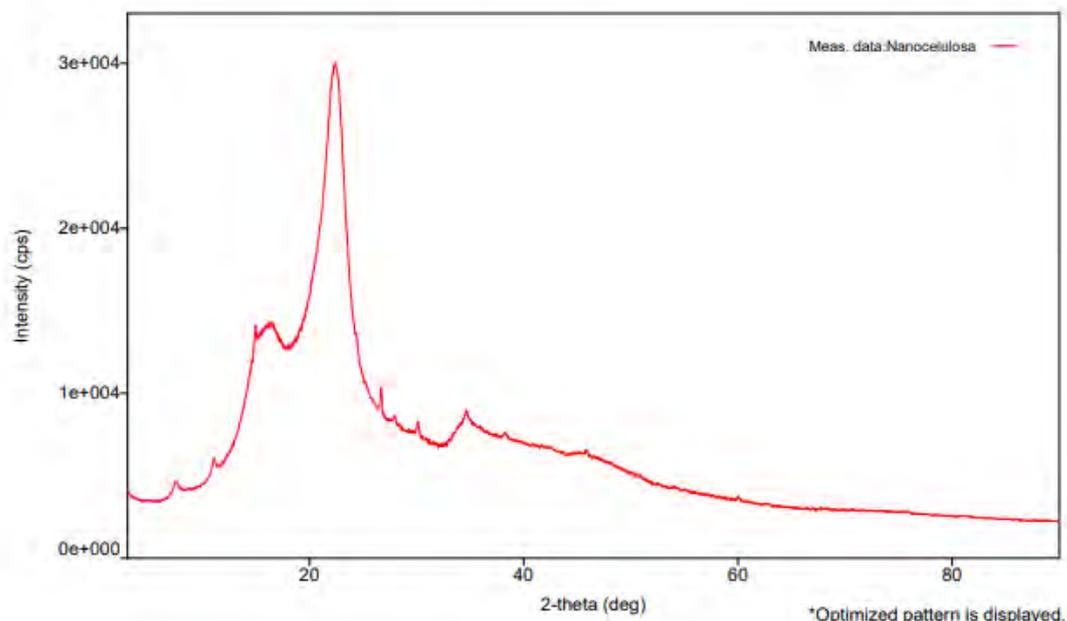
5. ANÁLISIS

Phase name	DB card number	Content (%)
Cellulose	4114994	79.50
C10 H8 O4	2003691	15.90
Iron Phosphate	4318790	4.60



cellulose(%) ■ Iron Pho...phate(%) ■ C10 H8 O4(%) ■

6. DIFRACTOGRAMA DE LA MUESTRA "NANOCELULOSA BASE ICHU"



Obtención sostenible de fibras de nanocelulosa (FNC) a partir de *Stipa obtusa*¹

Bitia K. Chavez Bermudez ²

¹ El presente artículo es parte de una investigación realizada en la maestría en cambio climático y desarrollo sostenible de la Universidad Nacional del San Antonio Abad del Cusco.

² Ing. Química. Estudios de maestría en cambio climático y desarrollo sostenible de la Universidad Nacional del San Antonio Abad del Cusco. Email: bitiacb@hotmail.com

Resumen

En la actualidad, es crucial utilizar materiales biodegradables con un impacto ambiental mínimo. Esta investigación se centró en desarrollar un método sostenible para obtener nanocelulosa a partir de *Stipa obtusa*, empleando una producción de fibras menos perjudicial para el medio ambiente. Se llevaron a cabo diversos tratamientos, como trituración mecánica y explosión de vapor, seguidos de blanqueamiento y fibrilación química. Tras una serie de evaluaciones, se encontraron mejores resultados trabajando bajo dos procesos de explosión de vapor a 20 lb/pulg² y 130°C, la primera a una concentración de hidróxido de sodio del 0.5% y la segunda a una concentración de ácido oxálico del 8%. Se encontró que la nanocelulosa resultante tuvo un contenido de celulosa del 79.50%, adicionalmente se realizaron análisis químicos y morfológicos utilizando diversas técnicas, incluyendo FTIR, SEM y TEM, que revelaron la presencia de nanofibras de entre 30 nm y 50 nm. Además, se evaluó el impacto ambiental de los procesos y se propusieron medidas de mitigación mediante la matriz CONESA.

Palabras clave: *Nanocelulosa, Fibra de Stipa obtusa, nanofibras, fibras naturales, explosión por vapor, SEM, TEM, FTIR*

Abstract

Currently, it is crucial to use biodegradable materials with minimal environmental impact. This research focused on developing a sustainable method for obtaining nanocellulose from *Stipa obtusa*, using a fiber production process that is less harmful to the environment. Various treatments were conducted, including mechanical crushing and steam explosion, followed by bleaching and chemical fibrillation. After a series of evaluations, better results were achieved with two steam explosion processes at 20 [lb/sq in] ² and 130°C, the first with a sodium hydroxide concentration of 0.5% and the second with an oxalic acid concentration of 8%. The resulting nanocellulose was found to have a cellulose content of 79.50%. Additionally, chemical and morphological analyses were performed using various techniques, including FTIR, SEM, and TEM, which revealed the presence of nanofibers ranging from 30 nm to 50 nm. Furthermore, the environmental impact of the processes was assessed, and mitigation measures were proposed using the CONESA matrix.

Keywords: *Nanocellulose, Stipa obtusa fiber, nanofibers, natural fibers, steam explosion, SEM, TEM, FTIR*

Introducción

A nivel mundial, el consumo de recursos materiales alcanzó los 79 Gt en 2011, y se espera que aumente a 167 Gt en 2060 debido al crecimiento continuo de la población y al desarrollo económico insostenible. El consumismo ha llevado a un incremento en la extracción, procesamiento y desperdicio de materiales, lo que a su vez ha provocado graves consecuencias ambientales y ha puesto en peligro el bienestar futuro de nuestra economía. (Global Material Resources Outlook to 2060, 2019).

Por otro lado, existe una relación directa entre la cantidad de materias primas y energía utilizadas en los procesos industriales y la generación de gases de efecto invernadero (GEI) a lo largo del ciclo de vida de un producto. La producción de materias primas es responsable de aproximadamente el 19% de las emisiones globales de GEI, mientras que el sector de residuos contribuye con otro 3%. El Acuerdo de París, firmado en 2015, tiene como objetivo limitar el aumento de la temperatura global a menos de 2 °C por encima de los niveles preindustriales, y perseguir esfuerzos para limitar el aumento a 1.5 °C para el año 2100. Para lograr este objetivo, se requieren reducciones sustanciales en las emisiones globales de GEI, y se estima que más de la mitad de todas las emisiones de GEI están relacionadas con las actividades de gestión de materiales. Se espera que las emisiones de GEI relacionadas con la gestión de materiales aumenten a alrededor de 50 Gt de equivalentes de CO₂ para 2060. (Global Material Resources Outlook to 2060, 2019).

