



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

**SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE NANOCELULOSA A
PARTIR DE RESIDUOS DE BIOMASA DE CÁSCARAS DE PIÑA,
TUSA DE MAÍZ, COLILLAS DE CIGARRILLO Y PAPEL
RECICLADO**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORA: PAOLA ALEJANDRA ESTRADA CAJAMARCA

DIRECTORA: Ing. GABRIELA VIVIANA TUBÓN USCA PhD.

Riobamba – Ecuador

2022

© 2022, Paola Alejandra Estrada Cajamarca

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, PAOLA ALEJANDRA ESTRADA CAJAMARCA, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 24 de noviembre de 2022



.....
Paola Alejandra Estrada Cajamarca

C.I. 060397454-4

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación. **SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE NANOCELULOSA A PARTIR DE RESIDUOS DE BIOMASA DE CÁSCARAS DE PIÑA, TUSA DE MAÍZ, COLILLAS DE CIGARRILLO Y PAPEL RECICLADO**, realizado por la señorita: **PAOLA ALEJANDRA ESTRADA CAJAMARCA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Dr. Fabian Ernesto Arias Arias PhD. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2022-11-24
Ing. Gabriela Viviana Tubón Usca PhD DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2022-11-24
Ing. Linda Mariuxi Flores Fiallos MsC. ASESORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2022-11-24

DEDICATORIA

A mi madre Martha Cajamarca, a pesar de todo, le debo lo que he llegado a ser y alcanzar durante estos años, es mi motivo principal para lograr cumplir esta meta importante en mi formación, siempre vivirá en mi corazón y en cada uno de mis pensamientos como uno de los mejores recuerdos que me dio la vida. A mis abuelos Julio Cajamarca y Esperanza Carrasco por brindarme siempre su apoyo, confianza, consejos y motivarme en cada momento a seguir adelante. A mi padre Luis Estrada, hermanos Jaime y Erick por su esfuerzo, fortaleza y apoyo constante a pesar de las circunstancias.

Paola

AGRADECIMIENTO

A mi directora de tesis Ingeniera Gabriela Tubón por brindarme sus conocimientos, orientación y guía durante el desarrollo del Trabajo de Integración Curricular. A mi asesora Ingeniera Linda Flores por su colaboración. A mi novio John por su ayuda, paciencia, acompañamiento, constancia y apoyo incondicional. A los diferentes técnicos de laboratorio por su predisposición y cooperación. Amigos, compañeros y docentes de la ESPOCH por compartir su tiempo, experiencias, conocimientos y enseñanzas en esa etapa de formación tanto personal como profesional.

Paola

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvi
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xvii
RESUMEN.....	xviii
ABSTRACT.....	xix
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.1. Planteamiento del Problema.....	2
1.2. Limitaciones y delimitaciones.....	3
1.3. Problema General de Investigación.....	3
1.4. Problemas específicos de investigación.....	3
1.5. Objetivos.....	4
1.5.1. <i>Objetivo General</i>	4
1.5.2. <i>Objetivos Específicos</i>	4
1.6. Justificación.....	4
1.6.1. <i>Justificación Teórica</i>	4
1.6.2. <i>Justificación Metodológica</i>	5
1.6.3. <i>Justificación Práctica</i>	5
1.7. Hipótesis.....	6
1.7.1. <i>Hipótesis general</i>	6
1.7.2. <i>Hipótesis específicas</i>	6

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Antecedentes de la Investigación.....	7
2.2. Referencias Teóricas.....	9
2.2.1. <i>Biomasa</i>	9
2.2.1.1. <i>Características</i>	9

2.2.2.	Celulosa	9
2.2.2.1.	<i>Estructura Química</i>	9
2.2.2.2.	<i>Organización de las fases estructurales de celulosa</i>	10
2.2.2.3.	<i>Propiedades</i>	10
2.2.2.4.	<i>Procesos de obtención</i>	11
2.2.2.5.	<i>Aplicaciones</i>	11
2.2.3.	Hemicelulosa	11
2.2.4.	Lignina	12
2.2.4.1.	<i>Características</i>	12
2.2.5.	Residuos	13
2.2.6.	Residuos agrícolas	13
2.2.6.1.	<i>Residuo agrícola de piña</i>	13
2.2.6.2.	<i>Residuo agrícola de maíz</i>	14
2.2.7.	Residuos Industriales	15
2.2.7.1.	<i>Papel</i>	15
2.2.7.2.	<i>Cigarrillo</i>	16
2.2.8.	Nanocelulosa	17
2.2.8.1.	<i>Propiedades</i>	17
2.2.8.2.	<i>Características</i>	18
2.2.8.3.	<i>Tipos de nanocelulosa</i>	18
2.2.8.4.	<i>Procesos de obtención de la nanocelulosa</i>	19
2.2.8.5.	<i>Aplicaciones</i>	19
2.2.8.6.	<i>Nanocompuestos</i>	20

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	21
3.1.	Enfoque de investigación	21
3.2.	Nivel de investigación	21
3.3.	Diseño de la investigación	22
3.3.1.	<i>Matriz de Consistencia</i>	22
3.3.2.	<i>Según la manipulación o no de la variable independiente</i>	24
3.3.2.1.	<i>Identificación de variables de estudio</i>	24
3.3.2.2.	<i>Operacionalización de Variables</i>	25
3.3.3.	<i>Según las intervenciones en el trabajo de campo</i>	28
3.4.	Tipo de estudio	28

3.5.	Población y planificación, selección del tamaño de la muestra	28
3.5.1.	<i>Población de estudio y planificación</i>	28
3.5.2.	<i>Tamaño de Muestra</i>	29
3.5.3.	<i>Selección de muestra</i>	29
3.6.	Métodos, técnicas de recolección de datos e instrumentos de investigación	29
3.6.1.	<i>Técnicas para identificar las características fisicoquímicas de los residuos</i>	30
3.6.1.1.	<i>Porcentaje de humedad de las muestras</i>	30
3.6.1.2.	<i>Determinación del porcentaje de cenizas en las muestras</i>	30
3.6.1.3.	<i>Densidad para sólidos</i>	31
3.6.1.4.	<i>Solubilidad en agua caliente</i>	31
3.6.1.5.	<i>Determinación del porcentaje de lignina en las muestras</i>	32
3.6.1.6.	<i>Determinación de Alfa celulosa</i>	32
3.6.1.7.	<i>Caracterización de celulosa</i>	33
3.6.2.	<i>Caracterización de nanocelulosa</i>	34
3.6.2.1.	<i>Apariencia de fibras en la materia prima, celulosa y nanocelulosa</i>	34
3.6.2.2.	<i>Determinación de grupos funcionales empleando FTIR</i>	34
3.6.2.3.	<i>Determinación de microscopia electrónica de barrido</i>	35
3.6.2.4.	<i>Determinación de la transmitancia de nanocelulosa</i>	35
3.7.	Síntesis de Nanocelulosa	36
3.7.1.	<i>Pretratamiento de tusa de maíz, cáscaras de piña, papel reciclado y colillas de cigarrillo</i>	36
3.7.1.1.	<i>Pretratamiento de tusa de maíz</i>	36
3.7.1.2.	<i>Pretratamiento de cáscara de piña</i>	38
3.7.1.3.	<i>Pretratamiento de papel reciclado</i>	40
3.7.1.4.	<i>Pretratamiento de colillas de cigarrillo</i>	41
3.7.2.	<i>Obtención de celulosa</i>	43
3.7.3.	<i>Síntesis de nanocelulosa</i>	45

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	48
4.1.	Análisis de resultados de materia prima	48
4.1.1.	<i>Caracterización de la materia prima</i>	48
4.1.1.1.	<i>Resultados de porcentaje de humedad de materia prima</i>	48
4.1.1.2.	<i>Resultados de porcentaje de cenizas a partir de la materia prima</i>	49

4.1.1.3.	<i>Resultados de porcentaje de solubilidad en agua caliente a partir de la materia prima</i>	49
4.1.1.4.	<i>Resultados de densidad de la materia prima molida y tamizada</i>	50
4.1.1.5.	<i>Resultados de porcentaje de lignina en la materia prima</i>	51
4.1.1.6.	<i>Resultados del porcentaje de alfa celulosa a partir de la materia prima</i>	51
4.1.2.	<i>Caracterización óptica de la materia prima</i>	52
4.1.3.	<i>Espectroscopia infrarroja FTIR de la materia prima</i>	54
4.2.	Resultados a partir de la obtención de celulosa	56
4.2.1.	<i>Rendimiento de celulosa de colillas de cigarrillo</i>	56
4.2.2.	<i>Rendimiento de celulosa de papel reciclado</i>	57
4.2.3.	<i>Rendimiento de celulosa de tusa de maíz</i>	57
4.2.4.	<i>Rendimiento de celulosa de cáscara de piña</i>	57
4.2.5.	<i>Rendimiento de alfacelulosa</i>	58
4.2.6.	<i>Análisis estadístico</i>	59
4.2.6.1.	<i>Análisis de Varianza de celulosa de cáscara de piña</i>	59
4.2.6.2.	<i>Análisis de Varianza de celulosa de tusa de maíz</i>	60
4.2.6.3.	<i>Análisis de Varianza de celulosa de papel reciclado</i>	61
4.2.6.4.	<i>Análisis de varianza de colillas de cigarrillo</i>	62
4.2.7.	<i>Caracterización óptica de las muestras de celulosa</i>	63
4.2.7.1.	<i>Celulosa obtenida a una temperatura de 50 °C observada en el microscopio óptico</i>	63
4.2.7.2.	<i>Celulosa a temperatura de 90 °C observada en el microscopio óptico</i>	65
4.2.8.	<i>Análisis de Espectroscopia FTIR de celulosa</i>	66
4.2.8.1.	<i>FTIR de celulosa de colillas de cigarrillo</i>	67
4.2.8.2.	<i>FTIR de celulosa de papel reciclado</i>	68
4.2.8.3.	<i>FTIR de celulosa de tusa de maíz</i>	69
4.2.8.4.	<i>FTIR de celulosa de cáscara de piña</i>	70
4.2.8.5.	<i>FTIR celulosa de cáscara de piña con adición de ácido acético</i>	71
4.3.	Resultados de la síntesis de nanocelulosa	72
4.3.1.	<i>Caracterización óptica de nanocelulosa</i>	72
4.3.1.1.	<i>Nanocelulosa sintetizada a 50 °C vista en microscopio óptico</i>	72
4.3.1.2.	<i>Nanocelulosa sintetizada a 90°C vista en microscopio óptico</i>	74
4.3.2.	<i>Transmitancia de nanocelulosa sintetizada</i>	76
4.3.2.1.	<i>Transmitancia de nanocelulosa con barrido</i>	76
4.3.2.2.	<i>Transmitancia con tres puntos fijos para caracterizar nanocelulosa</i>	76
4.3.3.	<i>Espectroscopía FTIR de la nanocelulosa sintetizada a partir de los cuatro residuo</i>	77
4.3.3.1.	<i>FTIR de nanocelulosa de colillas de cigarrillo</i>	78

4.3.3.2.	<i>FTIR de nanocelulosa de papel reciclado</i>	79
4.3.3.3.	<i>FTIR de nanocelulosa de tusa de maíz</i>	80
4.3.3.4.	<i>FTIR de nanocelulosa de cáscara de piña</i>	81
4.3.3.5.	<i>FTIR de nanocelulosa de cáscara de piña con ácido acético</i>	82
4.3.4.	<i>Microscopia SEM</i>	83
4.3.5.	<i>Espectroscopia EDS</i>	86
4.4.	Prueba de hipótesis	89
4.4.1.	<i>Hipótesis general</i>	89
4.4.2.	<i>Hipótesis específicas</i>	89
4.4.2.1.	<i>Hipótesis 1</i>	89
4.4.2.2.	<i>Hipótesis 2</i>	90
4.4.2.3.	<i>Hipótesis 3</i>	90
4.4.2.4.	<i>Hipótesis 4</i>	91
	CONCLUSIONES	93
	RECOMENDACIONES	94
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Estudios realizados para la obtención de nanocelulosa	8
Tabla 2-2:	Componentes químicos de las fuentes de papel (%)	16
Tabla 3-3:	Matriz de consistencia	22
Tabla 4-3:	Identificación de variables	24
Tabla 5-3:	Operacionalización de variables	25
Tabla 6-3:	Diseño experimental ANOVA para la obtención de celulosa.	27
Tabla 7-3:	Determinación del porcentaje de humedad	30
Tabla 8-3:	Determinación del porcentaje de cenizas	30
Tabla 9-3:	Densidad	31
Tabla 10-3:	Solubilidad en agua caliente	31
Tabla 11-3:	Obtención de lignina.....	32
Tabla 12-3:	Obtención de alfa celulosa.....	32
Tabla 13-3:	Rendimiento de celulosa.....	33
Tabla 14-3:	Microscopio óptico para observar fibras	34
Tabla 15-3:	Análisis FTIR de la materia prima, celulosa y nanocelulosa.....	34
Tabla 16-3:	Análisis de microscopía óptica de barrido.....	35
Tabla 17-3:	Análisis UV Visible.....	35
Tabla 18-4:	Resultados de los análisis generales de la materia prima	48
Tabla 19-4:	Porcentaje de humedad de la muestra seca.....	48
Tabla 20-4:	Porcentaje de cenizas de la materia prima.....	49
Tabla 21-4:	Porcentaje de solubilidad en agua caliente de las muestras.....	49
Tabla 22-4:	Densidad de muestras secas.....	50
Tabla 23-4:	Determinación del porcentaje de lignina presente en las muestras	51
Tabla 24-4:	Porcentaje de alfa celulosa a partir de la materia prima	51
Tabla 25-4:	Rendimiento de celulosa a partir de la muestra de colillas de cigarrillo	56
Tabla 26-4:	Rendimiento de celulosa a partir de la muestra pretratada de papel reciclado	57
Tabla 27-4:	Rendimiento de celulosa a partir de la muestra pretratada de tusa de maíz	57
Tabla 28-4:	Rendimiento de celulosa a partir de la muestra pretratada de cáscaras de piña	58
Tabla 29-4:	Rendimiento de alfacelulosa.....	58
Tabla 30-4:	Media de valores.....	59
Tabla 31-4:	ANOVA de celulosa de cáscara de piña.....	60
Tabla 32-4:	Media de valores.....	61
Tabla 33-4:	ANOVA de celulosa tusa de maíz.....	61

Tabla 34-4: Media de valores.....	62
Tabla 35-4: ANOVA de celulosa de papel reciclado.....	62
Tabla 36-4: Media de valores.....	63
Tabla 37-4: ANOVA de celulosa de colillas de cigarrillo	63
Tabla 38-4: Porcentaje de transmitancia obtenida de nanocelulosa sintetizada.....	77
Tabla 39-4: Composición nanocelulosa de tusa de maíz	87
Tabla 40-4: Composición nanocelulosa colillas de cigarrillo	87
Tabla 41-4: Composición nanocelulosa cáscara de piña.....	88
Tabla 42-4: Composición nanocelulosa papel reciclado.....	88
Tabla 43-4: Rendimiento de celulosa de residuos.....	90

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-2:	Estructura molecular de celulosa	10
Ilustración 2-2:	Estructura molecular de hemicelulosa	12
Ilustración 3-2:	Estructura molecular de lignina	12
Ilustración 4-2:	Representación de Piña.....	13
Ilustración 5-2:	Representación de maíz	14
Ilustración 6-2:	Estructura de una hoja de papel	15
Ilustración 7-2:	Estructura del cigarrillo	16
Ilustración 8-3:	Diagrama de flujo para el pre tratamiento de la tusa de maíz, cáscara de piña, papel reciclado y colillas de cigarrillo.....	36
Ilustración 9-3:	Selección y pesaje de tusa de maíz	37
Ilustración 10-3:	A) Troceado de la tusa y B) Secado en estufa	37
Ilustración 11-3:	A) Molienda de tusa y B) Tamizado.....	38
Ilustración 12-3:	Recolección de cáscara de piña.....	38
Ilustración 13-3:	Troceado y secado de cáscara de piña	39
Ilustración 14-3:	A) Molienda de cáscara de piña y B) Tamizado.....	40
Ilustración 15-3:	Pretratamiento de cáscara de piña.....	40
Ilustración 16-3:	A) Troceado de papel reciclado, B) Pretratamiento y C) Molienda	41
Ilustración 17-3:	Purificación de colillas de cigarrillo con etanol y B) Recorte	42
Ilustración 18-3:	Eliminación del carbón	42
Ilustración 19-3:	Diagrama de flujo para la obtención de celulosa	43
Ilustración 20-3:	Tratamiento alcalino de celulosa	44
Ilustración 21-3:	Lavado con agua destilada.....	44
Ilustración 22-3:	Obtención de celulosa.....	45
Ilustración 23-3:	Hidrólisis ácida de celulosa	45
Ilustración 24-3:	Centrifugado y lavado de nanocelulosa	46
Ilustración 25-3:	Síntesis de nanocelulosa	46
Ilustración 26-3:	Diagrama de flujo para la síntesis de nanocelulosa	47
Ilustración 27-4:	Representación de la materia prima en el microscopio óptico: A) Colilla de cigarrillo, B) Papel reciclado, C) Tusa de maíz y D) Cáscara de piña	53
Ilustración 28-4:	Espectroscopia FTIR de colillas de cigarrillo	54
Ilustración 29-4:	Espectroscopia FTIR de papel reciclado.....	54
Ilustración 30-4:	Espectroscopia FTIR de la muestra de cáscara de piña seca	55
Ilustración 31-4:	Espectroscopia FTIR de la muestra de tusa de maíz seca.....	55

Ilustración 32-4:	Normalidad en el rendimiento de celulosa de cáscara de piña.....	59
Ilustración 33-4:	Normalidad para el rendimiento de celulosa tusa de maíz.....	60
Ilustración 34-4:	Normalidad celulosa de papel reciclado	61
Ilustración 35-4:	Normalidad de celulosa de colillas de cigarrillo.....	62
Ilustración 36-4:	Ilustración de celulosa a 50°C: A) Colilla de cigarrillo, B) Papel reciclado, C) Tusa de maíz, D) Cáscara de piña y E) Cáscara de piña con acético	64
Ilustración 37-4:	Ilustración de celulosa a 90°C: A) Colilla de cigarrillo, B) Papel reciclado, C) Tusa de maíz, D) Cáscara de piña y E) Cáscaras de piña con acético....	66
Ilustración 38-4:	FTIR de celulosa de colillas de cigarrillo a 50°C y 90°C respectivamente .	67
Ilustración 39-4:	FTIR de celulosa de papel reciclado a 50°C y 90°C respectivamente.....	68
Ilustración 40-4:	FTIR celulosa de tusa de maíz a 50 °C y 90 °C respectivamente	69
Ilustración 41-4:	FTIR de celulosa de cáscara de piña a 50°C y 90°C respectivamente.....	70
Ilustración 42-4:	FTIR de celulosa de piña con acético a 50°C y 90°C respectivamente	71
Ilustración 43-4:	Nanocelulosa a 50 °C: A) Colilla de cigarrillo, B) Papel reciclado, C) Tusa de maíz, D) Cáscara de piña y E) Cáscaras de piña con ácido acético.....	73
Ilustración 44-4:	Nanocelulosa a 90 °C: A) Colilla de cigarrillo, B) Papel reciclado, C) Tusa de maíz, D) Cáscara de piña y E) Cáscaras de piña con ácido acético.....	75
Ilustración 45-4:	Transmitancia de nanocelulosa	76
Ilustración 46-4:	FTIR de nanocelulosa de colillas de cigarrillo a 50°C y 90°C respectivamente.....	78
Ilustración 47-4:	FTIR de nanocelulosa de papel reciclado a 50°C y 90°C respectivamente .	79
Ilustración 48-4:	FTIR de nanocelulosa de tusa de maíz a 50°C y 90°C respectivamente	80
Ilustración 49-4:	FTIR de nanocelulosa de cáscara de piña a 50°C y 90°C respectivamente .	81
Ilustración 50-4:	FTIR de celulosa de cáscara de piña con ácido acético a 50°C y 90°C respectivamente.....	82
Ilustración 51-4:	A) Colilla de cigarrillo a 5um, B) 10um C) papel reciclado a 5um, D) 10um, E) tusa de maíz a 5um, F) 10um G) cáscara de piña a 50um y H) 10um. ...	85
Ilustración 52-4:	Nanocelulosa de tusa de maíz	87
Ilustración 53-4:	Nanocelulosa colillas de cigarrillo.....	87
Ilustración 54-4:	Nanocelulosa cáscara de piña	88
Ilustración 55-4:	Nanocelulosa papel reciclado	88
Ilustración 56-4:	Rendimiento de celulosa.....	91
Ilustración 57-4:	Transmitancia de nanocelulosa.....	92

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD EN MUESTRA SECA
- ANEXO B:** DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE CENIZAS
- ANEXO C:** SOLUBILIDAD EN AGUA CALIENTE
- ANEXO D:** DENSIDAD
- ANEXO E:** DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE LIGNINA EN LAS MUESTRAS
- ANEXO F:** DETERMINACIÓN DE ALFA CELULOSA
- ANEXO G:** PRETRATAMIENTO DE CÁSCARA DE PIÑA
- ANEXO H:** PRETRATAMIENTO DE TUSA DE MAÍZ
- ANEXO I:** PRETRATAMIENTO DE COLILLAS DE CIGARRILLO Y PAPEL RECICLADO
- ANEXO J:** OBTENCIÓN DE CELULOSA A PARTIR DE MATERIA PRETRATADA DE TUSA DE MAÍZ Y CÁSCARA DE PIÑA
- ANEXO K:** OBTENCIÓN DE CELULOSA A PARTIR DE MATERIA PRETRATADA DE PAPEL RECICLADO Y COLILLAS DE CIGARRILLO
- ANEXO L:** SÍNTESIS DE NANOCELULOSA DE TUSA DE MAÍZ Y CÁSCARA DE PIÑA
- ANEXO M:** SÍNTESIS DE NANOCELULOSA DE COLILLAS DE CIGARRILLO Y PAPEL RECICLADO
- ANEXO N:** APLICACIÓN DE FÓRMULAS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

T	Temperatura
t	Tiempo
h	Horas
min	Minutos
cm	Centímetro
nm	Nanómetro
um	Micrómetro
ml	Mililitros
pH	Potencial de hidrógeno
g	Gramos
kg	Kilogramos
Tr	Transmitancia
NaOH	Hidróxido de sodio
H₂SO₄	Ácido sulfúrico
EDS	Espectroscopia de dispersión de energía
FTIR	Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier
SEM	Microscopía Electrónica de Barrido
R1p	Repetición uno cáscaras de piña
R2p	Repetición dos cáscaras de piña
R3p	Repetición tres cáscaras de piña
R1m	Repetición uno tusa de maíz
R2m	Repetición dos de tusa de maíz
R3m	Repetición tres de tusa de maíz
R1pr	Repetición uno papel reciclado
R2pr	Repetición dos de papel reciclado
R3pr	Repetición tres de papel reciclado
R1c	Repetición uno colillas de cigarrillo
R2c	Repetición dos colillas de cigarrillo
R3c	Repetición tres colillas de cigarrillo

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue obtener nanocelulosa a partir de residuos de biomasa de cáscaras de piña, tusa de maíz, colillas de cigarrillo y papel reciclado, mediante un estudio teórico práctico con base a procesos fisicoquímicos. Se inició con la caracterización de los residuos que actuaron como materia prima para el procedimiento, determinando el porcentaje de humedad, cenizas, densidad, solubilidad en agua caliente, lignina y alfa celulosa; además, la materia prima, celulosa y nanocelulosa se analizó a través del microscopio óptico, espectroscopia infrarroja (FTIR), microscopía electrónica de barrido (SEM) y espectrofotómetro UV Visible. El proceso comenzó con la realización de un pretratamiento por cada materia prima, posteriormente se extrajo celulosa con tres repeticiones por tratamiento alcalino con hidróxido de sodio (NaOH) al 5% a dos temperaturas (50°C ; 90°C), en el caso de la cáscara de piña se añadió ácido acético (CH₃COOH) en relación 3:1, para obtener una celulosa blanquecina se empleó hipoclorito de sodio (NaClO) al 1%, se interpretó los resultados mediante un análisis estadístico ANOVA, considerando que el tratamiento del papel reciclado obtuvo el mejor rendimiento (89,19% a 50°C). Finalmente se sintetizó nanocelulosa aplicando el proceso de hidrólisis ácida donde se utilizó ácido sulfúrico (H₂SO₄) al 65%, a 45°C, adicionando ultrasonido. Se concluye que las muestras de nanocelulosa poseen una transmitancia entre 1,826 y 93,878%, presenta medidas específicas que varían entre 50nm a 9um identificadas a partir del SEM, se observó los grupos funcionales que presenta la celulosa empleando FTIR y el EDS demostró que la composición está dada por carbono y oxígeno. Se recomienda realizar un mejor pretratamiento para eliminar impurezas y así evitar que la celulosa se compacte; respecto a la nanocelulosa para su caracterización realizar láminas con un espesor favorable y diluciones apropiadas.

Palabras clave: <CÁSCARAS DE PIÑA>, <TUSAS DE MAÍZ>, <COLILLAS DE CIGARRILLO>, <PAPEL RECICLADO>, <TRATAMIENTO ALCALINO>, <CELULOSA>, <HIDRÓLISIS ÁCIDA>, <NANOCELULOSA>.

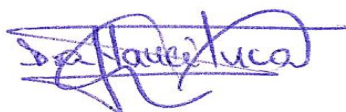


2283-DBRA-UTP-2022

ABSTRACT

The research objective was to obtain nanocellulose from biomass residues of pineapple peels, corn husks, cigarette butts and recycled paper, by means of a theoretical and practical study based on physicochemical processes. It began with the characterization of the residues that acted as raw material for the procedure, determining the percentage of moisture, ash, density, solubility in hot water, lignin and alpha cellulose; in addition, the raw material, cellulose and nanocellulose were analyzed by optical microscopy, infrared spectroscopy (FTIR), scanning electron microscopy (SEM) and UV Visible spectrophotometer. The process began with the implementation of a pretreatment for each raw material, then cellulose was extracted with three replicates by alkaline treatment with 5% sodium hydroxide (NaOH) at two temperatures (50°C; 90°C), in the case of pineapple peel acetic acid (CH₃COOH) was added at a ratio of 3: 1, to obtain a whitish cellulose 1% sodium hypochlorite (NaClO) was used, the results were interpreted by ANOVA statistical analysis, considering that the recycled paper treatment obtained the best yield (89.19% at 50°C). Finally, nanocellulose was synthesized by applying the acid hydrolysis process using 65% sulfuric acid (H₂SO₄), at 45°C, with the addition of ultrasound. It is concluded that the nanocellulose samples have a transmittance between 1.826 and 93.878%, it presents specific measurements that vary between 50nm to 9um identified from the SEM, the functional groups that cellulose presents were observed using FTIR and the EDS showed that the composition is given by carbon and oxygen. It is recommended to carry out a better pretreatment to eliminate impurities and thus prevent the cellulose from compacting; with respect to the nanocellulose for its characterization, to make sheets with a favorable thickness and appropriate dilutions.

Key words: <PINEAPPLE SHELLS>, <MAIZE CUTTINGS>, <CIGARETTE STRAWINGS>, <CYRIL STRAWINGS>, <CYCELLULOSE>, <ACID HYDROLYSIS>, <ACID HYDROLYSIS>, <NANOCELLULOSE>.



Dra. Nanci Inca Mgs.

0602926719

INTRODUCCIÓN

En Ecuador se genera cerca de 375 mil toneladas de residuos sólidos, donde el 57 % de estos residuos son orgánicos y el 43 % son inorgánicos, provenientes de industrias domésticas, agrícolas, manufactureras, alimenticias y agroindustriales (El Universo, 2020). Con el pasar del tiempo y con la ayuda de estudios realizados en la actualidad estos residuos pueden ser aprovechados por sus diferentes propiedades, estructura y composición físico química, por tal razón se han generado diversos experimentos de extracción para determinar la reutilización de los mismos de una manera más fácil e idónea (Riera et al., 2019: pp.227-246), convirtiéndolos así en materias primas para diversas investigaciones y aplicaciones, como por ejemplo en este caso se utilizarán dos residuos industriales y dos agrícolas para la obtención de celulosa y síntesis de nanocelulosa.

La celulosa es apreciada como uno de los polímeros biodegradables con mayor abundancia en la naturaleza debido a que se la puede encontrar en cualquier tipo de planta existente en el ecosistema, por tal razón se estima que es una materia prima casi inagotable por su diversidad de origen o naturaleza y es considerada además como una fuente clave para ser utilizada en la obtención de materiales sostenibles amigables con el medio ambiente a escala industrial. Por su versatilidad puede ser obtenida a partir de varios residuos de fuetes agroindustriales, entre los que se encuentran la cáscara de piña, tusa de maíz, papel reciclado y colillas de cigarrillo, tradicionalmente es aislada empleando diferentes tipos de procesos físicos, mecánicos y químicos dependiendo del tamaño, tipo o pureza que se desea conseguir en la estructura del material a obtener (Gañán et al., 2017: pp.1-4).

De manera general el termino nanocelulosa hace referencia a extractos celulósicos o materiales procesados a partir de celulosa que presentan dimensiones estructurales a escala nanométrica, la demanda actual de materiales de alto rendimiento que poseen propiedades físicas y mecánicas aceptables en el mercado establece que la nanocelulosa será el material renovable más cotizado a futuro, para aplicaciones avanzadas en los campos de la ciencia de los materiales e ingeniería (Abitbol et al., 2016: pp.76-88).

Con el incremento de investigaciones se han encontrado aplicaciones significativas en la industria textil donde se han empleado nanomateriales para instrumentos de uso deportivo como en la ropa y por la calidad de celulosa obtenida se han ido creando gran cantidad de diseños en la industria papelera, de igual manera durante los últimos años se ha ido desarrollando, generando e incrementando varios productos en la industria de pinturas, vidrio, plástico, alimenticia, farmacéutica, entre otras, siendo este el motivo por el cual se considera que en algunos años este nanomaterial tendrá un incremento en su aplicabilidad.

CAPÍTULO I

1.PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.Planteamiento del Problema

En la actualidad, es importante implementar la cultura de reciclar, recuperar y reutilizar los diferentes tipos de residuos o desechos conocidos como basura, para lograr un ecosistema limpio, donde se busca disminuir a gran escala la contaminación ambiental y contribuir a la economía circular.

En Ecuador se pueden aprovechar al máximo residuos de biomasa, porque es un país rico en producción agrícola, de ahí, que existe una gran cantidad de bagazo, rastrojo y cáscaras después de realizar la cosecha, postcosecha, o el debido procesamiento al producto, pero estos residuos no son aprovechados, en su gran mayoría son esparcidos en parcelas o quemados a cielo abierto generando contaminación al aire y a la estructura del suelo. Según (Mugica Álvarez, 2016, p.5), los contaminantes más significativos procedentes de la quema agrícola son las partículas suspendidas (PM₁₀ y menores), el monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), los óxidos de nitrógeno (NO_x), los hidrocarburos (NMHC), el dióxido de azufre (SO₂) y los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP). Los daños que ocasiona la contaminación ambiental son la falta de visibilidad y en especial el olor que emana. Además, a estas preocupaciones se aumentan los problemas en la salud, ocasionados al respirar las partículas suspendidas en el entorno y el humo. Al igual que se genera contaminación por residuos sólidos comunes cuando se tira las botellas, colillas de cigarrillo, volantes, hojas, recibos, publicidades al piso, debido a que su composición no es biodegradable y tienen una degradación muy lenta, generando problemas especialmente en las ciudades, porque estos residuos se mezclan habitualmente con los lixiviados liberando componentes tóxicos (Jáuregui Montes, 2019, p.1). Las colillas de cigarrillo son pequeños desperdicios enviados al suelo todos los días, debido a que existe una gran cantidad de consumidores de tabaco y no son tratadas de la manera correcta por su tamaño, al igual que las hojas de papel son desechas a la basura o quemadas, pero con el reciclaje de residuos sólidos se han estado realizando estudios para crear productos amigables con el medio ambiente. Por medio del artículo 55 que se encuentra escrito dentro de la Función Legislativa de la Ley Orgánica de la (Asamblea Nacional de la República del Ecuador, 2021) se concluyó que el Ecuador recupera apenas el 4% del total de residuos sólidos que genera la población, perdiendo millones de dólares por no reciclar o reutilizar lo que se arroja a la basura. La Autoridad Ambiental Nacional (AAN) trabaja con estos desechos sólidos, se encarga de la proyección, regulación, gestión integral, inspección y dirección de los residuos sólidos, en conjunto con los gobiernos autónomos descentralizados municipales como Autoridad

Ambiental de Aplicación (AAA) (Consejo Nacional de Competencias, 2019). La manera establecida para la reutilización de residuos sólidos resulta a partir del ciclo de vida que posee cada residuo en específico, por lo general es una sucesión de 5 períodos: recolectar el residuo, transportarlo, reciclarlo, valorizarlo en materia o energía y tratarlo, hasta finalmente colocarlo en un sitio seguro o darle una nueva aplicación (Tello Espinoza et al., 2018: p.243).

Por todo lo expuesto, este trabajo de investigación, busca brindar una opción de reciclaje de desechos para transformarlos en nanomateriales que pueden ser utilizados en aplicaciones medio ambientales y tecnológicas, logrando de ellos obtener nanocelulosa, partiendo de métodos y procesos físicos y químicos, centrándonos en residuos agrícolas utilizando la piña, maíz y residuos sólidos como son las colillas de cigarrillo y papel reciclado.

1.2.Limitaciones y delimitaciones

El presente trabajo se centra en la síntesis de nanocelulosa con cuatro residuos utilizados como materias primas a ser estudiadas, las cuales son cáscaras de piña, tusas de maíz, colillas de cigarrillo y papel reciclado, con el fin de determinar que residuo tiene un mejor rendimiento de celulosa para la obtención de nanocelulosa, como primera instancia se realiza un pretratamiento de cada una de las materias primas, posteriormente se obtiene celulosa con tres repeticiones por cada materia prima y finalmente se sintetiza nanocelulosa a partir de la celulosa. De igual manera se realiza la caracterización de la materia prima determinando: humedad, cenizas, lignina, alfa celulosa, densidad y solubilidad; mientras que la nanocelulosa se caracteriza a través de microscopía óptica, microscopía SEM, espectroscopía FTIR y EDS.

1.3.Problema General de Investigación

¿Se podrá obtener nanocelulosa a partir de residuos de biomasa de cáscara de piña, tusa de maíz, colillas de cigarrillo y papel reciclado?

1.4.Problemas específicos de investigación

-¿Con cada uno de los residuos a utilizar se podrán realizar pretratamientos para obtener fibras pretratadas?

-¿Cómo se extraerá celulosa desde los residuos de la cáscara de piña, tusa de maíz, colillas de cigarrillo y papel reciclado?

-¿Las características que poseen los residuos serán propicias para extraer nanocelulosa?

-¿Cuál es el mejor rendimiento de celulosa y nanocelulosa partiendo de la materia prima y cuál es el residuo que permite un método más sencillo y amigable con el medio ambiente para extraer nanocelulosa?

1.5.Objetivos

1.5.1.Objetivo General

Obtener nanocelulosa a partir de residuos de biomasa de cáscaras de piña, tusa de maíz, colillas de cigarrillo y papel reciclado, mediante un estudio teórico práctico con base a procesos fisicoquímicos.

1.5.2.Objetivos Específicos

-Establecer los métodos de pretratamiento para cada uno de los residuos que se utilizarán, los cuales son considerados como materia prima para la obtención de nanocelulosa.

-Extraer celulosa a partir de residuos de cáscara de piña, tusa de maíz, colillas de cigarrillo y papel reciclado.

-Caracterizar las muestras de nanocelulosa mediante microscopia SEM, espectroscopia FTIR y espectroscopia EDS.

-Comparar los valores obtenidos de celulosa y nanocelulosa que surgen a partir de la materia prima, para establecer el rendimiento de cada residuo y determinar el método más sencillo de obtención para la síntesis de los nanomateriales.

1.6.Justificación

1.6.1.Justificación Teórica

La agricultura ecuatoriana es una fuente importante de economía para el país por la gran variedad de productos que posee, entre los más representativos se encuentran: arroz, fresa, quinua, banano, papa, café, trigo, caña de azúcar, cebada, piña, maíz, y palma africana, estos generan residuos agrícolas como el bagazo o rastrojo, ricos en lignocelulosa que no es aprovechada en su totalidad por los agricultores. Con la fuerte demanda en la fabricación de productos a base de papel, la cantidad de papel desechado como basura, aumentó considerablemente (Panyella Ángel, 2010, pp.1-13), debido a que es un material que se lo vota de manera instantánea porque no es un material utilizado de forma continua, dado que la información que posee en la mayoría de veces es leída,

analizada y respondida en ese mismo momento, quitándole su utilidad, no obstante, se lo puede reutilizar previo a un tratamiento, debido a que está compuesto de fibras de celulosa. Del mismo modo, las colillas de cigarrillo, constituyen parte de la basura más frecuente que se encuentra con facilidad en espacios públicos, tienen características tóxicas y peligrosas debido a la cantidad de carbón que poseen, pero al estar formadas con filtros hechos de acetato de celulosa (Libera, 2018), se las puede reutilizar para obtener celulosa con procesos físicos y químicos adecuados. Empleando estos residuos, se busca dar un valor agregado a la materia sintetizando nanocelulosa, al igual que proteger al medio ambiente al momento de reducir la contaminación en el suelo y en las fuentes hídricas.

1.6.2. Justificación Metodológica

La celulosa es un polímero natural renovable y biodegradable que lo podemos encontrar en la naturaleza, altamente utilizada en aplicaciones industriales (Labeaga Viteri y Casquero Ruiz, 2018: p.10). Se obtiene especialmente de la madera y el algodón. Al remover los fragmentos amorfos de celulosa se quedan las partes cristalinas, conocidas como nanocelulosa, debido a que sus dimensiones están dentro del rango de nanómetros, posee varias formas de obtención entre los métodos más comunes se encuentran la hidrólisis ácida y el ultrasonido (Castro Guerrero y Delgado Arroyo, 2016: pp.1-4).

1.6.3. Justificación Práctica

Esta investigación pretende brindar una alternativa al uso de los residuos de piña, maíz, cigarrillo y papel, generando una transformación positiva al momento que se obtenga la nanocelulosa; material resistente, biodegradable, ligero, sustentable, altamente cristalino y posee un bajo costo de la materia prima para su obtención, ya que estos residuos poseen un contenido de celulosa alto: la hoja de piña 43.53 %, cáscara de piña 40.55 % (Sánchez Pardo et al., 2014: pp.53-56); hoja de mazorca 43.14% (Prado Martínez et al., 2012: pp.37-51); tusa del maíz 18-40%, tallo del maíz 50% (González Velandia et al., 2016: pp.499-517); colillas de cigarrillo 40% (Libera, 2018); hojas de papel recicladas 37% (García Berfon et al., 2021: pp.1-13), a partir de la celulosa que aportan estos materiales se extraerá la nanocelulosa, que posteriormente se puede utilizar en la elaboración de farmacéuticos, tintas, componentes electrónicos, pantallas flexibles, materiales porosos, vidrio, papel, ladrillos, cemento y alimentos.

Debido a que en el Ecuador no existen muchos estudios sobre el tema y no se ha desarrollado una aplicación de manera industrial con la nanocelulosa (CNC) a partir de los residuos agrícolas e industriales, la presente investigación busca implementar una serie de estudios teóricos prácticos

a nivel de laboratorio, con el fin de establecer si los residuos agrícolas y sólidos del país pueden constituirse en fuentes viables para la obtención de este nanomaterial.

1.7.Hipótesis

1.7.1.Hipótesis general

A través de residuos de biomasa agrícolas e industriales se obtiene nanocelulosa empleando procesos fisicoquímicos como una alternativa para aplicarla en los procesos industriales.

1.7.2.Hipótesis específicas

-La materia prima tiene su composición específica, por lo cual es viable realizar los pretratamientos utilizando el secado, triturado, molienda, tamizado, logrando una purificación considerable.

-Es posible extraer celulosa mediante métodos físico-químicos (lavado, filtrado, tratamiento alcalino, blanqueamiento y secado); posteriores al pretratamiento.

-La formación de nanocelulosa es factible analizarla mediante microscopia SEM, espectroscopia FTIR y EDS.

-Utilizando los residuos de biomasa de cáscaras de piña, tusa de maíz, colillas de cigarrillo y papel reciclado se establece que el mejor rendimiento de obtención de celulosa y nanocelulosa es factible sintetizarla a partir de los residuos industriales.

CAPÍTULO II

2.MARCO TEÓRICO

2.1.Antecedentes de la Investigación

La materia prima para la fabricación comercial de nanocelulosa es la madera, pero la desventaja de utilizarla es que se requiere mucha agua y una gran cantidad de energía, porque es un material duro para disminuirle a astillas o aserrín, además que se producen subproductos contaminantes como: ácidos, residuos de cloruros, hidróxido de potasio e hidróxido de sodio (Chávez Guerrero, 2018, p.15). Por otra parte debido al incremento de estudios, se ha demostrado que los residuos de biomasa también se pueden utilizar como materia prima para la fabricación de nanocelulosa con fines productivos con perspectivas a nivel industrial, esto ayudará a disminuir la contaminación mediante la reutilización de desechos (Yu et al., 2021: pp.2-9).

Mediante la investigación realizada por (Castro Guerrero y Delgado Arroyo, 2016: pp.1-4) determinaron que la nanocelulosa se puede obtener a través de dos técnicas: la mecánica y la química. La técnica mecánica inicia con la trituración del material utilizando como equipo principal un molino, el cual elimina las partes disformes de la celulosa y deja únicamente las partes cristalinas, al terminar el proceso se filtran los cristales para separar las partículas con mayor tamaño. Esta técnica no es muy utilizada porque el tanto por ciento de cristalinidad disminuye por cada molienda realizada. La técnica química se lleva a cabo con el aprovechamiento de la celulosa obtenida mediante la manipulación de varios ácidos, por lo general se utiliza el ácido sulfúrico. La celulosa se trata con una mezcla diluida de ácido a una determinada temperatura durante un cierto período de tiempo, la muestra se disuelve con agua destilada, se lava por centrifugación, se lleva a zonificación para romper los agregados, y por último los nanocristales de celulosa atraviesan por una disolución de diálisis para eliminar aniones e impurezas.

Por medio del estudio llevado a cabo por (Chávez Guerrero, 2018, p.15), para sintetizar celulosa se necesita un preprocesamiento de la materia prima, para eliminar los componentes no deseados como la lignina, hemicelulosa o pectina, donde se utiliza diferentes métodos, como el uso de solventes, ácidos, bases, líquidos iónicos y oxidantes. Con este preprocesamiento se consiguen microfibras con zonas amorfas y cristalinas, estas microfibras disminuyen su tamaño nanométrico por diversos métodos, el más empleado es la hidrólisis ácida, que utiliza altas concentraciones de ácido sulfúrico para alcanzar la despolimerización de la celulosa.

Tabla 1-2: Estudios realizados para la obtención de nanocelulosa

Tema de estudio	Año	Materia prima	Metodología de extracción	Fuente
Extraction and characterization of nanocellulose structures from raw cotton linter	2015	Residuos de algodón	Hidrólisis ácida	(Morais et al., 2013)
Nanofibrillated cellulose (CNF) from eucalyptus sawdust as a dry strength agent of unrefined eucalyptus handsheets	2016	Aserrín del árbol de eucalipto.	Oxidación TEMPO mediante NaOCl (medio básico) y homogeneización mecánica.	(Vallejos et al., 2016)
Preparation and Characterization of Cellulose and Nanocellulose from Agro-industrial Waste - Cassava Peel	2017	Cáscara de yuca	Tratamiento alcalino, proceso de blanqueo, hidrólisis a partir del ácido sulfúrico.	(Widiarto et al., 2017)
Production of nanofibrillated cellulose with superior water redispersibility from lime residues via a chemical-free process	2018	Cenizas de cal	Esterilización autoclave, homogeneización de cizallamiento y presión alta.	(Jongaroontaprangsee, Chiewchan y Devahastin, 2018)
Preparation and characterization of cellulose nanofibrils from coconut coir fibers and their reinforcements in biodegradable composite films	2019	Cáscara de coco	Tratamiento alcalino, inmersión en solvente, blanqueo, oxidación TEMPO.	(Wu et al., 2019)

Fuente: (Yu et al., 2021: pp.5-6).

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

Se proyecta que la tasa anual de crecimiento de nanocelulosa al 2025 sea del 18,80%, no obstante, lograr un rendimiento económico y una estabilidad mediante la fabricación de materiales a base de nanocelulosa presenta desafíos de producción, debido que aún deben abordarse temáticas de comercialización y seguridad, especialmente con la manipulación de medicamentos y alimentos. En el presente, pocas son las empresas que han logrado comercializar la nanocelulosa y productos de la misma con un elevado valor agregado aceptable (Yu et al., 2021: pp.2-9).

2.2. Referencias Teóricas

2.2.1. Biomasa

La biomasa se forma a partir de residuos producidos por transformaciones naturales o artificiales de microorganismos, plantas y animales. Es renovable porque cumple un ciclo natural, en el que las plantas inician sus procesos fotosintéticos para atraer energía solar y de igual manera se produce el ciclo de carbono con los materiales que conforman la naturaleza. La biomasa es importante para mantener y salvaguardar la biodiversidad y el enriquecimiento del suelo, considerada como una fuente alternativa para generar energías amigables con el ecosistema y un crecimiento económico a partir de residuos (Núñez Camargo, 2012, p.4).

2.2.1.1. Características

- Se almacena y convierte en energía.
- Se utiliza como un biomaterial.
- Fabricación de biodiésel amigable con el ambiente.
- Principal proveedor de energía renovable a nivel mundial (Yu et al., 2021: pp.2-9).

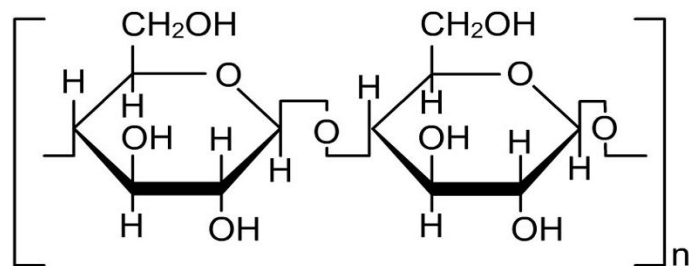
2.2.2. Celulosa

Es un producto de la biosíntesis vegetal, animal o bacteriana (Abitbol et al., 2016: pp.76-88). Es el biopolímero utilizado a nivel industrial, dado que es el elemento esencial estructural que se obtiene de la célula vegetal, se deriva especialmente de la madera y el algodón. Una nueva fuente para la fabricación de celulosa y sus derivados es el aprovechamiento de subproductos agrícolas comúnmente desechos. La celulosa es un polímero natural, compuesto por enlaces tridimensionales repetitivos de D-glucosa, con áreas cristalinas y amorfas. La pared celular de una planta, está constituida por macrofibras de hemicelulosa, celulosa y lignina, creando una textura sólida de filamentos, conformadas de microfibrillas compuestas de nanofibrillas (Araya Chavarría et al., 2019: p.2).

2.2.2.1. Estructura Química

La celulosa está conformada por la unión de varios anillos de β -glucosa, este ciclo se lo representa en forma de una silla a partir de grupos hidroxilo. La estructura de representación en la naturaleza es a través de una gran cantidad de unidades de monómeros para formar homopolímeros lineales

de cadenas extendidas que pueden poseer hasta 27000 de estos anillos. La distribución morfológica y el grado de polimerización de la planta depende de la fuente de la cual se obtiene, esto se debe a la estructura de las paredes celulares. Medir la longitud que posee una cadena de celulosa es un poco difícil debido a la forma de extracción que se realiza al momento de la degradación mecánica y enzimática por la cual debe pasar para obtenerla (Araya Chavarría, 2021, pp.6-8).



celulosa cellulose

Ilustración 1-2: Estructura molecular de celulosa

Fuente:(Voet y Voet, 2004: p.380).

2.2.2.2.Organización de las fases estructurales de celulosa

-Fase 1:

Macroscópico: fibra natural, microfibrilla y pared celular.

-Fase 2:

Nanoscópico: la más significativa por las propiedades químicas y físicas que presenta de la celulosa, conformada por nanofibrillas, microfibrillas y nanocristales.

Microfibrillas de celulosa o CMF, son unidades supramoleculares compuestas por un número significativo de cadenas paralelas poliméricas, su longitud no es definida, su diámetro medio es de 100nm aproximadamente, depende de su forma de extracción para determinadas características, posee partes cristalinas cuando se deriva de algas o bacterias, puede llegar a un 100% pero en las demás plantas la cristalinidad baja, tiene cadenas amorfas y específicas, está compuesta por una estructura de celulosa más delgada de varios nanómetros considerada como nanocelulosa, esta se divide en CNC y CNF, para determinar el compuesto se toma en cuenta el método de extracción, dimensiones y cristalinidad (Araya Chavarría, 2021, pp.6-8).

2.2.2.3.Propiedades

-Biodegradable.

- Buen precio para adquirirlo.
- Abundante en la naturaleza.
- Renovable (Morais et al., 2013: pp.229-235).
- Forma puentes de hidrógeno con facilidad.
- Posee un alto nivel de cristalinidad que controla las propiedades del polímero (Araya Chavarría, 2021, pp.6-8).

2.2.2.4. Procesos de obtención

La extracción de celulosa se realiza a partir de diferentes modelos lignocelulósicos, para lo cual se utiliza varias técnicas de ruptura entre la unión de celulosa, lignina y hemicelulosa, está se descompone mediante métodos de deslignificación y pretratamiento sin destruir las fibrillas de celulosa (Oliveira et al., 2017: pp.153-160).

Los procesos mecánicos de nanofibrilación de celulosa generan dificultades, debido a que se presentan diferentes problemas como el consumo energético alto, uso de solventes no muy amigables con el ambiente, disociación de fibrillas, por lo cual se han realizado estudios manipulando varios pretratamientos de extracción para mejorar los diferentes procedimientos, se recomienda utilizar los residuos húmedos para mantener así sus propiedades. Para separar la celulosa y luego la nanocelulosa se puede lograr empleando hidróxido de sodio con una manipulación en la temperatura para eliminar la lignina, hemicelulosa, proteínas (Araya Chavarría, 2021, p.15).

2.2.2.5. Aplicaciones

La celulosa se ha involucrado para ser utilizada en diversas industrias entre las más importantes se encuentra la producción de: gel, textiles, artículos electroquímicos, biomateriales, alimentos, tecnología, productos químicos y farmacéuticos (Pandi et al., 2021: p.1).

2.2.3. Hemicelulosa

La hemicelulosa es considerada como un polisacárido, normalmente contiene azúcares de estructuras amorfas: manosa, xilosa, galactosa, arabinosa y glucosa. Debido a sus ramificaciones se puede convertir fácilmente en varios componentes, es mucho más degradable que la celulosa y la lignina. Junto a la celulosa, la hemicelulosa es uno de los compuestos más comunes que conforman la biomasa lignocelulósica, representando cerca del 15-35% de la misma, la hemicelulosa que más abunda en la naturaleza es el xilano (Araya Chavarría, 2021, pp.6-8).

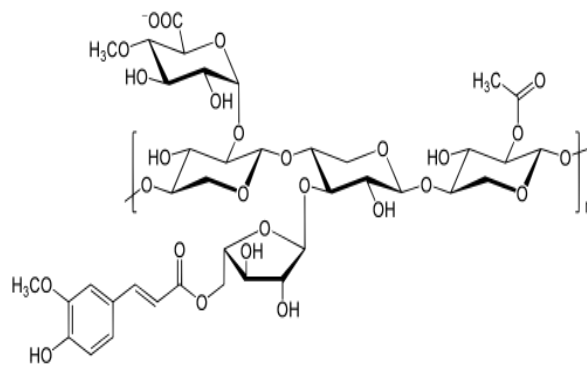


Ilustración 2-2: Estructura molecular de hemicelulosa

Fuente:(Parada Puig, 2019).

2.2.4.Lignina

La lignina deriva del latín *lignum* que significa madera, está compuesta por heteropolímeros aromáticos, esto ocasiona que las plantas cuando crecen vayan fortaleciendo sus paredes celulares y robusteciéndose, debido a que forman una estructura compacta que conecta los filamentos de celulosa. La estructura de la lignina depende del método de purificación, extracción u origen de su naturaleza (Araya Chavarría, 2021, pp.6-8).

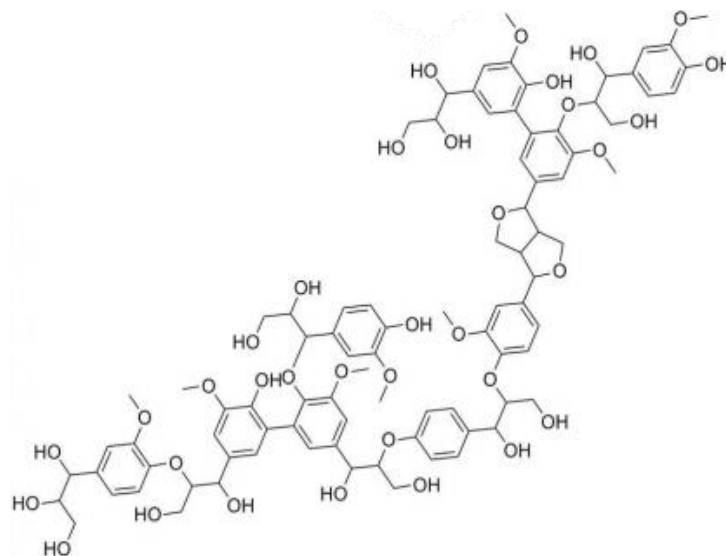


Ilustración 3-2: Estructura molecular de lignina

Fuente: (Centro Tecnológico de Investigación Multisectorial, 2017).

2.2.4.1.Características

- Es un polímero vegetal natural derivado a partir del fenilpropano.
- Tiene una resistencia ante la hidrólisis ácida.

-Es soluble cuando reacciona con fenoles, bisulfato, tioles, alcalinos condensables calientes y es ligeramente oxidable.

2.2.5. Residuos

Subproductos que se derivan de las transformaciones naturales o industriales que se llevan a cabo a partir de la materia orgánica. Por ejemplo, los residuos de cosecha y postcosecha, las podas de los cultivos, los efluentes ganaderos, residuos agrícolas, residuos industriales, residuos orgánicos de las plazas de los mercados, residuos forestales, entre otros (Núñez Camargo, 2012, p.4).

2.2.6. Residuos agrícolas

Los residuos o subproductos agrícolas se producen a partir de los procesos productivos y no suelen ser utilizados posteriormente en la manufactura. Por lo general estos materiales no están predestinados para el consumo humano, entre ellos se encuentran: hojas, cáscaras, flores, tallos y semillas (Peralta Holguín y Medina Serrano, 2021: pp.57-74).

La estructura química de los restos agrícolas se compone especialmente de lignina, pectina, celulosa, hemicelulosa y otros componentes insignificantes. Los residuos de celulosa están conformados por las partes de las plantas que no sean frutas y cultivos, como cascarilla, paja, bagazo, rastrojo, mazorca, tallos, hojas, que son obtenidos de la cosecha de maíz, arroz, caña de azúcar, trigo, entre otros (Yu et al., 2021: pp.2-9).

Los residuos agrícolas después del tratamiento de recuperación son empleados para crear productos con un pequeño valor agregado, entre ellos el más utilizado es el bagazo, con aplicaciones a nivel industrial como: generar energía eléctrica y vapor, diseño de biopolímeros, biomedicina, cosméticos, productos farmacéuticos, compost, alimento para animales y a través de un procesamiento para el ser humano y en la producción de bioetanol (Yu et al., 2021: pp.2-9).

2.2.6.1. Residuo agrícola de piña



Ilustración 4-2: Representación de Piña

Fuente: (Blogger, 2021).

El nombre científico de la piña es *Ananas comosus*, perteneciente a la familia de Bromeliáceas. Las plantas maduras miden de 1 a 2 metros de altura y de ancho, por lo que se requiere mucho espacio para su cultivo. La estructura de la planta está conformada por: corona, frutos, pedúnculo, tallo, brotes, hojas y raíces. Las frutas son gruesas y ovaladas, están formadas por: corona, cáscara, ovarios y base de sépalos, son consumidas por las personas para su alimentación (Araya Chavarría, 2021, pp.3-5).

-Cosecha y postcosecha

Para la cosecha de piña se requieren condiciones apropiadas; se considera una temperatura ambiente de 25 °C donde las plantas estén expuestas a la luz, el terreno debe ser por lo general en su totalidad plano, un pH neutro o ácido, flujo de agua permanente, oxígeno para las raíces y nutrientes (Araya Chavarría, 2021, pp.3-5).

La planta de piña crece lentamente, por lo que para producir dos cosechas se requiere de 27 meses, al final de este ciclo la biomasa se remueve y reinicia el proceso, la primera cosecha se da a los 15 meses y la segunda producción se cosecha después de 12 meses, de estas cosechas quedan residuos de tallos y hojas; el mayor desafío que se ha presentado en el cultivo es al desechar el rastrojo, debido al gran volumen que posee la planta y lenta descomposición de los tallos, el método que mayormente se utiliza es cortar el bagazo, secarlo con herbicidas y por último quemarlo si es necesario, otro método es utilizarlo como abono, donde el bagazo se entierra en el suelo para generar su descomposición (Araya Chavarría, 2021, pp.3-5).

2.2.6.2. Residuo agrícola de maíz



Ilustración 5-2: Representación de maíz

Fuente: (SheilaTN, 2021).

El maíz es cultivado en varios países a nivel mundial, produciéndose en grandes cantidades durante todo el año, al momento de la cosecha se producen residuos como hojas, tusas, tallos y raíces, en la actualidad estos desechos son manipulados para actuar como fuente de energía (Oliva Ruiz et al., 2019: p.3).

-Tusa de maíz

Es una estructura blanca, esponjosa, suave que se obtiene después de deshojar y desgranar el maíz, representa la médula donde crecen, se desarrollan y almacenan los granos. Está compuesto en base seca por celulosa (45%), hemicelulosa (35%) y lignina (15%) (Mena Viera, 2017, p.22).

2.2.7. Residuos Industriales

Los residuos industriales obtenidos a partir de la fabricación de muebles, alimentos, papel, embalaje, son desechos reciclables de recursos de biomasa. El método de extracción de nanocelulosa de estos desechos varía debido a la forma estructural y química de las materias primas que componen el tipo de residuo (Yu et al., 2021: pp.2-9).

2.2.7.1. Papel

La estructura básica que posee el papel es de una aglomeración de varias fibras alargadas de celulosa unidas mediante enlaces de hidrógeno (Teschke y Demers, 2009: p.5), las cuales se entrecruzan o entrelazan entre si formando una hoja resistente, lisa y flexible.

Para elaborar la pulpa de celulosa que forma el papel se realizan dos tipos de procedimiento los cuales son procesos mecánicos o químicos, de los cuales se crean diversos tipos de papel con diferente rigidez, forma, tamaño y blancura.

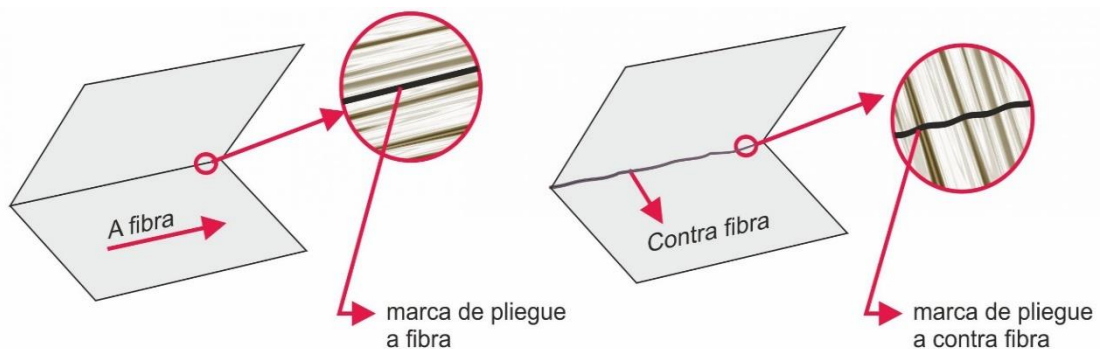


Ilustración 6-2: Estructura de una hoja de papel

Fuente: (Arkiplot, 2021).

-Fuentes principales y alternativas de obtención

La principal fuente de celulosa utilizada para la fabricación de pasta que conforma el papel es la madera de especies arbóreas de hoja secas y coníferas, dentro de las fuentes secundarias se encuentran paja de trigo, centeno y arroz; bagazo de caña; tallos bambú, lino y cáñamo, y fibras

de cortezas, semillas y hojas, como las del algodón, abacá y sisal. La mayor parte de pasta se obtiene de fibra virgen, aunque la producción actual de papel reciclado es cada vez mayor (Teschke y Demers, 2009: p.5).

Tabla 2-2: Componentes químicos de las fuentes de papel (%)

Carbohidratos	Maderas blandas	Maderas duras	Paja	Bambú	Algodón
α-celulosa	38-46	38-49	28-42	26-43	80-85
Hemicelulosa	23-31	20-40	23-38	15-26	
Lignina	22-34	16-30	12-21	20-32	
Extraíbles	1-5	2-8	1-2	0,2-5	
Minerales y otros compuestos inorgánicos	0,1-7	0,1-11	3-20	1-10	0,8-2

Fuente: (Teschke y Demers, 2009: p.5).

-Composición

Las fibras de madera que componen gran cantidad de diversos tipos de papeles existentes en el mercado son:

-Las fibras de coníferos (ciprés, pino, entre otros) poseen fibras resistentes, largas y con un alto grado de polimerización.

-Las fibras de maderas duras (eucalipto, álamo, entre otros) poseen fibras cortas, grado de polimerización bajo y un alto contenido de hemicelulosas.

2.2.7.2.Cigarrillo

El cigarrillo no es más que una envoltura de tabaco enrollado en su alrededor con papel, el cual contiene un filtro al final para evitar que el humo lleve residuos tóxicos hacia el fumador.



Ilustración 7-2: Estructura del cigarrillo

Fuente: (Cortés Pinto, 2016, p.2).

-Composición de las colillas

Por lo general los filtros de las colillas de cigarrillo están compuestos por acetato de celulosa producida al reaccionar la celulosa con el ácido acético, además posee un recubrimiento con termoplástico (Monzonía Marco, 2011, p.5). El filtro tiene el propósito de retener el alquitrán junto con el resto de productos perjudiciales para el consumidor, tanto los que lleva el tabaco como los producidos en la combustión del cigarrillo (Ramírez Murillo y Mosquera López, 2019: p.22).

-Tipos de cigarrillo:

-Con filtro

-Sin filtro

-Con cápsula

-De sabores

-Impacto al medio ambiente y salud

Las colillas de cigarrillo son el residuo más abundante en cada ciudad ya que en su mayoría son arrojados a los suelos, aceras y avenidas, contaminando el medio con los compuestos químicos que posee el tabaco, además de ser un residuo pequeño a simple vista, una colilla puede tardar entre 18 meses a 10 años mínimo en degradarse (Manrique Pinzón et al., 2017: pp.72-79).

2.2.8.Nanocelulosa

La nanocelulosa se obtiene de la celulosa a partir de un proceso químico, cuyas dimensiones estructurales se definen en el rango de nanómetros. El material hecho de nanocelulosa tiene varias ventajas como: ser más fuerte, más liviano, buen conductor, no tóxico, en gran medida absorbente (Cifuentes y Álvarez, 2020: pp.2-3).

2.2.8.1.Propiedades

-Tiene una gran capacidad para retener y absorber el agua.

-Alto valor de polimerización, fuerte y regular interacción entre enlaces y tejidos fibrosos.

-Es un componente que se relaciona de forma segura con los tejidos vivos.

-Estructura cristalina alta.

-Reciclables, renovables y biodegradables.

-Alto nivel de pureza, baja difusión térmica y alta durabilidad (Cifuentes y Álvarez, 2020: pp.2-3).

2.2.8.2. Características

- Es altamente renovable.
- Mejora la resistencia y dureza en un cuerpo.
- Posee una alta tenacidad.
- Tiene excelentes propiedades mecánicas e interesantes propiedades ópticas.
- Es de forma anisotrópica.
- Buena conductividad térmica.
- Química superficial adaptable (Huang et al., 2017: p.16).

2.2.8.3. Tipos de nanocelulosa

La nanocelulosa se puede clasificar en los siguientes materiales:

- Nanocristales de celulosa (CNC), también conocida como celulosa nanocristalina (NCC)

Los nanocristales de celulosa se forman por lo general a partir de la hidrólisis ácida en función del calor a partir del material lignocelulósico, utilizando ácido clorhídrico, ácido sulfúrico, ácido bromhídrico y ácido fosfórico. Sin embargo, el reactivo más comúnmente empleado para este proceso es el ácido sulfúrico, por su versatilidad para adaptarse a la síntesis del material y la alta estabilidad coloidal de las suspensiones (Meng et al., 2019: pp.341-347). Se los identifica por su forma de aguja, su largo es indefinido, su ancho es entre los 10 y 20 nm (Araya Chavarría, 2021, p.14).

- Nanofibrilla de celulosa (CNF), también llamada como nanocelulosa fibrilada (NFC) o celulosa microfibrilada (MFC)

Microfibrillas y nanofibrillas producidas por el proceso de desfibrilación de filamentos de celulosa (Yu et al., 2021: pp.2-9). Forman mallas extensas y flexibles, su diámetro es mayor o igual que los CNC, al igual que su cristalinidad es menor por las estructuras amorfas que contiene la celulosa, sus dimensiones y características dependen de la fuente de donde se extrae, la técnica de pretratamiento y obtención (Araya Chavarría, 2021, p.14).

Las nanofibrillas de celulosa se obtiene a partir de tres procedimientos principales:

- La descomposición mecánica, se realiza mediante: molino de bolas, trituration y estandarización.
- Métodos biológicos y pretratamientos químicos, como la oxidación TEMPO, hidrólisis de enzimas, y descomposición de la sal cuaternaria.
- Unión del procedimiento mecánico con el químico (Meng et al., 2019: pp.341-347).

-Celulosa bacteriana (BC), también llamada como nanocelulosa bacteriana, biocelulosa o celulosa microbiana

Es sintetizada especialmente por varios tipos de bacterias a partir de ácido acético (Yu et al., 2021: pp.2-9).

2.2.8.4. Procesos de obtención de la nanocelulosa

Las técnicas para obtener nanocelulosa se dividen en cuatro: Procesos químicos, procesos biológicos, procesos físicos y procesos combinados. Con respecto a las diferentes fuentes de materia prima se puede elaborar la nanocelulosa con propiedades químicas y estructurales en el mismo proceso de fabricación utilizado (Yu et al., 2021: pp.2-9).

La obtención de nanocelulosa requiere un procedimiento preliminar de la materia prima a utilizar:

-La disminución o deslignificación de la pulpa, se realiza para eliminar una proporción asequible de los componentes como son: pectina, lignina y hemicelulosa. Para este proceso se utiliza un método termoquímico del filamento celulósico, con diferentes reactivos químicos, como el NaOH, minerales ácidos y diluyente orgánico, cumpliendo los estándares de tiempo y temperatura. Se maneja de igual manera técnicas mecánicas asistidas para mejorar el procedimiento como secadores, trituradores y ultrasonidos (García et al., 2016: pp.26-38).

-La purificación o blanqueamiento de celulosa, se emplea para una separación eficiente de lignina, obteniendo un componente final más uniforme. Por lo general, esto se logra usando cloro en medio ácido. El lavado de las fibras de celulosa consigue la remoción de lignina, además de conducir a la formación de diámetros pequeños y un progreso en sus propiedades. Otras vías de blanqueamiento es el manejo del peróxido de hidrógeno u ozono (García et al., 2016: pp.26-38).

2.2.8.5. Aplicaciones

Tiene una variedad de usos, como: refuerzo para una variedad de materiales compuestos, nanopapeles, polímeros, envases, implantes médicos, dispositivos electrónicos, productos farmacéuticos, tratamiento de agua, nanofiltros, cosméticos, películas, recubrimiento de barreras (Cifuentes y Álvarez, 2020: pp.2-3).

-Nanocelulosa en materiales termoplásticos

La nanocelulosa se utiliza en la formación de polímeros termoplásticos para elaborar nanocompuestos duraderos y de bajo costo, con un impacto ambiental más ecológico (Abitbol et al., 2016: pp.76-88).

-Nanocelulosa en la medicina

La nanocelulosa tiene una biocompatibilidad excelente, toxicidad relativamente baja y una forma bien definida, esto la convierte en un biomaterial prometedor para aplicaciones médicas (Abitbol et al., 2016: pp.76-88). Se la utiliza en la composición de fármacos, en sustancias escasamente solubles como las drogas mediante la administración de medicamentos, mascarillas cosméticas, cicatrizante de heridas por su fina fibrilla e ingeniería de tejidos (Yu et al., 2021: pp.2-9).

2.2.8.6. Nanocompuestos

Cuando se combina un material inorgánico u orgánico con un nanocompuesto, se generan nuevos materiales. Un compuesto es una aleación entre varios elementos representados en la tabla periódica que se combinan químicamente de forma definida. Los nanocompuestos son compuestos formados mediante la aplicación de la nanotecnología para perfeccionar las propiedades térmicas y mecánicas del producto, generalmente se caracterizan porque una de las medidas de las partículas está en la categoría de los nanómetros (Cifuentes y Álvarez, 2020: pp.2-3).

La nanocelulosa se mezcla con hidrogeles obtenidos a partir de hialuronato, esto genera un nanocompuesto inyectable, para formar embalaje, empaques, detectores de movimiento, dispositivos optoelectrónicos, recipientes y su desarrollo está favoreciendo la industria electrónica, vidrio y envasado de alimentos (Yu et al., 2021: pp.2-9).

CAPÍTULO III

3.MARCO METODOLÓGICO

3.1.Enfoque de investigación

El presente trabajo se estudia a través del diseño metodológico como planteamiento cuantitativo, debido a que es el enfoque más adecuado considerando el tema, proceso, características y pruebas para el desarrollo de la investigación. Con este enfoque se ha trabajado la idea principal para la obtención de nanocelulosa, de la cual se deriva: planteamiento del problema, reutilización de residuos de biomasa debido a la alta contaminación, revisión de literatura, antecedentes y marco teórico, la elaboración de hipótesis y variables se han desarrollado en función del estudio considerando la materia prima, como son los residuos de: cáscara de piña, tusa de maíz, colillas de cigarrillo y papel reciclado, diseño y aplicación del proceso experimental aplicando la metodología, recolección de datos al momento de obtener la celulosa y nanocelulosa, análisis de datos y resultados para aprobar o rechazar las hipótesis planteadas, finalizando con las conclusiones y recomendaciones encontradas en el proyecto.

3.2.Nivel de investigación

-Exploratoria

En la siguiente investigación se desarrollan diferentes ensayos y análisis con la materia prima establecida, los cuales están encaminados en la experimentación de la nueva era, la nanotecnología; generando de esta manera la creación de un nanomaterial a partir de diversos residuos sometidos a manipulaciones específicas de sus variables para obtener resultados propicios, este nanomaterial es considerado a nivel industrial como un material innovador, por las características que posee, para lo cual se pretende encontrar el mejor procedimiento para su elaboración y síntesis, teniendo como base la bibliografía de investigaciones anteriores de las cuales utilizan diferente materia prima.

-Descriptiva

En este trabajo se describe el procedimiento para la obtención de nanocelulosa utilizando residuos sólidos industriales y agrícolas, se determina las condiciones de pretratamiento para cada una de las materias a utilizarse, una vez obtenida la celulosa y el nanomaterial, se realizan pruebas para determinar su formación mediante microscopia SEM, espectroscopia FTIR y EDS.

3.3. Diseño de la investigación

3.3.1. Matriz de Consistencia

Tabla 3-3: Matriz de consistencia

Aspectos generales				
Problema general		Objetivo general	Hipótesis general	
¿Se podrá obtener nanocelulosa a partir de residuos de biomasa de cáscara de piña, tusa de maíz, colillas de cigarrillo y papel reciclado?		Obtener nanocelulosa a partir de residuos de biomasa de cáscaras de piña, tusa de maíz, colillas de cigarrillo y papel reciclado, mediante un estudio teórico práctico con base en procesos fisicoquímicos.	A través de residuos de biomasa agrícolas e industriales se obtiene nanocelulosa empleando procesos fisicoquímicos como una alternativa para aplicarse en procesos industriales.	
Aspectos específicos				
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	Variables de las hipótesis específicas	Técnicas de recolección de datos
¿Con cada uno de los residuos a utilizar se podrán realizar pretratamientos para obtener fibras purificadas?	Establecer los métodos de pretratamiento para cada uno de los residuos que se utilizarán, los cuales son considerados como materia prima para la obtención de nanocelulosa.	La materia prima tiene su composición específica, por lo cual es viable realizar los pretratamientos utilizando el secado, triturado, molienda, tamizado y purificación.	-Composición y características de la muestra. -% de Humedad -% de Cenizas -Temperatura	-Estudio bibliográfico. -Rendimiento de la reacción. -Balance de masa.

¿Cómo se extraerá celulosa desde los residuos de la cáscara de piña, tusa de maíz, colillas de cigarrillo y papel reciclado?	Extraer celulosa a partir de residuos de cáscara de piña, tusa de maíz, colillas de cigarrillo y papel reciclado.	Es posible extraer celulosa mediante métodos físico-químicos (lavado, filtrado, tratamiento alcalino, blanqueamiento y secado); posteriores al pretratamiento.	-% de Lignina -Concentración de NaOH. -Temperatura -Tiempo	-Norma TAPPI -Cálculos de rendimiento y concentración.
¿Las características que poseen los residuos serán propicias para extraer nanocelulosa?	Caracterizar las muestras de nanocelulosa mediante microscopia SEM, espectroscopia FTIR y espectroscopia EDS.	La formación de nanocelulosa es factible analizarla mediante microscopia SEM, espectroscopia FTIR y Energy Diffraction Spectroscopy.	-Composición de la muestra obtenida.	-SEM -FTIR -UV-VIS
¿Cuál es el mejor rendimiento de celulosa y nanocelulosa partiendo de la materia prima y cuál es el residuo que permite un método más sencillo y amigable con el medio ambiente para extraer nanocelulosa?	Comparar los valores obtenidos de celulosa y nanocelulosa que surgen a partir de la materia prima, para establecer el rendimiento de cada residuo y determinar el método más sencillo de obtención para la síntesis de los nanomateriales.	Utilizando los residuos de biomasa de cáscaras de piña, tusa de maíz, colillas de cigarrillo y papel reciclado se establece que el mejor rendimiento de obtención de celulosa y nanocelulosa es factible sintetizarlo por los residuos industriales.	-Peso -% de Celulosa	-Estudio bibliográfico. -Estándares de celulosa y nanocelulosa.

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

3.3.2. Según la manipulación o no de la variable independiente

3.3.2.1. Identificación de variables de estudio

Tabla 4-3: Identificación de variables

Etapas del proceso	Variables dependientes	Variables independientes
Caracterización de los residuos.	-Peso de la materia prima.	-Humedad -Secado -Triturado -Cenizas
Obtención de celulosa.	-Celulosa	-Tiempo -Temperatura -Secado -Concentración de NaOH
Obtención de nanocelulosa.	-Nanocelulosa	-Temperatura -Concentración de H ₂ SO ₄ -Tiempo

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

3.3.2.2. Operacionalización de Variables

Tabla 5-3: Operacionalización de variables

Variable	Tipo de variable	Conceptualización	Categorización	Indicadores	Instrumentos de medición	Unidad de medida
Materia prima: Cáscara de piña, Tusa de maíz, Colilla de cigarrillo y Papel reciclado	Independiente	Cantidad de muestra a emplear que sufrirá varias transformaciones.		Peso	-Balanza analítica	g
Peso	Dependiente	Cantidad de materia que existe en un cuerpo.	Peso inicial de materia prima.	Peso	-Balanza industrial	kg
			Peso final de celulosa obtenida.	Peso	-Balanza analítica	g
% Humedad	Independiente	Porcentaje de agua que se encuentra en un cuerpo.		Porcentaje de humedad.	-Horno de secado. -Balanza analítica de humedad.	% Humedad
% Cenizas	Independiente	Porcentaje de minerales existentes en la muestra determinados a base de la incineración y secado.		Porcentaje de cenizas.	-Crisol -Estufa -Balanza analítica.	% Cenizas
Concentración	Independiente	Relación que se determina entre el soluto y disolvente.		Soluciones de reactivos.	-Proporción entre el peso y volumen.	% v/v, % p/p y % p/v.
Tiempo	Independiente	Tiempo empleado para la obtención de celulosa y nanocelulosa mediante transformaciones químicas.	Tiempo empleado para obtener celulosa a partir de cáscara de piña, tusa de maíz, colilla de cigarrillo y papel reciclado.	Cambio de tiempo.	Cronómetro	min

			Tiempo empleado para transformar la celulosa en nanocelulosa.	Cambio de tiempo.	Cronómetro	min
Temperatura	Independiente	Es una magnitud física que mide el nivel térmico de la solución.	Temperatura a la cual se eleva la mezcla para lograr obtener celulosa.	Variación de temperatura.	Termómetro	°C
			Temperatura a la cual se eleva la mezcla a diferentes concentraciones para obtener nanocelulosa.	Variación de temperatura.	Termómetro	°C
pH	Independiente	Indicador químico para determinar si una solución es ácida, base o neutra.	pH que se obtiene después de lavar la celulosa.	pH	pH metro	=7 neutro <7 ácido >7 básico
			pH de nanocelulosa obtenido después del centrifugado.	pH	pH metro	=7 neutro <7 ácido >7 básico
Nanocelulosa	Dependiente	Material compuesto por nanofibrillas de celulosa que surge a partir de los residuos empleados.	Longitud	Medida del largo de nanocelulosa.	SEM / FTIR	nm / um
			Diámetro	Medida de la base circunferencial de nanocelulosa.	SEM / FTIR	nm / um

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

.En el presente estudio se muestra un diseño experimental para la fabricación de nanocelulosa a partir de la cáscara de piña, tusa de maíz, colillas de cigarrillo y papel reciclado, el proceso se dividirá por etapas: recolección, selección, triturado y secado de materia prima y purificación de la misma a partir de un pretratamiento para eliminar impurezas, azúcares y lignina obteniendo de esta manera la fibra; la producción de celulosa se dará a partir de un tratamiento alcalino con una concentración de NaOH de 5% , con la variación de temperaturas entre 50 y 90 °C, seguido de un blanqueamiento y finalmente se sintetizará la nanocelulosa, empleando una combinación de ultrasonido e hidrólisis ácida con una concentración de H₂SO₄ al 65% con una temperatura de 45 °C, en este estudio se pretende encontrar el mejor procedimiento con la manipulación de variables de temperatura y concentración, de tal manera que mediante el análisis de resultados se pueda determinar cuál de los residuos ha tenido un mejor rendimiento.

Tabla 6-3: Diseño experimental ANOVA para la obtención de celulosa.

Experimentos	Concentración (NaOH)	Temperatura (°C)	Repeticiones	
Cáscara de piña	5%	50	R1p	
			R2p	
			R3p	
		90	R1p	
			R2p	
			R3p	
Tusa de maíz		5%	50	R1m
				R2m
				R3m
			90	R1m
				R2m
				R3m
Papel reciclado	5%		50	R1pr
				R2pr
				R3pr
			90	R1pr
				R2pr
				R3pr
Colillas de cigarrillo		5%	50	R1c
				R2c
				R3c

		90	R1c
			R2c
			R3c

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

3.3.3. Según las intervenciones en el trabajo de campo

La intervención en el trabajo de campo es de forma transversal porque se desarrolla un estudio concreto, con una duración corta para la obtención de datos, considerando un periodo de tiempo de seis meses, donde se recopila la información de datos experimentales que se obtengan al momento del procedimiento para la síntesis de nanocelulosa.

3.4. Tipo de estudio

El tipo de estudio a desarrollarse es de campo, debido a que se realiza diferentes observaciones de datos, en la manipulación de variables, comprobación de hipótesis y análisis de resultados que se obtienen a través del tratamiento de los residuos de cáscara de piña, tusa de maíz, colillas de cigarrillo y papel reciclado al momento de obtener en primera instancia celulosa y posteriormente nanocelulosa.

3.5. Población y planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra

3.5.1. Población de estudio y planificación

La población de estudio se fija en la recolección y selección de los diferentes residuos. La recolección de tusa de maíz se realiza de forma selectiva en función de los residuos encontrados en el mercado del cantón Guano, debido a que este producto de fácil acceso por la cantidad de producto que existe en la provincia de Chimborazo; la cáscara de piña es un subproducto desecho de la piña, recolectado de la pizzería Donatello; las colillas de cigarrillo se reciclan de manera específica en bares, discotecas, parques, centros deportivos y recreativos, de manera especial en las canchas de vóley del cantón Guano, estos lugares son adecuados para realizar la recolección porque existe un consumo visible en los habitantes y finalmente las hojas papel boom son recolectadas de manera personal como residuos de documentos impresos desechos.

La recolección de cigarrillos se realiza durante un mes, las tusas de maíz en una semana los días de feria miércoles, viernes y domingo, la cáscara de piña en un día y el papel se lo recicla de manera permanente después de ser ocupado.

3.5.2.Tamaño de Muestra

El tamaño de la muestra se determina con la obtención de fibras, partiendo con 100 g por cada residuo, se pesa 15 g de materia pretratada para obtener 5 g de celulosa y a partir de 3 g de celulosa para sintetizar nanocelulosa, realizando un tratamiento con 2 análisis por cada muestra de estudio, alterando la temperatura se obtiene un total de 8 experimentos de celulosa, además se incrementa otro procedimiento para la obtención de celulosa con la cáscara de piña, obteniendo un total de 10 muestras tratadas con 3 repeticiones para cada una y 10 experimentaciones de nanocelulosa conservando los valores de concentración y temperatura para cada proceso.

3.5.3.Selección de muestra

La selección de la muestra se realiza mediante una recolección de muestras aleatorias simples de residuos agrícolas e industriales en la provincia de Chimborazo, los subproductos agrícolas deben estar en condiciones frescas aún no degradables, mientras que las colillas de cigarrillo y papel fueron seleccionadas aleatoriamente por su forma, estructura y tamaño. Todos los residuos fueron recolectados según juicio personal, se llevaron al laboratorio de la Facultad de Ciencias y se almacenaron apropiadamente para su transformación posterior, considerando que la muestra en cada etapa debe ser representativa para poder caracterizarla.

3.6.Métodos, técnicas de recolección de datos e instrumentos de investigación

Para la obtención de nanocelulosa se trabaja con tres etapas importantes; la primera es realizar un pretratamiento de la materia prima para eliminar impurezas, contaminantes, lignina y azúcares; segundo se va a extraer celulosa de los diferentes residuos utilizando hidróxido de sodio (5%) y blanquearlos con hipoclorito de sodio (1%) empleando el método pertinente para cada desecho, después de este proceso la tercera etapa es obtener nanocelulosa mediante la manipulación de ácido sulfúrico (65%), con la ayuda de dos equipos importantes centrifuga y ultrasonido, logrando de esta manera obtener nanopartículas para ser analizadas.

3.6.1. Técnicas para identificar las características fisicoquímicas de los residuos

3.6.1.1. Porcentaje de humedad de las muestras

Tabla 7-3: Determinación del porcentaje de humedad

Materiales y Equipos	Sustancias y reactivos	Procedimiento	Método de ensayo
-Balanza de humedad -Plato de la balanza	-Cáscara de piña -Tusa de maíz -Colillas de cigarrillo -Papel reciclado	-Encender la balanza de humedad. -Establecer los parámetros de temperatura. -Colocar el plato dentro de la balanza, cerrar y tarar. -Pesar la muestra en el plato de 1 a 5 g y cerrar la tapa. -Esperar el tiempo determinado por el equipo para obtener el porcentaje de humedad. -Retirar la muestra, limpiar el plato y apagar.	Base de la norma TAPPI T 412 om-06. Manual operacional de la balanza de humedad.

Fuente: Manual operacional de la balanza de humedad del laboratorio de química analítica, ESPOCH.

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

3.6.1.2. Determinación del porcentaje de cenizas en las muestras

Tabla 8-3: Determinación del porcentaje de cenizas

Materiales y Equipos	Sustancias y reactivos	Procedimiento	Ecuación	Método de ensayo
-Crisol de porcelana. -Mufla. -Balanza analítica. -Desecador. -Reverbero. -Campana de extracción.	-Cáscara de piña -Tusa de maíz -Colillas de cigarrillo -Papel reciclado	-Limpiar el crisol vacío y tararlo. -Anotar el peso del crisol. -Pesar 2 g de la muestra seca en el crisol. -Calcinación en la campana de extracción de la muestra colocándola sobre un reverbero hasta que deje de desprender humo. -Poner el crisol con la muestra en la mufla a 550 ° C durante 3 h. -Retirar el crisol de la mufla y dejarlo en un desecador hasta que se enfríe a temperatura ambiente. -Pesar el crisol con ceniza.	$\% \text{Cenizas} = \frac{A}{B} * 100$ A= peso del crisol con la ceniza en g – peso del crisol en g. B= peso de la muestra seca en g.	TAPPI T 211 om-02

Fuente: Norma TAPPI.

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

3.6.1.3. Densidad para sólidos

Tabla 9-3: Densidad

Materiales y Equipos	Sustancias y reactivos	Procedimiento	Ecuación	Método de ensayo
-Probeta	-Agua destilada -Muestras secas	-Pesar 5 g de cada muestra y colocarlos dentro de la probeta. -Medir 70 ml de agua destilada y con esta cubrir toda la muestra. -Esperar durante 1 h. -Observar el volumen final obtenido.	$\rho = \frac{m}{v_f - v_o}$ ρ = densidad v_f = volumen final v_o = volumen inicial	NTE INEN 858

Fuente: Norma TAPPI.

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

3.6.1.4. Solubilidad en agua caliente

Tabla 10-3: Solubilidad en agua caliente

Materiales y Equipos	Sustancias y reactivos	Procedimiento	Ecuación	Método de ensayo
-Vaso de precipitación de 500 ml. -Varilla de agitación. -Estufa. -Papel filtro.	-Agua destilada	-Colocar 10 g de la muestra en un vaso de precipitación y humedecerla. -Agregar 300 ml de agua destilada caliente. -Hervir la solución durante 3 horas con agitación constante y siempre mantener el volumen. -Filtrar la muestra. -Secarla a 105 °C hasta obtener un peso constante.	%Solb. en agua caliente $= \frac{(A - B) * 100}{A}$ A= Peso inicial de materia prima en g. B= Peso final de la muestra seca en g.	Norma TAPPI T 207 cm-99

Fuente: Norma TAPPI.