Según el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) 2005, en los últimos años se ha observado una tendencia mundial hacia el uso y consumo de productos derivados de bioinsumos, biomateriales, bioservicios, biomedicina y bioenergía, lo que ha llevado a ampliar significativamente los usos tradicionales de los productos agroindustriales. En este contexto, los pastizales naturales, y en particular la *Stipa obtusa* (también conocida como ichu, gramínea característica de la región andina), presentan una gran cantidad de celulosa que podría ser aprovechada para la producción sostenible de nuevos materiales. A pesar de ello, en la actualidad, el principal uso que se les da a los pastizales es como cobertura vegetal y alimento para animales. Sin embargo, se han reportado casos en los cuales los agricultores al incrementar la frontera agrícola, realizan quemadas indiscriminadas que derivan a incendios, provocando grandes daños ambientales. (CENEPRED, 2021)

Con el objetivo de promover el uso sostenible de los recursos de la biodiversidad, actualmente se viene implementando la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible a nivel nacional a través de diversas políticas públicas. La propuesta de imagen de futuro del Perú al 2030 incluye esfuerzos concertados para la conservación y gestión sostenible de los recursos naturales y medidas frente al cambio climático. La presente investigación está alineada con el objetivo de desarrollo sostenible número 12: consumo y producción responsable, que busca fomentar la investigación y el desarrollo de tecnologías ecológicamente racionales para lograr un consumo y producción sostenibles (Informe Nacional Voluntario sobre la implementación de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, 2017) y a la Agenda de Investigación Ambiental en Perú al 2021 en el eje temático N°1: conservación y aprovechamiento

sostenible de los recursos naturales y de la diversidad biológica, dentro del componente de aprovechamiento sostenible de los recursos naturales.

Planteamiento del problema

El actual sistema de consumo impulsa una creciente demanda de producción y uso de materiales, lo que amenaza la sostenibilidad del planeta. Esto se evidencia en el incremento en el uso de plásticos, con cifras alarmantes como los 5 billones de bolsas utilizadas globalmente cada año y el promedio de 30 kilos de plástico por ciudadano en Perú (según el MINAM en 2021). Por lo tanto, resulta esencial encontrar soluciones sostenibles para la fabricación de estos materiales.

Los extensos pajonales altoandinos, que abarcan una superficie de 2836.92 Km² en la región de Cusco según la ZEE 2005, representan una fuente potencialmente valiosa de celulosa, un componente esencial para la producción de materiales biodegradables. A pesar de este potencial, la utilización sostenible de esta fuente en la fabricación de biomateriales aún no se ha desarrollado ampliamente. Es por ello, que se requiere llevar a cabo investigaciones que puedan desarrollar el potencial de producción de biomateriales de manera sostenible, utilizando como materia prima en especial la *Stipa obtusa*.

El presente trabajo de investigación, tuvo como objetivo general: Obtener sosteniblemente fibras de nanocelulosa a partir de *Stipa obtusa* como una alternativa viable para producir materiales plásticos biodegradables.

Los objetivos específicos, estuvieron enmarcados en:

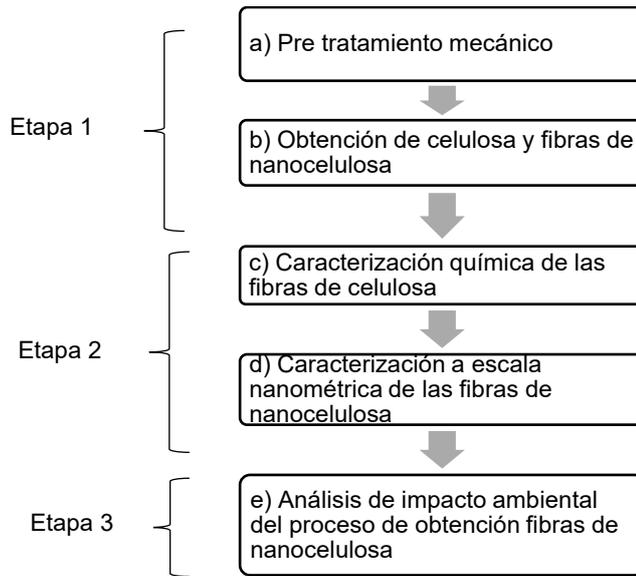
- Determinar las características fisicoquímicas para identificar el potencial de producción de fibras de nanocelulosa a partir de *Stipa obtusa*.
- Desarrollar una metodología para la obtención sostenible de fibras de nanocelulosa a partir de *Stipa obtusa*.
- Evaluar las características fisicoquímicas de las fibras de nanocelulosa obtenidas.
- Identificar y valorar los impactos ambientales y efectos en la salud humana asociados a la obtención sostenible de fibras de nanocelulosa a partir de *Stipa obtusa*.

Metodología

1. Ubicación de zona de muestreo:

Las muestras fueron tomadas de los pastizales en el distrito de Checacupe, provincia de Canchis, departamento de Cusco, ubicado alrededor de los 3600 msnm, tal como se puede observar en el siguiente grafico:

Figura 2. Etapas de trabajo durante la obtención de FNC a partir de *Stipa obtusa*

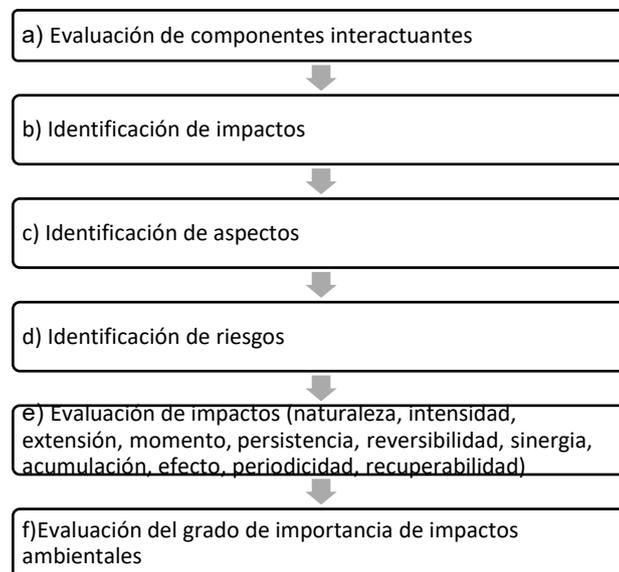


Fuente: Elaboración propia

3. Metodología de trabajo para la evaluación de impactos ambientales

Para la evaluación de los impactos producidos durante el proceso de producción de fibras de nanocelulosa, se ha considerado la evaluación de impactos a través de la matriz Leopold y CONESA

Figura 3. Estructura de evaluación de impactos- método CONESA



Fuente: Elaboración propia

Resultados

1. Resultado 1: Determinación de las características fisicoquímicas para identificar el potencial de producción de FNC a partir de *Stipa obtusa*.

Composición química de las micro fibras y nano fibras de celulosa

El porcentaje de celulosa obtenido de las fibras iniciales fueron de 29.54%, los tratamientos posteriores tuvieron como objetivo incrementar el contenido de celulosa, mediante la remoción de la lignina, hemicelulosa, extractivos y cenizas.