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

3.6.1.5. Determinación del porcentaje de lignina en las muestras

Tabla 11-3: Obtención de lignina

Materiales y Equipos	Sustancias y reactivos	Procedimiento	Ecuación	Método de ensayo
-Vasos de precipitación. -Varilla de vidrio. -Vidrio reloj. -Bomba al vacío. -Estufa. -Agitador magnético. -Embudo büchner. -Papel filtro. -Reverbero. -Malla de asbesto.	-H ₂ SO ₄ al 72% -Agua destilada	-Colocar 1 g de la muestra seca en un vaso de precipitación de 100 ml y añadir 15 ml de H ₂ SO ₄ al 72 % en cantidades pequeñas e ir agitando con una varilla de vidrio. -Cubrir el vaso con un vidrio reloj y mantenerlo en agitación constante durante 2 h. -Cortar la reacción al 3% adicionando 575 ml de agua destilada. -Hervir la solución durante 4 h, manteniendo un volumen constante añadiendo agua caliente. -Se deja precipitar el material insoluble (lignina), manteniendo el vaso en posición inclinada. -Sin agitar el precipitado, se filtra en un papel filtro (pre pesado), lavando el vaso con agua caliente. -Secar el papel filtro con lignina en la estufa a 105 ± 3 °C hasta peso constante. -Dejar enfriar en un desecador y pesar.	%lignina $= \frac{A}{W} * 100$ A= Peso del papel filtro con lignina en g – peso del papel filtro en g. W= Peso seco de la muestra inicial en g.	TAPPI T 222 om-02

Fuente: Norma TAPPI.

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

3.6.1.6. Determinación de Alfa celulosa

Tabla 12-3: Obtención de alfa celulosa

Materiales y Equipos	Sustancias y reactivos	Procedimiento	Ecuación	Método de ensayo
-Cronómetro -Balanza analítica -Embudo büchner -Vaso de precipitación	-75 ml de NaOH al 17,5% p/v. -25 ml de NaOH al 8,8% p/v. -40 ml de Ácido	-Pesar 2 g de la muestra seca y colocarla en un vaso de precipitación de 250 ml. -Colocar 15 ml de solución de NaOH al 17,5% y agitar con la varilla durante 1 minuto. -Agregar 10 ml más y agitar, se agregan otros 10 ml formando una masa y se deja en reposo durante 3 minutos.	%Alfa celulosa $= \frac{A}{W} * 100$ A= Peso final del residuo obtenido en g.	TAPPI T 203 m 58

<p>-Pipeta graduada</p> <p>-Kitasato</p> <p>-Varillas de agitación</p> <p>-Estufa</p> <p>-Bomba al vacío</p> <p>-Papel filtro</p> <p>-Vidrio reloj</p>	<p>acético al 2N.</p> <p>-Agua destilada</p>	<p>Agregar 10 ml más y agitar durante 10 minutos.</p> <p>-Se colocan los últimos 30 ml, en porciones de 10 ml después de 3 minutos, 5 minutos y 8 minutos respectivamente.</p> <p>-Cubrir el vaso con un vidrio reloj y dejarlo en reposo durante 30 minutos.</p> <p>-Agregar 100 ml de agua, y dejarla en reposo 30 minutos más.</p> <p>-Se pesa el papel filtro y se filtra al vacío la solución obtenida.</p> <p>-Se lava el vaso y el residuo con 25 ml de solución de NaOH al 8,8 %.</p> <p>-Luego se lava el residuo filtrado con 50 ml de agua 5 veces y posteriormente con 400 ml adicionales.</p> <p>-Se desconecta la manguera de succión, se llena el embudo con 40 ml de 2N de ácido acético y se deja humedecer el residuo por 5 minutos</p> <p>-Se filtra el ácido acético y se lava el residuo con agua hasta obtener un pH neutro.</p> <p>-Se seca el residuo en la estufa a 105 °C hasta un peso constante y pesar.</p>	<p>W= Peso inicial de la materia prima seca en g.</p>	
--	--	--	---	--

Fuente: Norma TAPPI.

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

3.6.1.7. Caracterización de celulosa

Tabla 13-3: Rendimiento de celulosa

Procedimiento	Ecuación
<p>- Pesar la materia prima seca al inicio del tratamiento alcalino.</p> <p>-Pesar la celulosa obtenida después del tratamiento.</p>	$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{Peso celulosa}}{\text{Peso residuo}} * 100$

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

3.6.2. Caracterización de nanocelulosa

3.6.2.1. Apariencia de fibras en la materia prima, celulosa y nanocelulosa

Tabla 14-3: Microscopio óptico para observar fibras

Materiales y Equipos	Sustancias y reactivos	Procedimiento
-Microscopio óptico. -Porta y cubre objetos.	-Materia prima, celulosa y nanocelulosa de tusa de maíz, cáscara de piña, colillas de cigarrillo y papel reciclado.	-Encender la computadora y colocar el programa. -Colocar la muestra en el portaobjetos. -Si la muestra es líquida colocarla con el cubreobjetos. -Enfocar la muestra con el lente que mejor se ajuste. -Tomar la fotografía de lo observado. -Limpiar los materiales y apagar el equipo.

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

3.6.2.2. Determinación de grupos funcionales empleando FTIR

Tabla 15-3: Análisis FTIR de la materia prima, celulosa y nanocelulosa

Materiales y Equipos	Sustancias y reactivos	Procedimiento
-Espectrofotómetro FTIR	-Materia a analizar	-Encender el equipo. -Limpiar el área de la muestra. -Abrir el programa JASCO/Spectra Manager y seleccionar Quick-Star. -Verificar la ausencia de impurezas realizando el “Background”, para lo cual se debe cerrar la tapa del equipo y presionar el botón STAR. -Volver abrir la tapa del equipo y realizar el barrido espectral colocando la muestra sobre el cristal del área de muestra, cerrar la tapa y pulsar STAR. -Procesar el espectro utilizando el programa Spectra Analysis, corregir las escalas identificando los picos más relevantes presentes en la gráfica y eliminar el ruido. -Guardar los datos del espectro y la imagen para su posterior análisis. -Desajustar el tornillo de ajuste y limpiar el área de muestra. -Cerrar los programas empleados y apagar el equipo.

Fuente: Manual de operación de FTIR del laboratorio de análisis instrumental, ESPOCH.

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

3.6.2.3. Determinación de microscopía electrónica de barrido

Tabla 16-3: Análisis de microscopía óptica de barrido

Materiales y Equipos	Sustancia	Procedimiento
-Microscopio electrónico de barrido -Metalizador -Porta muestras de aluminio -Cinta doble faz conductora de carbono	-Muestras de nanocelulosa	-Revisar las condiciones del clima, humedad relativa y temperatura. -Encender el equipo y esperar hasta que encuentre el equilibrio. -Recubrimiento de las muestras -Colocar la muestra en la cámara porta muestra del SEM. -Calibración del sistema al vacío -Enfoque de la estructura de interés. -Optimización de los parámetros en el SEM. -Capturar imágenes de las muestras. -Realizar un EDS (determinar composición de la muestra) -Apagar el equipo.

Fuente: Manual de operación de SEM del laboratorio de mecánica, ESPOCH.

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

3.6.2.4. Determinación de la transmitancia de nanocelulosa

Tabla 17-3: Análisis UV Visible

Materiales y Equipos	Sustancias y reactivos	Procedimiento
-Espectrofotómetro UV Visible. -Celda de cuarzo de 1 cm.	-Agua destilada	-Preparar las muestras de nanocelulosa. -Encender el equipo. -Configurar los parámetros que solicita el equipo (Nombre del análisis, formato de datos, longitud de onda para el barrido de 200 a 600 nm para la absorbancia y para la transmitancia puntos fijos de 600 y 800 nm). -Realizar la medición del blanco con agua destilada. -Colocar la muestra en la celda de cuarzo y limpiar las paredes de la celda para evitar interferencias en el análisis. -Ubicar la celda de cuarzo en el equipo. -Realizar la medición y registrar los valores de transmitancia.

Fuente: Manual de operación de UV-VIS del laboratorio de investigación, ESPOCH.

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

3.7. Síntesis de Nanocelulosa

3.7.1. Pretratamiento de tusa de maíz, cáscara de piña, papel reciclado y colillas de cigarrillo.

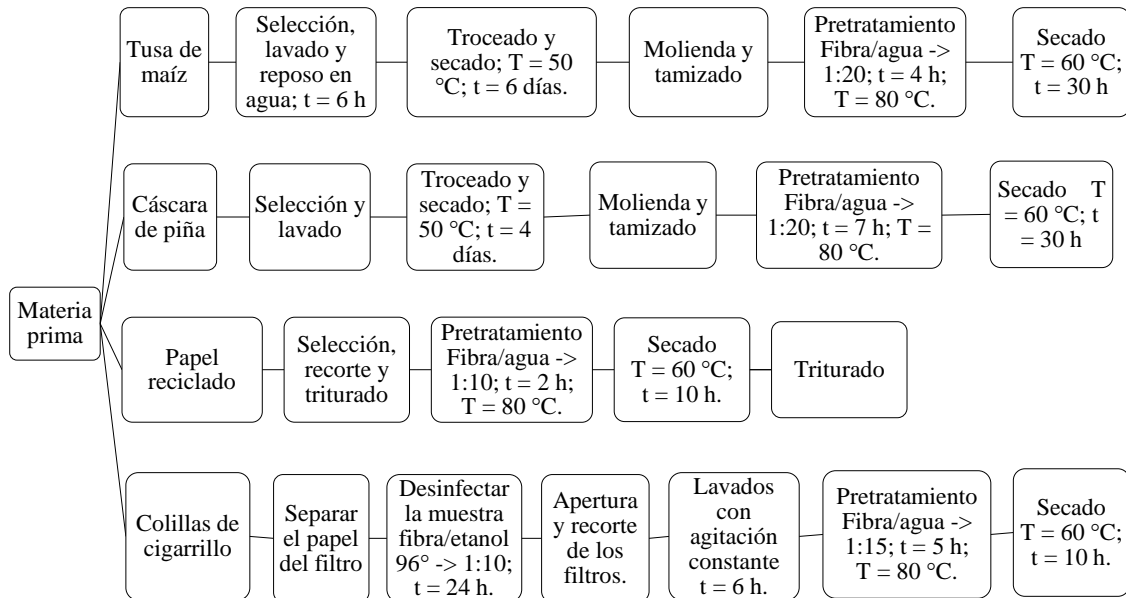


Ilustración 8-3: Diagrama de flujo para el pre tratamiento de la tusa de maíz, cáscara de piña, papel reciclado y colillas de cigarrillo.

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

El proceso inicia con la realización del pretratamiento de la tusa de maíz, cáscara de piña, papel reciclado y colillas de cigarrillo; este va a depender de la materia prima a utilizarse para su procedimiento.

3.7.1.1. Pretratamiento de tusa de maíz

Se empieza con la recolección de 2 kilogramos de tusa de maíz, los cuales se obtuvieron a partir de un muestreo aleatorio aplicando las especificaciones de la norma ISO 7002, en el mercado municipal del cantón Guano, después se realizó una selección donde se desechó granos, pelusas, gusanos, pelos que se encontraban en las tusas de maíz, luego se lavó toda esta materia con abundante agua para eliminar algún otro elemento no requerido y se dejó reposar en agua durante 6 horas, para que la dureza de la tusa disminuya.



Ilustración 9-3: Selección y pesaje de tusa de maíz

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

Pasado este tiempo se troceó las tusas de manera manual con ayuda de un cuchillo, llegando a un tamaño de 2 a 3 cm aproximadamente, para facilitar su manejo y posterior molienda. Las tusas de maíz se colocaron en bandejas de secado con una separación considerable entre ellas, se llevó estas bandejas a la estufa, donde se secaron las muestras durante 6 días a 50°C, esta temperatura se consideró debido a que existió una descomposición inicial de la materia prima cuando se secó a 30°C, este proceso se realiza para eliminar la humedad, logrando obtener una materia prima seca.



Ilustración 10-3: A) Troceado de la tusa y B) Secado en estufa

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

Posteriormente, los trozos secos de tusas de maíz se pusieron en la tolva de alimentación que forma parte del molino de martillos, la materia prima triturada se receptó en bolsas de basura por las dimensiones del molino, se realizó una segunda molienda, pulverizando aún más la muestra, logrando disminuirla a un tamaño micrométrico considerable. Se continúa con el tamizado de la materia pulverizada, el cual consiste en dejar pasar el material fino por la luz de malla correspondiente, reteniendo el material grueso en la malla, para elegir el tamiz oportuno a utilizar

se consideró la norma NTE INEN 616, referente al tamizado de la harina de trigo, donde se utiliza el tamiz número 210 um; para la tusa de maíz se utilizó una torre de tamices donde el tamiz más fino utilizado fue de 355 um, debido a la disponibilidad de tamices existentes en el laboratorio. Se realizó el pretratamiento de la tusa de maíz, para lo cual se utilizó una relación fibra/agua 1:20, empleando 1000 ml por cada 50 g de fibra de tusa de maíz, con el fin de eliminar azúcares, colorantes y sustancias solubles, durante un tiempo de 4 horas. Luego se filtró la materia prima y se dejó secar en una estufa durante 30 horas a una temperatura de 60°C.



Ilustración 11-3: A) Molienda de tusa y B) Tamizado

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

3.7.1.2. Pretratamiento de cáscara de piña

Se realiza la recolección de 2 kilogramos de cáscaras de piña, los cuales se obtuvieron a partir de los residuos obtenidos de las piñas, utilizadas en la pizzería DONATELLO del cantón Guano, después se realizó una selección de las cáscaras, desechando de esta manera la corona y sus hojas, luego se lavó las cáscaras de piña con abundante agua para eliminar alguna sustancia contaminante.



Ilustración 12-3: Recolección de cáscara de piña

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

Consecutivamente, se trocearon las cáscaras de manera manual, llegando a un tamaño de 2 a 3 cm aproximadamente, para facilitar su secado y posterior molienda. Las cáscaras de piña se colocaron en bandejas de secado con una separación considerable entre ellas para evitar su descomposición, se llevaron estas bandejas a la estufa, donde se secaron las muestras durante 4 días a 50 °C, este proceso se realiza con el fin de eliminar la humedad, logrando obtener de esta manera una materia prima seca.



Ilustración 13-3: Troceado y secado de cáscara de piña

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

Posteriormente, las cáscaras de piña se ubicaron en el molino de martillos, en la parte de la tolva de alimentación, la cáscara de piña triturada se recepto en fundas de basura debido al tamaño del molino para evitar pérdidas, después se realizó una segunda molienda, pulverizando aún más la muestra, logrando de esta forma disminuirla a un tamaño micrométrico necesario. Se continua con el tamizado de la materia pulverizada, el cual consiste en pasar el material fino por la luz de malla correspondiente, reteniendo el material grueso en la malla, para elegir el tamiz oportuno a utilizar se consideró la norma NTE INEN 616, referente al tamizado de la harina de trigo, donde se utiliza el tamiz número 210 um; para la cáscara de piña se utilizó el número 300um, debido a la disponibilidad de tamices existentes en el laboratorio.

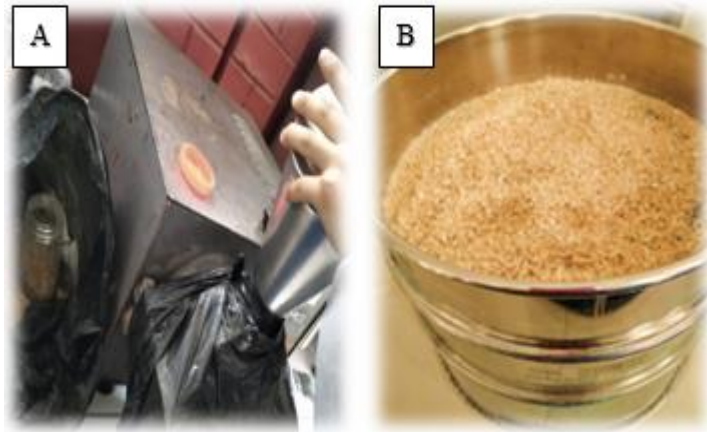


Ilustración 14-3: A) Molienda de cáscara de piña y B) Tamizado

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

Se realizó el pretratamiento de la cáscara de piña, para lo cual se utilizó una relación fibra/agua 1:20, empleando 1000 ml por cada 50 g de fibra de cáscara de piña, con el fin de eliminar azúcares, colorantes y sustancias solubles, durante un tiempo de 7 horas. Luego se filtró la materia prima y se secó en una estufa durante 30 horas a una temperatura de 60°C.



Ilustración 15-3: Pretratamiento de cáscara de piña

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

3.7.1.3. Pretratamiento de papel reciclado

Las hojas de papel boom son recicladas a partir de documentos impresos, que fueron ocupados en su momento y se convirtieron en desecho, se recolectaron 100 g de papel reciclado en buen estado, estas se recortaron entre 1 y 2 cm para el pretratamiento, pero para la caracterización de la materia prima se considera la medida entre 0,05 y 1 cm. Se tritura el papel recortado para una mejor caracterización empleando una licuadora. Para eliminar la tinta que tiene el papel, se coloca

10 g de muestra en 100 ml de agua a una temperatura de 80°C durante 2 horas, se agita de forma constante, se realiza lavados para eliminar el color, terminado este proceso se lo deja secar a una temperatura de 60 °C durante 10 horas. Finalmente se pulverizó el papel en un triturador eléctrico pequeño.

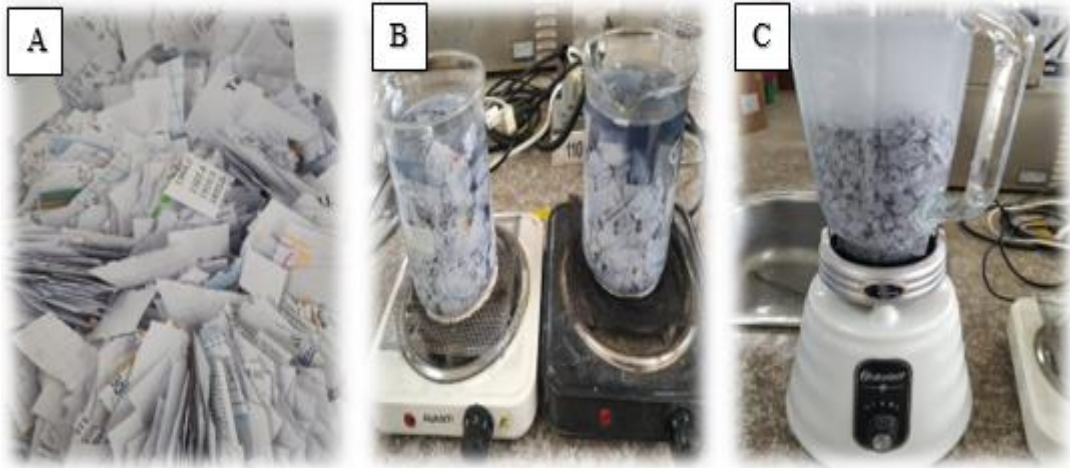


Ilustración 16-3: A) Troceado de papel reciclado, B) Pretratamiento y C) Molienda

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

3.7.1.4. Pretratamiento de colillas de cigarrillo

Las colillas de cigarrillo se reciclaron en parques, centros deportivos y recreativos, de manera específica en las canchas de vóley del cantón Guano, estos lugares fueron adecuados para realizar la recolección debido a que existe un consumo visible en las personas que frecuentan estos lugares. Posteriormente, se realizó una selección de colillas de cigarrillo, eliminando de esta manera las colillas quemadas, pisadas y deformes, luego se separó en dos partes el papel del filtro, por separado se colocó en etanol (alcohol a 96°), por cada gramo de muestra se utilizó 10 ml de etanol durante 24 horas, esto se realizó para desinfectar las colillas de cigarrillo, eliminando su olor característico, impurezas y una parte del carbón que resulta cuando se consume el cigarrillo, pasado este tiempo se lavaron las colillas con agua y jabón natural sin químicos, para eliminar el olor a alcohol, se recortaron los filtros de forma vertical y horizontal, abriendo el filtro en tamaños pequeños para facilitar su purificación.

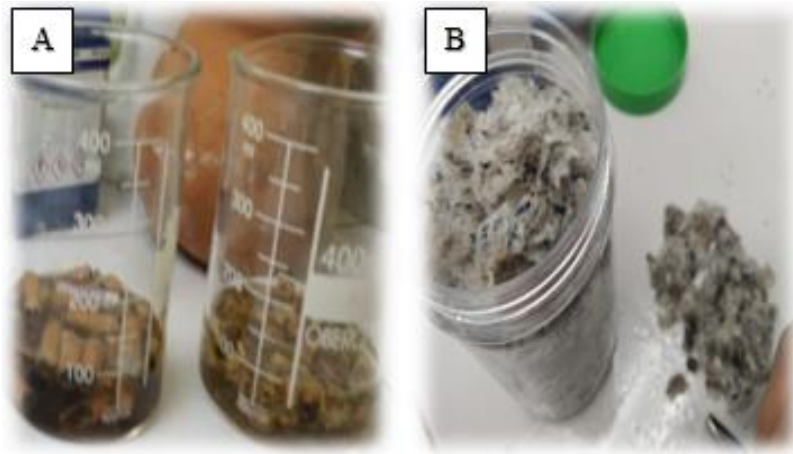


Ilustración 17-3: Purificación de colillas de cigarrillo con etanol y B) Recorte
Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

Se realizaron 12 lavados con agitación constante ocupando un agitador magnético, con un cambio de agua fría cada 30 minutos y 5 lavados en agua caliente a 80 °C, empleando el agitador magnético con calor, cada lavado se realizó en 1 hora, para este proceso se ocupó la relación 1:15, 4 g de colillas se colocaron en 60 ml de agua fría y caliente. Este proceso se realiza para eliminar el carbón que poseen las colillas de cigarrillo en sus fibras, dejándolas de esta manera limpias y adecuadas para su posterior uso. Finalmente se secaron las muestras en una estufa durante 10 horas a 60 °C.



Ilustración 18-3: Eliminación del carbón
Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

3.7.2. Obtención de celulosa

A partir de la materia prima pretratada de tusa de maíz, cáscara de piña, colillas de cigarrillo y papel reciclado, se obtiene celulosa con los mismos parámetros para todas estas materias, con una variación en la cáscara de piña debido a la dureza que presento al obtener celulosa.

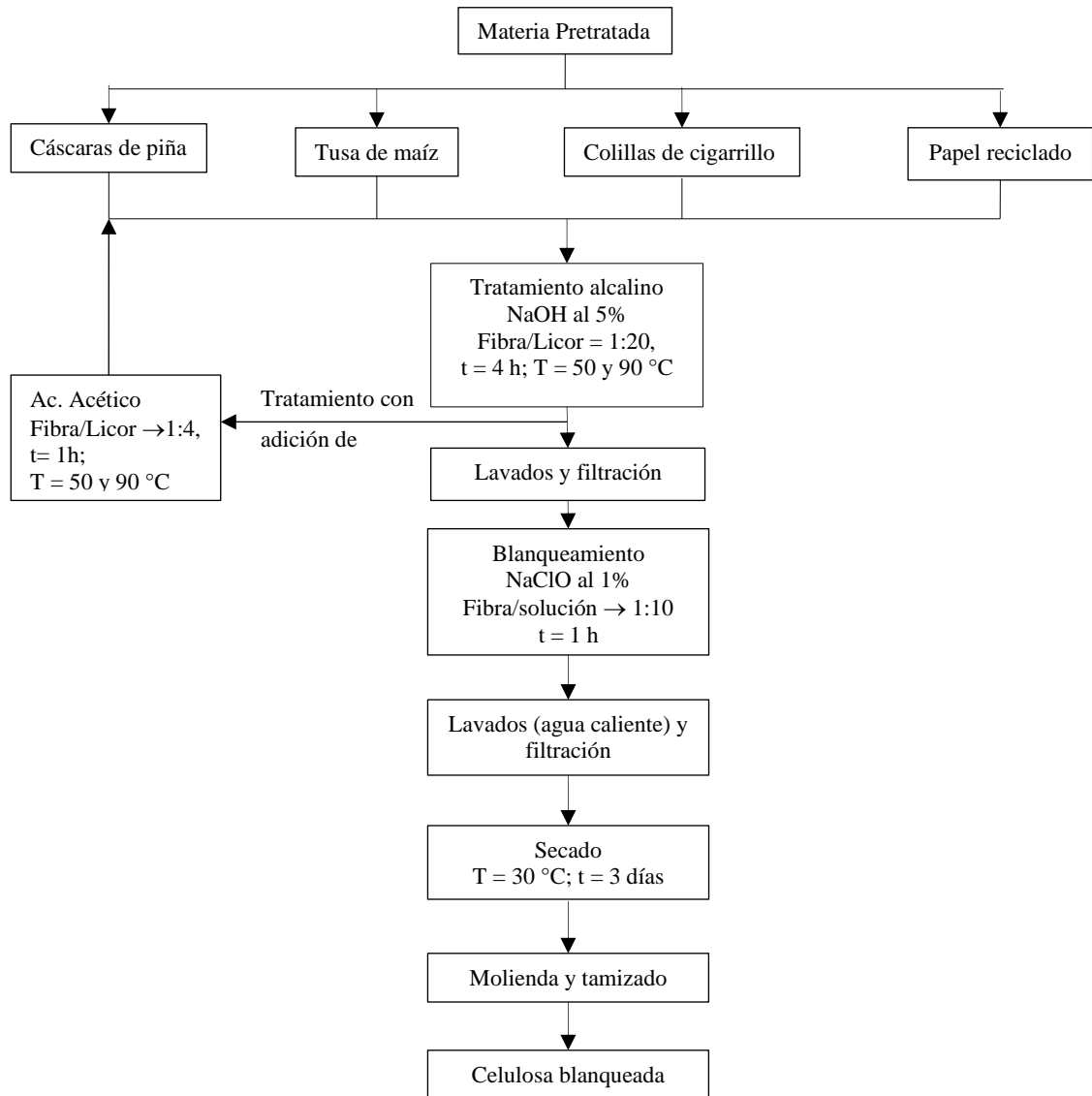


Ilustración 19-3: Diagrama de flujo para la obtención de celulosa

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

El procedimiento alcalino se inicia preparando una solución del 5% de NaOH, empleando la relación 1:20 Fibra/Solución para el tratamiento, colocando de esta manera 15 g de muestra pretratada con 300 ml de la solución, durante 4 horas con agitación constante, considerando en este punto una variación de temperatura de 50°C para el primer análisis y 90°C para el segundo, solamente en el caso de la piña se añadió a continuación ácido acético con una relación 1:4, por

cada gramo de muestra se coloca 4 ml del reactivo, obteniendo una disolución de NaOH y CH₃COOH.



Ilustración 20-3: Tratamiento alcalino de celulosa

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

Posteriormente se elimina el licor negro y reserva la muestra, se realiza lavados con agua destilada y se filtra hasta conseguir un pH neutro, el color que se obtiene va en tonos amarillentos, marrones y blancos. Para lograr obtener una celulosa blanca se realiza un blanqueamiento a las muestras, con una solución de NaClO al 1%, considerando una relación 1:15, por cada gramo se coloca 15 ml de solución por el lapso de 1 hora.



Ilustración 21-3: Lavado con agua destilada

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

Terminado este proceso se realizan lavados a la muestra con agua caliente para eliminar los residuos de hidróxido y cloro, se filtra utilizando un colador casero, hasta obtener un pH de $7 \pm 0,5$. Se colocan las muestras en una estufa a 30°C durante tres días para secarlas, debido a que queda una consistencia compacta se vuelve a triturar la materia para obtener un tamaño de

micrómetros, empleando un triturador eléctrico pequeño y un tamiz de 120 μm , de esta manera se obtiene celulosa que se emplea para el tratamiento de nanocelulosa.



Ilustración 22-3: Obtención de celulosa

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

3.7.3. Síntesis de nanocelulosa

Se considera el tratamiento de hidrólisis ácida para la obtención de nanocelulosa, el proceso es el mismo para todas las celulosas obtenidas de varias materias primas. Se inicia preparando las muestras de celulosa blanqueada y de igual manera la solución de ácido sulfúrico al 65% para llevar a cabo la hidrólisis ácida en una relación 1:20 Celulosa/Solución, se coloca en un vaso de precipitación de 600 ml, 60 ml de solución de H_2SO_4 , se agrega suavemente 3 g de celulosa y se agita constantemente durante 45 minutos, a una temperatura de 45°C , no se le agrega calor debido a que el ácido provoca una reacción exotérmica y la temperatura se mantiene en el valor requerido.

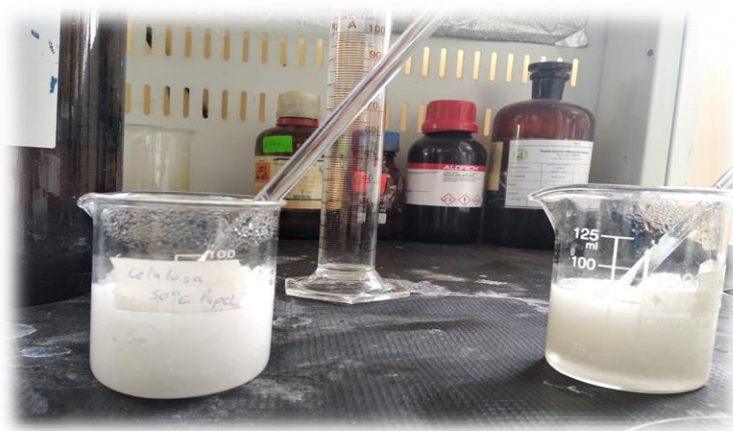


Ilustración 23-3: Hidrólisis ácida de celulosa

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

Se corta el proceso de hidrólisis añadiendo 600 ml de agua destilada y se deja en reposo hasta que precipite la muestra, logrado este proceso se elimina el solvente a través de filtración. Se procede a realizar lavados para eliminar el exceso de acides, para este paso se ocupa la centrifuga a 3000 rpm con un lapso de tiempo de 10 minutos por cada lavado y se agita el sedimento para que este se vaya limpiando, de esta manera se logra llegar a un pH neutro, necesitando así de 20 lavados.



Ilustración 24-3: Centrifugado y lavado de nanocelulosa

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

Posteriormente se utiliza ultrasonido en un baño de agua fría para reducir el tamaño del nanomaterial durante 45 min, se centrifuga 10 min más para eliminar el exceso de agua y se coloca en ultrasonido de punta de acero, finalmente se conserva en envases de vidrio a una temperatura de 4°C y para la caracterización se secan láminas a una temperatura de 60°C.



Ilustración 25-3: Síntesis de nanocelulosa

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

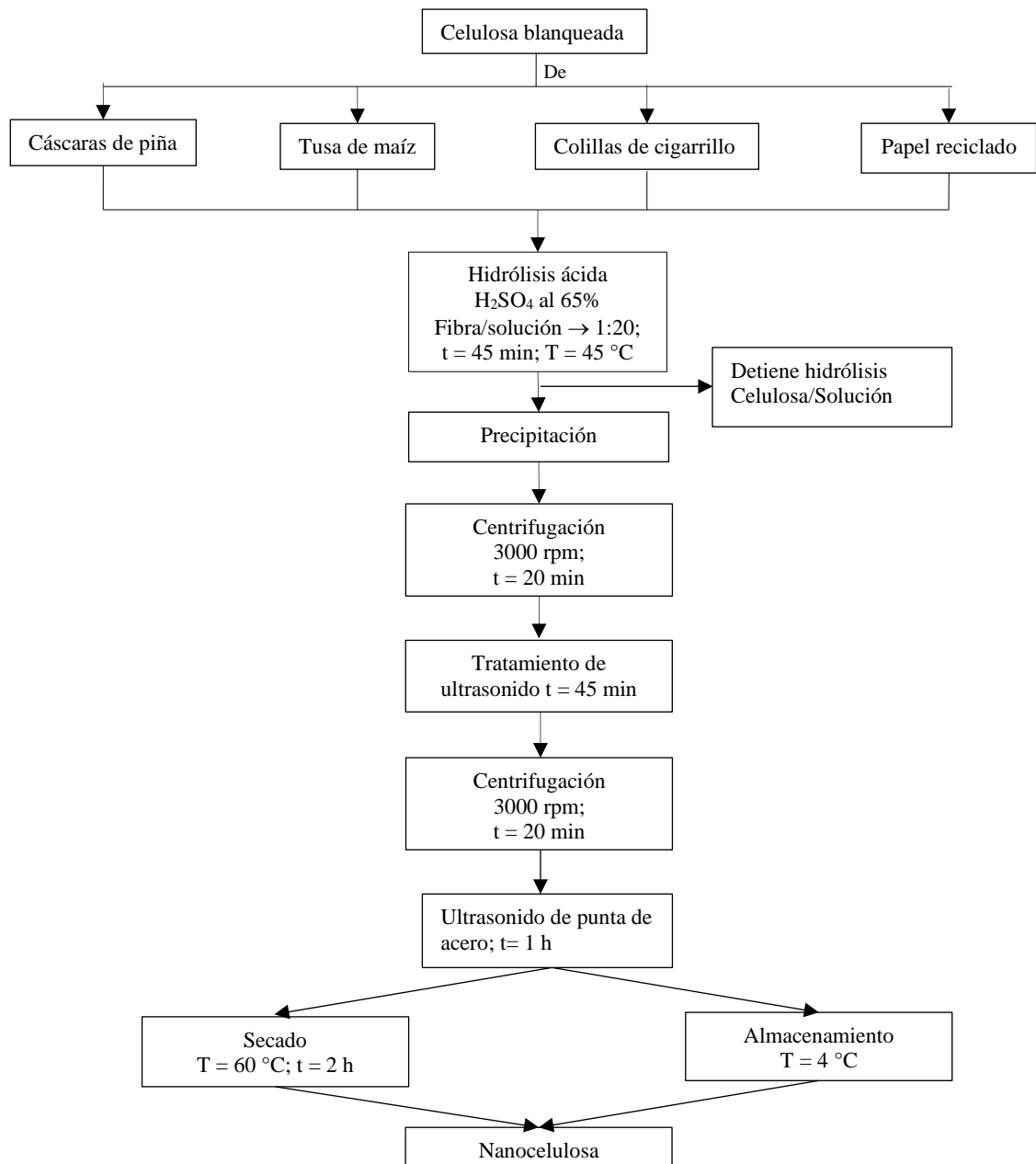


Ilustración 26-3: Diagrama de flujo para la síntesis de nanocelulosa

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

CAPÍTULO IV

4.MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1.Análisis de resultados de materia prima

4.1.1.Caracterización de la materia prima

En la tabla 18-4 se puede observar los análisis físico-químicos de manera general, que se realizaron a las diferentes muestras de materia prima, con la finalidad de estimar su composición y propiedades más relevantes:

Tabla 18-4: Resultados de los análisis generales de la materia prima

Tipo de muestra	% Humedad	% Cenizas	% Lignina	% Solubilidad en agua caliente	Densidad para sólidos (g/cm ³)	% Alfa Celulosa
Colillas de cigarrillo	8,804	6,535	0,549	9,359	0,742	38,099
Papel reciclado	6,785	21,457	10,148	6,866	0,774	61,093
Tusa de Maíz	7,274	2,375	14,298	13,927	0,775	50,830
Cáscaras de piña	7,451	4,611	17,714	37,549	0,802	46,605

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

4.1.1.1.Resultados de porcentaje de humedad de materia prima

Tabla 19-4: Porcentaje de humedad de la muestra seca

% de Humedad				
Tipo de muestra	Método de referencia	Repetición 1 (%)	Repetición 2 (%)	Promedio (%)
Colillas de cigarrillo	TAPPI T 412 om-06	8,702	8,906	8,804
Papel reciclado	TAPPI T 412 om-06	6,130	7,439	6,785
Tusa de maíz	TAPPI T 412 om-06	7,334	7,213	7,274
Cáscara de piña	TAPPI T 412 om-06	7,542	7,360	7,451

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

Con base a la norma TAPPI T 412 om-06, se determinó el porcentaje de humedad de las cuatro materias primas utilizadas; para la tusa de maíz el resultado obtenido fue del 7,274%, el cual tiene un valor muy similar con el estudio realizado por (Portuguéz Moya et al., 1999: pp.45-50) que obtuvo un valor de 7,0% para la materia prima y un 5,5% para el material pretratado. En el caso de la cáscara de piña se obtuvo un porcentaje del 7,451% el cual está dentro del valor del 7,4% obtenido por

(Garay Hernández y Peña Peña, 2018: p.46). Para el papel reciclado se obtiene el 6,785% el cual difiere con el rango del 7,3 al 8,0% hallado por (Rolleri, 2012, p.28), esto se da debido al tipo de papel utilizado para realizar el análisis. Con respecto a las colillas de cigarrillo, al ser un material no muy empleado para una reutilización no se encontró datos experimentales con respecto un análisis de humedad y las diferentes características que posee en base a valores concretos, el porcentaje de humedad encontrado en este caso fue del 8,804%.

4.1.1.2. Resultados de porcentaje de cenizas a partir de la materia prima

Tabla 20-4: Porcentaje de cenizas de la materia prima

% de Cenizas				
Tipo de muestra	Método de referencia	Repetición 1 (%)	Repetición 2 (%)	Promedio (%)
Colillas de cigarrillo	TAPPI T 211 om-02	4,893	8,177	6,535
Papel reciclado	TAPPI T 211 om-02	21,478	21,435	21,457
Tusa de maíz	TAPPI T 211 om-02	2,405	2,344	2,375
Cáscara de piña	TAPPI T 211 om-02	4,579	4,642	4,611

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

Para obtener el porcentaje de cenizas se aplicó la norma TAPPI 211 om-02, donde las colillas de cigarrillo varían su porcentaje debido a los pesos que poseen los crisoles donde se realizó el análisis, pero resulta un porcentaje considerable dentro de los rangos que posee la norma, dando como resultado 6,535%; en el caso del papel reciclado se alcanzó el 21,457% que al ser comparado con (Parra, 2010, p.59), los valores son diferentes debido a la materia prima que se utiliza para elaborar el papel teniendo un valor del 13% para el papel bond y sus valores para diferentes tipos de papel van del 0,3 al 46,7%; la tusa de maíz tiene el 2,375%, mientras que en la experimentación realizada por (Valdivieso Valdivieso, 2020, p.100) da como resultado 2,340%, donde se puede apreciar que los valores son muy similares en los dos estudios y para la cáscara de piña el porcentaje es del 4,611%, valor que se encuentra dentro del rango 4,25% obtenido por (Garay Hernández y Peña Peña, 2018, p.46).

4.1.1.3. Resultados de porcentaje de solubilidad en agua caliente a partir de la materia prima

Tabla 21-4: Porcentaje de solubilidad en agua caliente de las muestras

Solubilidad en agua caliente				
Tipo de muestra	Método de referencia	Repetición 1 (%)	Repetición 2 (%)	Promedio (%)
Colillas de cigarrillo	TAPPI T 207 cm-99	9,193	9,526	9,359
Papel reciclado	TAPPI T 207 cm-99	6,910	6,822	6,866

Tusa de maíz	TAPPI T 207 cm-99	13,906	13,948	13,927
Cáscara de piña	TAPPI T 207 cm-99	37,871	37,227	37,549

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

La solubilidad en agua caliente se determinó con base a la norma TAPPI T 207 cm-99, obteniendo los siguientes porcentajes en las muestras tratadas, para las colillas de cigarrillo se estableció un porcentaje del 9,359 % de solubilidad y para el papel reciclado el 6,866 %, estos valores se pueden comparar a simple vista porque tanto las colillas como el papel se quedan como ingresan al tratamiento, no se observa cambios físicos; la tusa de maíz presentó un 13,549 % aceptando su valor debido a la investigación realizada por (González Velandia et al., 2016: pp.499-517) quien presentó un porcentaje del 8 – 13% para los tallos del maíz y del 19 – 29% para la hoja de la tusa del maíz; mientras que la cáscara de piña tiene un 37,549 % el cual tiene una diferencia considerada con (Garay Hernández y Peña Peña, 2018, p.46) debido a que su solubilidad fue del 30,93 %, esto se puede dar debido a la estructura, grosor y forma que tenga la cáscara en el momento de realizar el tratamiento.

4.1.1.4. Resultados de densidad de la materia prima molida y tamizada

Tabla 22-4: Densidad de muestras secas

Densidad para sólidos (g/cm ³)					
Tipo de muestra	Método de referencia	Repetición 1	Repetición 2	Promedio	Tiempo (h)
Colillas de cigarrillo	NTE INEN 858	0,7149	0,7699	0,742	1
Papel reciclado	NTE INEN 858	0,8341	0,7153	0,774	1
Tusa de maíz	NTE INEN 858	0,83415	0,715	0,775	1
Cáscara de piña	NTE INEN 858	0,8342	0,77	0,802	1

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

La densidad de muestras sólidas se consiguió aplicando la norma INEN 858, considerando el tiempo en el solvente de 1 hora, donde para las colillas de cigarrillo se estableció una densidad de 0,742 g/cm³, para el papel reciclado 0,774 g/cm³, tusa de maíz 0,775 g/cm³ y cáscara de piña 0,802 g/cm³; estos valores los podemos comparar con el 0,75 g/cm³ de colillas de cigarrillo de (Marín Cajamarca, 2021, pp.71-72), para el papel reciclado dependiendo del tipo de papel de (Rolleri, 2012, p.28) quien presenta unos valores de 0,566 a 0,702 g/cm³, (González Velandia et al., 2016: pp.499-517) quien para la hoja de la tusa del maíz obtuvo una densidad de 0,68 a 0,075 g/cm³ y la densidad de la cáscara de piña es de 0,7 g/cm³ según (González Velandia et al., 2016: pp.499-517), donde de esta

manera se puede corroborar que los valores de densidad obtenidos son muy similares a los estudios realizados por diferentes autores.

4.1.1.5. Resultados de porcentaje de lignina en la materia prima

Tabla 23-4: Determinación del porcentaje de lignina presente en las muestras

% de Lignina				
Tipo de muestra	Método de referencia	Repetición 1 (%)	Repetición 2 (%)	Promedio (%)
Colillas de cigarrillo	TAPPI T 222 om-02	0,160	0,938	0,549
Papel reciclado	TAPPI T 222 om-02	10,039	10,257	10,148
Tusa de maíz	TAPPI T 222 om-02	14,188	14,408	14,298
Cáscara de piña	TAPPI T 222 om-02	17,620	18,807	18,214

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

Empleando la norma TAPPI T 222 om-02, se analizó el porcentaje de lignina existente en las cuatro muestras empleadas como materia prima, el papel reciclado como las colillas de cigarrillo no poseen mucho contenido de lignina debido al tratamiento industrial que poseen para su fabricación, la tusa de maíz tiene el 14,298% que al ser comparado con el 14,6% determinado por (Portuguéz Moya et al., 1999: pp.45-50) se acepta el resultado y por último la cáscara de piña posee el 18,214 % que a partir de la investigación realizada por (González Velandia et al., 2016: pp.499-517) no se encuentra dentro del 20 al 25% debido a la norma utilizada por este autor.

4.1.1.6. Resultados del porcentaje de alfa celulosa a partir de la materia prima

Tabla 24-4: Porcentaje de alfa celulosa a partir de la materia prima

% de Alfa celulosa				
Tipo de muestra	Método de referencia	Repetición 1 (%)	Repetición 2 (%)	Promedio (%)
Colillas de cigarrillo	TAPPI T 203 m 58	38,118	41,448	39,783
Papel reciclado	TAPPI T 203 m 58	61,016	61,171	61,093
Tusa de maíz	TAPPI T 203 m 58	50,150	51,510	50,830
Cáscara de piña	TAPPI T 203 m 58	50,431	50,769	50,600

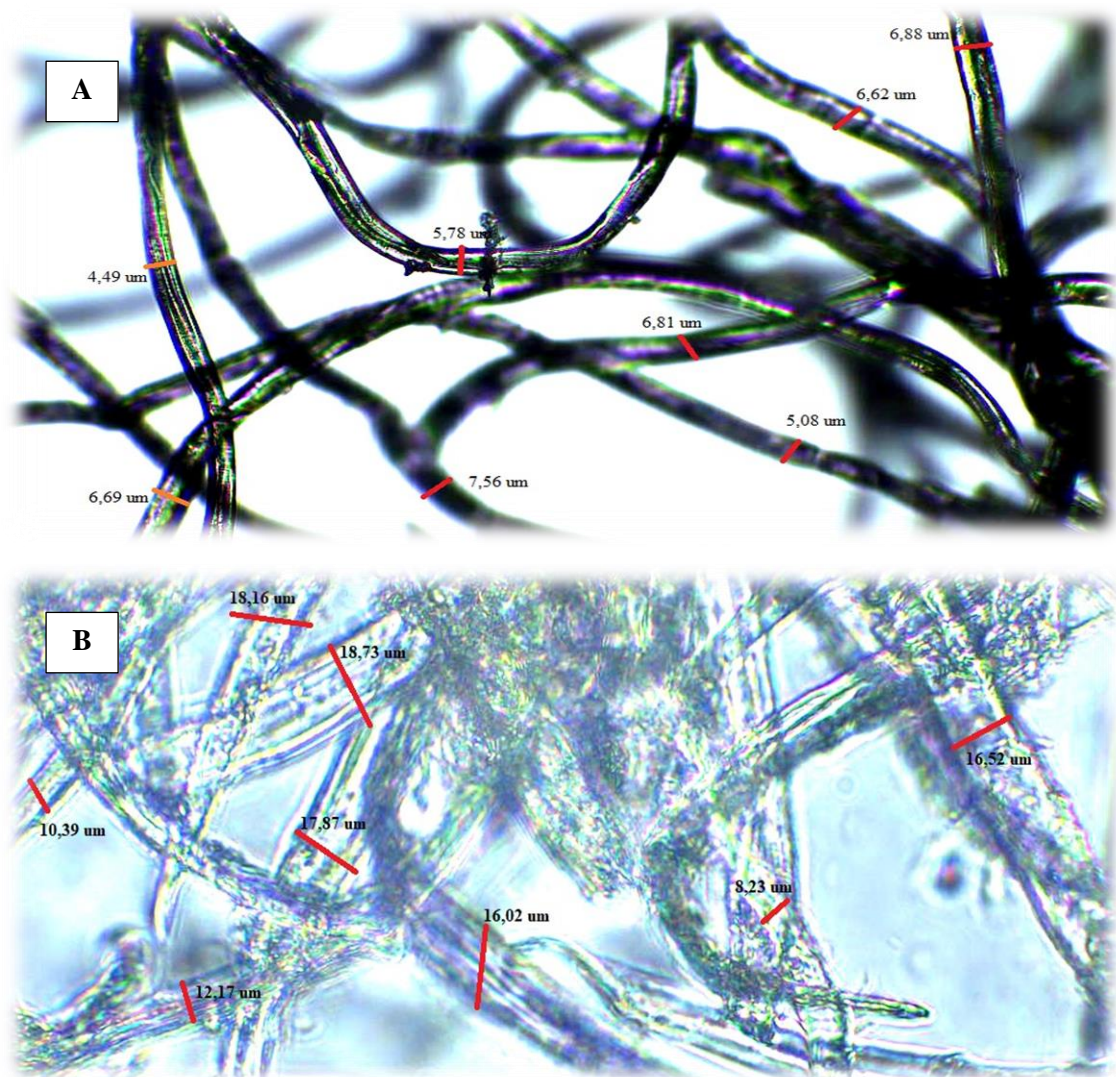
Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

A partir de la materia prima seca, molida y tamizada se extrajo el porcentaje de alfa celulosa empleando como método la norma TAPPI T 203 m 58; con base a la tabla 24-4, se puede comparar los porcentajes hallados por diferentes autores, para la tusa de maíz (Portuguéz Moya et al., 1999: pp.45-

50) tiene el 57 % de alfa celulosa para la tusa como materia prima y 78 % como materia pretratada; la cáscara de piña según (Quesada Solís et al., 2005: pp.159-177) posee el 45,12 %; por lo que se puede observar una varianza en el porcentaje de la tusa de maíz y cáscara de piña debido a la técnica aplicada.

4.1.2. Caracterización óptica de la materia prima

Para caracterizar los residuos se realizó: secado, molienda y tamizado para la tusa de maíz y cáscara de piña, mientras que para las colillas de cigarrillo se desinfectó, secó y dividió horizontalmente en fracciones pequeñas los filtros, en cambio el papel reciclado se recortó en tamaños pequeños y rasgó. Estas muestras se las colocó en el portaobjetos junto con un cubreobjetos, posteriormente en el microscopio óptico Motic con cámara, se ajustó a los lentes de 10 X y 40 X respectivamente, para obtener una mejor imagen, se observó las características que poseen y finalmente se tomó la fotografía de las diferentes imágenes.



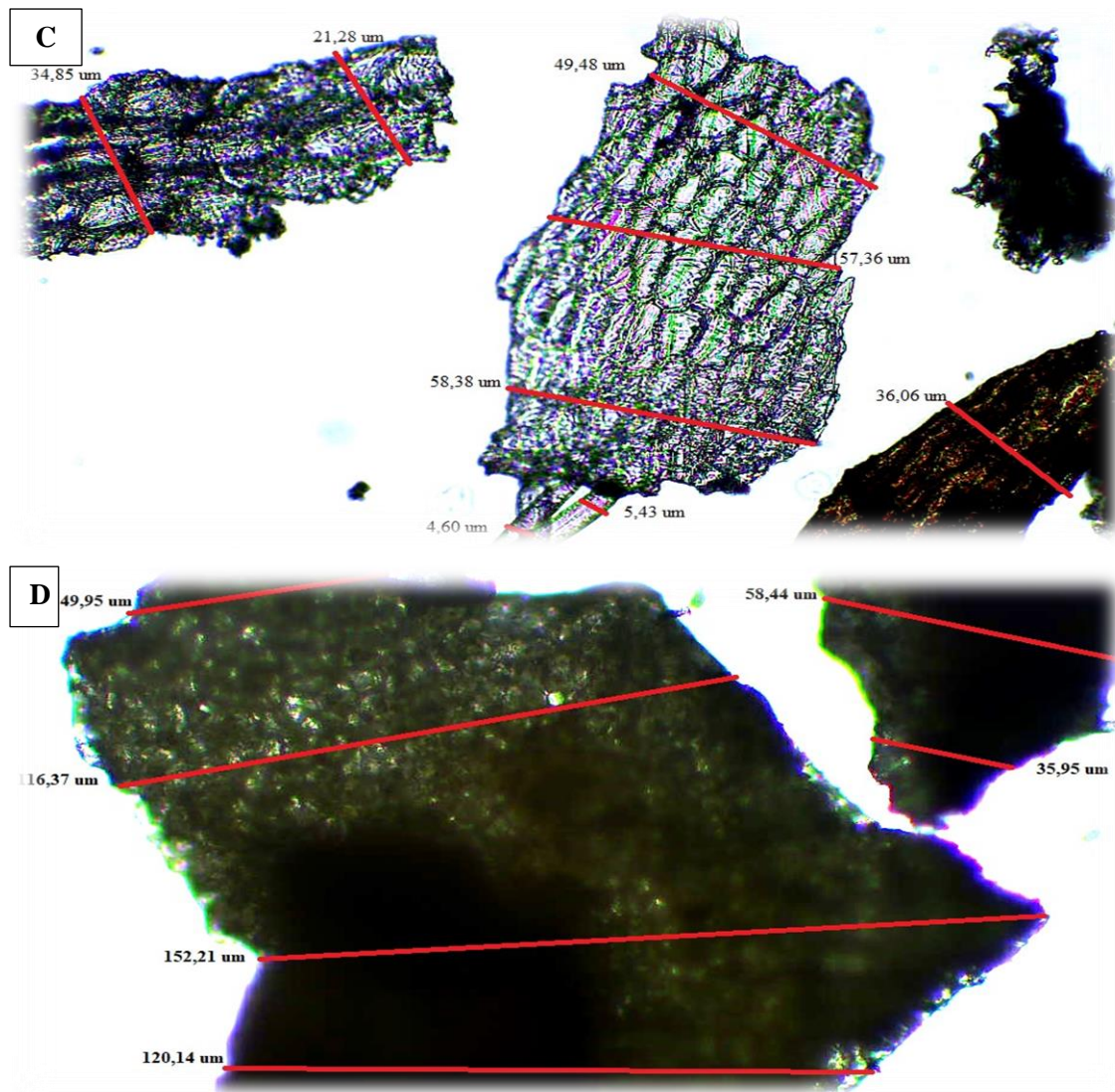


Ilustración 27-4: Representación gráfica de la materia prima en el microscopio óptico: A) Colilla de cigarrillo, B) Papel reciclado, C) Tusa de maíz y D) Cáscara de piña

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

Se observó la presencia de fibras y microfibras en los diferentes residuos. Para las colillas de cigarrillo y papel reciclado se puede apreciar la gran cantidad de fibras alargadas que poseen, esto se observó debido a que las colillas de cigarrillo contienen un filtro de fibra de acetato de celulosa, fibra de película y un recubrimiento de papel (Castañeda Espitia, 2011, p.3), apreciando de esta manera de forma notoria las fibras alargadas en grandes dimensiones con una longitud de 5 - 8 um, el papel está constituido por fibras vegetales bien compactas porque no se ha realizado ningún cambio aún en su composición presentando una longitud entre 8 y 19 um, la tusa de maíz contiene microfibrillas entre 58 y 5 um, al igual que la cáscara de piña posee 35 - 152 um, al estar trituradas estas disminuyen su tamaño, observando de esta manera las fibrillas de forma amorfa debido a que las muestras aún contienen en su composición polímeros como hemicelulosa y lignina (Betancourt Sánchez, 2017, pp.34-36).

4.1.3. Espectroscopia infrarroja FTIR de la materia prima

Se realizó el análisis FTIR a la materia prima, celulosa y nanocelulosa mediante el equipo espectrofotómetro de infrarrojo, el cual determina los espectros presentes en cada una de las muestras obtenidas, las cuales se graficaron con ayuda del software OriginLab dentro de un rango de onda de 4000 cm^{-1} a 500 cm^{-1} , obteniendo de esta manera una mejor calidad para establecer los picos más pronunciados y eliminar el sonido provocado por el ruido existente en el entorno del equipo. Para determinar los grupos funcionales se tomó como base el manual de correlaciones de espectro del propio equipo de (Shurvell, 2022, pp.9-12) donde se muestran los rangos en cm^{-1} , grupos funcionales – clase y comentarios. Los siguientes espectros tienen una composición con puntos característicos de celulosa a pesar de que son materias primas diferentes.

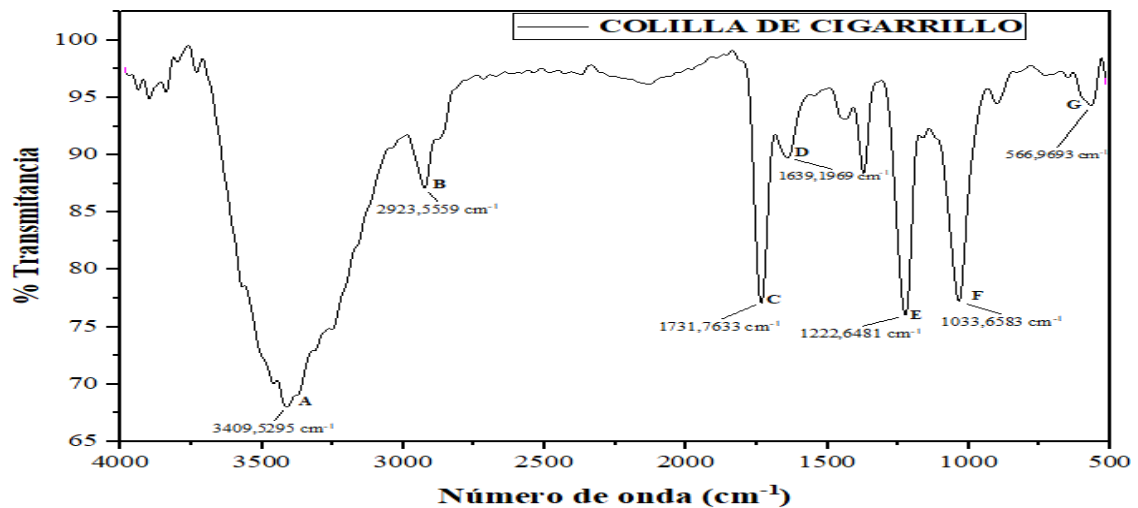


Ilustración 28-4: Espectroscopia FTIR de colillas de cigarrillo

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

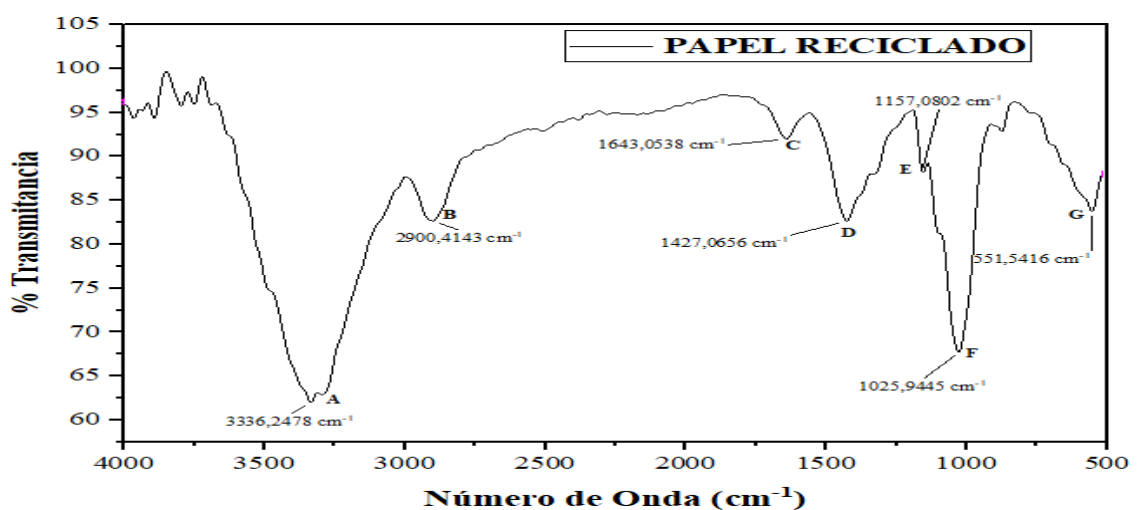


Ilustración 29-4: Espectroscopia FTIR de papel reciclado

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

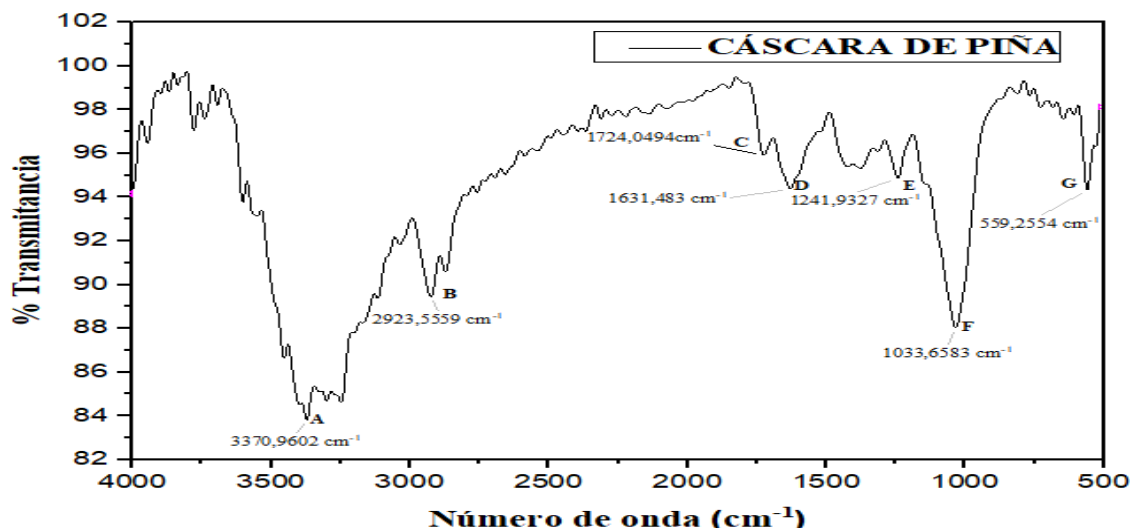


Ilustración 30-4: Espectroscopia FTIR de la muestra de cáscara de piña seca

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

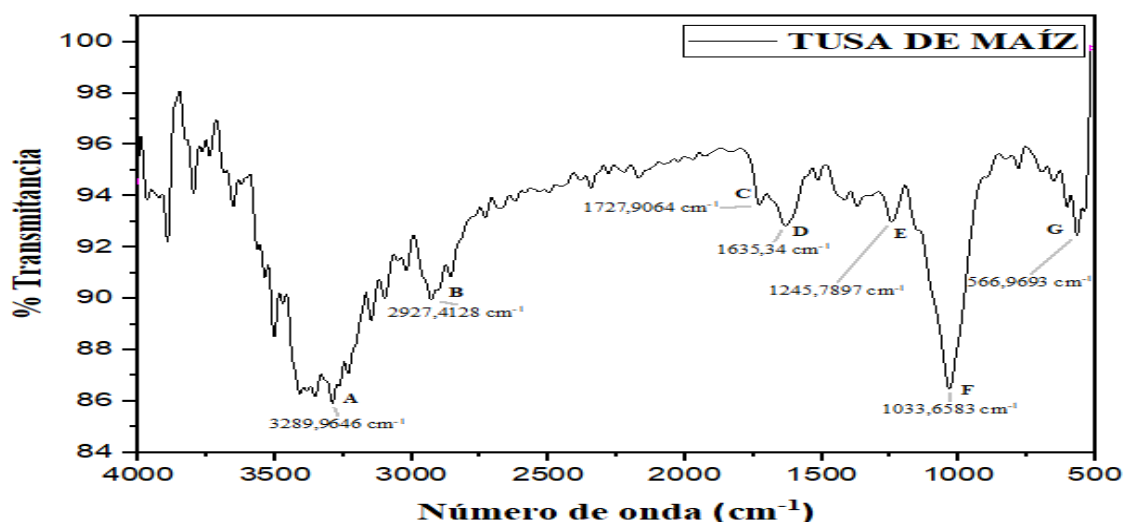


Ilustración 31-4: Espectroscopia FTIR de la muestra de tusa de maíz seca

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

Desde la ilustración 28-4 a 31-4 se representan los espectros de cada materia prima, donde se observa en todos los gráficos picos similares a los grupos funcionales que conforman la celulosa, por tal razón es posible sintetizar nanocelulosa de estos residuos.

Para la interpretación de las gráficas se tomaron picos específicos los cuales se detallan a continuación; el pico A se lo encuentra entre el rango de 3420 a 3250 cm^{-1} el cual pertenece al grupo -OH de enlaces de cadenas con puentes de hidrógeno en alcoholes y fenoles, B está entre 2990 a 2850 cm^{-1} de los compuestos alifáticos del grupo CH₃ y CH₂, el pico C va desde 1740 a 1720 cm^{-1} con grupos C=O en aldehídos y de 1670 a 1640 cm^{-1} C=O en benzofenonas, el pico D se considera de 1640 a 1580 cm^{-1} con grupos C=O en β-dicetonas y de 1440 a 1400 cm^{-1} pertenece al grupo OH en ácido carboxílico, en el pico E se encuentran los grupos C-O-C de 1240 a 1070

cm⁻¹ que conforman los ésteres, en el pico F de 1060 a 1025 cm⁻¹ están los grupos CH₂-OH en alcoholes primarios que contienen cadenas de C-O y el pico G es de 615 a 535 cm⁻¹ que poseen enlace C=O en grupos amidas.

Se puede determinar de esta manera que en los residuos existen enlaces C-H y O-H, estableciendo cadenas de C-OH que representan a los enlaces de glucosa que conforman la celulosa, siendo estos importantes en la formación del nanomaterial. Debido a que es el análisis de la materia prima se observa lignina con sus grupos funcionales en el rango de 1560 a 1500 cm⁻¹ y 990 a 950 cm⁻¹, estos son más notorios en los residuos agrícolas debido a que no han tenido ningún tratamiento, por lo que poseen en su composición azúcares, lignina y hemicelulosa.

4.2. Resultados a partir de la obtención de celulosa

Con base a los estudios realizados por (Yu et al., 2021; Blanco et al., 2018; Verma et al., 2021; Ogundare et al., 2017; Presenda Gerónimo et al., 2020; Sanaguano Peralta, 2021) se estableció los diferentes parámetros para la obtención de celulosa y nanocelulosa a partir de las cuatro materias primas pretratadas, es por esta razón que se consideró trabajar con una concentración del 5% de NaOH a diferentes temperaturas, determinando de esta manera el mejor rendimiento de celulosa y la materia prima de la cual se obtiene los mejores valores.

4.2.1. Rendimiento de celulosa de colillas de cigarrillo

En la tabla 25-4 se puede observar los resultados obtenidos de celulosa a partir de las colillas de cigarrillo que fueron sometidas a un procedimiento alcalino empleando una concentración del 5% de NaOH con variación en su temperatura a 50°C y 90°C, seguido de un blanqueamiento de la muestra con NaClO al 1%, debido a la diferencia en los pesos iniciales se puede determinar una variabilidad significativa en el rendimiento, pero estos valores se pueden relacionar dando valores dentro del rango.

Tabla 25-4: Rendimiento de celulosa a partir de la muestra pretratada de colillas de cigarrillo

CELULOSA COLILLAS DE CIGARILLO					
CONCENTRACIÓN	TEMPERATURA (°C)	MUESTRA	CARACTERÍSTICAS		
			Peso inicial (g)	Peso final (g)	% de celulosa
NaOH 5%	50	R1c	10,000	4,094	40,940
		R2c	15,117	10,529	69,651
		R3c	10,008	4,300	42,966
NaOH 5%	90	R1c	10,007	3,288	32,856
		R2c	15,053	10,190	67,694
		R3c	10,000	3,986	39,860

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

4.2.2. Rendimiento de celulosa de papel reciclado

Con el procedimiento mencionado en el rendimiento de celulosa de colillas de cigarrillo se realizó la experimentación de igual manera para el papel reciclado obteniendo un rendimiento significativo que se puede observar en la tabla 26-4.

Tabla 26-4: Rendimiento de celulosa a partir de la muestra pretratada de papel reciclado

CELULOSA DE PAPEL					
CONCENTRACIÓN	TEMPERATURA (°C)	MUESTRA	CARACTERÍSTICAS		
			Peso inicial (g)	Peso final (g)	% de celulosa
NaOH 5%	50	R1pr	15,016	13,387	89,154
		R2pr	15,086	13,401	88,831
		R3pr	15,064	13,437	89,199
NaOH 5%	90	R1pr	15,021	13,005	86,584
		R2pr	15,008	13,161	87,692
		R3pr	15,015	12,827	85,433

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

4.2.3. Rendimiento de celulosa de tusa de maíz

Con el fin de eliminar hemicelulosa, lignina y varios carbohidratos más, existentes en la tusa de maíz, se realiza el procedimiento alcalino utilizando una concentración de NaOH al 5% y un blanqueamiento con NaClO al 1%.

Tabla 27-4: Rendimiento de celulosa a partir de la muestra pretratada de tusa de maíz

CELULOSA DE MAIZ					
CONCENTRACIÓN	TEMPERATURA (°C)	MUESTRA	CARACTERÍSTICAS		
			Peso inicial (g)	Peso final (g)	% de celulosa
NaOH 5%	50	R1m	15,021	4,326	28,800
		R2m	15,008	5,954	39,672
		R3m	15,007	4,277	28,499
NaOH 5%	90	R1m	15,019	2,308	15,367
		R2m	15,011	6,122	40,784
		R3m	15,009	5,608	37,364

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

4.2.4. Rendimiento de celulosa de cáscara de piña

Para la cáscara de piña se considera dos tratamientos diferentes, en el primero se manejó el tratamiento alcalino con la concentración de NaOH al 5% más blanqueamiento con NaClO y en

el otro procedimiento además de utilizar NaOH al 5% y el blanqueamiento, se añadió 3 ml por cada gramo de CH₃COOH para eliminar los azúcares aún existentes en la muestra, además de lignina, con el fin de diferenciar si existe un mejor rendimiento.

Tabla 28-4: Rendimiento de celulosa a partir de la muestra pretratada de cáscaras de piña

CELULOSA DE PIÑA					
CONCENTRACIÓN	TEMPERATURA (°C)	MUESTRA	CARACTERÍSTICAS		
			Peso inicial (g)	Peso final (g)	% de celulosa
NaOH 5%	50	R1p	15,110	4,391	29,062
		R2p	15,008	5,763	38,399
		R3p	15,108	4,883	32,321
NaOH 5% + CH ₃ COOH	50	R1p	15,052	5,984	39,756
		R2p	15,021	4,999	33,282
		R3p	15,004	6,936	46,229
NaOH 5%	90	R1p	15,011	4,439	29,573
		R2p	15,017	4,902	32,642
		R3p	15,030	5,340	35,530
NaOH 5% + CH ₃ COOH	90	R1p	15,014	5,281	35,174
		R2p	15,003	5,540	36,926
		R3p	15,003	5,355	35,693

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

4.2.5. Rendimiento de alfacelulosa

Para determinar el rendimiento de alfacelulosa se partió de la celulosa obtenida a través del procedimiento alcalino, donde se quiere lograr obtener una celulosa pura para sus posteriores tratamientos industriales. Consiguiendo de esta manera un rendimiento alto a una temperatura de 50°C en los residuos de papel reciclado por su composición de celulosa y en la cáscara de piña por la estructura que posee.

Tabla 29-4: Rendimiento de alfacelulosa

% ALFACELULOSA					
MATERIA	TEMPERATURA (°C)	MUESTRA	CARACTERÍSTICAS		
			Peso inicial (g)	Peso final (g)	% de Alfacelulosa
Cáscara de Piña + CH ₃ COOH	50	R3p	3,006	2,772	92,216
Tusa de Maíz	90	R2m	3,003	2,449	81,544
Papel Reciclado	50	R3pr	3,006	2,891	96,187
Colillas de cigarrillo	50	R2c	3,005	2,549	84,828

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

4.2.6. Análisis estadístico

En base al diseño experimental desarrollado, se realiza un diseño estadístico completamente al azar por la variable de temperatura utilizada en el proceso, con este diseño se comparan las repeticiones realizadas con cada residuo empleado. Para realizar un análisis ANOVA es importante que se cumpla la dispersión de puntos a través de una igualdad en la varianza de los tratamientos realizados y que estos se encuentren dentro del rango de la gráfica de normalidad. Se trabaja con un intervalo de confianza de 0,05 para determinar la hipótesis nula y alternativa.

-No existe diferencia significativa estadísticamente si se cumple la hipótesis nula.

-Existe diferencia significativa estadísticamente si se cumple la hipótesis alternativa.

Para ello con los valores de probabilidad se determina si se acepta o rechaza la hipótesis:

-Se acepta la hipótesis nula si $p > 0,05$

-Se acepta la hipótesis alternativa si $p < 0,05$.

En los tratamientos realizados se comprueba que existe un intervalo de confianza con los valores obtenidos, se empleó el software Minitab para el análisis estadístico. En las ilustraciones 32-4 a la 35-4 se puede apreciar que los valores están dentro del rango de normalidad para el rendimiento de celulosa y las medias cumplen el intervalo de confianza del 95%.

4.2.6.1. Análisis de Varianza de celulosa de cáscara de piña

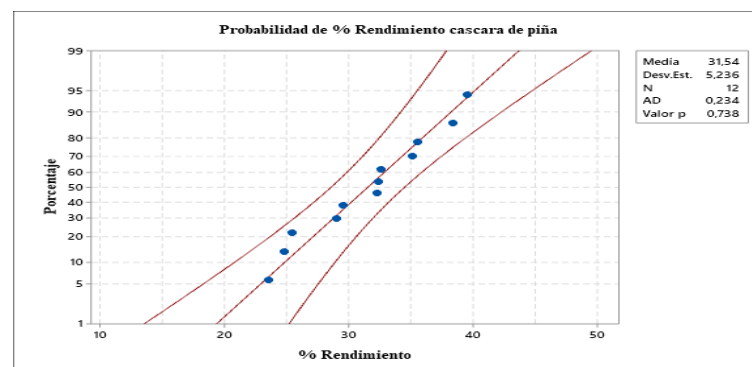


Ilustración 32-4: Normalidad en el rendimiento de celulosa de cáscara de piña

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

-Media

Tabla 30-4: Media de valores

T (°C)	N°	Media	Desv.Est.	IC de 95%
50	6	32,77	5,59	(27,93; 37,61)
90	6	30,31	5,04	(25,47; 35,15)

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

IC = Intervalo de confianza en un rango de valores

-ANOVA

Tabla 31-4: ANOVA de celulosa de cáscara de piña

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Temperatura	1	18,19	18,19	0,64	0,442
Error	10	283,37	28,34		
Total	11	301,55			

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

GL = Grados de libertad

SC = Suma de cuadrados

MC = Cuadrado medio

F = Valor estadístico de prueba

p = Significancia observada

En base a la temperatura utilizada, empleando el intervalo de confianza el Valor $p > 0,05$; se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa, la temperatura influye en el proceso de manera no muy significativa entre 50°C y 90°C , pero al estar influenciada con una concentración de CH_3COOH el rendimiento obtenido a 50°C es el mejor en la experimentación de cáscara de piña.

De igual manera se acepta la hipótesis nula porque el valor $0,64 < 4,965$, es decir que en un intervalo de confianza del 95 % empleando la Tabla de Fisher no existen diferencias significativas en el rendimiento para la cáscara de piña a partir de las diferentes temperaturas y tratamientos.

4.2.6.2. Análisis de Varianza de celulosa de tusa de maíz

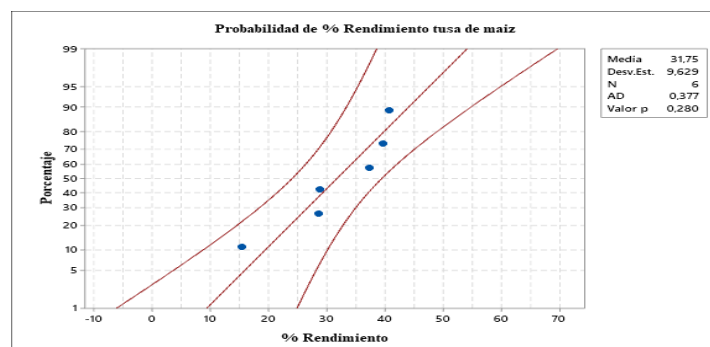


Ilustración 33-4: Normalidad para el rendimiento de celulosa tusa de maíz

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

-Media

Tabla 32-4: Media de valores

T (°C)	N°	Media	Desv.Est.	IC de 95%
50	3	32,32	6,37	(15,10; 49,54)
90	3	31,17	13,79	(13,95; 48,39)

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

-ANOVA

Tabla 33-4: ANOVA de celulosa tusa de maíz

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Temperatura	1	1,990	1,990	0,02	0,902
Error	4	461,558	115,389		
Total	5	463,548			

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

Con el intervalo de confianza el Valor $p > 0,05$; se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa, en este caso el mejor rendimiento se encuentra a una temperatura de 90°C.

Se acepta la hipótesis nula porque $0,02 < 7,709$ según la tabla de Fisher que tiene un intervalo de confianza de 95% no se encuentran diferencias significativas en el rendimiento de celulosa para la tusa de maíz a sus diferentes temperaturas.

4.2.6.3. Análisis de Varianza de celulosa de papel reciclado

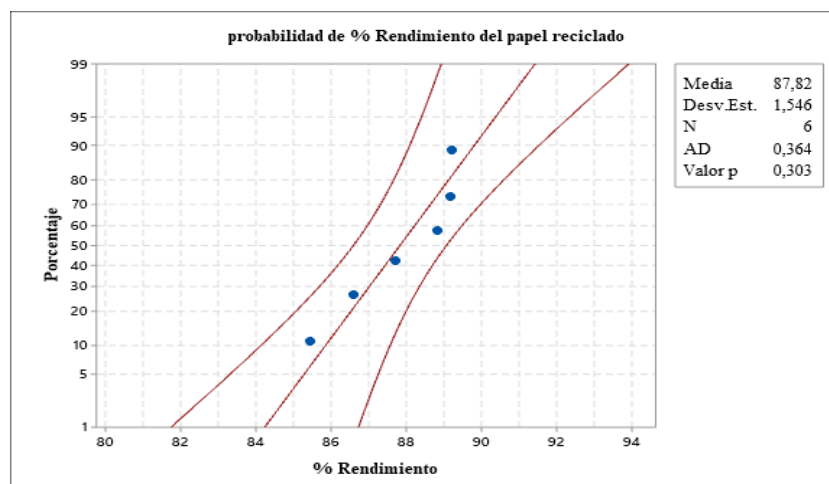


Ilustración 34-4: Normalidad celulosa de papel reciclado

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

-Media

Tabla 34-4: Media de valores

T (°C)	N°	Media	Desv.Est.	IC de 95%
50	3	89,061	0,201	(87,761; 90,362)
90	3	86,570	1,130	(85,269; 87,870)

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

-ANOVA

Tabla 35-4: ANOVA de celulosa de papel reciclado

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Temperatura	1	9,312	9,3124	14,15	0,020
Error	4	2,633	0,6584		
Total	5	11,946			

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

Cuando el Valor $p < 0,05$; se acepta la hipótesis alternativa y se rechaza la hipótesis nula, existe una diferencia significativa en el rendimiento obtenido debido a la manipulación de temperaturas de 50°C y 90°C, siendo de mejor rendimiento la celulosa de 50°C.

Se rechaza la hipótesis nula porque $14,15 > 7,709$ según Fisher y se acepta la hipótesis alternativa debido a que un valor difiere en el rendimiento de celulosa para el papel reciclado tomando como referencia el más alto rendimiento a las diferentes temperaturas.

4.2.6.4. Análisis de varianza de colillas de cigarrillo

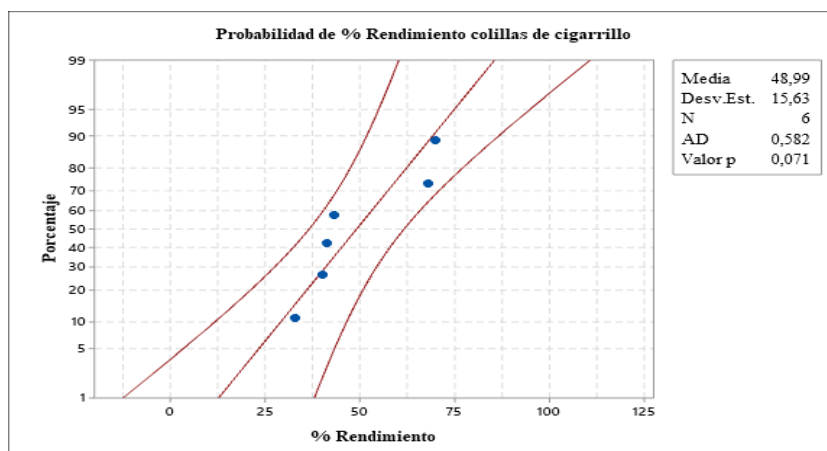


Ilustración 35-4: Normalidad de celulosa de colillas de cigarrillo

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

-Media

Tabla 36-4: Media de valores

T (°C)	N°	Media	Desv.Est.	IC de 95%
50	3	51,19	16,02	(23,51; 78,87)
90	3	46,8	18,4	(19,1; 74,5)

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

-ANOVA

Tabla 37-4: ANOVA de celulosa de colillas de cigarrillo

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Temperatura	1	28,81	28,81	0,10	0,771
Error	4	1192,69	298,17		
Total	5	1221,50			

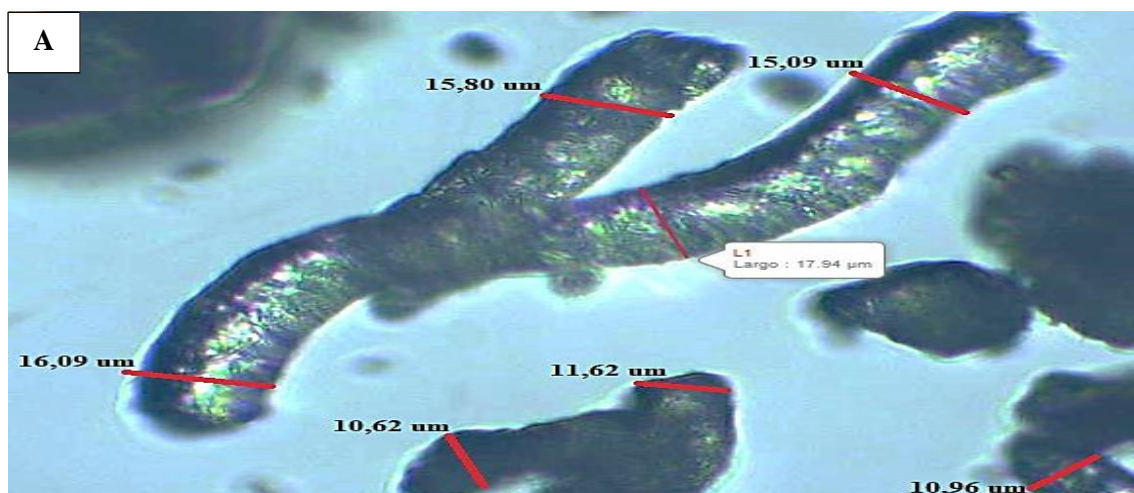
Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

Para el Valor $p > 0,05$; se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa, las colillas de cigarrillo al tener una variabilidad de peso se determina que el mejor rendimiento se encuentra a una temperatura de 50°C.

Se acepta la hipótesis nula porque $0,10 < 7,709$ está dentro del rango establecido y podemos determinar que no existe variabilidad en el rendimiento de celulosa del cigarrillo.

4.2.7. Caracterización óptica de las muestras de celulosa

4.2.7.1. Celulosa obtenida a una temperatura de 50 °C observada en el microscopio óptico



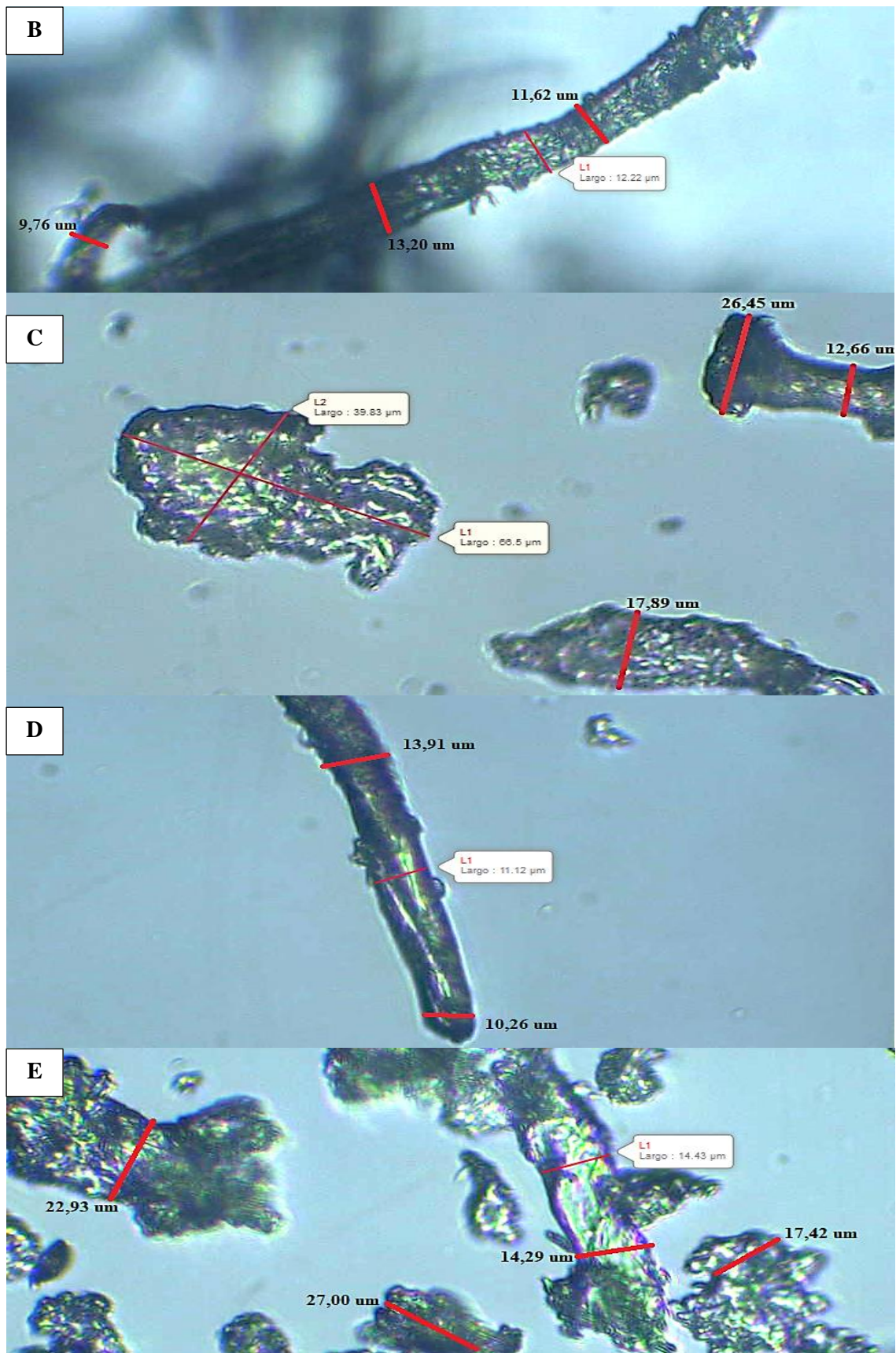


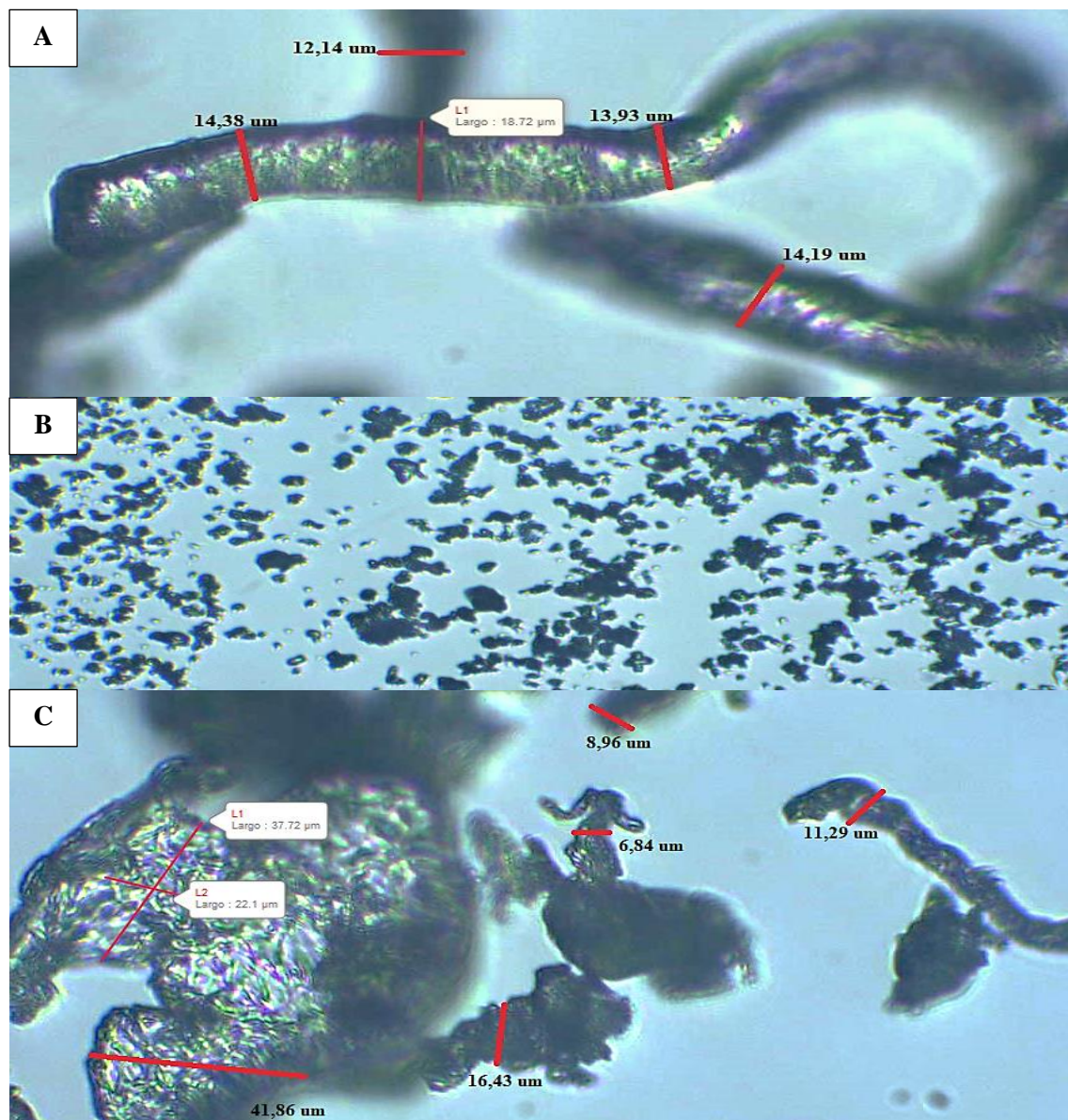
Ilustración 36-4: Ilustración de celulosa a 50 °C: A) Colilla de cigarrillo, B) Papel reciclado, C) Tusa de maíz, D) Cáscara de piña y E) Cáscara de piña con ácido acético

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

En la presente ilustración se puede apreciar fibras y microfibras existentes en la celulosa obtenida a una temperatura de 50 °C, empleando un microscopio óptico con cámara ajustando la resolución en su lente de 40X, observando microfibras alargadas bien definidas en las colillas de cigarrillo que poseen una longitud de 11 a 18 μm , el papel reciclado posee una longitud entre 10 y 13 μm y la cáscara de piña tiene una longitud entre 14 y 10 μm , en cambio para la tusa de maíz y cáscara de piña con ácido acético se observan fibras irregulares de 39,83 a 12,66 μm y 14,29 a 27 μm respectivamente.