Tabla 1. Composición química de las fibras de *Stipa obtusa* según norma TAPPI

Parámetro	(% en peso)
Celulosa	29.54
Hemicelulosa	27.57
Lignina	23.76
Extractivos	9.53
Humedad	7.03
Cenizas	3.52

Estudios referenciales como los de Mori, S. et al., (2019), y Cherian et al., 2010, revelan que se observan comportamientos similares de incremento de celulosa, debido a los procesos utilizados en la obtención de nanofibras.

Como se puede apreciar en la tabla N°2, se observaron mejores resultados en las primeras pruebas de explosión de vapor en medio alcalino al utilizarse una concentración de 0.5M durante 1 hora. Siguiendo esta premisa inicial, se procedió a realizar la segunda explosión de vapor en medio ácido, obteniéndose mejores resultados al triturar las fibras en la parte inicial y emplear una concentración de ácido oxálico del 8%, logrando un contenido de celulosa del 82.97%. Es importante destacar que, aunque concentraciones más altas de ácido podrían mejorar los resultados, se optó por utilizar concentraciones bajas de ácido para minimizar el impacto ambiental y lograr una mayor eficiencia en los tratamientos.

Tabla 2. Contenido de celulosa después de tratamiento alcalino y tratamiento ácido

Muestra	NaOH (M)	Segunda explosión de vapor (h)	Ácido Oxálico (%)	Celulosa (%)
M01	0.05	1	4	52.62%
M02	0.05	2	4	51.89%
M03	0.05	1	8	57.07%
M04	0.05	2	8	57.83%
M05	0.5	1	6	75.21%
M06	0.5	1	8	82.97%
M07	0.5	1	12	82.88%
M08	0.5	1	8	79.50%
M09	1.5	1	6	75.24%
M10	1.5	1	12	75.13%

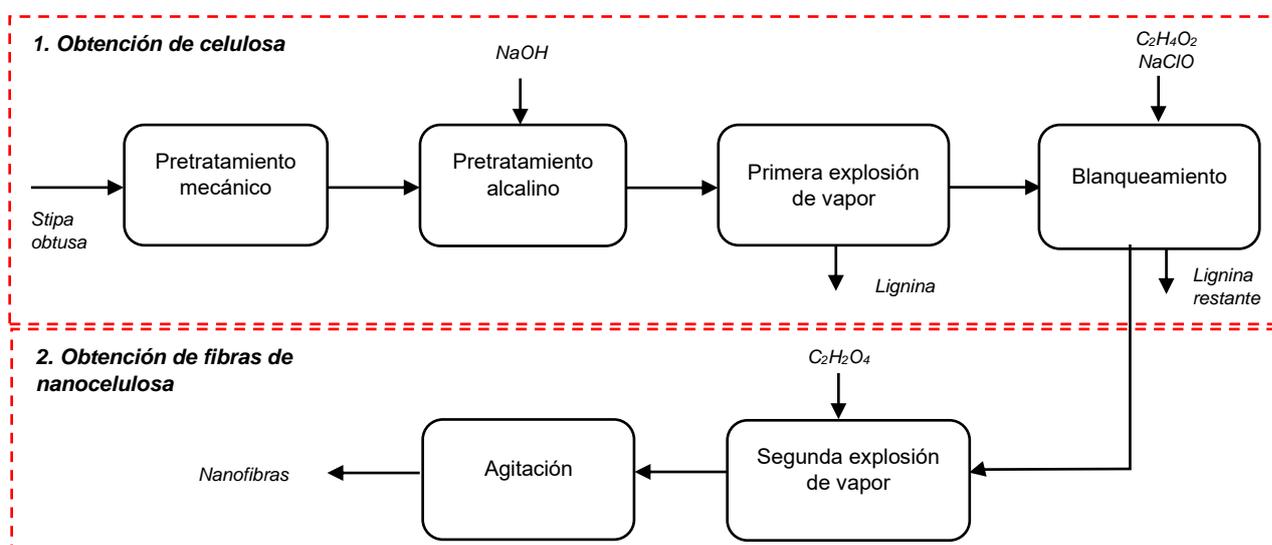
2. Resultado 2: Determinación de la metodología para la obtención sostenible de FNC a partir de *Stipa obtusa*.

Luego de llevar a cabo una serie de ensayos siguiendo la metodología propuesta por Cherian et al. (2010), se analizaron los resultados y se identificó la metodología que proporcionó los mejores resultados en cuanto a la eficiencia en la utilización de reactivos, energía y la obtención de nanocelulosa.

- a. **Pretratamiento mecánico:** Se realizó una preparación inicial de las fibras mediante un proceso mecánico que involucró lavado, secado, corte, trituration y posterior tamizado utilizando una malla ASTM N°30 (600 μm). El proceso de trituration mecánica contribuyó a mejorar los resultados en la obtención de nanocelulosa durante el tratamiento alcalino.
- b. **Pretratamiento alcalino con explosión de vapor:** Las fibras previamente trituradas, fueron tratadas a un pretratamiento alcalino de remojo durante 1 hora con NaOH a 0.5 M y posterior explosión por vapor en autoclave a 20 lb/pulg^2 , 130°C por 1 hora, finalmente la pulpa de celulosa obtenida fue lavada hasta alcanzar ph neutro.
- c. **Blanqueamiento:** La muestra pasante por la etapa anterior es sometida a remojo durante 1 hora con 3.4ml de ácido acético ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$) por cada 10 g de muestra y 25% (v/v) de hipoclorito de sodio (NaClO), posteriormente la pulpa de celulosa obtenida fue lavada hasta alcanzar ph neutro.
- d. **Tratamiento ácido con explosión de vapor:** Se realizó un tercer tratamiento de fibrilación mediante tratamiento térmico químico, utilizando soluciones de 8% (m/v) de ácido oxálico ($\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$) a una presión de 20 lb/pulg^2 y 130°C, obteniéndose mejores resultados al 8% (m/v).
- e. **Agitación:** Finalmente, las fibras fueron separadas de la solución y homogeneizadas.

Los procesos involucrados, se pueden observar en el siguiente diagrama:

Figura 4. Diagrama de bloques del proceso de obtención de FNC



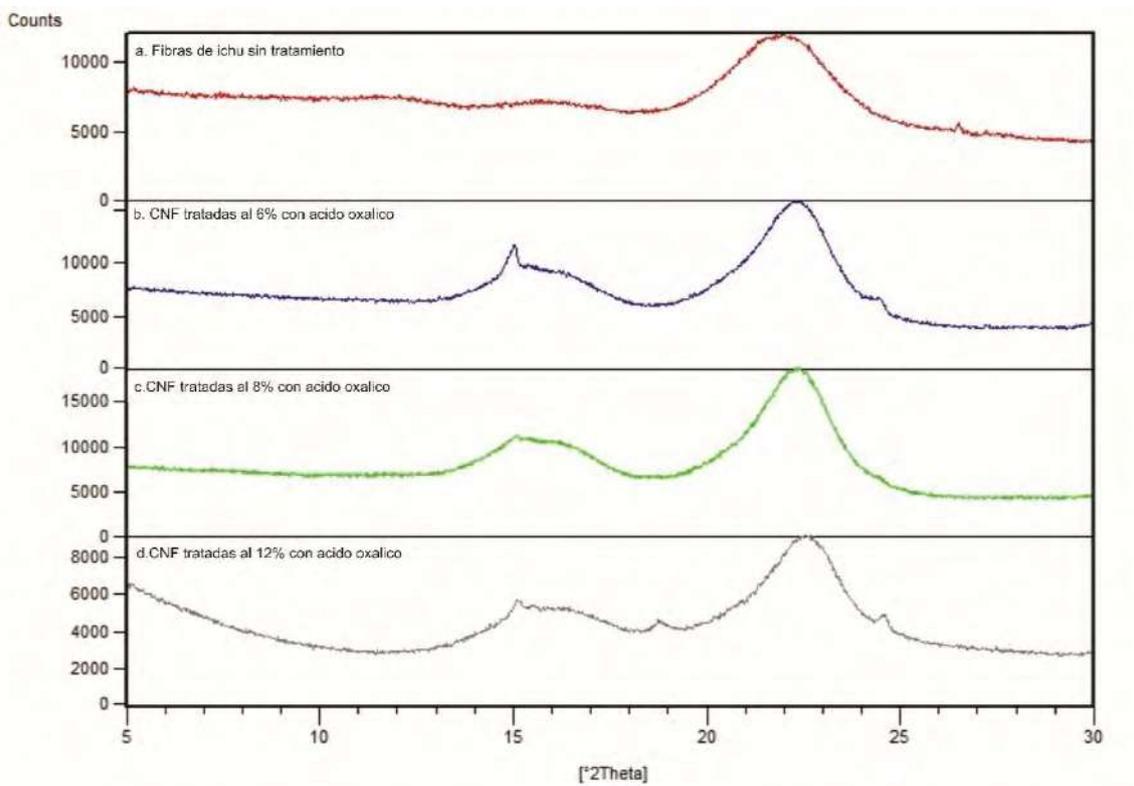
Fuente: Elaboración propia

3. Resultado 3: Evaluación de las características fisicoquímicas de FNC obtenidas

Caracterización de micro y nano fibras de celulosa por Difractometría por rayos X- DRX

En todas las muestras tratadas con ácido oxálico, se destaca el pico característico de la celulosa a $2\theta = 22,5^\circ$. Los picos de las muestras que estuvieron expuestas a tratamientos ácidos, son más pronunciadas que en las muestras IST (fibra de *Stipa obtusa* sin tratamiento), lo que sugiere una estructura cristalina más perfeccionada debido a la hidrólisis ácida que elimina materiales amorfos no celulósicos, lo que se refleja en picos más nítidos y intensos. El pico de celulosa a $2\theta = 22,5^\circ$ se observa en todas las muestras, gracias al pretratamiento de trituración mecánica, que mejora la hidrólisis ácida y produce picos más nítidos y con mayor intensidad. El difractograma de la muestra CNF tratada con un 12% de ácido oxálico se asemeja al obtenido en un estudio previo (Herrera, M. et al., 2019), lo que indica una mayor perfección en la estructura cristalina. Además, el pico a $2\theta = 14,7^\circ$ del plano 0 también se muestra más definido y separado del pico a $2\theta = 16,4^\circ$.

Figura 5. Difractogramas DRX de las fibras de nanocelulosa obtenidas



El grado de cristalinidad en las muestras M11 y M12 alcanza el 52.38% y 52.92%, respectivamente, superando en promedio en un 6% al grado de

cristalinidad de la fibra sin tratamiento (IST). Este aumento se debe a la eliminación de lignina amorfa y hemicelulosa mediante el pretratamiento alcalino y el tratamiento químico térmico, que rompen los enlaces glucosídicos y reorganizan las moléculas de celulosa.

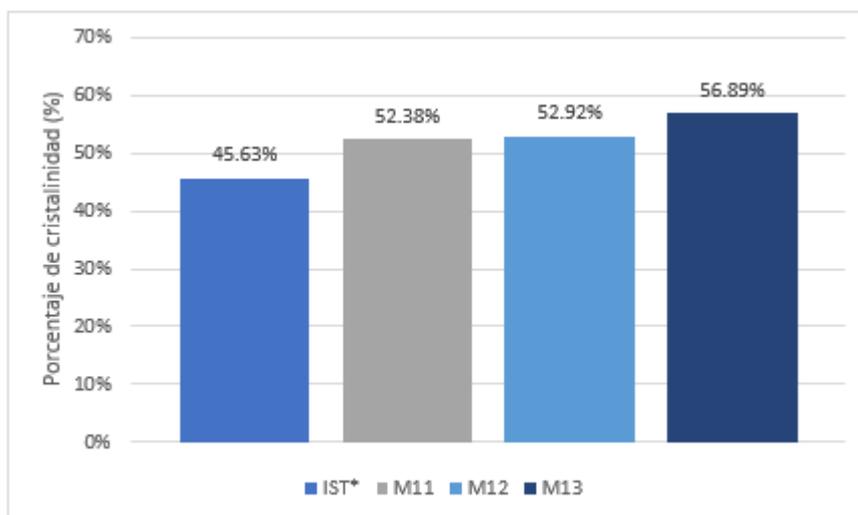
En contraste, la muestra M13, tratada con un 12% de ácido oxálico, muestra un grado de cristalinidad del 56.89%, sugiriendo que el mayor contenido de ácido oxálico utilizado durante el tratamiento químico térmico alteró la estructura de las nanofibras. Este efecto se atribuye a la eliminación de lignina y hemicelulosa a través del pretratamiento alcalino, el blanqueo y el tratamiento químico térmico, lo que provoca la ruptura de los enlaces glucosídicos y permite la reorganización de las moléculas de celulosa (Abraham et al., 2013). El gráfico en la figura 6 muestra una comparación del grado de cristalinidad en las diferentes muestras.

Tabla 3. Grado de cristalinidad medido mediante DRX de FNC durante el tratamiento químico térmico

Muestra	Ácido Oxálico (%)	Area cristalina	Area amorfa	Grado de cristalinidad
IST*	--	29390.98	35020.00	45,63%
M11	6%	38180.20	34715.01	52,38%
M12	8%	46728.69	41580.00	52,92%
M13	12%	16364.01	21600.00	56,89%

* Corresponde a las muestras de *Stipa obtusa* sin tratamiento

Figura 6. Difractogramas DRX de FNC obtenidas



Caracterización de FNC por Infrarojo por Transformada de Fourier- FTIR

De acuerdo a la asignación de grupos funcionales del FTIR, mostrada en tabla 4, la fig. 7 muestra las bandas correspondientes a la evaluación de muestras realizadas en la etapa de explosión de vapor a diferentes concentraciones de ácido oxálico.