Las longitudes obtenidas se encuentran en dimensiones de micrómetros, se consideran a estas medidas buenas para las dimensiones que como objeto de estudio se requiere llegar, siendo la de mayor longitud la tusa de maíz y de menor longitud la de papel reciclado.

4.2.7.2. Celulosa a temperatura de 90 °C observada en el microscopio óptico



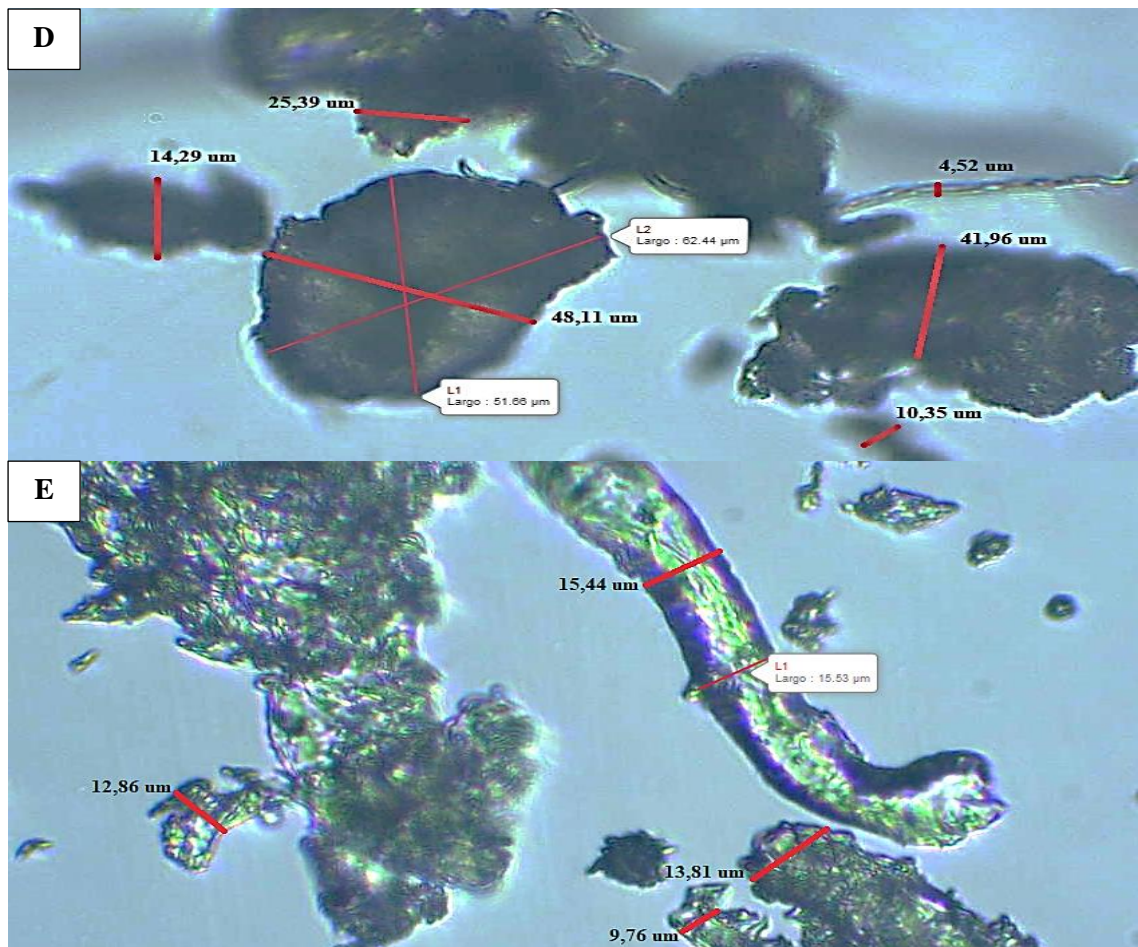


Ilustración 37-4: Ilustración de celulosa a 90 °C: A) Colilla de cigarrillo, B) Papel reciclado, C) Tusa de maíz, D) Cáscara de piña y E) Cáscaras de piña con ácido acético

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

Para la temperatura de 90 °C se puede observar gran variedad de formas de celulosa, para las colillas de cigarrillo se tienen microfibrillas alargadas de una longitud de 18,72 μm, el papel se encuentra muy triturado por lo que no es posible ver en este microscopio sus dimensiones, tusa de maíz está entre una longitud de 37,72 μm a 6,84 μm, cáscara de piña posee una longitud entre 10,35 μm a 62,44 μm, cáscara de piña con ácido acético de 8,76 a 15,53 μm.

Se puede determinar que la temperatura depende para que las estructuras se compacten o separen, formando fibras donde se ha eliminado los azúcares y lignina o estructuras amorfas con fibrillas compactas donde se debe aumentar la concentración de NaOH por la cantidad de azúcares que posee la muestra.

4.2.8. Análisis de Espectroscopia FTIR de celulosa

Con la celulosa obtenida a partir de los cuatro residuos se puede determinar grupos funcionales específicos de -OH, -CH₂, -CH₃, .C-H, C-O y ciclos de carbono, que pertenecen a la formación

de celulosa. Según (Contreras et al., 2010: p.4) las vibraciones obtenidas para la celulosa son 2918 y 1427 cm^{-1} con grupos de C-H₂, C-H en una longitud de 1360 cm^{-1} , C-O con rangos de 1054 cm^{-1} y 1030 cm^{-1} y O-H está en una banda de 3600 cm^{-1} , 3200 cm^{-1} y 1335 cm^{-1} , comprobando que los valores obtenidos están dentro de los parámetros de otros autores. Los grupos funcionales se colocaron en función de los picos con la propuesta de (Shurvell, 2022, pp.9-12).

4.2.8.1. FTIR de celulosa de colillas de cigarrillo

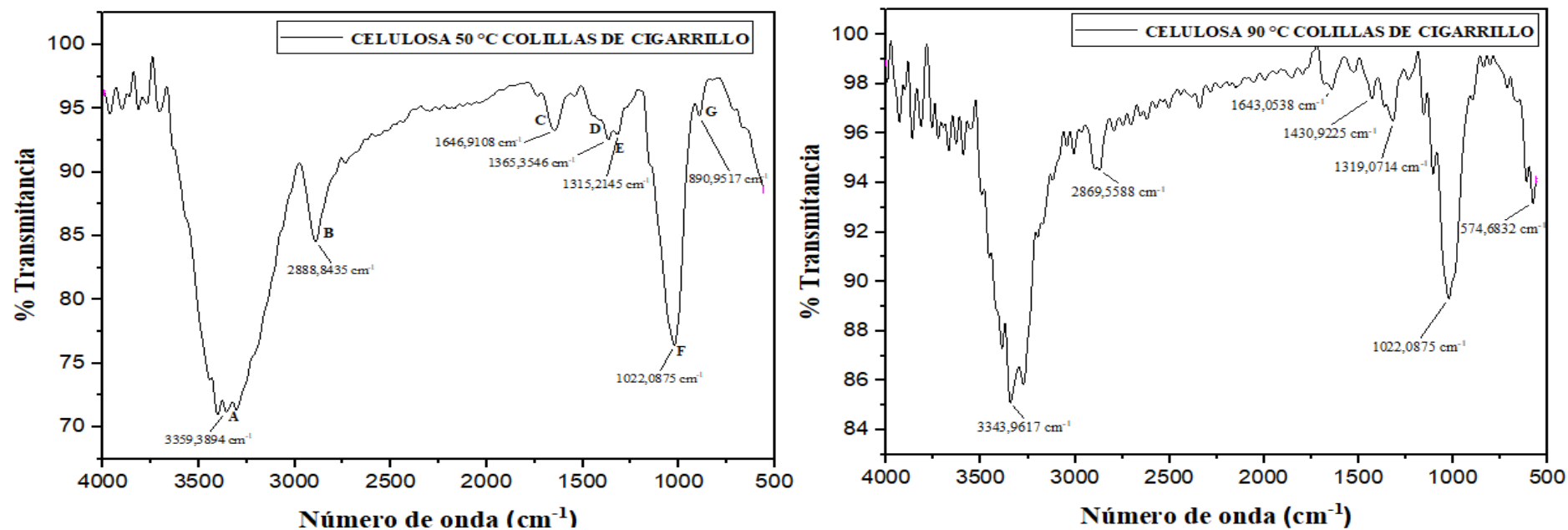


Ilustración 38-4: FTIR de celulosa de colillas de cigarrillo a 50 °C y 90 °C respectivamente

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

En las dos ilustraciones para el rango de 3420 a 3250 cm^{-1} se encuentra el grupo funcional en alcoholes y fenoles -OH con la existencia de puentes de hidrógeno, los picos 2888,843 y 2869,55 cm^{-1} están dentro del grupo funcional -CH₃ y -CH₂ en compuestos alifáticos con enlaces C-H, en 1646,9108 cm^{-1} y 1643,0538 cm^{-1} está el grupo funcional C=O en benzofenonas, en las dos ilustraciones se obtuvo el pico 1022,087 cm^{-1} que representa anillos de carbono en compuestos cíclicos. Para la celulosa a una temperatura de 50 °C existen puntos de 1365,354 cm^{-1} pertenecientes al grupo isopropil con cadenas simétricas de CH₃ y a 890,951 cm^{-1} está 1,2,4-bencenos trisustituídos con enlaces C-H, diferentes a la celulosa obtenida a 90°C donde se encuentra el pico 1430,922 cm^{-1} que conforma OH en ácidos carboxílicos y el pico 574,6832 cm^{-1} está dentro de un cicloalcano.

4.2.8.2. FTIR de celulosa de papel reciclado

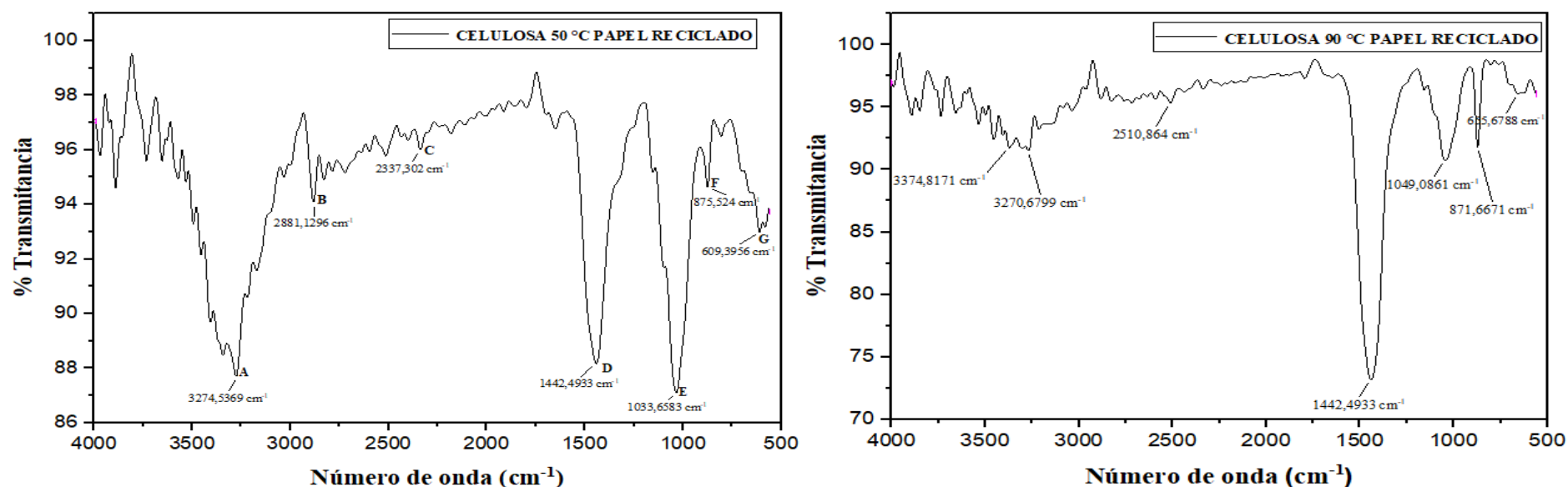


Ilustración 39-4: FTIR de celulosa de papel reciclado a 50 °C y 90 °C respectivamente

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

Se puede observar puntos similares en las dos ilustraciones, los cuales son $3274,536\text{ cm}^{-1}$, $3374,817\text{ cm}^{-1}$ y $3270,679\text{ cm}^{-1}$ estos se encuentran en el grupo funcional de alcoholes y fenoles -OH con la existencia de puentes de hidrógeno, $1442,493\text{ cm}^{-1}$ conforma CH_3 en compuestos alifáticos, en $1033,658\text{ cm}^{-1}$ y $1049,086\text{ cm}^{-1}$ está $\text{CH}_2\text{-OH}$ en alcoholes primarios que es un grupo funcional de celulosa, los picos $875,52\text{ cm}^{-1}$ y $871,667\text{ cm}^{-1}$ están dentro de 1,2,4-bencenos trisustituidos con enlaces C-H, $609,395\text{ cm}^{-1}$ y $655,678\text{ cm}^{-1}$ C=C-H en alquenos. Existe un punto diferente en la celulosa de 50°C el pico $2881,129\text{ cm}^{-1}$ se encuentra dentro del grupo funcional - CH_3 y - CH_2 en compuestos alifáticos con enlaces de C-H.

4.2.8.3. FTIR de celulosa de tusa de maíz

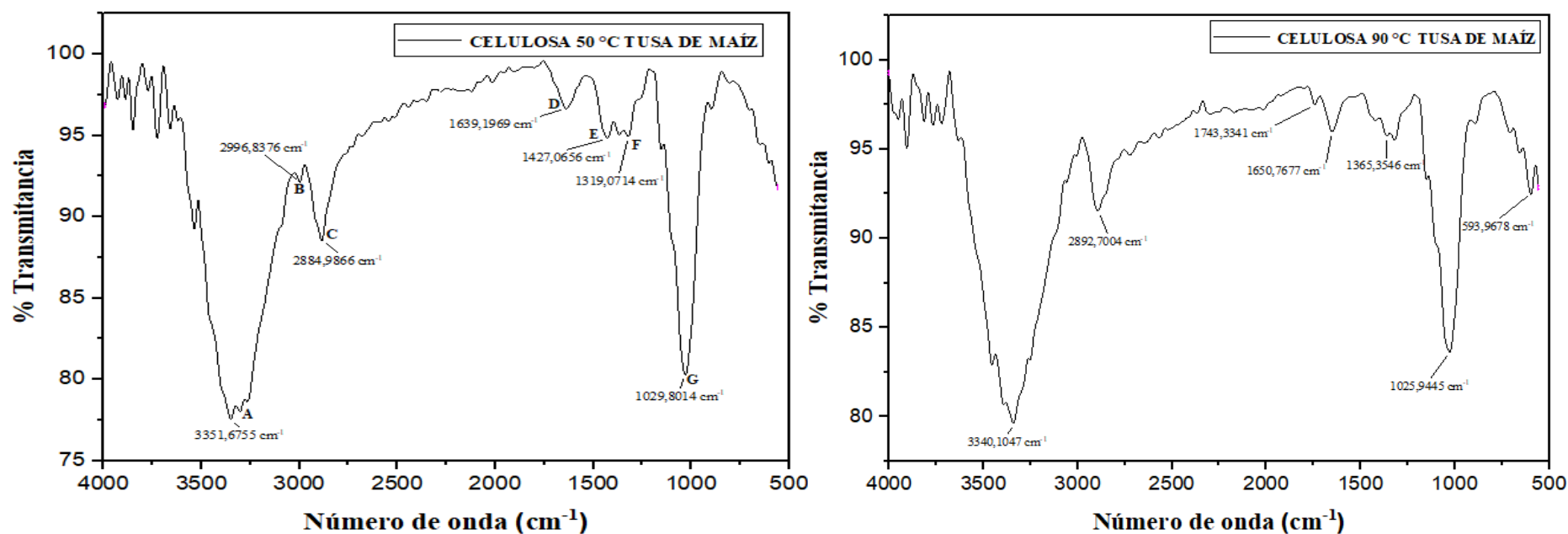


Ilustración 40-4: FTIR celulosa de tusa de maíz a 50°C y 90°C respectivamente

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

Se puede observar puntos similares en las dos ilustraciones, los cuales son $3351,675\text{ cm}^{-1}$ y $3340,104\text{ cm}^{-1}$ estos se encuentran en el grupo funcional de alcoholes y fenoles de $-\text{OH}$ con la existencia de puentes de hidrógeno, $2884,986\text{ cm}^{-1}$ y $2892,7\text{ cm}^{-1}$ $-\text{CH}_3$ y $-\text{CH}_2$ en compuestos alifáticos con enlaces de $\text{C}-\text{H}$, $1650,7677\text{ cm}^{-1}$ y $1639,196\text{ cm}^{-1}$ $\text{C}=\text{O}$ en β -ésteres, $1029,801\text{ cm}^{-1}$ y $1025,944\text{ cm}^{-1}$ son anillos de carbono en compuestos cíclicos.

Existen tres puntos diferente en la celulosa, en la de 50°C está $2996,83\text{ cm}^{-1}$ dentro del grupo funcional $=\text{CH}$ en compuestos aromáticos e hidrocarburos insaturados, mientras que en 90°C en $1743,334\text{ cm}^{-1}$ $\text{C}=\text{O}$ en ésteres y $593,967\text{ cm}^{-1}$ $\text{C}=\text{O}$ en amidas.

4.2.8.4. FTIR de celulosa de cáscara de piña

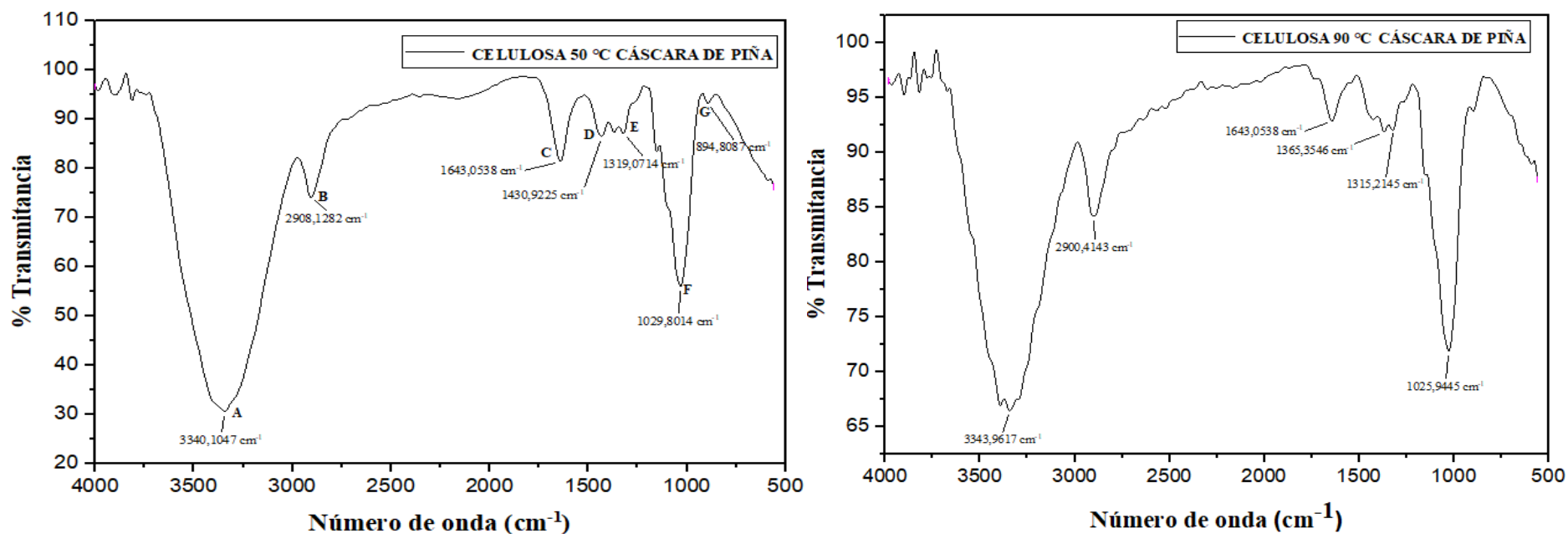


Ilustración 41-4: FTIR de celulosa de cáscara de piña a 50°C y 90°C respectivamente

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

Se puede observar puntos similares en las dos ilustraciones, los cuales son $3340,104\text{ cm}^{-1}$ y $3343,961\text{ cm}^{-1}$ se encuentran en el grupo funcional de alcoholes y fenoles de $-\text{OH}$ con la existencia de puentes de hidrógeno, $2908,128\text{ cm}^{-1}$ y $2900,414\text{ cm}^{-1}$ están $-\text{CH}_3$ y $-\text{CH}_2$ en compuestos alifáticos con enlaces de $\text{C}-\text{H}$, se encuentra exactamente igual en las dos ilustraciones el pico $1643,053\text{ cm}^{-1}$ $\text{C}=\text{O}$ en benzofenonas, $1029,801\text{ cm}^{-1}$ y $1025,944\text{ cm}^{-1}$ son anillos de carbono en compuestos cíclicos.

4.2.8.5. FTIR celulosa de cáscara de piña con adición de ácido acético

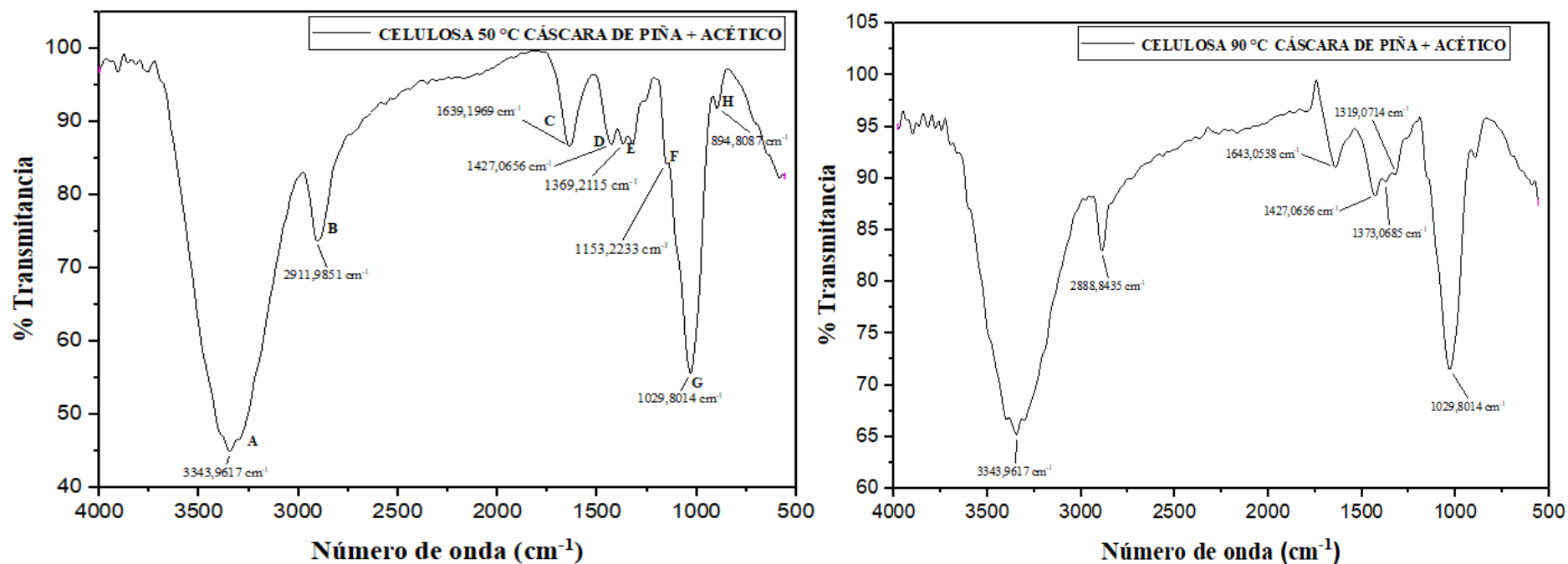


Ilustración 42-4: FTIR de celulosa de piña con ácido acético a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ respectivamente

Realizado por: Estrada, Paola, 2022

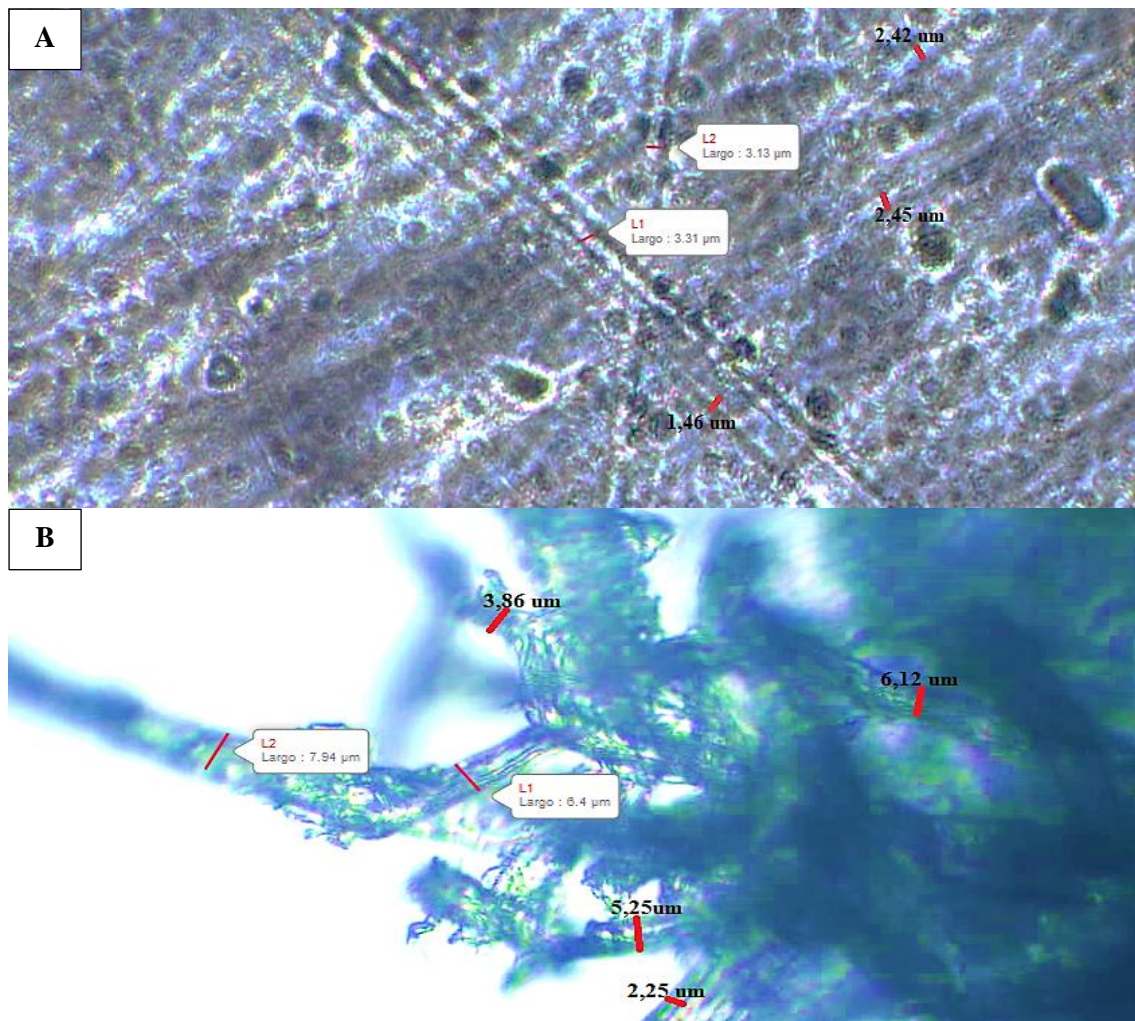
Se puede observar puntos iguales en las dos ilustraciones, los cuales son: $3343,961\text{ cm}^{-1}$ se encuentra en el grupo funcional de alcoholes y fenoles de $-\text{OH}$ con la existencia de puentes de hidrógeno, $1427,065\text{ cm}^{-1}$ OH en ácidos carboxílicos, $1029,801\text{ cm}^{-1}$ está dentro de los anillos de carbono en compuestos cíclicos.

Puntos similares en $2911,985\text{ cm}^{-1}$ y $2888,843\text{ cm}^{-1}$ $-\text{CH}_3$ y $-\text{CH}_2$ en compuestos alifáticos con enlaces de C-H, $1639,196\text{ cm}^{-1}$ y $1643,053\text{ cm}^{-1}$ C=O en amidas secundarias, $1373,068\text{ cm}^{-1}$ y $1369,211\text{ cm}^{-1}$ grupo isopropil con enlaces CH₃.

4.3.Resultados de la síntesis de nanocelulosa

4.3.1.Caracterización óptica de nanocelulosa

4.3.1.1.Nanocelulosa sintetizada a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ vista en microscopio óptico



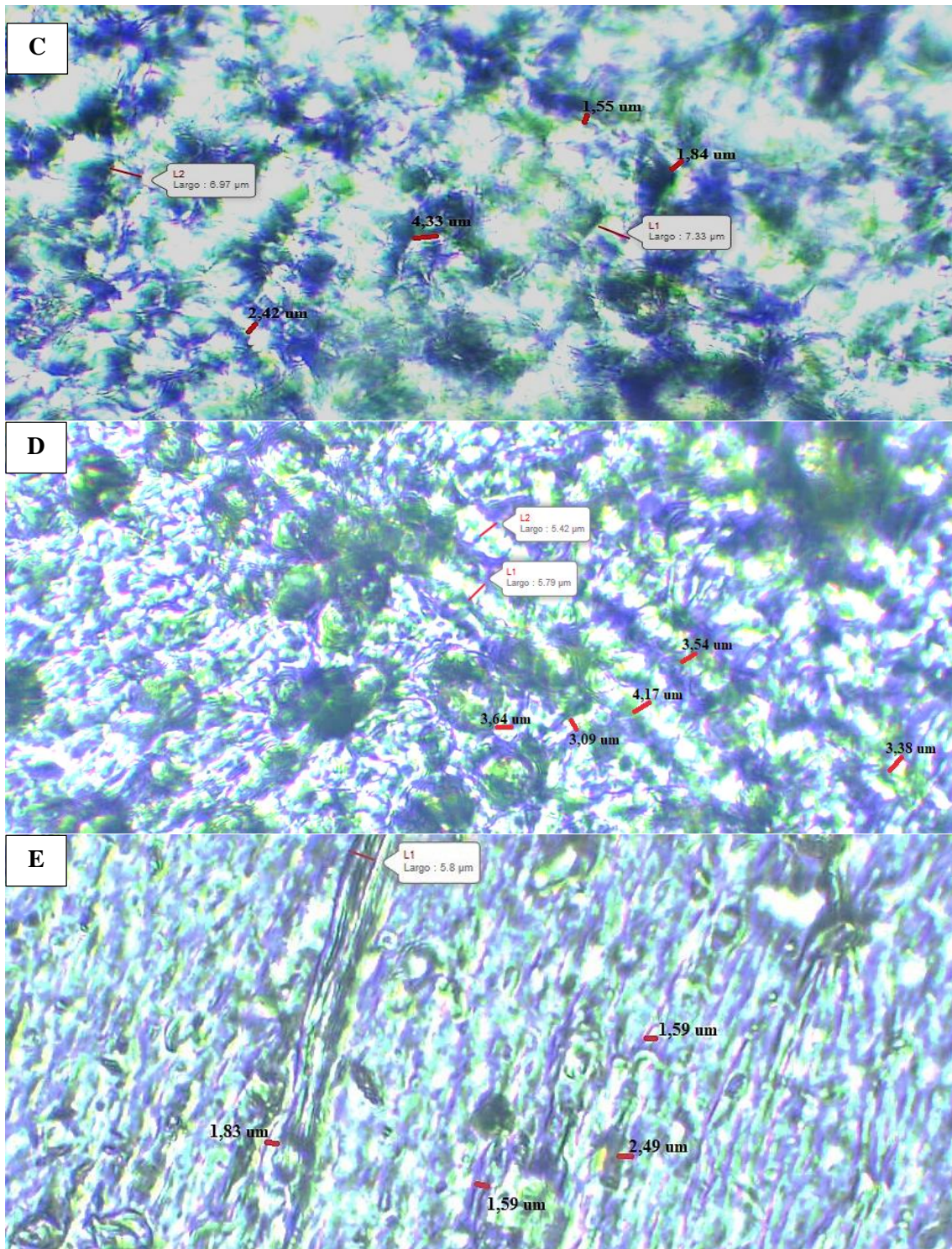


Ilustración 43-4: Nanocelulosa a 50 °C: A) Colilla de cigarrillo, B) Papel reciclado, C) Tusa de maíz, D) Cáscara de piña y E) Cáscaras de piña con ácido acético

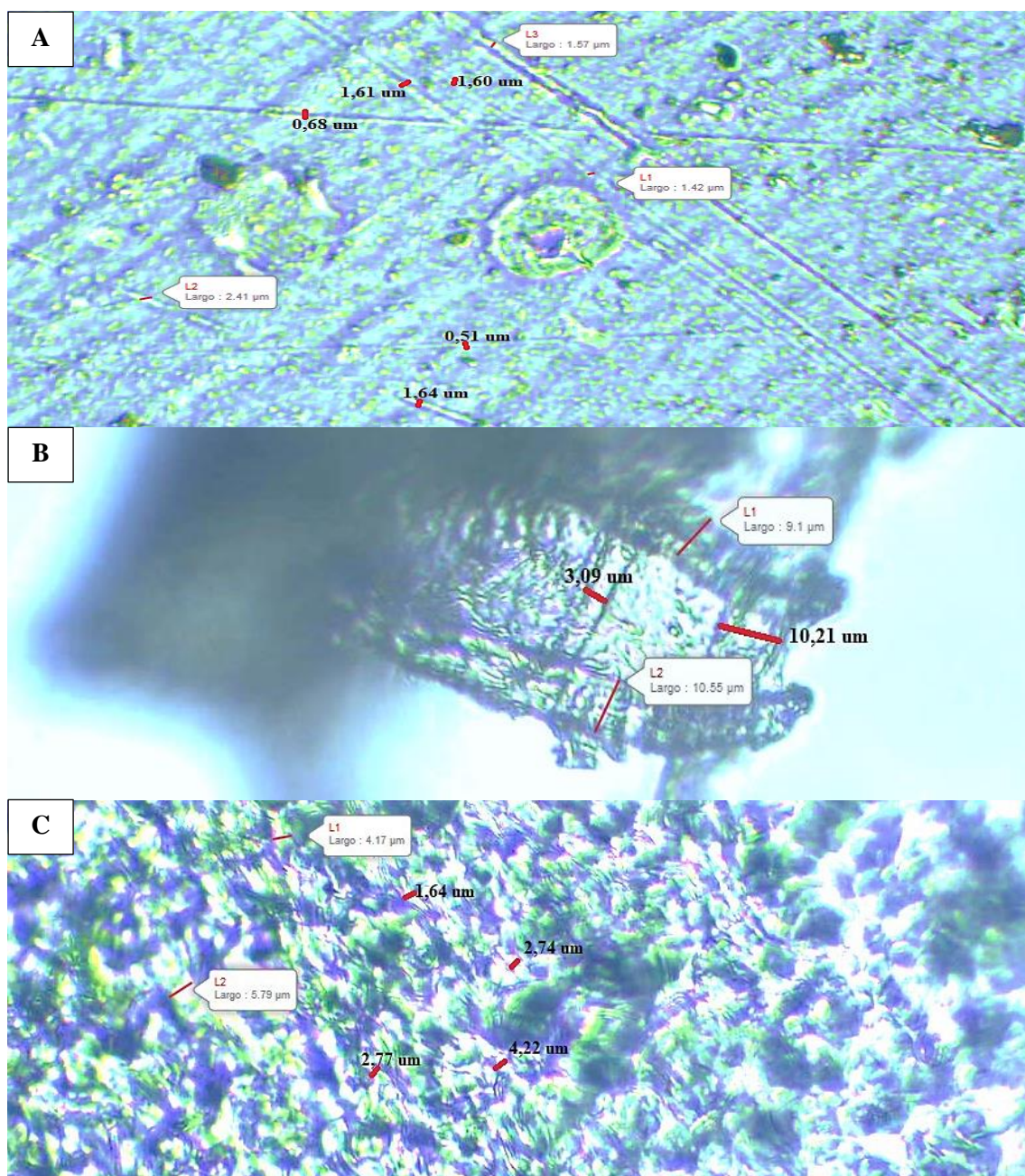
Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

La visualización a primera instancia de nanocelulosa formada se realizó a través del microscopio óptico Motic con cámara, donde se puede observar las microfibrillas de cada uno de los residuos, con dimensiones micrométricas muy significativas al momento de obtener el producto. Para las

colillas de cigarrillo se tiene una longitud de 1,46 a 3,31 μm entre las fibras encontradas, para el papel reciclado existe una longitud de 7,94 a 2,55 μm , la tusa de maíz posee longitudes de 1,55 a 7,33 μm , la longitud de la cáscara de piña es de 3,09 a 5,79 μm y de 1,59 a 5,8 μm para la cáscara de piña con ácido acético.

Estos valores se obtuvieron a través del proceso llevado a cabo con la utilización del agitador, centrifuga, ultrasonido con baño de hielo y de punta de acero, debido a que fueron los encargados de romper las moléculas de formación de celulosa para lograr obtener nanocelulosa a partir de una solución del 65% de H_2SO_4 .

4.3.1.2. Nanocelulosa sintetizada a 90°C vista en microscopio óptico



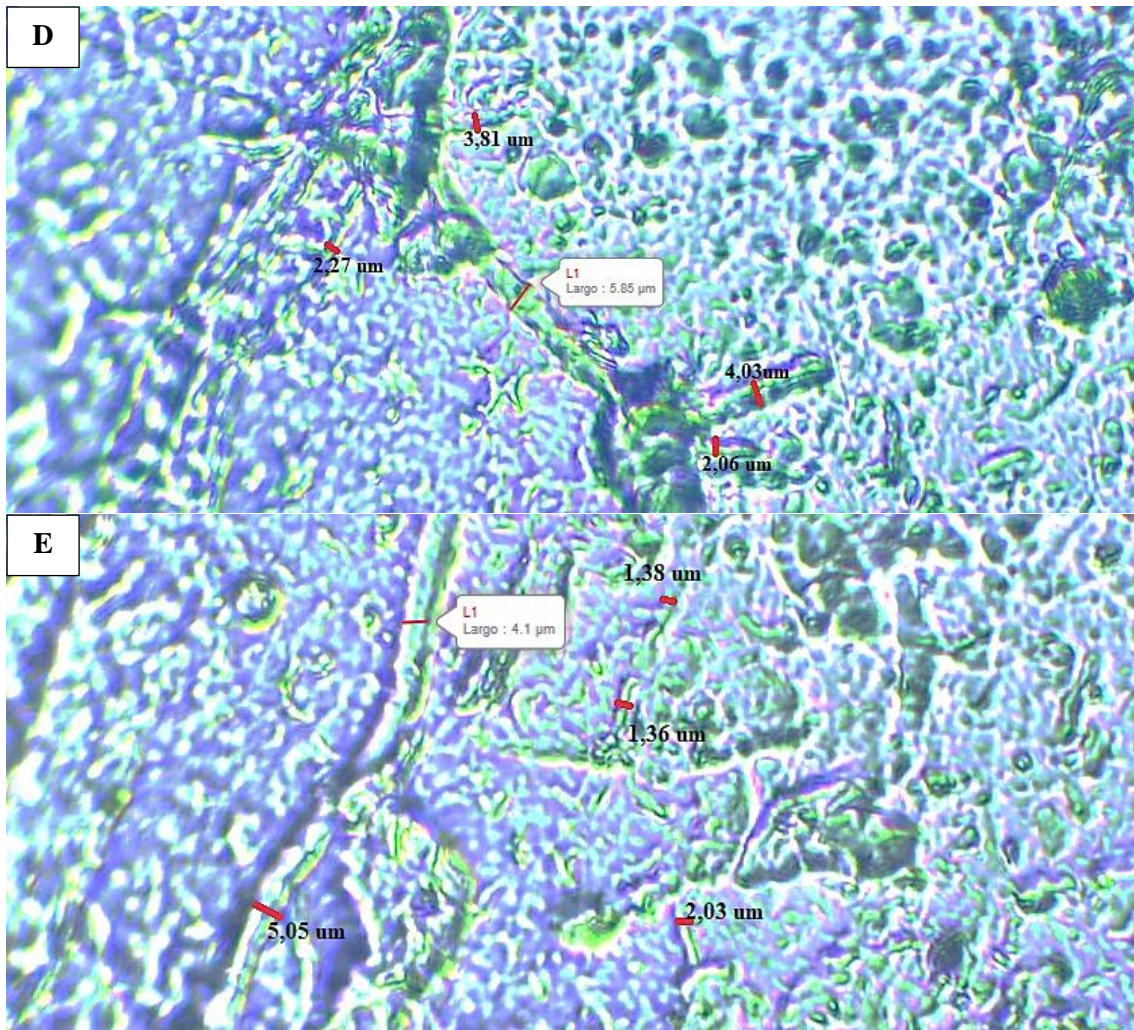


Ilustración 44-4: Nanocelulosa a 90 °C: A) Colilla de cigarrillo, B) Papel reciclado, C) Tusa de maíz, D) Cáscara de piña y E) Cáscaras de piña con ácido acético

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

De igual manera para la nanocelulosa sintetizada a partir de 90°C, se realizó el mismo procedimiento empleado en la visualización de nanocelulosa de 50°C, obteniendo rangos de longitudes diferentes, para colillas de cigarrillo se tiene una longitud de 2,41 a 0,68 μm, el papel reciclado tiene longitudes de 3,09 a 10,55 μm, las longitudes de la tusa de maíz son de 1,64 μm a 5,79 μm, cáscara de piña posee una longitud entre 2,06 – 5,85 μm y cáscara de piña con ácido acético su longitud esta entre 5,05 a 1,36 μm.

Siendo la nanocelulosa de 90 °C la que tiene longitudes más cercanas a los nanómetros, debido a que son valores micrométricos muy pequeños importantes para el estudio.

4.3.2. Transmitancia de nanocelulosa sintetizada

4.3.2.1. Transmitancia de nanocelulosa con barrido

Para determinar la transmitancia de nanocelulosa se realizó empleando el equipo UV-VIS, donde se realizó un barrido a todas las muestras en el rango de onda de 240 nm a 600 nm, empleando como blanco agua destilada y disoluciones de nanocelulosa con relaciones 1:20 nanocelulosa/agua, observando en las bandas de la Figura 45-4 una aleatoriedad por la cantidad de luz dispersa en el rango que deja pasar cada muestra, las muestras más opacas tienen una baja transmitancia. Esto es importante determinar para las aplicaciones que se le da a la nanocelulosa en el campo de la energía verde.

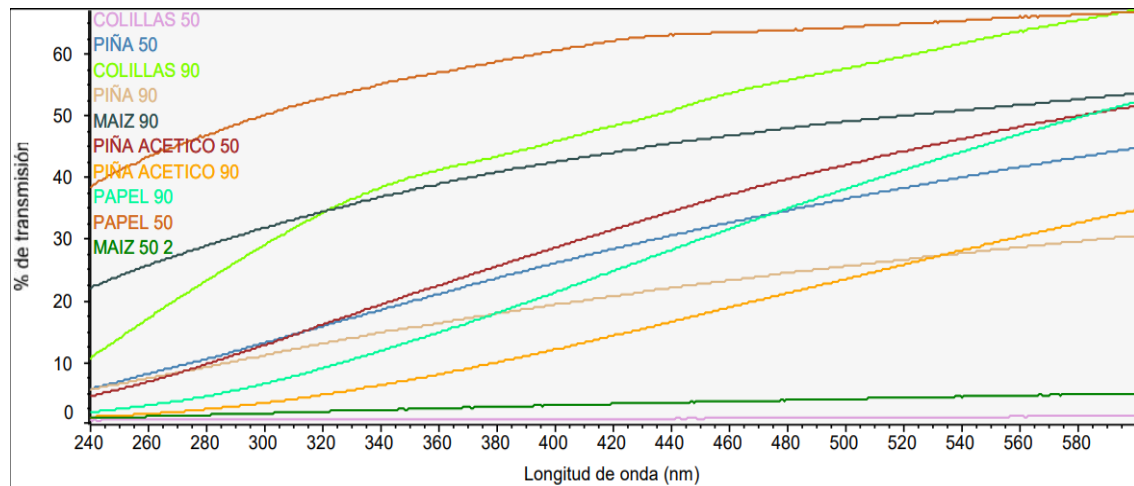


Ilustración 45-4: Transmitancia de nanocelulosa

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

4.3.2.2. Transmitancia con tres puntos fijos para caracterizar nanocelulosa

A partir de la nanocelulosa sintetizada por hidrólisis ácida se determina el porcentaje de transmitancia, donde se determina la cantidad de luz que pasa por la muestra. Para poder obtener los diferentes resultados se debe realizar una disolución 1:20 con una relación nanocelulosa/agua, mientras más diluida este la nanocelulosa mejores serán los resultados obtenidos. En el equipo UV-VIS se configuró los puntos fijos a realizar el análisis los cuales son de 240 nm, 600 nm y 800 nm, si el rango es mayor la transmitancia será mayor (Yang et al., 2021: p.4).

Como se puede observar en la Tabla 38-4, existe una transmitancia del 1,82% en las colillas de cigarrillo a 50°C esto se da debido a la coloración amarillenta que posee la nanocelulosa, efecto producido por el blanqueamiento que se realizó al papel de los filtros de cigarrillo, donde se logró disminuir la concentración de color más no eliminarlo, una buena transmitancia se obtuvo a partir

de la cáscara de piña logrando valores desde el 68% y con la adición de ácido acético se tiene una transmitancia del 87,6% y 93,8%. Existe una variación significativa entre los tratamientos esto se debe al rompimiento de fibras que con ciertos materiales existe mucho material microfibrado en su composición, en otros aún se encuentran aglomeraciones como es en el caso del papel reciclado a una temperatura de 50°C.

Tabla 38-4: Porcentaje de transmitancia obtenida de nanocelulosa sintetizada

Porcentaje de transmitancia				
Tipo de Muestra	Temperatura °C	240 nm (%Tr)	600 nm (%Tr)	800 nm (%Tr)
Colillas de cigarrillo	50	0,034	0,422	1,826
	90	10,197	65,340	87,004
Papel reciclado	50	5,637	17,918	38,994
	90	4,514	77,545	87,091
Tusa de maíz	50	3,553	12,469	46,054
	90	8,641	21,060	53,250
Cáscara de piña	50	4,171	54,497	72,259
	90	5,881	41,144	68,744
Cáscara de piña + CH ₃ COOH	50	6,591	61,745	87,623
	90	8,573	73,227	93,878

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

4.3.3. Espectroscopía FTIR de la nanocelulosa sintetizada a partir de los cuatro residuos

Para realizar el análisis del IR es necesario tener las muestras secas para evitar en el resultado la aparición de los picos del agua, por lo que se realizan láminas de nanocelulosa que tienen una forma a simple vista parecidas al bioplástico. Los picos obtenidos son iguales en todas las ilustraciones a diferentes temperaturas, confirmando la existencia de los grupos funcionales que posee la celulosa, en este caso se mantienen en la síntesis de nanocelulosa, ya que a la misma celulosa se realizó varios tratamientos más para disminuir su tamaño y reducir impurezas, pero es apreciable que los enlaces principales y cadenas se mantienen en todas las estructuras, observando enlaces C-C, C-O, C-H, C-H₃, CH₂, anillos y ciclos de carbono, que al ser comparados con los puntos obtenidos por (Yang et al., 2021: p.4) son muy similares, de esta manera se puede afirmar que los enlaces encontrados pertenecen a la formación de un nanomaterial.

4.3.3.1. FTIR de nanocelulosa de colillas de cigarrillo

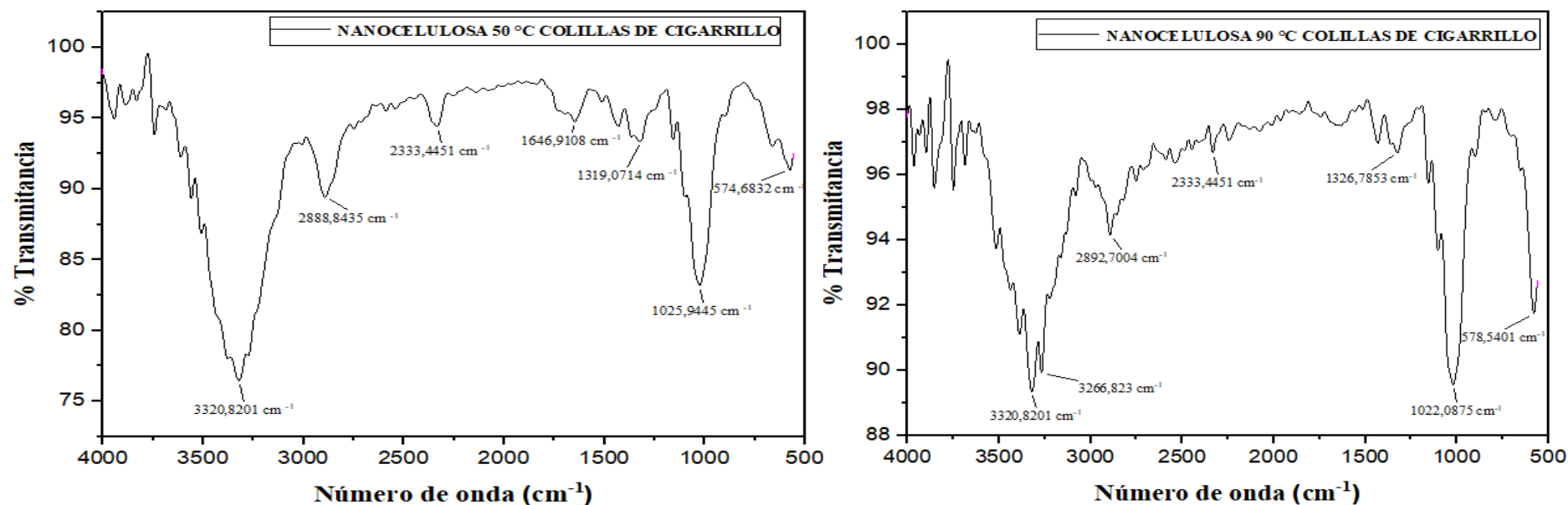


Ilustración 46-4: FTIR de nanocelulosa de colillas de cigarrillo a 50°C y 90°C respectivamente

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

Se puede observar puntos iguales en las dos gráficas, los cuales son 3320,82 cm^{-1} se encuentra en el grupo funcional de alcoholes y fenoles de -OH con la existencia de puentes de hidrógeno. Puntos similares: en 2892,7 cm^{-1} y 2888,843 cm^{-1} se encuentra -CH₃ y -CH₂ en compuestos alifáticos con enlaces de C-H, 1022,08 cm^{-1} y 1025,94 cm^{-1} son anillos de carbono en compuestos cíclicos, 578,54 cm^{-1} y 574,683 cm^{-1} corresponde a los anillos deformados de ciclo alcanos, 1319,071 cm^{-1} y 1326,785 cm^{-1} están COO⁻ en ácidos carboxílicos.

En la nanocelulosa obtenida a 90 °C existe también el pico 3266,823 cm^{-1} que pertenece a -OH en alcoholes y fenoles.

4.3.3.2. FTIR de nanocelulosa de papel reciclado

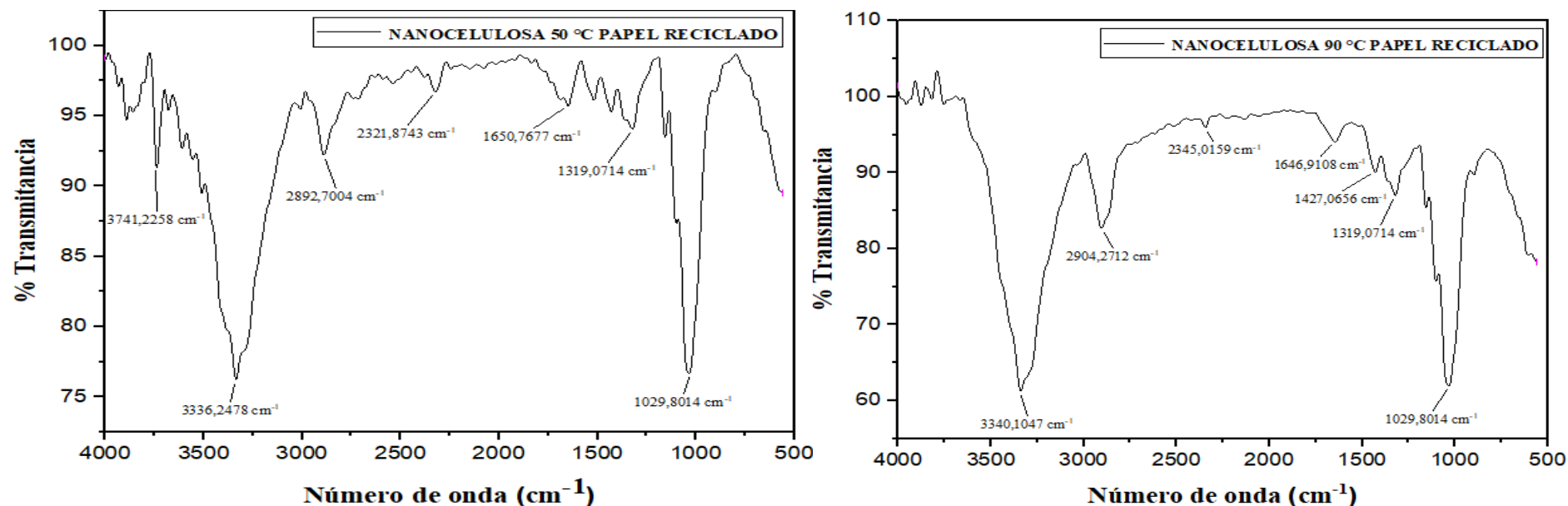


Ilustración 47-4: FTIR de nanocelulosa de papel reciclado a 50°C y 90°C respectivamente

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

Se puede observar puntos iguales en las dos gráficas, 1427,065 cm⁻¹ OH en ácidos carboxílicos, 1029,801 cm⁻¹ en anillos de carbono en compuestos cíclicos, 1319,071 cm⁻¹ en COO⁻ en ácidos carboxílicos. Puntos similares los cuales son: 3336,247 cm⁻¹ y 3340,104 cm⁻¹ se encuentran en el grupo funcional de alcoholes y fenoles de -OH con la existencia de puentes de hidrógeno, 2892,7 cm⁻¹ y 2904,271 cm⁻¹ -CH₃ y -CH₂ en compuestos alifáticos con enlaces de C-H, 1646,91 cm⁻¹ y 1650,7666 cm⁻¹ posee C=O en amidas secundarias.

En la nanocelulosa obtenida a 50°C existe también el pico 3700 cm⁻¹ que pertenece a -OH en alcoholes y fenoles en soluciones diluidas.

4.3.3.3. FTIR de nanocelulosa de tusa de maíz

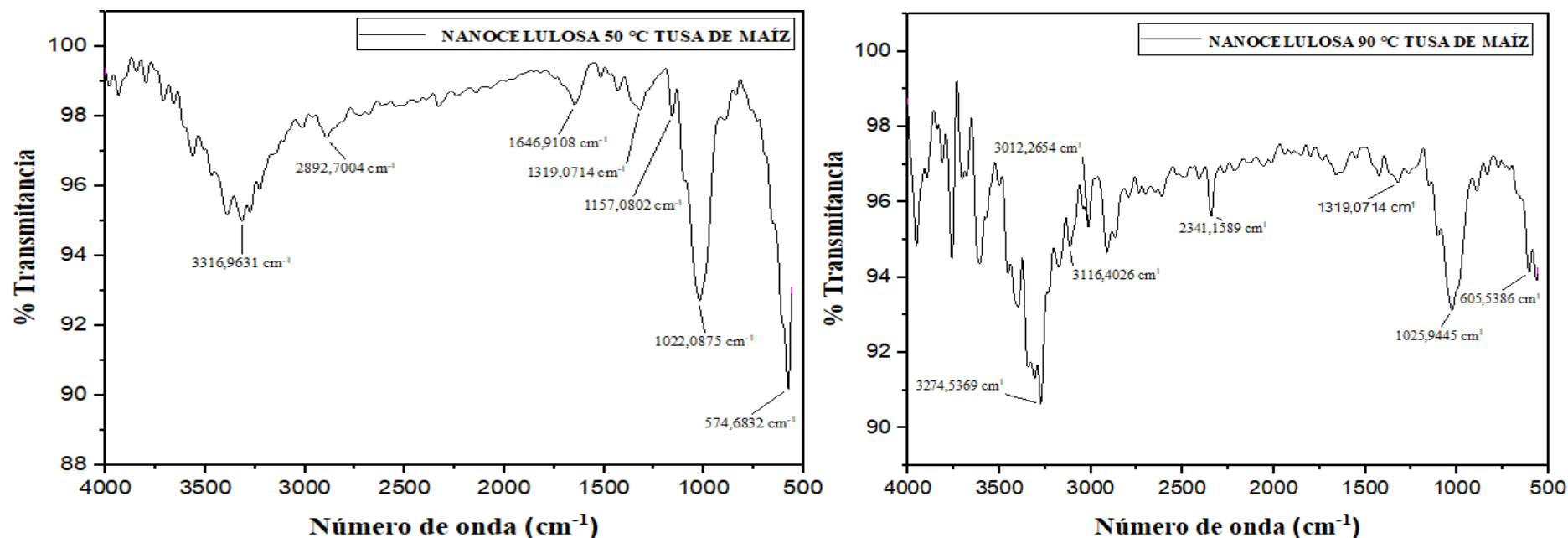


Ilustración 48-4: FTIR de nanocelulosa de tusa de maíz a 50°C y 90°C respectivamente

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

Se puede observar puntos iguales en las dos gráficas, en el pico 1319,071 cm⁻¹ COO⁻ en ácidos carboxílicos. Puntos similares los cuales son 3316,963 cm⁻¹ y 3274,536 cm⁻¹ se encuentra en el grupo funcional de alcoholes y fenoles de -OH con la existencia de puentes de hidrógeno, 1022,08 cm⁻¹ y 1025,94 cm⁻¹ anillos de carbono en compuestos cíclicos. En la nanocelulosa obtenida a 50°C 2892,7 cm⁻¹ -CH₃ y -CH₂ en compuestos alifáticos con enlaces de C-H, 1646,91 cm⁻¹

C=O en amidas secundarias, $1157,0802\text{ cm}^{-1}$ C-OH en alcoholes con cadenas de C-O, $574,683\text{ cm}^{-1}$ en anillos de cicloalcanos y a 90°C $3116,402\text{ cm}^{-1}$ $3012,2654\text{ cm}^{-1}$ =CH en carbonos aromáticos, 605.5386 cm^{-1} C=O en amidas.

4.3.3.4. FTIR de nanocelulosa de cáscara de piña

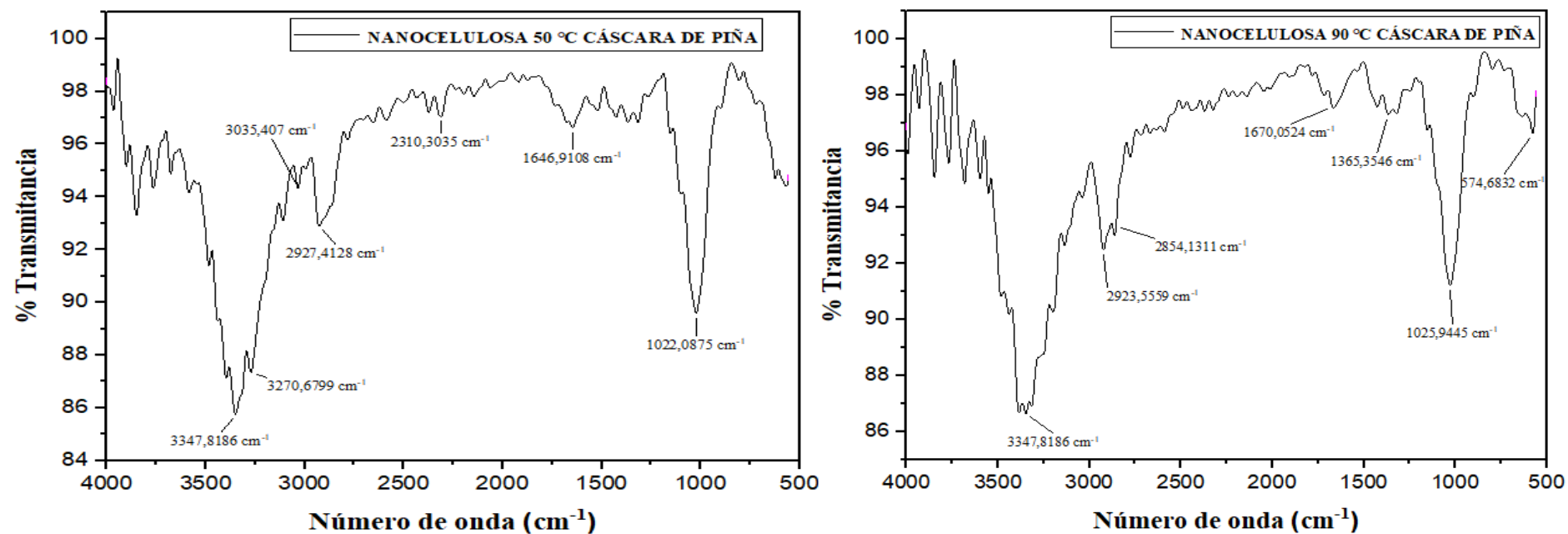


Ilustración 49-4: FTIR de nanocelulosa de cáscara de piña a 50°C y 90°C respectivamente

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

Se puede observar puntos iguales en las dos gráficas, los cuales son $3347,818\text{ cm}^{-1}$ se encuentra en el grupo funcional de alcoholes y fenoles de -OH con la existencia de puentes de hidrógeno. Puntos similares en $2927,412\text{ cm}^{-1}$ y $2923,555\text{ cm}^{-1}$ en -CH₃ y -CH₂ en compuestos alifáticos con enlaces de C-H, $1022,087$

cm^{-1} y $1025,944 \text{ cm}^{-1}$ en anillos de carbono en compuestos cíclicos, $1646,91 \text{ cm}^{-1}$ y $1670,052 \text{ cm}^{-1}$ en $\text{C}=\text{O}$ en amidas secundarias, $1326, 785 \text{ cm}^{-1}$ COO^- en ácidos carboxílicos. En la nanocelulosa obtenida a 50°C existen también diferentes picos, $3270,679 \text{ cm}^{-1}$ pertenece a $-\text{OH}$ en alcoholes y fenoles, $3035,407 \text{ cm}^{-1}$ en $=\text{CH}$ hidrocarburos aromáticos insaturados.

Mientras que para la nanocelulosa que partió con una celulosa obtenida a 90°C se tiene los picos de $2854,131 \text{ cm}^{-1}$ donde existe $-\text{CH}_3$ y $-\text{CH}_2$ en compuestos alifáticos con enlaces de $\text{C}-\text{H}$ y $574,683 \text{ cm}^{-1}$ corresponde a los anillos deformados de ciclo alcanos.

4.3.3.5. FTIR de nanocelulosa de cáscara de piña con ácido acético

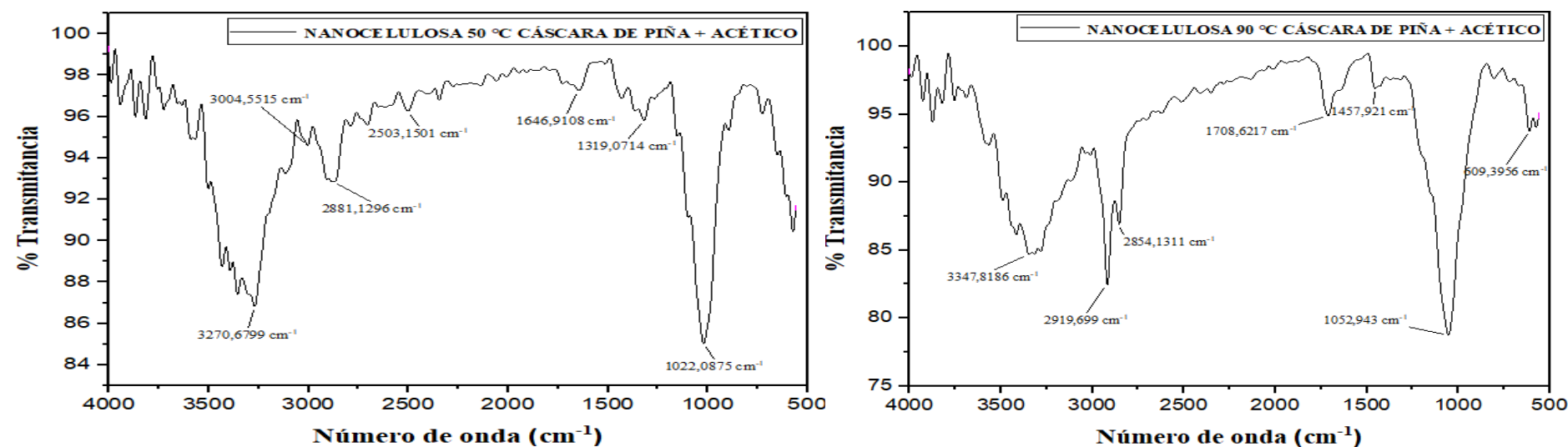


Ilustración 50-4: FTIR de celulosa de cáscara de piña con ácido acético a 50°C y 90°C respectivamente

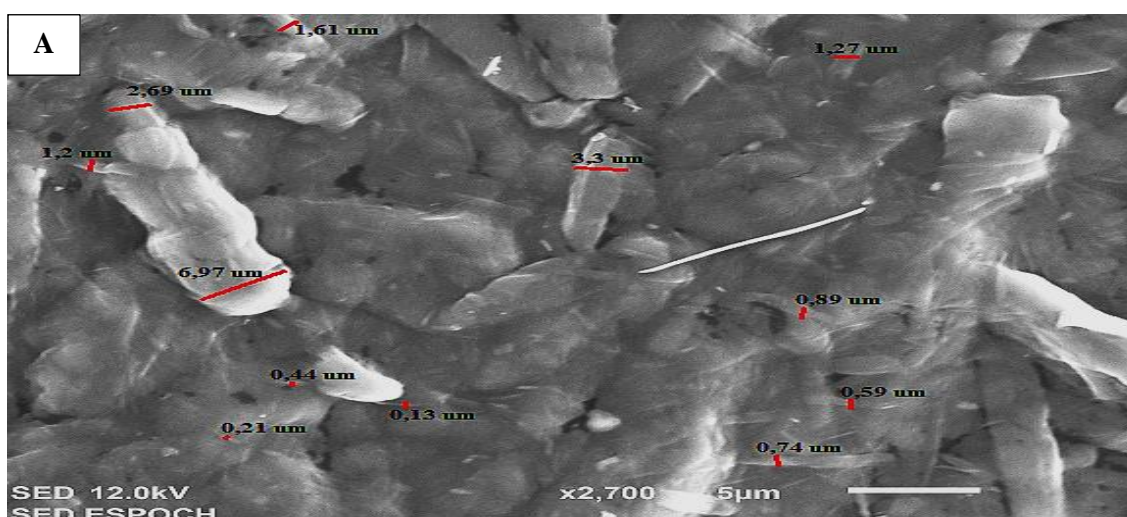
Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

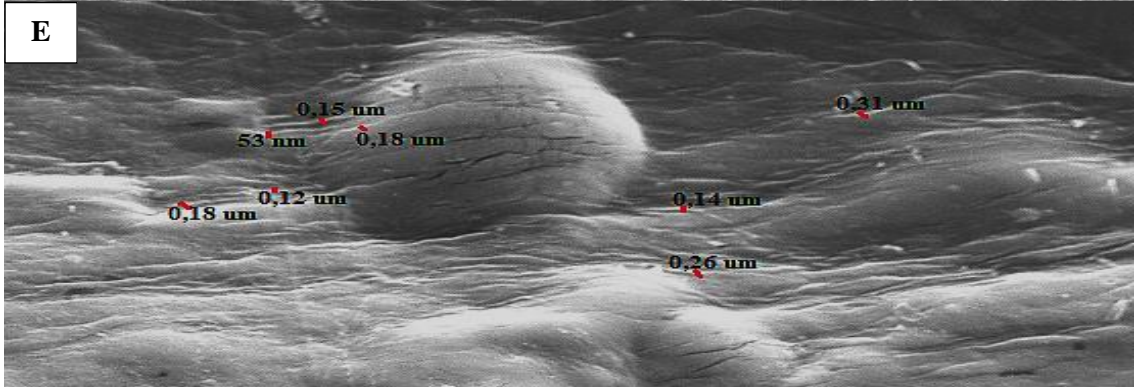
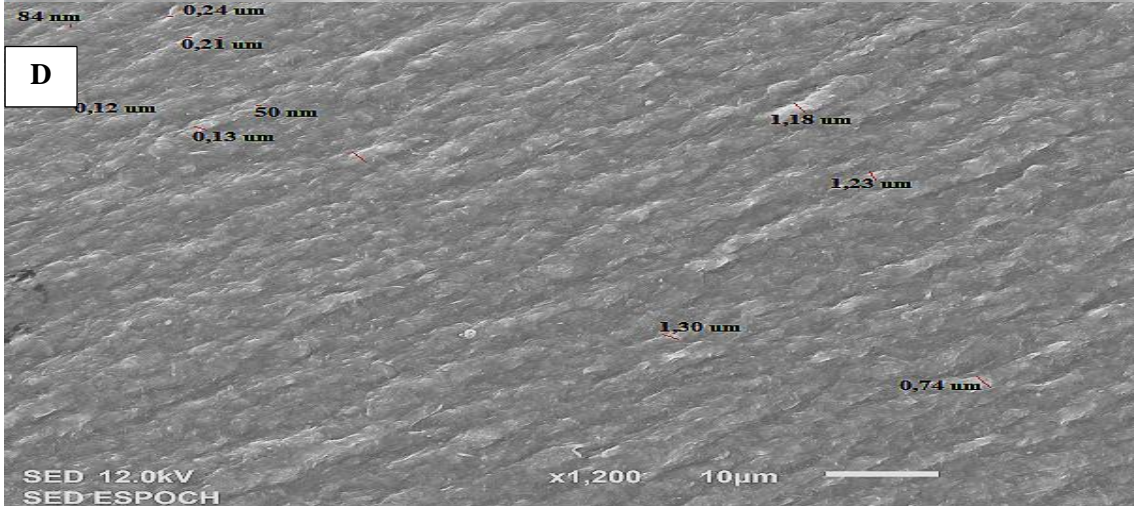
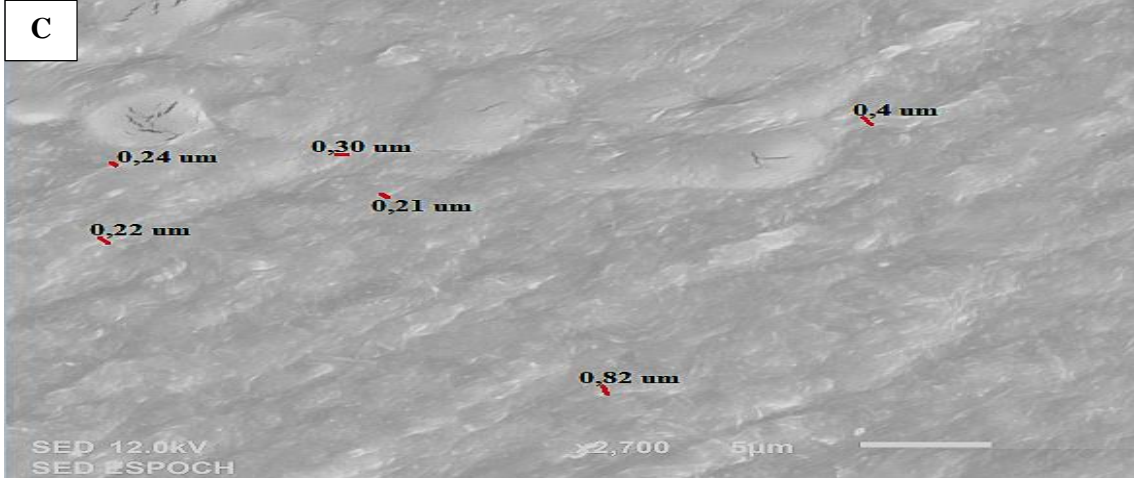
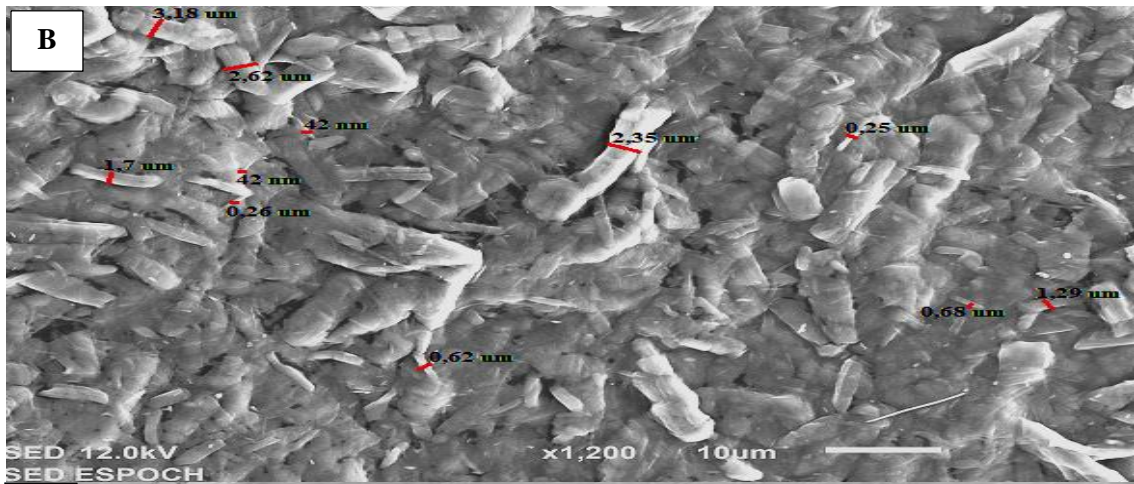
Se puede observar puntos similares en las dos ilustraciones, los cuales son $3270,679\text{ cm}^{-1}$, $3347,818\text{ cm}^{-1}$ se encuentra en el grupo funcional de alcoholes y fenoles de $-\text{OH}$ con la existencia de puentes de hidrógeno, $2919,699\text{ cm}^{-1}$ y $2881,129\text{ cm}^{-1}$ $-\text{CH}_3$ y $-\text{CH}_2$ en compuestos alifáticos con enlaces de C-H.

En la nanocelulosa obtenida a 50°C existe también el punto $3004,551\text{ cm}^{-1}$ en $=\text{CH}$ hidrocarburos aromáticos insaturados, $2503,150\text{ cm}^{-1}$ $-\text{OH}$ en ácidos carboxílicos, $1646,91\text{ cm}^{-1}$ $\text{C}=\text{O}$ en amidas secundarias, $1319,0714\text{ cm}^{-1}$ COO^- en ácidos carboxílicos, $1022,087\text{ cm}^{-1}$ anillos de carbono en compuestos cíclicos. Para 90°C , $2854,131\text{ cm}^{-1}$ $-\text{CH}_3$ y $-\text{CH}_2$ en compuestos alifáticos con enlaces de C-H, $1708,621\text{ cm}^{-1}$ $\text{C}=\text{O}$ en ácidos carboxílicos, $1457,921\text{ cm}^{-1}$ CH_3 en compuestos alifáticos, $1052,944\text{ cm}^{-1}$ $\text{C}-\text{OH}$ en alcoholes con enlace C-O, $509,395\text{ cm}^{-1}$ corresponde a los anillos deformados de ciclo alcanos.

4.3.4. Microscopia SEM

Se coloca la nanocelulosa seca en forma de film de colillas de cigarrillo, papel reciclado, tudas de maíz y cáscaras de piña en una cinta doble faz conductora de carbono, se realiza un recubrimiento con oro en un tiempo de 62 segundos en el equipo de metalizado, desinfectando las muestras con aire comprimido para evitar alguna interferencia en el estudio, esto se realiza con el fin de analizar y observar la nanocelulosa sintetizada a través del microscopio electrónico de barrido, después de que se produzca el efecto al vacío dentro del mismo, finalmente se dimensionó utilizando el software Image J, donde se consideró el rango de medida para $50\text{ }\mu\text{m}$, $10\text{ }\mu\text{m}$ y $5\text{ }\mu\text{m}$.





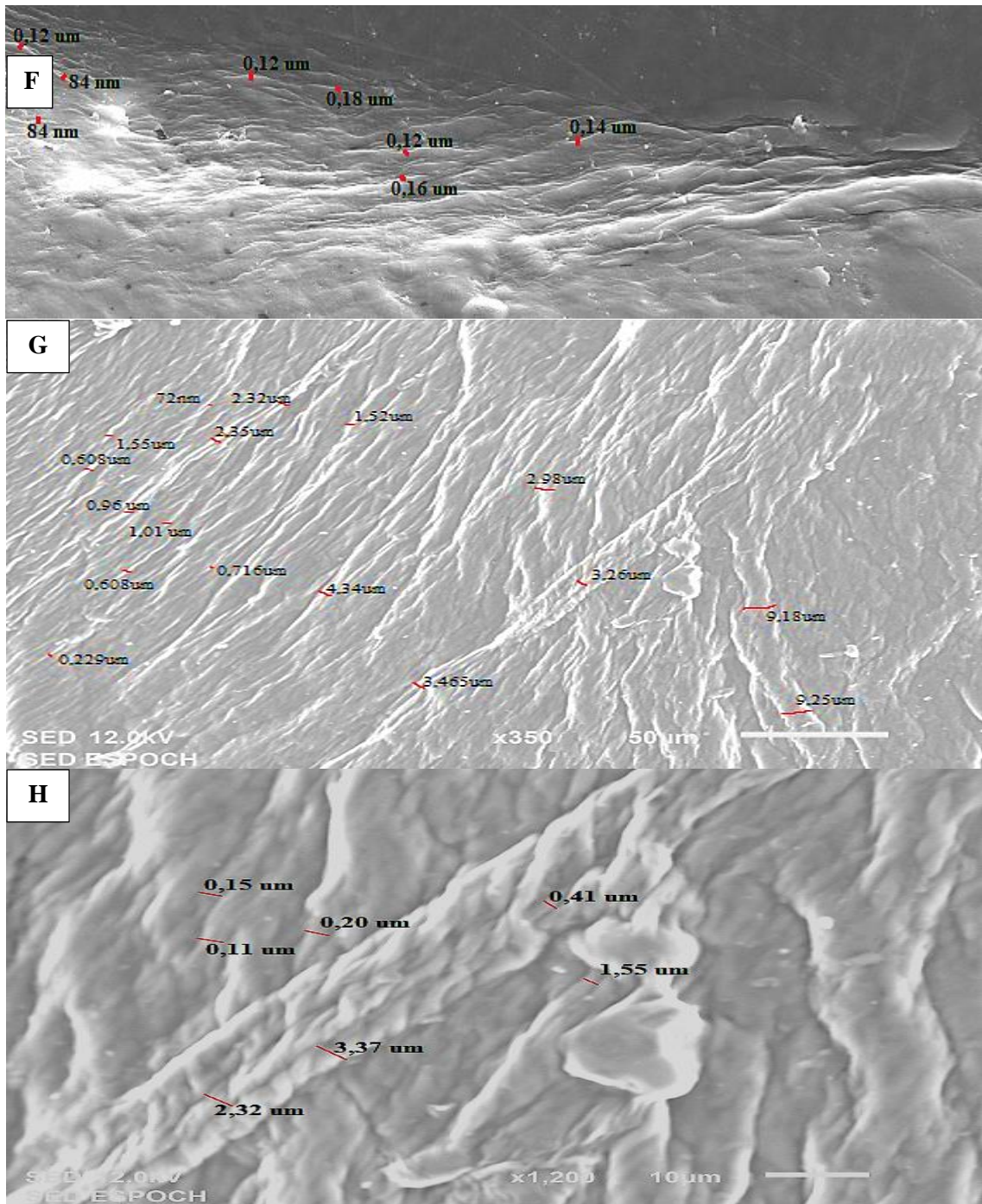


Ilustración 51-4: A) Colilla de cigarrillo a 5μm, B) a 10μm C) papel reciclado a 5μm, D) a 10μm, E) tusa de maíz a 5μm, F) a 10μm G) cáscara de piña a 50μm y H) a 10μm.

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

En la ilustración 51-4, se observa la gran variedad de formas presentes en las microfibrillas de nanocelulosa, donde es preciso evidenciar estructuras regulares rugosas y aglomeraciones, es posible demostrar la eliminación de azúcares, lignina y hemicelulosa de las muestras debido a la gran cantidad de microfibras que poseen. Se puede apreciar de igual manera medidas micrométricas muy pequeñas, lo que es favorable para la formación de medidas nanométricas. A

10 um se observa de mejor manera la morfología que posee la nanocelulosa, donde se aprecia ramificaciones alargadas, no existe muchas aglomeraciones debido a que se encuentran de forma alargada, rugosa, organizada y dispersa.

La ilustración 51-4 A, B, G, H, presenta hebras gruesas y delgadas entre alargadas y cortas, debido a que son las más notorias a simple vista, al estar rugosas se aprecia la eliminación de lignina, por lo que el tratamiento fue efectivo, mientras que, en la imagen C, D, E, F las hebras son muy finas y cortas, que necesitan de acercamientos precisos para poder notarlas y son las que poseen más valores nanométricos en su estructura medida que van entre 50 a 80 nm, cabe recalcar que de igual manera existen medidas en micrómetros desde 0,1 um hasta 8 um presentes en las demás imágenes, dependiendo del film analizado. En todas se puede apreciar un rompimiento de enlaces, formándose una desfibrilación importante en las aglomeraciones que eran visibles en la materia prima, validando el tratamiento realizado a través de hidrólisis acida al 65 % de H₂SO₄ junto con ultrasonido.

(Pulido Barragán et al., 2016: pp.36-38), presenta la nanocelulosa formada por microfibras de agave con dimensiones micrométricas con diámetros promedios de 3,6 um y 3,2 um, dentro de estas fibras se aprecia nanofibras con dimensiones menores a 1 um. Comparando con los valores obtenidos se puede estimar de igual manera que las microfibras y nanofibras obtenidas son aceptadas con el proceso y tratamiento realizado. Mientras que (García et al., 2021: pp.1-13) demuestra una caracterización morfológica de nanocelulosa de cáscara de sandía, en la longitud de 200 um se observan ramificaciones dispersas desglosadas y a 100 um se encuentran estructuras rugosas compactas, siendo la medida a 200 um donde se observa de mejor manera la morfología en longitud y ancho, demostrando la eliminación de lignina y hemicelulosa. Para las estructuras encontradas en este estudio de igual manera se observa microfibrillas alargadas, rugosas pequeñas y no compactas, demostrando que la morfología tiene una similitud.

4.3.5. Espectroscopia EDS

La espectroscopia EDS se determina a través de la microscopia electrónica de barrido con el fin de saber cuál es la composición que posee la nanocelulosa, cave recalcar que al estar metalizada con oro los picos resultantes van arrojar este valor que fue eliminado para evitar confusiones en el análisis.

A partir de la ilustración 52-4 a 55-4, se evidencia la composición al 100 % de nanocelulosa a partir de colillas de cigarrillo, papel reciclado, tusa de maíz y cáscara de piña, donde se observa la lectura de carbono y oxígeno en diversas proporciones, confirmando de esta manera la formación de celulosa con sus grupos funcionales y con esto afirmando que la nanocelulosa obtenida está compuesta a través de enlaces de carbono y oxígeno entre sus ramificaciones.