Las bandas correspondientes a 3330 cm^{-1} muestra la presencia de grupos OH en las moléculas de agua y celulosa, evidenciándose comportamientos similares en los estudios de Sheltami, R.M. et al. (2012). La banda a 2909 cm^{-1} muestra los grupos C-H, mientras que la banda a 1640 cm^{-1} revela los grupos O-H / C=C, los estudios de Benini, et.al 2018, encontraron que estos comportamientos se deben a la vibración de estiramiento de C-H en celulosa y hemicelulosa y los picos ubicados en 1640 cm^{-1} se atribuyen a vibraciones de flexión de los grupos OH de la celulosa Kargarzadeh, H. et al., (2017).

En el rango de bandas de $1425 - 1640$ se encuentra el grupo funcional $-\text{CH}_2$, mientras que en las bandas de $1125 - 1290$ se observan los grupos funcionales C-O-C. Estos picos están relacionados con la estructura cristalina de la celulosa. En los estudios realizados por Saelee et al., 2016; Wang et al., 2017; Shankar, S., Rhim, J., 2016; Kargarzadeh et al., 2017, se observaron que las bandas a 1425 cm^{-1} están relacionadas con el estiramiento C=C y/o la flexión simétrica del CH_2 en grupos aromáticos de celulosa debido a la banda de cristalinidad.

En la banda a 1030 cm^{-1} se encuentran los grupos C-O / C-O-C, y en la banda a 882 cm^{-1} se observan los enlaces glucosídicos β entre las unidades de glucosa de la celulosa. Estas características sugieren que el material celulósico no se ha perdido durante la hidrólisis ácida, resultados similares fueron reportados por Mandal, A., Chakrabarty, D. (2011).

Figura 7. Espectro infrarrojo de la muestra

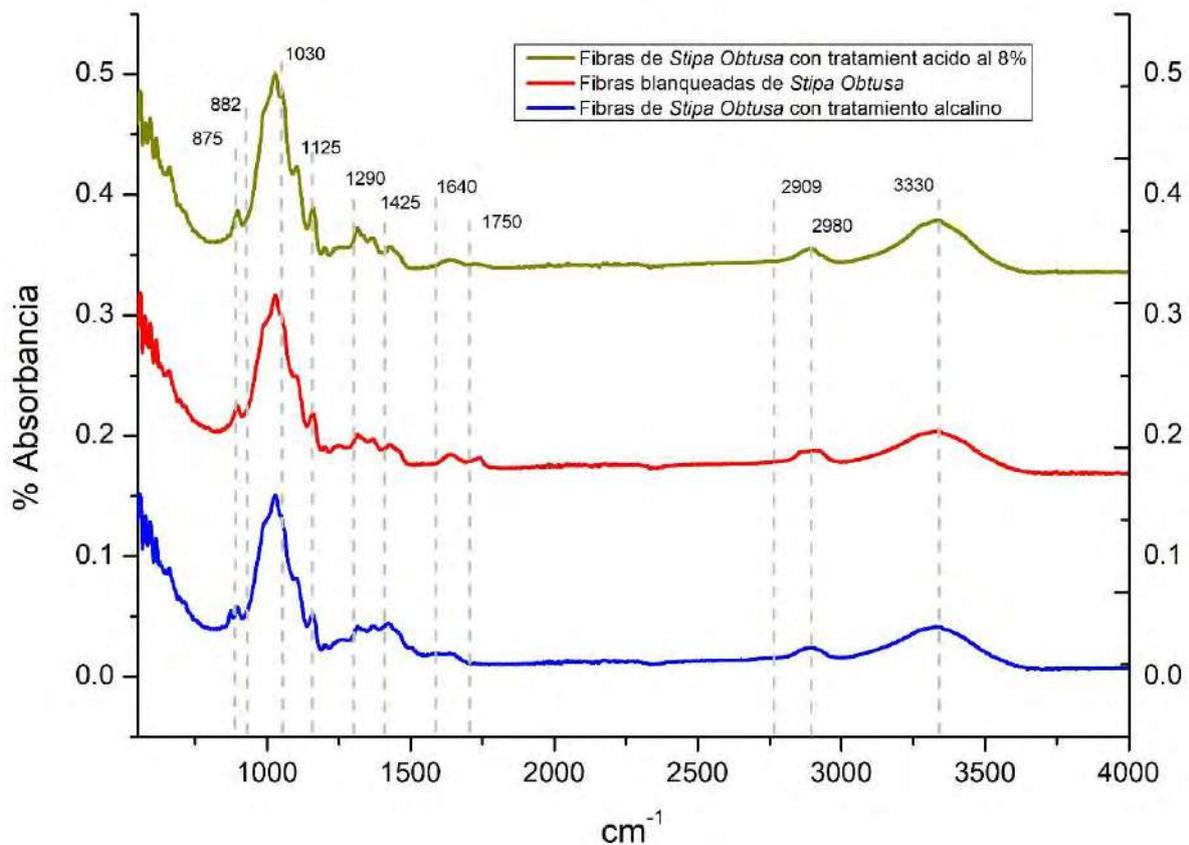


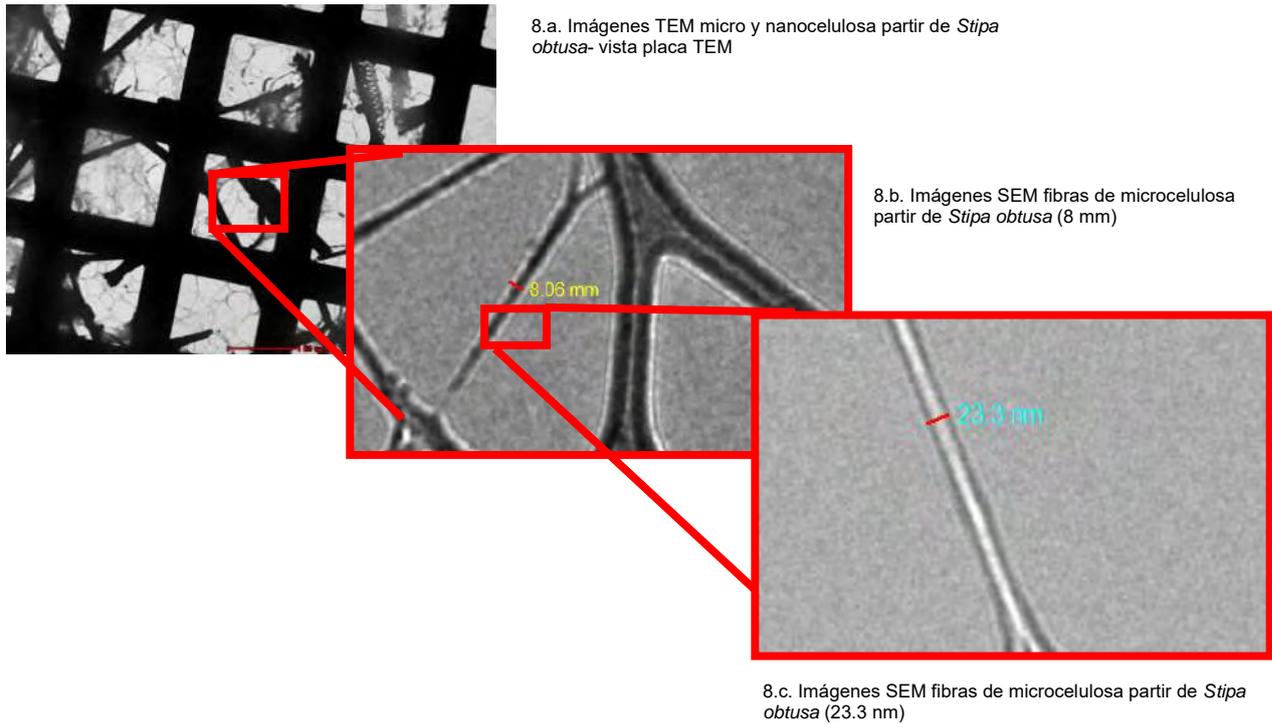
Tabla 4. Asignación de grupos funcionales

Número de onda	Grupo funcional
3333.98	O-H
2897.28	C-H
1637.23	O-H / C=C
1428.00 - 1314.49	-CH ₂
1201.00- 1104.12	C-O-C
1053.41	C-O / C-O-C
1030.63	C-O
897.30	C-O (glycosidic bonds)
660.43	=C-H

Caracterización de FNC por Microscopía Electrónica de Transmisión-TEM

La evaluación realizada a la FNC obtenida con un tratamiento del 8% de ácido oxálico, evidencio que el tamaño de fibra obtenida, varía entre 8mm y 23 nm. Esta aglomeración podría ser atribuida a la unión de los grupos hidroxilo entre las fibrillas (Saelee et al., 2016). La ruptura de algunas fibras puede haber resultado de la agitación y sonicación a la que fueron expuestas (Saito et al., 2007).

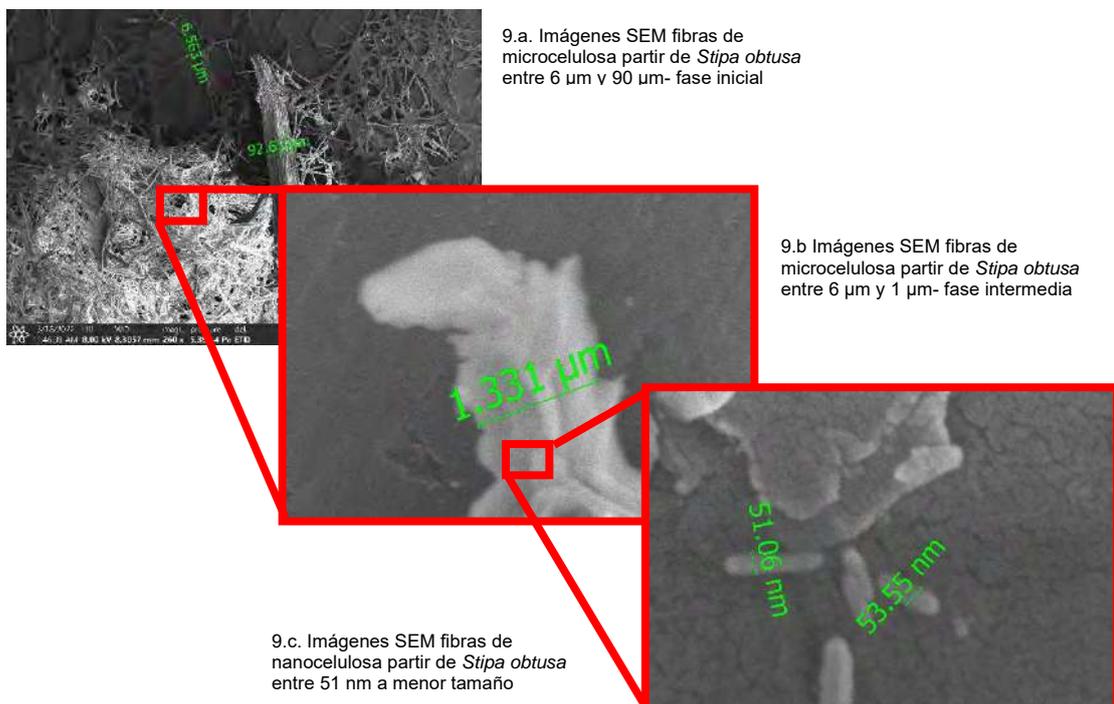
Figura 8. Imágenes TEM de fibras de micro y nano celulosa



Caracterización de microfibras de celulosa por Microscopia Electronica de Transmisión- SEM

En el análisis SEM, se visualizaron estructuras amorfas no uniformes, y en lo que respecta al tamaño de las fibras obtenidas, se observaron tamaños que oscilaban desde 92 μm hasta 51 nm. Esta variabilidad en el tamaño de las fibras se atribuye al proceso de desfibrilación que experimenta la fibra debido a la exposición a la explosión de vapor y el tratamiento ácido, que eliminan la lignina, como se ilustra en la figura 9.

Figura 9. Imágenes SEM de fibras de micro y nano celulosa



Caracterización de microfibras de celulosa por Espectroscopia de Energía Dispersiva- EDS

Se llevaron a cabo análisis mediante EDS a un voltaje de 8 kV y una ampliación de 2000 en puntos representativos de la muestra, como se muestra en la figura 10, y tabla 5. Los resultados obtenidos indican que el material analizado se compone principalmente de carbono e hidrógeno, que son los elementos esenciales de la celulosa. Esto sugiere que se ha eliminado la mayoría de las impurezas superficiales y los residuos de los reactivos utilizados durante el proceso de aislamiento de las nanofibras.

Figura 10. Muestreo de fibras de micro y nano celulosa por EDS

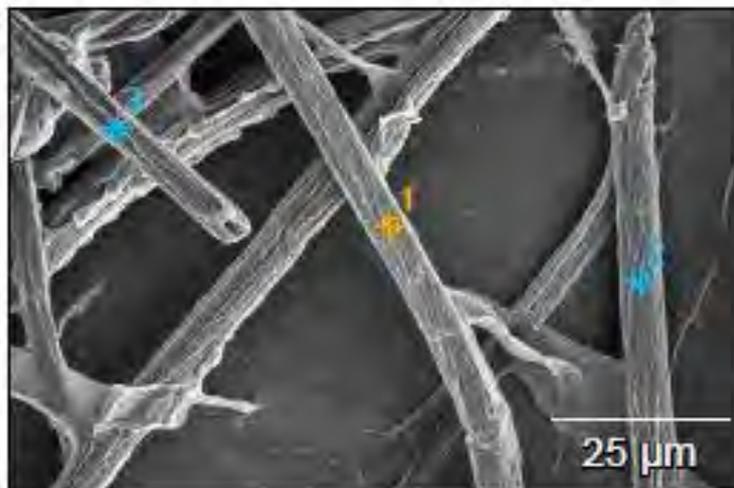


Tabla 5. Composición química analizada por EDS

Punto	Cuenta neta		%peso		% Atom	
	C	O	C	O	C	O
1	450	567	46.46	53.54	53.61	46.39
2	475	540	47.73	52.27	54.89	45.11
3	576	177	51.20	48.80	58.29	41.71

4. Resultado 4: Identificación y valoración de los impactos ambientales asociados

Se llevaron a cabo evaluaciones de los impactos ambientales relacionados con las diversas etapas de la producción de nanocelulosa, identificando los aspectos, riesgos e impactos involucrados en el proceso. Utilizando la metodología CONESA, se asignaron valores para evaluar los impactos según su naturaleza, intensidad, extensión, momento, persistencia, reversibilidad, sinergia, acumulación, efecto, periodicidad y recuperabilidad. A partir de este análisis, se procedió a valorar los impactos en términos de recuperabilidad.