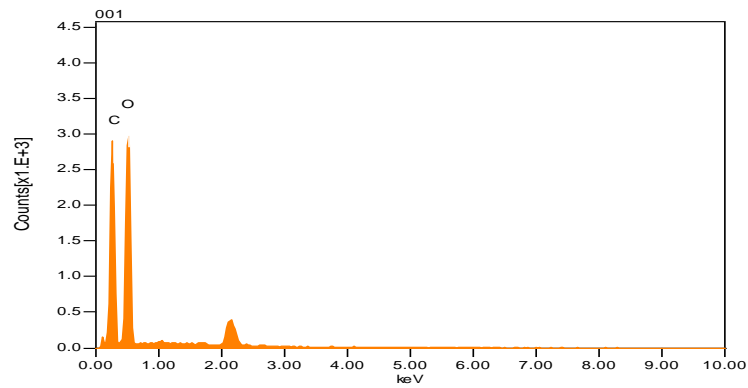


Ilustración 52-4: Nanocelulosa de tusa de maíz

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

Tabla 39-4: Composición nanocelulosa de tusa de maíz

Fórmula	mass%	Atom%	Sigma	Net	K ratio	Line
C	11.99	49.27	0.06	14025	0.0757351	K
O	16.44	50.73	0.08	15941	0.0913668	K
Total	28.43	100.00				

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

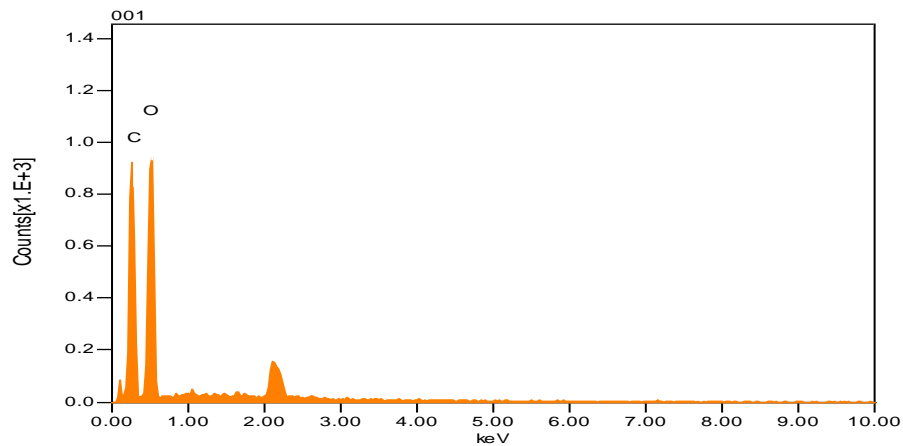


Ilustración 53-4: Nanocelulosa colillas de cigarrillo

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

Tabla 40-4: Composición nanocelulosa colillas de cigarrillo

Formula	mass%	Atom%	Sigma	Net	K ratio	Line
C	5.96	49.35	0.05	4596	0.0376351	K
O	8.14	50.65	0.07	5203	0.0452217	K
Total	14.10	100.00				

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

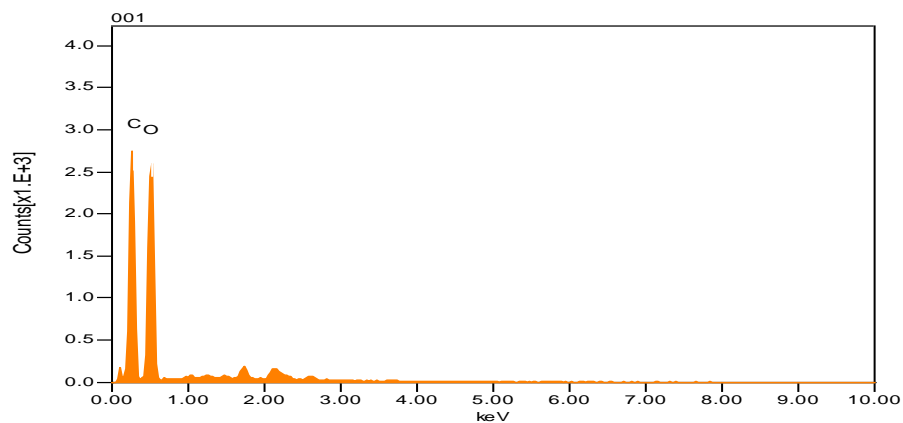


Ilustración 54-4: Nanocelulosa cáscara de piña

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

Tabla 41-4: Composición nanocelulosa cáscara de piña

Formula	mass%	Atom%	Sigma	Net	K ratio	Line
C	9.61	50.52	0.05	13330	0.0611296	K
O	12.54	49.48	0.07	14005	0.0681715	K
Total	22.16	100.00				

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

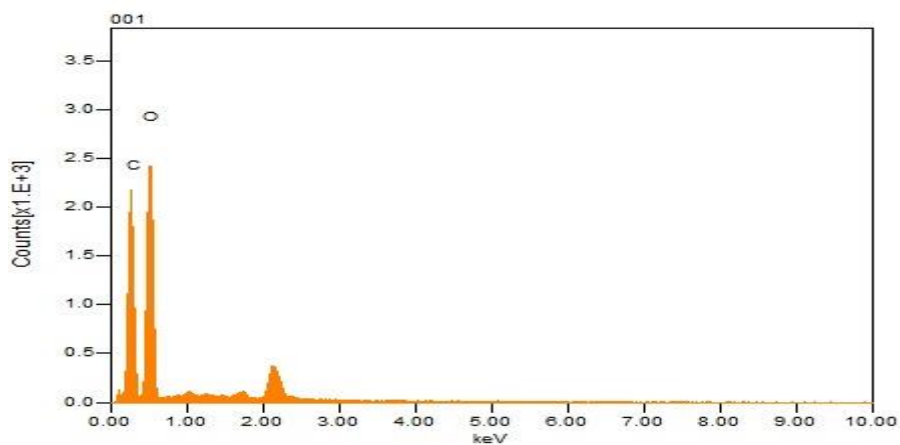


Ilustración 55-4: Nanocelulosa papel reciclado

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

Tabla 42-4: Composición nanocelulosa papel reciclado

Formula	mass%	Atom%	Sigma	Net	K ratio	Line
C	7.86	47.83	0.05	10331	0.0473769	K
O	11.45	52.17	0.06	13446	0.0654497	K
Total	19.31	100				

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

4.4. Prueba de hipótesis

4.4.1. Hipótesis general

“A través de residuos de biomasa agrícolas e industriales se obtiene nanocelulosa empleando procesos fisicoquímicos como una alternativa para aplicarla en los procesos industriales”

A partir de residuos agrícolas como tusas de maíz y cáscaras de piña y residuos industriales como colillas de cigarrillo y papel reciclado, se obtuvo nanocelulosa a través de procesos fisicoquímicos, empleando NaOH para el proceso alcalino utilizado para la obtención de celulosa y H₂SO₄ en hidrólisis ácida, el cual sirvió para sintetizar nanocelulosa en conjunto con la manipulación de ultrasonido y centrifuga, mostrando resultados favorables a través de la caracterización realizada, que al ser comparada con otros autores se acepta las condiciones encontradas, tabuladas y graficadas, aceptando de esta manera la hipótesis.

4.4.2. Hipótesis específicas

4.4.2.1. Hipótesis 1

“La materia prima tiene su composición específica, por lo cual es viable realizar los pretratamientos utilizando el secado, triturado, molienda, tamizado, logrando una purificación considerable”

La composición físico química de los 4 residuos empleados fue diferente, cada uno tiene su estructura, forma, composición y dureza, para los residuos agrícolas como fueron la cáscara de piña y tusa de maíz se realizó el pretratamiento con agua destilada caliente a una temperatura de 80 °C, después de la selección, triturado, secado a 50°C, molienda y tamizado. Mientras que para los residuos industriales como el papel reciclado y colillas de cigarrillo el proceso fue diferente en el caso de las colillas se desinfectó con etanol concentrado a 96° para eliminar impurezas y olor, después a las dos materias primas se seleccionó, recortó, pretrató con agua hervida a 80°C, se secó y trituró. Logrando de esta manera la purificación de impurezas y el pretratamiento de las muestras para eliminar impurezas, azúcares y lignina, rompiendo enlaces de glucosa. De esta forma se acepta la hipótesis planteada.

4.4.2.2.Hipótesis 2

“Es posible extraer celulosa mediante métodos físico-químicos (lavado, filtrado, tratamiento alcalino, blanqueamiento y secado); posteriores al pretratamiento”

Para la obtención de celulosa se parte de la materia pretratada, se realiza un tratamiento alcalino con NaOH al 5%, con una variación de temperaturas entre 50°C y 90°C, solo en el caso de la piña debido a la cantidad de azúcares que posee se añadió ácido acético en una proporción 1:3 para mejorar las condiciones, se realizó lavados y filtrados para cortar la reacción, para lograr un color blanquecino de celulosa se colocó NaClO al 1%, finalmente se secó, molió y tamizó para eliminar masillas formadas. El rendimiento de celulosa se lo apreció en el análisis de resultados desarrollados anteriormente, y de forma específica se puede evidenciar en la tabla 43-4 los mejores rendimientos obtenidos, donde se demuestra que el rendimiento de celulosa de papel reciclado es el más alto debido a su procedencia y tratamiento del cual se obtiene. Se aprueba la hipótesis.

Tabla 43-4: Rendimiento de celulosa de residuos

% CELULOSA			
Residuo	TEMPERATURA (°C)	MUESTRA	%
Cáscara de Piña + CH ₃ COOH	50	R3p	46,229
Tusa de Maíz	90	R2m	40,784
Papel Reciclado	50	R3pr	89,199
Colillas de cigarrillo	50	R2c	69,651

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

4.4.2.3.Hipótesis 3

“La formación de nanocelulosa es factible analizarla mediante microscopia SEM, espectroscopia FTIR y EDS”

La nanocelulosa formada se caracterizó a través de microscopia óptica donde se observó las fibras formadas, en el UV-VIS se identificó la transmitancia siendo la mejor la cáscara de piña con adición de ácido acético obteniendo una transmitancia del 93,87%, en la espectroscopia FTIR se identificó los grupos funcionales que fueron -CH, -CH₃, -CH₂, C-O, cadenas ramificadas, en el SEM se dimensionó las microfibrillas encontradas quienes obtuvieron medidas en micrómetros y

nanómetros y en el EDS se identificó la composición pura de nanocelulosa resultando los elementos de carbono y oxígeno en la muestra. Se acepta la hipótesis.

4.4.2.4. Hipótesis 4

“Utilizando los residuos de biomasa de cáscaras de piña, tusa de maíz, colillas de cigarrillo y papel reciclado se establece que el mejor rendimiento de obtención de celulosa y nanocelulosa es factible sintetizarla a partir de los residuos industriales”

Después del procedimiento alcalino se obtiene el rendimiento de celulosa el cual es favorable para los residuos industriales como se puede observar en la ilustración 56-4, el mejor rendimiento es a partir del papel reciclado, seguido de las colillas de cigarrillo, cáscara de piña y tusa de maíz.

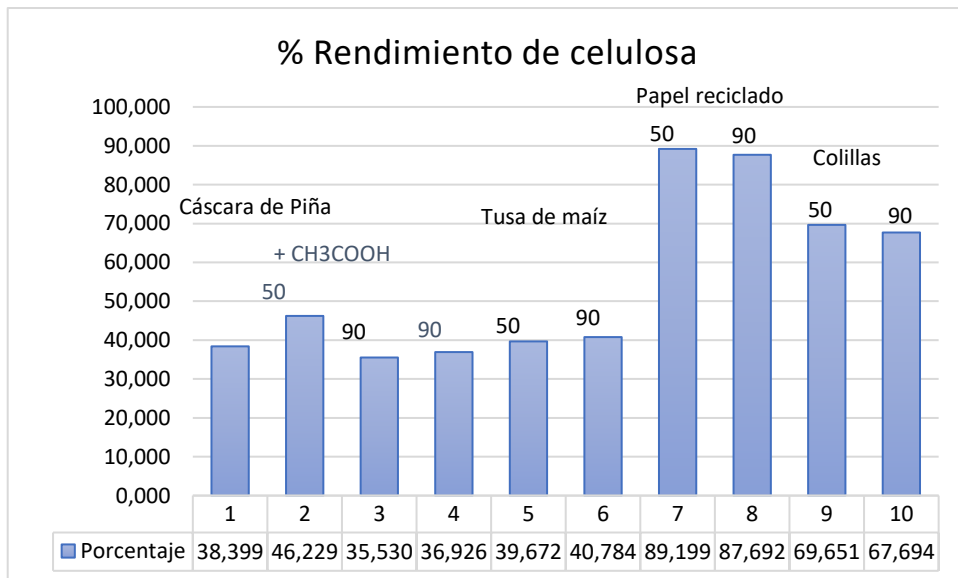


Ilustración 56-4: Rendimiento de celulosa

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

Con el tratamiento a partir de la hidrólisis ácida se identifica que la transmitancia de nanocelulosa es mejor para la cáscara de piña, seguida de papel reciclado, colillas de cigarrillo y tusa de maíz. Por lo que para la nanocelulosa igual se puede comprobar que la mejor es a partir de los residuos industriales. Se acepta la hipótesis.

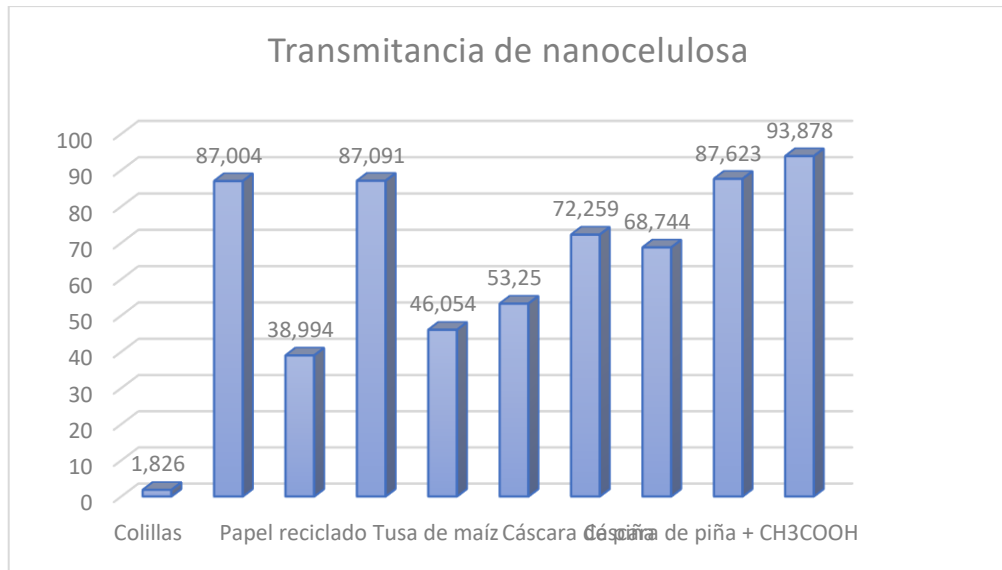


Ilustración 57-4: Transmitancia de nanocelulosa

Realizado por: Estrada, Paola, 2022.

CONCLUSIONES

- Se obtuvo nanocelulosa a partir de residuos de biomasa de cáscaras de piña, tusa de maíz, colillas de cigarrillo y papel reciclado, mediante un estudio teórico práctico con base a procesos fisicoquímicos utilizando un procedimiento alcalino empleando NaOH al 5% a una temperatura de 50°C para elaborar celulosa, con una adición de ácido acético únicamente para la cáscara de piña por la gran cantidad de azúcares que posee con el fin de lograr eliminar los mismos y a través del método de hidrólisis ácida empleando H₂SO₄ al 65% se sintetizó nanocelulosa con ayuda de ultrasonido para lograr romper los enlaces y poder obtener nanofibrillas.

-Se estableció los métodos de pretratamiento para cada uno de los residuos utilizados, los cuales son: selección de la tusa de maíz y cáscara de piña, lavado, troceado, molienda y tamizado, para el papel reciclado se recortó en tamaños pequeños y para las colillas de cigarrillo se inició con la desinfección empleando etanol, se lavó los filtros recortados, posteriormente se realizó el pretratamiento para los cuatro residuos a partir de una relación fibra/agua a una temperatura de 80°C y finalmente se secó a 60°C.

-Se extrajo celulosa a partir de residuos agroindustriales obteniendo valores de rendimiento muy significativos, para la cáscara de piña el mejor rendimiento es con la adición de ácido acético a 50 °C resultando el 46,22%, de la tusa de maíz se obtiene 40,78% a 90°C, de colillas de cigarrillo el 69,65% a 50°C y finalmente para el papel reciclado 89,19% a 50°C.

-Se caracterizó las muestras de nanocelulosa mediante microscopia SEM resultando valores específicos con medidas que varían entre 50 – 90 nm y de 0,1 – 9 um, espectroscopia FTIR donde se observó los grupos funcionales principales de celulosa y espectroscopia EDS que demostró que la composición de nanocelulosa está dada por carbono y oxígeno.

-Se comparó los valores obtenidos de celulosa y nanocelulosa que surgen a partir de los residuos para establecer el rendimiento de cada uno y se determinó el método más sencillo de obtención para la síntesis de los nanomateriales, llegando a la conclusión que tanto la celulosa como nanocelulosa se pueden obtener con un mejor rendimiento a partir de los residuos industriales, debido a que el tratamiento disminuye por el procesamiento que ya tienen estos elementos antes de convertirse en residuos y solo necesitan de procesos fijos, mientras que las residuos agrícolas necesitan de más tratamientos por su composición vegetal que poseen, especialmente porque son materias rígidas enlazadas no manipuladas que están compuestas por lignina y azúcares en altas cantidades.

RECOMENDACIONES

- Considerar la temperatura al momento de secar los residuos para evitar que estos se dañen al pasar mucho tiempo húmedos.
- Contar con equipos necesarios para la molienda y triturado de las muestras que se van obteniendo.
- Esterilizar los recipientes que se van a utilizar para la extracción de celulosa y nanocelulosa para evitar impurezas y que las muestras se contaminen.
- Al momento de realizar el proceso de hidrólisis ácida preparar la solución y en ella colocar las muestras a tratar para evitar que se quemen.
- Se recomienda mantener la nanocelulosa en frascos de vidrio bien sellados a una temperatura de 4 °C para evitar que se dañe y para que la misma conserve todas sus propiedades.
- Realizar varias repeticiones por cada una de las muestras para obtener resultados más viables a ser analizados.

BIBLIOGRAFÍA

ABITBOL, T.; et al. “Nanocellulose, a tiny fiber with huge applications”. *Current Opinion in Biotechnology* [en línea], 2016, (United State of America) 39 (1), pp. 76-88. [Consulta: 5 febrero 2022]. ISSN 0958-1669. DOI 10.1016/J.COPBIO.2016.01.002. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0958166916000045?via%3Dihub>

ARAYA CHAVARRÍA, K. Nanofibrilación de celulosa extraída a partir del rastrojo de la piña (Ananas comosus) [en línea] (Tesis de graduación). (Licenciatura) Universidad Nacional Campus Omar Dengo, Heredia, Costa Rica. 2021. pp. 6-8. [Consulta: 28 febrero 2022]. Disponible en: <https://repositorio.una.ac.cr/bitstream/handle/11056/21584/05.%20Nanofibrilaci%C3%B3n%20de%20celulosa%20extra%C3%ADda%20a%20partir%20del%20rastroy%20de%20la%20pi%C3%B1a.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ARAYA CHAVARRÍA, K.; et al. *Aprovechamiento de los residuos de piña para la producción de celulosa nanofibrilar (NFC) y nanocelulosa cristalina (NCC)* [blog]. Costa Rica: ResearchGate, 2019. p. 2. [Consulta: 28 enero 2022]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/334499095_Aprovechamiento_de_los_residuos_de_pi%C3%B1a_para_la_produccion_de_celulosa_nanofibrilar_NFC_y_nanocelulosa_cristalina_NCC

ARKILOT. *Papel: naturaleza y tipología* [blog]. 2021. [Consulta: 8 agosto 2022]. Disponible en: <https://www.arkiplot.com/arkiplotblog/2021/04/28/papel-naturaleza-y-tipologia/>

ASAMBLEA NACIONAL DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR. *Proyecto de ley orgánica para la gestión integral de residuos sólidos no peligrosos. Memorando Nro. AN-PR-2021-0051-M* [blog]. Ecuador, 2021, pp. 13-15. [Consulta: 14 enero 2022]. Disponible en: <https://vlex.ec/vid/proyecto-ley-organica-gestion-870238127>

BETANCOURT SÁNCHEZ, C. Utilización de fibras de hoja de piña como refuerzo para biocompuestos fabricados por moldeo de compresión [en línea] (Proyecto de grado). (Ingeniería) Universidad Autónoma de Occidente, Facultad de Ingeniería, Departamento de Energética y mecánica, Santiago de Cali. 2017. pp. 34-36. [Consulta: 22 julio 2022]. Disponible en: <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/10068/T07731.pdf;jsessionid=6E69862B7CF4D41538F8FA5E153C2E54?sequence=1>

BLANCO, A.; et al. “Nanocellulose for Industrial Use: Cellulose Nanofibers (CNF), Cellulose Nanocrystals (CNC), and Bacterial Cellulose (BC)”. *Handbook of Nanomaterials for Industrial Applications* [en línea], 2018, (United States) Nano Technologies, pp. 74-126. [Consulta: 23 julio 2022]. ISBN 987-0-12-813351-4. DOI 10.1016/B978-0-12-813351-4.00005-5. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128133514000055?via%3Dihub>

BLOGGER, L. *Cómo madurar piña rápidamente* [blog]. La cocina de Lila, 2021. [Consulta: 23 abril 2022]. Disponible en: <https://www.lacocinadelila.com/como-madurar-una-pina/>

CASTAÑEDA ESPITIA, S. Transformación de las colillas de cigarrillo a medios creadores de vida, para mitigar el impacto ambiental [en línea] (Trabajo de tesis). (Diseñador industrial) Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Arquitectura y Diseño, Bogotá. 2011. p.3 [Consulta: 22 julio 2022]. Disponible en: <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/4154/tesis396.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

CASTRO GUERRERO, F.; & DELGADO ARROYO, F. *La nanocelulosa: propiedades y aplicaciones* [blog]. México: Boletín IIE, abril-junio, 2016. [Consulta: 13 enero 2022]. Disponible en: <https://1library.co/document/yr3p3w9o-la-nanocelulosa-propiedades-y-aplicaciones.html>

CENTRO TECNOLÓGICO DE INVESTIGACIÓN MULTISECTORIAL. *Valorización de la lignina* [blog]. España: CETIM, 2017. [Consulta: 25 abril 2022]. Disponible en: <https://waleva.eu/wp-content/uploads/2017/04/04-workshop-life-waleva-2017-valorizacion-lignina.pdf>

CHÁVEZ GUERRERO, L. “Aplicaciones de la nanocelulosa obtenida del maguey”. *Universitarios Potosinos*, vol. 15, n° 223 (2018), (México) pp. 12-15.

CIFUENTES, Jorge I.; & ÁLVAREZ, Nelly G. *Mejora en las Propiedades Mecánicas de Alabes de Aerogeneradores con Resina Epóxica y Nanocelulosa* [blog]. Guatemala: ResearchGate, Julio, 2020. pp. 2-3. [Consulta: 23 enero 2022]. DOI 10.13140/RG.2.2.14486.37445. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/343038911>

CONSEJO NACIONAL DE COMPETENCIAS. *Informe sobre mapeo de actores generadores de información a nivel territorial e identificación de fuentes de información de la competencia de desechos sólidos* [en línea]. Quito-Ecuador: CNC, 2019. [Consulta: 12 enero 2022]. Disponible en: <http://www2.competencias.gob.ec/wp-content/uploads/2021/03/03-Manejo-desechos-solidos-2.pdf>

CONTRERAS, Héctor J.; et al. “Espectroscopia atr-ftir de celulosa: aspecto instrumental y tratamiento matemático de espectros”. *e-Gnosis* [en línea], 2010, (México) 8(9), p. 4. [Consulta: 6 julio 2022]. ISSN 1665-5745. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/730/73013006008.pdf>

CORTÉS PINTO, A. *Cigarrillos Phillip Morris International* [blog]. Argentina: SlidePlayer, 2016. [Consulta: 5 mayo 2022]. Disponible en: <https://slideplayer.es/slide/10321853/>

EL UNIVERSO, 2020. *Ecuador genera 375 mil toneladas de residuos sólidos urbanos al año, pero solo recicla el 4% de estos desechos* [blog]. Ecuador: La Revista, Ecología, 30 diciembre, 2020. [Consulta: 12 febrero 2022]. Disponible en: <https://www.eluniverso.com/noticias/2020/12/30/nota/9111586/ecuador-genera-375-mil-toneladas-residuos-solidos-urbanos-ano-solo/>

GAÑÁN, P.; et al. “Celulosa: un polímero de siempre con mucho futuro”. *Revista Colombiana de Materiales* [en línea], 2017, (Colombia) 1(11), pp. 1-4. [Consulta: 30 mayo 2022]. ISSN 2256-1013. Disponible en: <https://revistas.udea.edu.co/index.php/materiales/article/view/328779>

GARAY HERNÁNDEZ, Carlos A. & PEÑA PEÑA, N. Obtención de azúcares reductores por medio de fermentación sólida a partir de cáscaras de piña [en línea] (Proyecto integral de grado). (Ingeniería) Universidad de América, Bogotá, Colombia. 2018. p. 46. [Consulta: 19 julio 2022]. Disponible en: <http://52.0.229.99/bitstream/20.500.11839/6928/1/6132095-2018-2-IQ.pdf>

GARCÍA, A.; et al. “Industrial and crop wastes: A new source for nanocellulose biorefinery”. *Industrial Crops and Products* [en línea], 2016, (United States of America) 93(1), pp. 26-38. [Consulta: 23 junio 2022]. ISSN 0926-6690. DOI 10.1016/J.INDCROP.2016.06.004. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669016303880>

GARCÍA BERFON, Luis. V.; et al. “Estudio de especies no leñosas de la provincia de Loja (Ecuador) como potenciales materias primas para la fabricación de papel artesanal”. *Ingeniería*

Investigación y Tecnología [en línea], 2021, (México) 22(2), pp. 1-13. [Consulta: 18 enero 2022]. ISSN 2594-0732. DOI 10.22201/fi.25940732e.2021.22.2.011. Disponible en: <http://www.revistaingenieria.unam.mx/numeros/v22n2-03.php>

GARCÍA, D.; et al. “Morphological characterization by scanning electron microscopy of nanocelluloses of watermelon (*Citrullus lanatus*) peel”. *Agroindustrial Science* [en línea], 2021, (Perú) 11(2), pp. 149-157. [Consulta: 14 julio 2022]. DOI 10.17268/agroind.sci.2021.02.03. Disponible en: https://redib.org/Record/oai_articulo3357626-caracterizaci%C3%B3n-morfol%C3%B3gica-por-microscop%C3%ADa-electr%C3%B3nica-de-barrido-de-nanocelulosas-de-c%C3%A1scara-de-sand%C3%ADa-citrullus-lanatus

GONZÁLEZ VELANDIA, K. D.; et al. “Evaluación de las propiedades físicas y químicas de residuos sólidos orgánicos a emplearse en la elaboración de papel”. *Luna Azul* [en línea], 2016, (Colombia) 43(43), pp. 499-517. [Consulta: 18 enero 2022]. ISSN 1909-2474. DOI 10.17151/luaz.2016.43.21. Disponible en: http://200.21.104.25/luazul/index.php?option=com_content&view=article&id=210

HUANG, S.; et al. “Cellulose Nanocrystals (CNCs) from Corn Stalk: Activation Energy Analysis”. *Giorgio Biasiol* [en línea], 2017, (China) 15(19), p.16. [Consulta: 25 mayo 2022]. ISSN 1996-1944. DOI 10.3390/ma10010080. Disponible en: www.mdpi.com/journal/materials

NTE INEN 858. *Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico).*

JÁUREGUI MONTES, Miguel Á. *Iniciativa que reforma diversas disposiciones de las leyes generales para el control del tabaco, y para la prevención y gestión integral de los residuos* [blog]. San Lázaro: Ley General, 10 septiembre, 2019. [Consulta: 11 enero 2022]. Disponible en: http://sil.gobernacion.gob.mx/Archivos/Documentos/2019/09/asun_3910674_20190919_1568214373.pdf

JONGAROONTAPRANGSEE, S.; et al. “Production of nanofibrillated cellulose with superior water redispersibility from lime residues via a chemical-free process”. *Carbohydrate Polymers* [en línea], 2018, (Francia) 193(1), pp. 249-258. [Consulta: 23 junio 2022]. ISSN 0144-8617. DOI 10.1016/J.CARBPOL.2018.04.008. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S014486171830376X>

LABEAGA VITERI, A. & CASQUERO RUIZ, Juan de Dios. Polímeros biodegradables. Importancia y potenciales aplicaciones [en línea] (Trabajo de Fin de Máster). (Maestría) Universidad Nacional de Educación a Distancia, Máster universitario en ciencia y tecnología química, España, 2018. p. 5. [Consulta: 12 enero 2022]. Disponible en: http://espacio.uned.es/fez/eserv/bibliuned:master-Ciencias-CyTQ-Alabeaga/Labeaga_Viteri_Aitziber_TFM.pdf

LIBERA. *Colillas en espacios naturales* [blog]. Ecoembes, SEOBirdlife, 2018. [Consulta: 11 enero 2022]. Disponible en: <https://proyectolibera.org/wp-content/uploads/2018/07/Informe-Colillas-LIBERA-2018.pdf>

MANRIQUE PINZÓN, J. S.; et al. “Uso integral de colillas de cigarrillo con fines ambientales y comerciales. Proyecto piloto en la Facultad del Medio Ambiente de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas”. *Boletín Semillas Ambientales* [en línea], 2017, (Colombia) 11(1), pp. 72-79. [Consulta: 2 marzo 2022]. ISSN 2463-0691. Disponible en: <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/bsa/article/view/12234>

MARÍN CAJAMARCA, Cristian A. Obtención del acetato de celulosa a partir de colillas de cigarrillos [en línea] (Trabajo de titulación experimental). (Ingeniería) Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Cuenca, Ecuador. 2021. pp. 71-72. [Consulta: 20 julio 2022]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21217/1/UPS-CT009326.pdf>

MENA VIERA, Gonzalo X. Evaluación de tuza del maíz y azolla anabaena como sustratos para la producción de plantas de brócoli [en línea] (Proyecto de Investigación). (Ingeniería) Universidad Técnica de Ambato, Carrera de Ingeniería Agronómica, Cevallos, Ecuador. 2017. [Consulta: 12 abril 2022]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/26057/1/Tesis-163%20%20Ingenier%c3%ada%20Agron%c3%b3mica%20-CD%20492.pdf>

MENG, F.; et al. “Extraction and characterization of cellulose nanofibers and nanocrystals from liquefied banana pseudo-stem residue”. *Composites Part B: Engineering* [en línea], 2019, (Australia) 160(1), pp. 341-347. [Consulta: 25 julio 2022]. ISSN 1359-8368. DOI 10.1016/J.COMPOSITESB.2018.08.048. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S135983681832451X>

MONZONIS MARCO, Carlos J. Estudio para la minimización del residuo de colillas de tabaco y su posible reutilización [en línea] (Trabajo final de carrera). Universidad Politécnica de Valencia, Escuela Politécnica Superior de Gandia, Gandia, España. 2011. p. 5 [Consulta: 5 marzo 2022]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/11025/Memoria.pdf?sequence=1>

MORAIS, S. Paulo J.; et al. “Extraction and characterization of nanocellulose structures from raw cotton linter”. *Carbohydrate Polymers* [en línea], 2013, (Francia) 91(1), pp. 229-235. [Consulta: 10 julio 2022]. ISSN 0144-8617. DOI 10.1016/j.carbpol.2012.08.010. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861712007825>

MUGICA ÁLVAREZ, V. *Determinación de factores de emisión de bióxido de carbono (CO₂), partículas en suspensión de 2.5 y 10 micras (pm_{2.5} y pm₁₀) y contaminantes de vida corta, metano (CH₄) y carbono negro por prácticas de quema agrícola* [en línea]. Universidad Autónoma Metropolitana. Coyoacán-México: Mitigación del cambio climático, Periférico Sur, 2016. [Consulta: 11 enero 2022]. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/290687/Factores_de_Emision_de_Quema_Agricola_CGMCC_2016.pdf

NÚÑEZ CAMARGO, Danny W. “Using agricultural waste for the production of biofuels (departamento del Meta-Colombia)”. *Tecnura* [en línea], 2012, (Colombia) 16(34), pp. 142-156. [Consulta: 23 enero 2022]. ISSN 0123-921X. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/2570/257024712012.pdf>

OGUNDARE, S. A.; et al. “Nanocrystalline cellulose isolated from discarded cigarette filters”. *Carbohydrate Polymers* [en línea], 2017, (Francia), 175(1), pp. 273-281. [Consulta: 3 julio 2022]. ISSN 0144-8617. DOI 10.1016/J.CARBPOL.2017.08.008. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861717308743>

OLIVA RUIZ, L.O.; et al. “Análisis de ciclo de vida del aprovechamiento energético de los residuos (tusa) de la cosecha de maíz (*Zea mays*) en la provincia de Los Ríos, Ecuador”. *Tecnología química* [en línea], 2019, (Ecuador) 39(3), p. 3. [Consulta: 12 agosto 2022]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/4455/445560283012/html/>

OLIVEIRA, Jean P.; et al. “Cellulose fibers extracted from rice and oat husks and their application in hidrogel”. *Food Chemistry* [en línea], 2017, (United Kingdom) 221(1), pp. 153-

160. [Consulta: 7 febrero 2022]. ISSN 0308-8146. DOI 10.1016/J.FOODCHEM.2016.10.048. Disponible en: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S030881461631665X?token=B9D570D15F764745B47EE6644CA091A7FDC7966CA55D874A3251ADAA5CEC03EF3F26C76FEB0FE9475ADD5BE09A2CCE18&originRegion=us-east-1&originCreation=20220208060745>

PANDI, N.; et al. “Synthesis of cellulose nanocrystals (CNCs) from cotton using ultrasound-assisted acid hydrolysis”. *Ultrasonics Sonochemistry* [en línea], 2021, (Australia) 70(1), pp. 105353. [Consulta: 16 julio 2022]. ISSN 1350-4177. DOI 10.1016/J.ULTSONCH.2020.105353. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350417720308178>

PANYELLA ÁNGEL. *Papel de oficina* [blog]. Manual práctico de compra y contratación pública verde 2010. [Consulta: 4 mayo 2022]. Disponible en: <https://www.diba.cat/documents/471041/cf40ba5a-fd6e-4161-a911-e1b0bc382c94>

PARADA PUIG, R. *Hemicelulosa: clasificación, estructura, biosíntesis, funciones.* [blog]. España: Lifeder, 17 julio, 2019. [Consulta: 6 mayo 2022]. Disponible en: <https://www.lifeder.com/hemicelulosa/>

PARRA, R.G. Destintado de papel de impresión láser mediante ultrasonido a 25 y 45 Hhz [en línea] (Tesis). (Maestro) Universidad de Michoacana de San Nicolas de Hidalgo, Morelia, México. 2010. p. 59. [Consulta: 20 julio 2022]. Disponible en: http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/bitstream/handle/DGB_UMICH/169/FITECMA-M-2010-0001.pdf?sequence=1&isAllowed=y

PERALTA HOLGUÍN, W.E. & MEDINA SERRANO, C.A. “El papel de los residuos agrícolas en la extracción de nanocristales de celulosa”. *Revista Bases de la Ciencia* [en línea], 2021, (Ecuador) 6(2), pp. 57-74. [Consulta: 30 enero 2022]. ISSN 2588-0764. Disponible en: <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Basedelaciencia/article/view/3009/3805>

PORTUGUÉZ MOYA, M. E.; et al. “Obtención de lignina y celulosa de residuos de maíz”. *Uniciencia* [en línea], 1992, (Costa Rica) 9(1), pp. 45-50. [Consulta: 26 junio 2022]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5381411.pdf>

PRADO MARTÍNEZ, M.; et al. “Caracterización de hojas de mazorca de maíz y de bagazo de caña para la elaboración de una pulpa celulósica mixta”. *Madera y Bosques* [en línea], 2012,

(México) 18(3), pp. 37-51. [Consulta: 12 enero 2022]. ISSN 2448-7597. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712012000300004&lng=es&nrm=iso&tlng=es

PRESENDA GERÓNIMO, A.; et al. “Obtención de celulosa a partir de residuos de piña (Ananas Comosus L. Merrill)”. *Agro Productividad* [en línea], 2020, (México) 13(2), pp. 77-82. [Consulta: 15 marzo 2022]. ISSN 2594-0252. DOI 10.32854/agrop.vi.1608. Disponible en: <https://www.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/1608/1280>

PULIDO BARRAGÁN, E.; et al. “Obtención y caracterización de nanocelulosa a partir de tule (Typha domingensis)”. *Revista de Energía Química y Física* [en línea], 2016, (Bolivia) 3(6), pp. 31-38. [Consulta: 18 junio 2022]. Disponible en: https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Energia_Quimica_y_Fisica/vol3num6/Revista_Energia_Quimica_Fisica_V3_N6_5.pdf

QUESADA SOLÍS, K.; et al. “Utilización de las fibras del rastrojo de piña (ananas comusus, variedad champaka) como material de refuerzo en resinas de poliéster”. *Revista Iberoamericana de Polímeros* [en línea], 2005, (Costa Rica) 6(2), pp. 159-177. [Consulta: 21 julio 2022]. Disponible en: https://repositorio.conare.ac.cr/bitstream/handle/20.500.12337/3260/UTILIZACI%C3%93N%20DE%20LAS%20FIBRAS%20DEL%20RASTROJO%20DE%20PI%C3%91A_QUESADA.pdf?sequence=1

RAMIREZ MURILLO, J.M. & MOSQUERA LOPEZ, M.S. Formulación de una Iniciativa de Proyecto para el Aprovechamiento de los Residuos Sólidos de Colillas de Cigarrillo generados por los visitantes de la colina de San Antonio, ubicada en la comuna 3 de la ciudad de Santiago de Cali [en línea] (Trabajo de grado). (Especialista) Fundación Universitaria Católica Lumen Gentium, Santiago de Cali, Colombia. 2019. p. 22. [Consulta: 20 abril 2022]. Disponible en: <https://repository.unicatolica.edu.co/handle/20.500.12237/1795>

RIERA, M.A., MALDONADO, S. & PALMA, R. “Residuos agroindustriales generados en Ecuador para la elaboración de bioplásticos”. *Revista Ingeniería Industrial* [en línea], 2019, (Ecuador) 17(3), pp. 227-246. [Consulta: 17 abril 2022]. ISSN 0717-9103. DOI 10.22320/S07179103/2018.13. Disponible en: <http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RI/article/view/3924>

ROLLERI, A. Efecto del contenido del material no fibroso, en las propiedades físico - mecánicas del papel reciclado [en línea] (Trabajo de Titulación). (Ingeniería) Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile, 2012, p. 28. [Consulta: 19 julio 2022]. Disponible en: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2012/fifv164e/doc/fifv164e.pdf>

SANAGUANO PERALTA, S.E. Obtención de nanocelulosa a partir de la hoja de mazorca de maíz (*zea mays* l.) mediante el proceso de hidrólisis ácida” (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2021. pp. 29-33.

SÁNCHEZ PARDO, M.E.; et al. Chemical Characterisation of the Industrial Residues of the Pineapple (*Ananas comosus*). *Journal of Agricultural Chemistry and Environment* [en línea], 2014, (China) 3(2), pp. 53-56. [Consulta: 11 enero 2022]. ISSN 2325-7458. DOI 10.4236/jacen.2014.32b009. Disponible en: https://www.scirp.org/pdf/JACEN_2014050216323419.pdf

SHEILATN. *Tusa* [en línea]. Dialecto Boricua, 2021. [Consulta: 12 agosto 2022]. Disponible en: <https://dialectoboricua.com/2021/10/26/tusa/>

SHURVELL, H.F. “Spectra-Structure Correlations in the Mid-and Far-infrared”. *Handbook of Vibrational Spectroscopy* [en línea]. 2006, (Canadá), pp. 9-12. [Consulta: 29 junio 2022]. DOI 10.1002/0470027320.s4101. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/0470027320.s4101>

TAPPI, T 207 cm-99. *Water solubility of wood and pulp.*

TAPPI, T 211 om-02. *Ash in wood, pulp, paper and paperboard: combustion at 525°C.*

TAPPI, T 203 m 58. *Determinacion de celulosa.*

TAPPI, T 222 om-02. *Lignin in Wood and Pulp.*

TAPPI, T 412 om-06. *Moisture in pulp, paper and paperboard.*

TELLO ESPINOZA, P.; et al. *Gestión integral de residuos sólidos urbanos* [en línea]. América Latina: *AIDIS*, 2018. p. 143. [Consulta: 11 enero 2022]. Disponible en: <https://aidisnet.org/wp->

content/uploads/2019/08/GESTION-INTEGRAL-DE-RESIDUOS-SOLIDOS-URBANOS-LIBRO-AIDIS.pdf

TESCHKE, K. & DEMERS, P. *Industria del papel y de la pasta de papel* [en línea]. Enciclopedia de Salud y seguridad en el trabajo. 2009. p.5. [Consulta: 11 de mayo 2022]. Disponible en: <https://www.insst.es/documents/94886/161971/Cap%C3%ADtulo+72.+Industria+del+papel+y+de+la+pasta+de+papel#:~:text=La%20pasta%20se%20elabora%20generalmente,papel%20de%20seda%20o%20cart%C3%B3n>

VALDIVIESO VALDIVIESO, J.E. Diseño de un proceso para la obtención de papel a partir de la celulosa extraída del olote de maíz (*Zea mays* L. var. Ceratina) [en línea] (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2020. p.100. [Consulta: 26 junio 2022]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/13964/3/96T00575.pdf>

VALLEJOS, M.E.; et al. “Nanofibrillated cellulose (CNF) from eucalyptus sawdust as a dry strength agent of unrefined eucalyptus handsheets”. *Carbohydrate Polymers* [en línea], 2016, (Francia) 139(1), pp. 99-105. [Consulta: 25 junio 2022]. ISSN 0144-8617. DOI 10.1016/J.CARBPOL.2015.12.004. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861715011820>

VERMA, C.; et al. “Isolation of cellulose nanocrystals from different waste bio-mass collating their liquid crystal ordering with morphological exploration”. *International Journal of Biological Macromolecules* [en línea], 2021, (United States of America) 175(1), pp. 242-253. [Consulta: 1 julio 2022]. ISSN 0141-8130. DOI 10.1016/J.IJBIOMAC.2021.02.038. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813021003081>

VOET, D. & VOET, J. *Fundamentos de bioquímica*. 3ª ed. Montevideo-Uruguay: Médica Panamericana, 2006, p. 380.