Finalmente, se realizó un análisis de impactos ambientales por etapa, asignando colores según el efecto previsto. Esto permitirá priorizar las etapas con un mayor

impacto ambiental. El resumen de los impactos evaluados y priorizados por etapa se presenta en la Tabla 6, identificando los impactos y las acciones a emprender para reducirlos. Como principal hallazgo, se ha identificado que la etapa de extracción de *Stipa obtusa* tiene un mayor impacto, y se sugiere que este impacto podría mitigarse mediante un plan de manejo adecuado que garantice la sostenibilidad en el uso de los recursos de la biodiversidad. Asimismo, se proponen medidas de mitigación de impactos en los diferentes procesos de obtención de nanofibras.

Tabla 6. Resumen de evaluación de impactos ambientales de la obtención de FNC

Etapa	Comp.	Factores	Impacto	Actividad	Calif.	Naturaleza	Descripción	Medio
Recolección de ichu	AGUA	Utilización del recurso hídrico. Generación de insumos químicos y/o combustibles	Alteración de la calidad del agua	Lavado de fibra	-23	Negativo irrelevante	En el caso del agua de lavado de fibras no contiene detergentes, solo materia orgánica proveniente de las fibras por lo que esta agua podría ser reutilizada como agua de riego. Se considera un impacto negativo irrelevante El impacto en el aire será negativo de irrelevante intensidad, fugaz, de extensión puntual, y recuperable de manera rápida	FISICO
	PAISAJE	Modificación del paisaje de la zona.	Perturbación de la fauna silvestre.	Corte y selección de ichu	-26	Impacto negativo moderado	En la etapa de corte y selección de ichu se observa un impacto negativo moderado con respecto a la flora, fauna y paisaje, es por ello que se ha considerado sistemas de recolección de ichu de manera sostenible acompañado con planes de resiembra.	BIOLOGICO
	SOCIAL	Percepciones positivas y negativas de la población.	Afectación a la salud y seguridad de la población aledaña y a los trabajadores	Corte y selección de ichu	-20	Negativo irrelevante	La generación de empleo asociado a las actividades de recolección y lavado de fibra son positivas ya que se tomará en cuenta la contratación de personal de la zona. Asimismo, estas actividades serán remuneradas de manera justa por lo que representara un ingreso familiar adicional.	SOCIOECON.
	ECON.	Salario competitivo. Compras locales.	Incremento del ingreso familiar	Corte y selección de ichu	16	Positivo		SOCIOECON.
Pretratamiento mecánico	AIRE	Generación de material particulado. Generación de ruido.	Alteración de la calidad del aire e incremento de los niveles de ruido.	Molienda de ichu	-23	Negativo irrelevante	En la etapa del pretratamiento mecánico, se realizaron las actividades de molienda y tamizaje. Cabe mencionar que las emisiones generadas como material particulado (PM10, PM2.5) presentes serán controladas utilizando equipos de protección personal, se considera un impacto negativo irrelevante ya que esta acción es de baja intensidad y extensión puntual.	FISICO
	SOCIAL	Percepciones positivas y negativas de la población.	Afectación a la salud y seguridad de la población aledaña	Molienda de ichu	-18	Negativo irrelevante	Se observa un impacto negativo irrelevante en la actividad de molienda, ya que podrían ocasionarse algunas afectaciones mínimas por el material particulado y ruido, para lo cual se tiene previsto utilizar EPP y en cuanto al ruido utilizar instalaciones con materiales termoacústicos. Hay una generación de empleo.	SOCIOECON.

Etapa	Comp.	Factores	Impacto	Actividad	Calif.	Naturaleza	Descripción	Medio
Explosión por vapor 1 y 2	AGUA	Utilización del recurso hídrico. Generación de insumos químicos y/o combustibles	Alteración de la calidad del agua	Remojo con NaOH	-23	Negativo irrelevante	Durante este proceso no se tienen impactos ya que se realiza en un medio controlado y no se tienen emisiones. Una vez remojado se procede a ingresar directamente al autoclave por lo que no hay afectaciones ya sea en el aire, agua o suelo. La solución de remojo utilizada tiene una baja concentración. Se considera un impacto negativo irrelevante por lo fugaz, de extensión puntual, y recuperable de manera inmediata	FISICO
	AIRE	Generación de material particulado. Generación de ruido.	Alteración de la calidad del aire e incremento de los niveles de ruido.	Liberación de vapor	-23	Negativo irrelevante	Se realizaron las actividades de liberación de vapor y posterior lavado de la fibra. Cabe mencionar que las emisiones generadas corresponden a un impacto negativo irrelevante, ya que la concentración de NaOH y Acido oxálico en la 1ª y 2ª explosión de vapor respectiva se encuentra a una muy baja concentración, esta acción es de baja intensidad y extensión puntual.	FISICO
				Lavado	-18	Negativo irrelevante		FISICO
Blanqueamiento	AGUA	Utilización del recurso hídrico. Generación de insumos químicos y/o combustibles	Alteración de la calidad del agua	Lavado	-23	Negativo irrelevante	Esta etapa tiene como objetivo ablandar las fibras para eliminar la lignina, es así que la etapa de blanqueamiento coadyuvara a acelerar el proceso. Durante este proceso no se tienen impactos ya que se realiza en un medio controlado y no se tienen emisiones. Una vez remojado se procede a ingresar directamente al autoclave por lo que no hay afectaciones ya sea en el aire, agua o suelo. La solución de remojo utilizada tiene una baja concentración.	FISICO
Obtención de fibra de NC	ECONOMICO	Salario competitivo. Compras locales.	Incremento del ingreso familiar y dinamización de la economía local.	Secado y preservación	16	Positivo	Podrían generarse ingresos económicos por la obtención de FNC a través de proyectos en los que se involucre a la comunidad	SOCIOECON.

RANGOS DE VALOR Y CODIGO DE COLOR

Rangos	Efecto Pronosticado	Cód. de Color
Entre -25 y 0	I. Negativo Irrelevante	
Entre -50 y -26	I. Negativo Moderado	
Entre -75 y -51	I. Negativo Severo	
Mayores a 75	I. Negativo Critico	
Mayores a 0	I. Positivo	

Conclusiones

- Se examinaron las propiedades fisicoquímicas de la fibra y se confirmó la presencia de un alto contenido de celulosa, alcanzando aproximadamente el 29.54%. Esto respalda la viabilidad de producir fibras de nanocelulosa a partir de *Stipa obtusa*. La abundancia de celulosa no solo tiene un valor económico importante, sino que también sugiere la posibilidad de obtener una cantidad considerable de nanocelulosa. Sin embargo, es esencial implementar un plan de extracción y gestión adecuado, en colaboración con la comunidad local, para garantizar la sostenibilidad de este recurso.
- Se ha identificado una metodología efectiva de obtención de nanofibras de celulosa a partir de *Stipa obtusa*, que involucra un pretratamiento alcalino mediante explosión de vapor a 20 *lb/pulg²*, 130°C por 1 hora y 0.5 M de NaOH, blanqueamiento con ácido acético e hipoclorito de sodio en una relación de: 3.4 ml CH₃COOH/10 g de fibra y NaClO 25% (v/v), y un tratamiento térmico con ácido oxálico empleando 8% (m/v) a 20 *lb/pulg²*, 130°C por 1 hora. Esta metodología ha demostrado ofrecer los mejores resultados en la producción de nanofibras. Esto sugiere la posibilidad de obtener estas fibras de manera sostenible, lo que podría abrir oportunidades económicas en la fabricación de plásticos biodegradables.
- Se analizó el contenido de celulosa en las nanofibras encontrándose una concentración del 79,50%. Además, se llevaron a cabo análisis para evaluar la estructura, composición química y morfología de estas fibras utilizando técnicas como la Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR), la Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) y la Transmisión por Microscopía Electrónica (TEM). Los resultados mostraron que las nanofibras tenían un tamaño que oscilaba entre 30 nm y 50 nm y presentaban una estructura amorfa. Estas características particulares de resistencia y biodegradabilidad podrían ser valiosas para la creación de nuevos biopolímeros.
- Se ha llevado a cabo una evaluación exhaustiva de los impactos ambientales y los efectos en la salud humana relacionados con la producción de fibras de nanocelulosa utilizando la metodología CONESA. Se ha identificado que el mayor impacto se origina en la etapa de extracción de materia prima, y se recomienda la implementación de un programa de extracción sostenible en colaboración con la comunidad local. Además, el análisis reveló que el consumo significativo de agua es el principal impacto ambiental durante el proceso de producción. Para abordar este problema, se han propuesto medidas correctivas, como la reutilización del agua utilizada en el proceso para riego, dado su bajo contenido de reactivos perjudiciales para el medio ambiente y las personas.

Agradecimientos

La presente investigación se realizó gracias al Convenio: N° 141 - 2020 FONDECYT (Actualmente PROCENCIA) Proyecto de elaboración y caracterización de biopolímeros antibacteriales reforzados con nanocelulosa, obtenidos a partir de plantas endémicas del Perú, para ser utilizados como empaque de alimentos.

Un especial agradecimiento especial a mis asesores Mgt. Uriel Fernández y Mgt. Karen Garces quienes me brindaron su apoyo constante.

Bibliografía

- Abraham, E., Deepa, B., Pothan, L. A., Jacob, M., Thomas, S., Cvelbar, U., & Anandjiwala, R. (2011). Extraction of nanocellulose fibrils from lignocellulosic fibres: A novel approach. *Carbohydrate Polymers*, 86(4), 1468-1475. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.06.034>
- Agenda de Investigación Ambiental en Perú al 2021. (2013). Ministerio del Ambiente (MINAM). Perú. <https://investigacion.minam.gob.pe/observatorio/download/file/fid/31618>
- Agenda Nacional de Investigación Científica en Cambio Climático 2010-2021. (2010). Sinia. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/agenda-nacional-investigacion-cientifica-cambio-climatico-2010-2021>
- ASTM International. (2015). ASTM E1252-98(2015) Standard practice for general techniques for obtaining infrared spectra for qualitative analysis. ASTM International.
- Benini, C., Cornelis, H., Cioffi, M., Rezende, M., & Arantes, V. (2018). Preparation of nanocellulose from Imperata brasiliensis grass using Taguchi Method, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.03.055>
- Cherian, B., Lopes, A., Ferreira de Souza, S., Thomas, S., Pothan, L., & Kottaisamy, M. (2010). Isolation of nanocellulose from pineapple leaf fibres by steam explosion. *Carbohydrate Polymers*, 81(3), 720-725. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.03.046>
- Escenario de riesgo por incendios forestales de la región Cusco. (2021). Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres - CENEPRED. Perú.

- Global Material Resources Outlook to 2060. (2019). Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). <https://doi.org/10.1787/9789264307452-en>
- Guía para la identificación y caracterización de impactos ambientales en el marco del Sistema Nacional de Evaluación del impacto Ambiental – SEIA. (2018). Ministerio del Ambiente (MINAM). <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2018/10/Guia-Impactos.pdf>
- Herrera, M.; Sinche, L.; Bonilla, O. “Obtención de Nanocelulosa a partir de Celulosa de Puntas de Abacá”. Journal of Chemical Engineering Theoretical and Applied Chemistry, 2019, Vol. 76, Num. 586, <https://raco.cat/index.php/afinidad/article/view/359059>.
- Información base para la elaboración de un programa de apoyo a la agroindustria y a la agroindustria rural en el Perú, 2005. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).
- Informe Nacional Voluntario sobre la implementación de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. (2017). Centro Nacional de Planeamiento Estratégico. Perú.
- Kargarzadeh, H., Mariano, M., Huang, J., Lin, N., Ahmad, I., Dufresne, A., & Thomas, S. (2017). Recent developments on nanocellulose reinforced polymer nanocomposites: A review. Polymer. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2017.09.043>
- Mandal, A., & Chakrabarty, D. (2011). Isolation of nanocellulose from waste sugarcane bagasse (SCB) and its characterization. Carbohydrate Polymers, 86(3), 1291-1299. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.06.030>
- Mori, S., Charca, S., Flores, E., & Savastano, H. (2019). Physical and Thermal Properties of Novel Native Andean Natural Fibers. Journal of Natural Fibers, 18(4), 475-491. <https://doi.org/10.1080/15440478.2019.1629150>
- Saelee, K., Yingkamhaeng, N., Nimchua, T., & Sukyai, P. (2016). An environmentally friendly xylanase-assisted pretreatment for cellulose nanofibrils isolation from sugarcane bagasse by high-pressure homogenization. Carbohydrate Polymers, 151, 392-399. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.11.064>
- Saito T., Isogai A., (2006). Introduction of aldehyde groups on surfaces of native cellulose fibers by TEMPO-mediated oxidation 289, 219–225. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2006.04.038>

- Shankar, S., & Rhim, J. (2018). Bionanocomposite films for food packaging applications. *Advances in Polymer Technology*, 35(4), 201-213. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21875-1>
- Sheltami, R. M., Abdullah, I., Ahmad, I., Dufresne, A., & Kargarzadeh, H. (2012). Extraction of cellulose nanocrystals from mengkuang leaves (*Pandanus tectorius*). *Carbohydrate Polymers*, 88(2), 772-779. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.01.062>.
- Wang S., Cheng Q., Rials T., Lee S., (2006). Cellulose microfibril/nanofibril and its nanocomposites, *Proc. 8th Pacific rim bio*, 301–308.
- Zonificación ecológica económica departamento del Cusco. Gobierno Regional Cusco. Perú (2005).