WIDIARTO, S.; et al. “Preparation and Characterization of Cellulose and Nanocellulose from Agro-industrial Waste-Cassava Peel”. *Materials Science and Engineering* [en línea], 2017, (Indonesia) 176(1), pp. 1-6. [Consulta: 15 febrero 2022]. DOI 10.1088/1757-899X/176/1/012052. Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/176/1/012052/meta>

WU, J.; et al. “Preparation and characterization of cellulose nanofibrils from coconut coir fibers and their reinforcements in biodegradable composite films”. *Carbohydrate Polymers* [en línea], 2019, (Francia) 211(1), pp. 49-56. [Consulta: 14 julio 2022]. ISSN 0144-8617. DOI 10.1016/J.CARBPOL.2019.01.093. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861719301067>

YANG, T.; et al. “Direct Preparation of Nanocelluloses of Tunable Lengths from Native Wood Via Alkaline Periodate Oxidation”. *Advanced Sustainable Systems* [en línea], 2021, (Alemania) 5(7), pp.1-6. [Consulta: 20 julio 2022]. ISSN 23667486. DOI 10.1002/adsu.202100058. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/adsu.202100058>

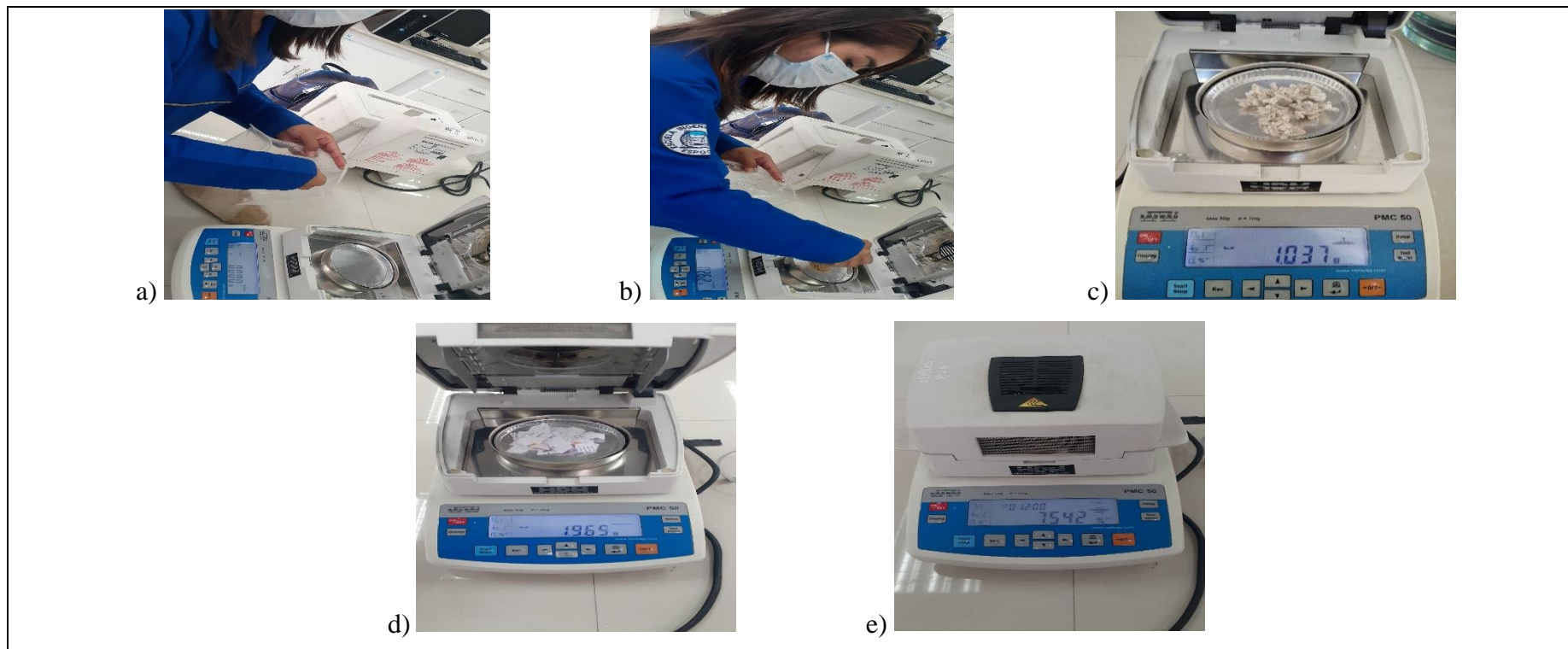
YU, S.; et al. “Nanocellulose from various biomass wastes: Its preparation and potential usages towards the high value-added products”. *Environmental Science and Ecotechnology* [en línea], 2021, (China) 5(1), pp. 2-9. [Consulta: 25 julio 2022]. ISSN 2666-4984. DOI 10.1016/J.ESE.2020.100077. Disponible en: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2666498420300715?token=E8BB2FB3DAB6A45624421039326687547D3215716B5536BEEC37524700F6FF26191523ED8C994666A355D1A752398C51&originRegion=us-east-1&originCreation=20220810050800>



DIRECCION DE BIBLIOTECAS
Y RECURSOS PARA EL APRENDIZAJE
Y LA INVESTIGACION
Dra. Mercedes Ferrera Espinosa MBA
ANALISTA DE BIBLIOTECA 1

ANEXOS

ANEXO A: DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD EN MUESTRA SECA



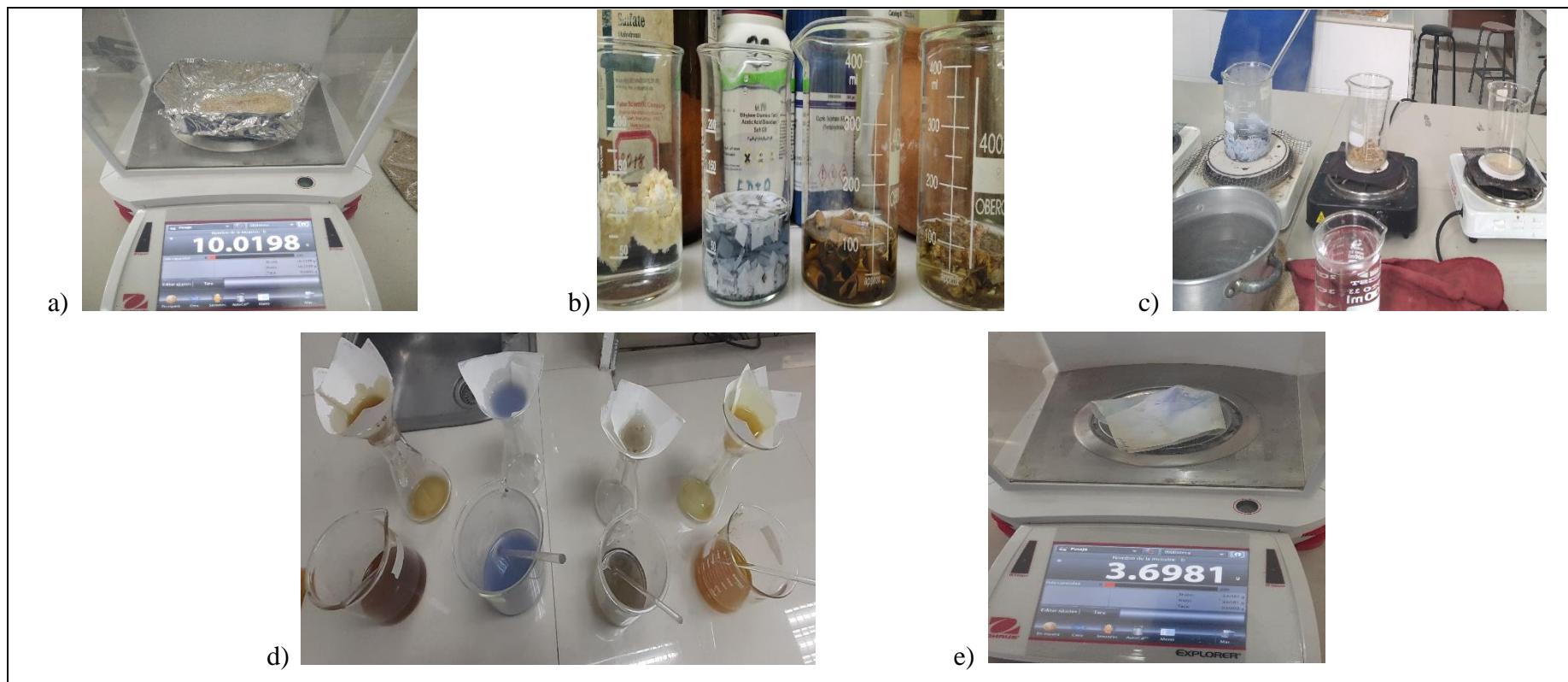
NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA ELABORADO POR: Paola Alejandra Estrada Cajamarca	Porcentaje de humedad de la muestra seca		
a. Se tara la balanza de humedad. b. Colocar la muestra en la balanza. c. Pesaje de colillas de cigarrillo en la balanza de humedad. d. Establecer los diferentes parámetros y cerrar la tapa. e. Determinación del porcentaje de humedad.	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar		LÁMINA 1	ESCALA 1:1	FECHA 2022/08/15

ANEXO B: DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE CENIZAS



<p>NOTAS:</p>	<p>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA ELABORADO POR: Paola Alejandra Estrada Cajamarca</p>	<p>Porcentaje de cenizas de la materia prima</p>		
<p>a) Pesar 2 g de las muestras para realizar el análisis. b) Se coloca la muestra de colillas de cigarrillo en el crisol. c) Los crisoles se colocan sobre un reverbero. d) Calcinación de tusa de maíz.</p>	<p><input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar</p>		<p>LÁMINA</p>	<p>ESCALA</p>	<p>FECHA</p>
			<p>1</p>	<p>1:1</p>	<p>2022/08/15</p>

ANEXO C: SOLUBILIDAD EN AGUA CALIENTE



<p>NOTAS:</p>	<p>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA ELABORADO POR: Paola Alejandra Estrada Cajamarca</p>	<p>Porcentaje de solubilidad en agua caliente de las muestras</p>		
<p>a) Pesar 10 g de las muestras. b) Humedecer las muestras. c) Se agregó agua caliente e hirvió la solución. d) Se filtran las muestras. e) Pesar la muestra hasta obtener un peso constante.</p>	<p><input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar</p>		<p>LÁMINA</p>	<p>ESCALA</p>	<p>FECHA</p>
			<p>1</p>	<p>1:1</p>	<p>2022/08/15</p>

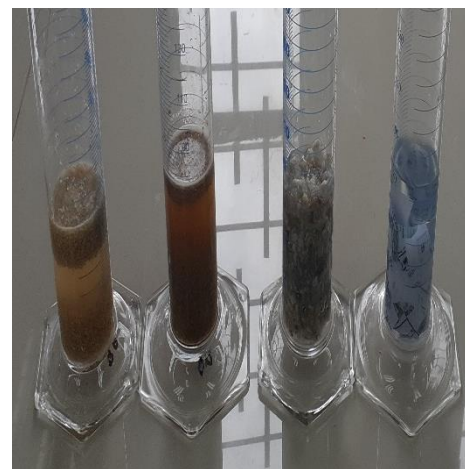
ANEXO D: DENSIDAD



a)



b)



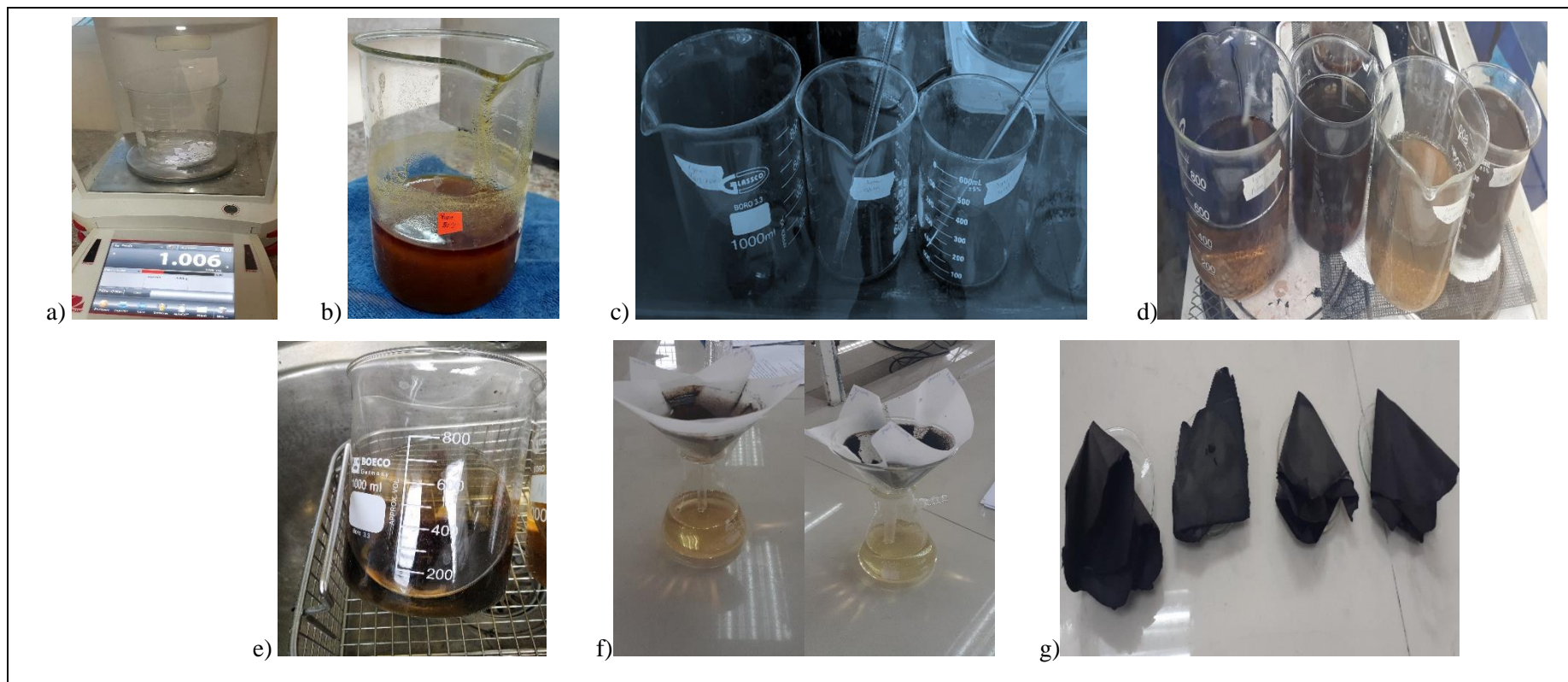
c)



d)

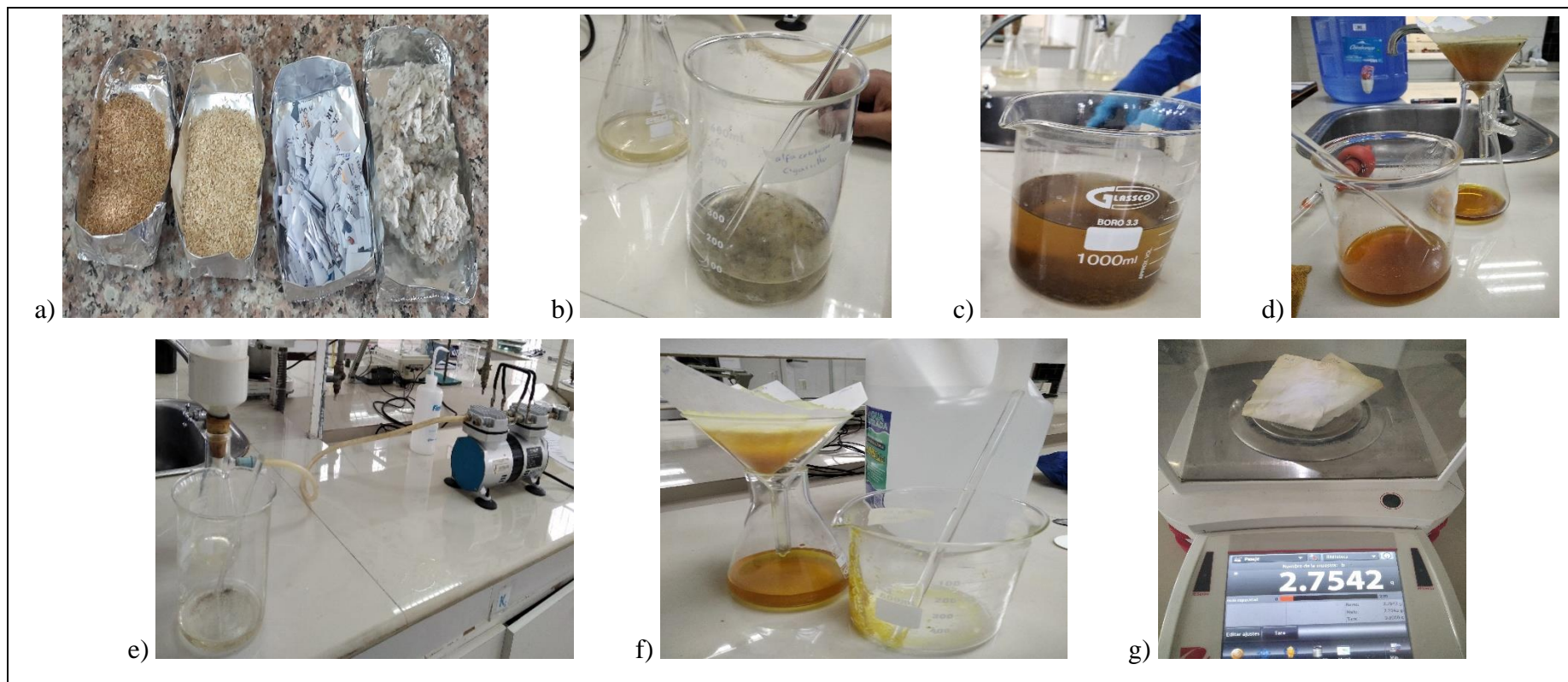
NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA ELABORADO POR: Paola Alejandra Estrada Cajamarca	Densidad de muestras secas		
a) Pesar 5 g de la muestra b) Se cubrió toda la muestra con 70 ml de agua c) Dejar reposar durante 1 hora. d) Anotar el volumen obtenido	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar		LÁMINA	ESCALA	FECHA
			1	1:1	2022/08/15

ANEXO E: DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE LIGNINA EN LAS MUESTRAS



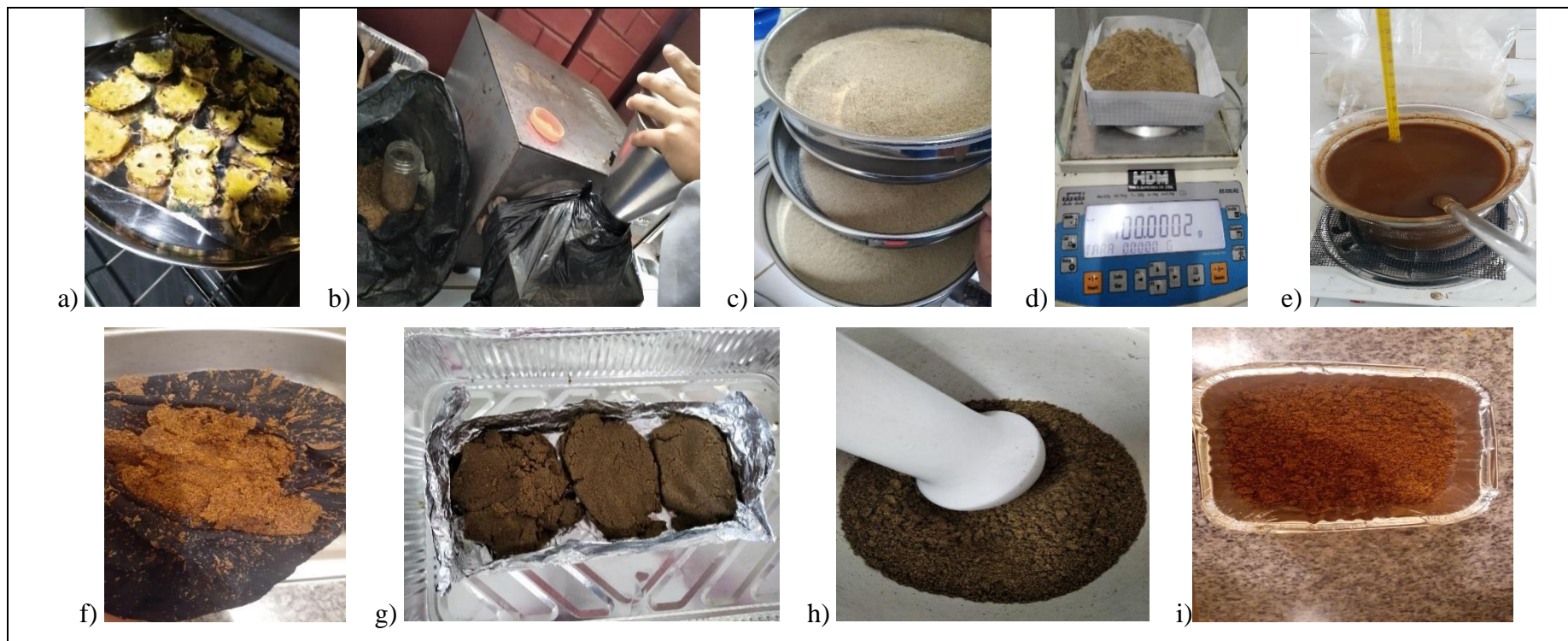
NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA ELABORADO POR: Paola Alejandra Estrada Cajamarca	Determinación de lignina presente en las muestras		
a) Pesarse 1 g del residuo b) Colocar ácido sulfúrico al 72 % c) Agitar la muestra constantemente durante 2 horas d) Cortar la reacción y hervirla durante 4 horas e) Sedimentar la dilución obtenida f) Filtrar las muestras g) Secar la lignina hasta su peso constante.	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar		LÁMINA	ESCALA	FECHA
			1	1:1	2022/08/15

ANEXO F: DETERMINACIÓN DE ALFA CELULOSA



NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA ELABORADO POR: Paola Alejandra Estrada Cajamarca	Porcentaje de alfacelulosa		
a) Pesar 3 g de las muestras secas b) Se adiciona la solución de NaOH c) Dejar reposar la reacción por 30 minutos d) Se lava el residuo e) Adición de ácido acético f) Filtración y lavado g) Se pesó hasta obtener un peso constante.	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar		LÁMINA	ESCALA	FECHA
		1	1:1	2022/08/15	

ANEXO G: PRETRATAMIENTO DE CÁSCARA DE PIÑA



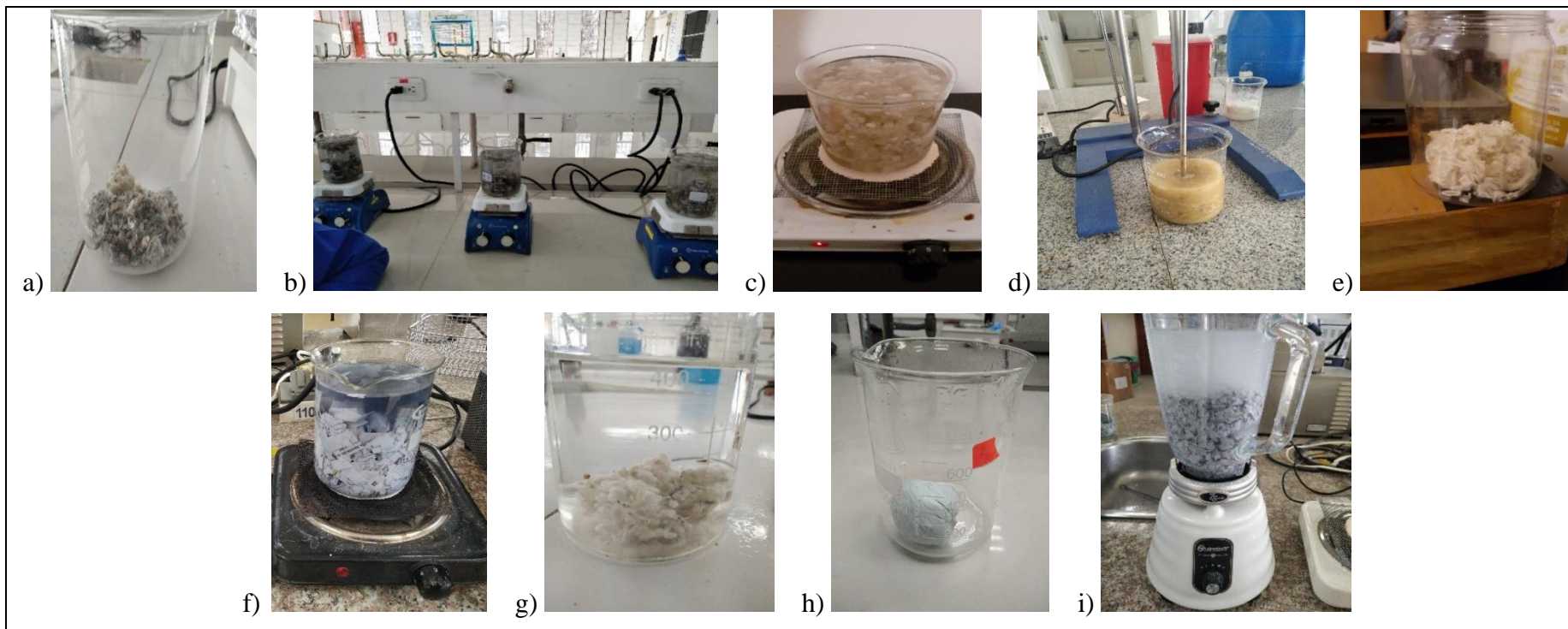
NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA ELABORADO POR: Paola Alejandra Estrada Cajamarca	Pretratamiento de cáscara de piña		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
a) Secar las cáscaras de piña b) Triturar y moler c) Tamizar en una columna de tamices d) Pesar 100 g de materia prima e) Pretratamiento a 80 °C f) Filtrar la muestra g) Secar el residuo h) Eliminar grumos i) Conservar la materia pretratada	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar	1	1:1	2022/08/15	

ANEXO H: PRETRATAMIENTO DE TUSA DE MAÍZ



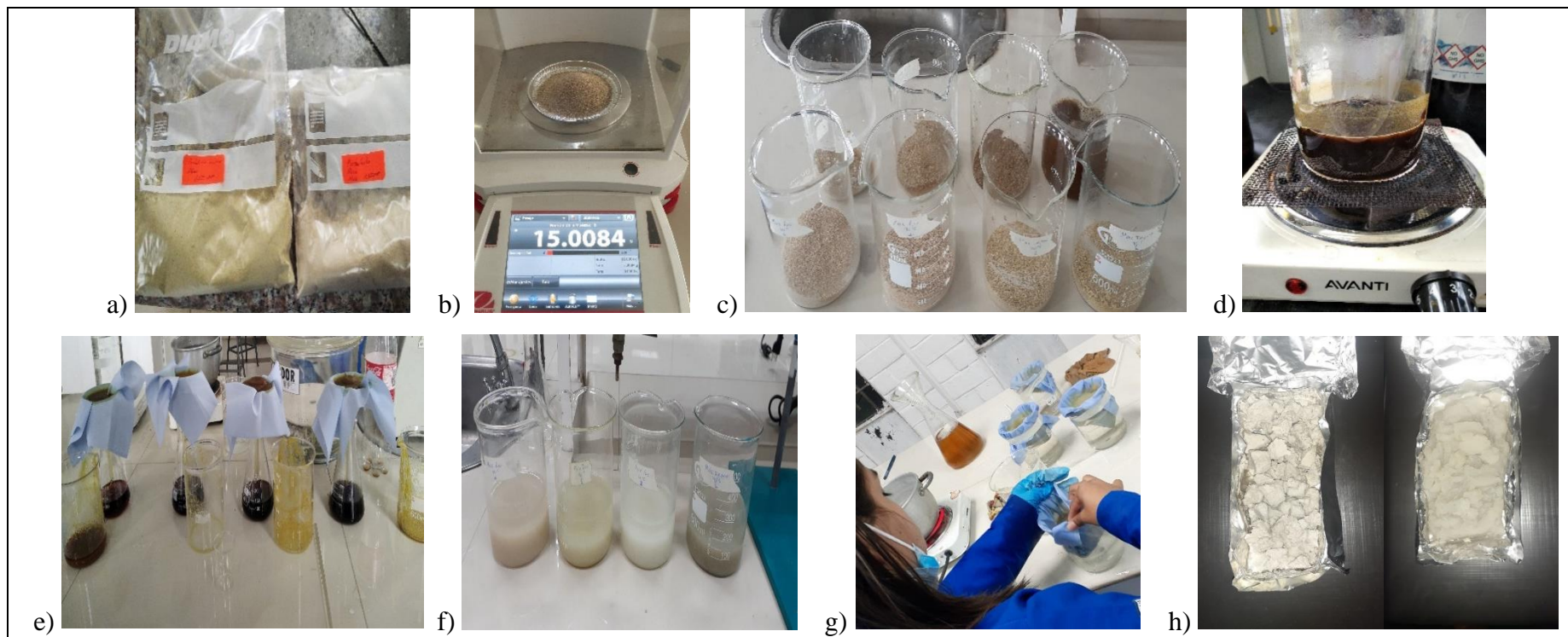
NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	Pretratamiento de tusa de maíz		
a) Trocear las tusas de maíz b) Secar las tusas de maíz c) Triturarlas y molerlas d) Almacenar la materia prima tamizada e) Pesar 100 g del residuo f) Pretratamiento a 80 °C g) Filtrar el residuo h) Secar la materia pretratada i) Conservar y almacenar la materia	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar		LÁMINA	ESCALA	FECHA
		ELABORADO POR: Paola Alejandra Estrada Cajamarca	1	1:1	2022/08/15

ANEXO I: PRETRATAMIENTO DE COLILLAS DE CIGARRILLO Y PAPEL RECICLADO



<p>NOTAS:</p>	<p>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p>ELABORADO POR: Paola Alejandra Estrada Cajamarca</p>	<p>Pretratamiento de papel reciclado y colillas de cigarrillo</p>		
<p>a) Recorte de los filtros de cigarrillo b) Lavados con agitación c) Pretratamiento a 80 °C d) Triturado de colillas de cigarrillo e) Secado de las colillas limpias f) Pretratamiento de papel reciclado g) Lavados para eliminar impurezas h) Filtrado y secado i) Triturar el material pretratado</p>	<p><input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar</p>		<p>LÁMINA</p>	<p>ESCALA</p>	<p>FECHA</p>
			<p>1</p>	<p>1:1</p>	<p>2022/08/15</p>

ANEXO J: OBTENCIÓN DE CELULOSA A PARTIR DE MATERIA PRETRATADA DE TUSA DE MAÍZ Y CÁSCARA DE PIÑA



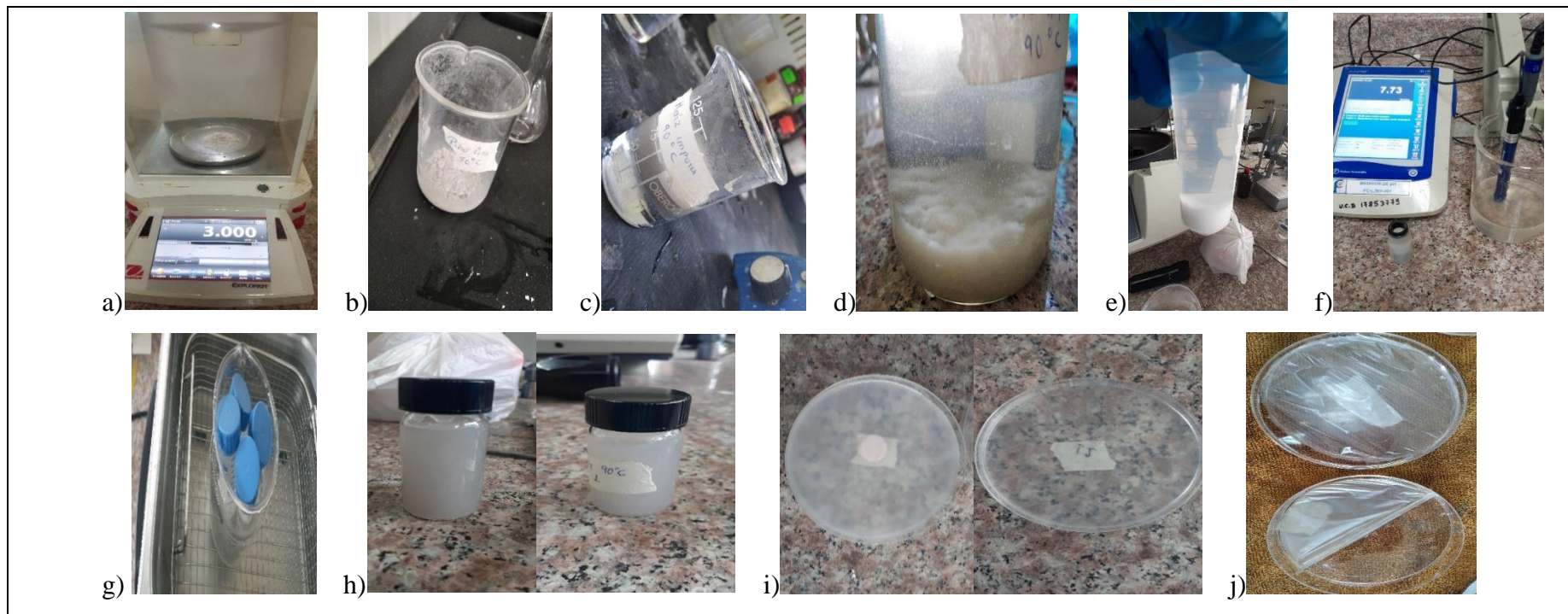
NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA ELABORADO POR: Paola Alejandra Estrada Cajamarca	Obtención de celulosa de tusa de maíz y cáscara de piña		
a) Materia pretratada de tusa de maíz y cáscara de piña b) Pesar 15 g para cada repetición c) Colocar las muestras en vasos de precipitación d) Adicionar NaOH (tratamiento alcalino) e) Realizar lavados y filtrar f) Proceso de blanqueamiento con adición de NaClO g) Lavados y filtrado de celulosa h) Muestras de celulosa obtenida seca	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar		LÁMINA	ESCALA	FECHA
			1	1:1	2022/08/15

ANEXO K: OBTENCIÓN DE CELULOSA A PARTIR DE MATERIA PRETRATADA DE PAPEL RECICLADO Y COLILLAS DE CIGARRILLO



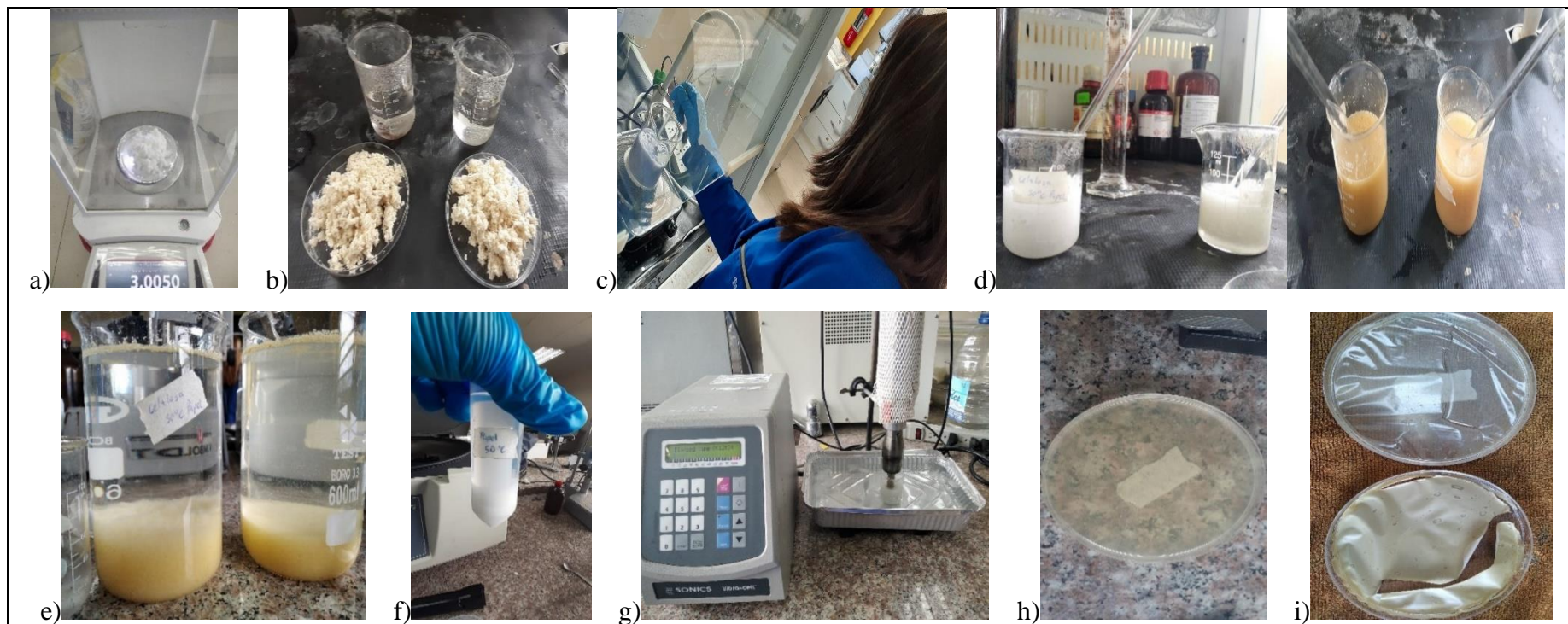
NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	Obtención de celulosa a partir de papel reciclado y colillas de cigarrillo		
a) Pesar la materia pretratada b) Adicionar NaOH para el tratamiento alcalino c) Mantener en la temperatura establecida por 4 horas d) Licor negro obtenido de la filtración del tratamiento alcalino e) Blanqueamiento de la muestra f) Filtrado y lavado hasta obtener un ph neutro g) Muestras de celulosa h) Secar la celulosa i) Celulosa blanqueada obtenida	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar	ELABORADO POR: Paola Alejandra Estrada Cajamarca	LÁMINA	ESCALA	FECHA
		1	1:1	2022/08/15	

ANEXO L: SÍNTESIS DE NANOCELULOSA DE TUSA DE MAÍZ Y CÁSCARA DE PIÑA



NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:	<p align="center"> ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA ELABORADO POR: Paola Alejandra Estrada Cajamarca </p>	Síntesis de nanocelulosa de tusa de maíz y cáscara de piña		
a) Pesar la celulosa obtenida b) Colocarla en un vaso de precipitación c) Añadir la solución de H ₂ SO ₄ d) Se detiene el proceso de hidrólisis e) Centrifugar a 3000 rpm f) Realizar lavados hasta obtener un Ph neutro g) Ultrasonido para romper las moléculas h) Muestra de nanocelulosa líquida obtenida i) Secar las muestras de nanocelulosa j) Muestras de nanocelulosa seca	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar		LÁMINA	ESCALA	FECHA
			1	1:1	2022/08/15

ANEXO M: SÍNTESIS DE NANOCELULOSA DE COLILLAS DE CIGARRILLO Y PAPEL RECICLADO



NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA ELABORADO POR: Paola Alejandra Estrada Cajamarca	Síntesis de nanocelulosa de colillas de cigarrillo y papel reciclado		
a) Pesar la muestra de celulosa b) Preparar la solución de H ₂ SO ₄ c) Proceso de hidrólisis ácida d) Agitar constantemente la solución e) Precipitado de las muestras f) Centrifugar y lavar g) Ultrasonido para romper enlaces h) Colocar la nanocelulosa en una caja de petri i) Nanocelulosa seca obtenida	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar		LÁMINA	ESCALA	FECHA
			1	1:1	2022/08/15

ANEXO N: APLICACIÓN DE FÓRMULAS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

- Porcentaje de humedad

HUMEDAD				
MUESTRA	PESO INICIAL (g)	TIEMPO (min)	(%)	PROMEDIO (%)
R1c	1,3112	5,250	8,702	8,804
R2c	2,0032	7,000	8,906	
R1pr	2,089	7,500	6,130	6,785
R2pr	1,874	4,000	7,439	
R1m	2,059	7,500	7,334	7,274
R2m	1,087	4,300	7,213	
R1p	2,042	12,000	7,542	7,451
R2P	20.018	10,760	7,360	

- Porcentaje de cenizas

CENIZAS						
MUESTRA	PESO INICIAL (g)	PESO CRISOL (g)	PESO CRISOL + CENIZAS (g)	FÓRMULA	PORCENTAJE (%)	PROMEDIO (%)
R1c	2,064	39,362	39,463		4,893	6,535
R2c	2,030	41,214	41,380		8,177	

R1pr	2,016	29,323	29,756	$\% \text{ Cenizas} = \frac{(\text{Peso crisol con cenizas} - \text{peso crisol})}{\text{Peso inicial}} * 100$	21,478	21,457
R2pr	2,118	24,936	25,390		21,435	
R1m	2,079	35,618	35,668		2,405	2,375
R2m	2,005	42,451	42,498		2,344	
R1p	2,009	33,345	33,437		4,579	4,611
R2P	2,068	46,731	46,827		4,642	

- Porcentaje de alfacelulosa

ALFA CELULOSA						
MUESTRA	PESO INICIAL (g)	PESO PAPEL FILTRO (g)	PESO PAPEL FILTRO + ALFA CELULOSA (g)	FÓRMULA	PORCENTAJE (%)	PROMEDIO (%)
R1c	3,007	1,946	3,092	$\% \text{ Alfa celulosa} = \frac{(\text{Peso papel filtro con alfa celulosa} - \text{peso papel filtro})}{\text{Peso inicial}} * 100$	38,118	39,783
R2c	3,002	1,948	3,192		41,448	
R1pr	3,004	1,861	3,693		61,017	61,094
R2pr	3,003	1,861	3,698		61,171	
R1m	3,002	1,846	3,352		50,152	50,833
R2m	3,003	1,846	3,393		51,515	
R1p	3,005	1,882	3,398		50,431	50,600
R2P	3,006	1,880	3,406		50,769	

- Porcentaje de solubilidad en agua caliente

SOLUBILIDAD EN AGUA CALIENTE						
MUESTRA	PESO INICIAL (g)	PESO PAPEL FILTRO (g)	PESO PAPEL FILTRO + SOLUBILIDAD (g)	FÓRMULA	PORCENTAJE (%)	PROMEDIO (%)
R1c	9,836	1,780	10,711	$\text{Solubilidad \%} = \frac{(\text{Peso inicial} - (\text{peso papel con solubilidad} - \text{peso papel filtro}))}{\text{Peso inicial}} * 100$	9,193	9,359
R2c	9,860	1,791	10,712		9,526	
R1pr	10,004	1,368	10,681		6,910	6,866
R2pr	10,099	1,280	10,689		6,822	
R1m	10,020	1,992	10,618		13,906	13,927
R2m	10,010	2,000	10,613		13,948	
R1p	10,076	1,959	8,220		37,871	37,549
R2P	10,057	1,972	8,285		37,227	

- Contenido de lignina

LIGNINA						
MUESTRA	PESO INICIAL (g)	PESO PAPEL FILTRO (g)	PESO PAPEL FILTRO + LIGNINA (g)	FÓRMULA	PORCENTAJE (%)	PROMEDIO (%)
R1c	1,016	1,863	1,865	$\text{Lignina \%} = \frac{(\text{Peso papel filtro con lignina} - \text{peso papel filtro})}{\text{Peso inicial}} * 100$	0,167	0,548
R2c	1,013	1,863	1,872		0,928	
R1pr	1,006	1,891	1,992		10,040	10,149

R2pr	1,010	1,889	1,993		10,257	
R1m	1,017	1,840	1,985		14,189	14,299
R2m	1,014	1,846	1,993		14,408	
R1p	1,000	1,829	2,005		17,620	18,214
R2P	1,006	1,830	2,020		18,807	

- Densidad de muestras sólidas

DENSIDAD							
MUESTRA	TIEMPO (h)	MASA (g)	VOLUMEN INICIAL (ml)	VOLUMEN FINAL (ml)	FÓRMULA	DENSIDAD (g/ml)	PROMEDIO (g/ml)
R1c	1	5,005	70,000	77,000	$\text{Densidad} = \frac{\text{masa}}{\text{volumen final} - \text{volumen inicial}}$	0,715	0,742
R2c	1	5,005	70,000	76,500		0,770	
R1pr	1	5,005	70,000	76,000		0,834	0,774
R2pr	1	5,008	70,000	77,000		0,715	
R1m	1	5,005	70,000	76,000		0,834	
R2m	1	5,005	70,000	77,000		0,715	
R1p	1	5,005	70,000	76,000		0,834	0,802
R2P	1	5,005	70,000	76,500		0,770	



epoch


**Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje**

**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL**

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 05 / 01 / 2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Paola Alejandra Estrada Cajamarca
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Química
Título a optar: Ingeniera Química
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.


DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS
Y RECURSOS PARA EL APRENDIZAJE
Y LA INVESTIGACION
Cecilia Sacro Uquillas MBA
ANALISTA DE BIBLIOTECA 1

2283-DBRA-UTP-2022