



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE QUÍMICA

**“OBTENCIÓN DE NANOCRISTALES DE CELULOSA A
PARTIR DE RESIDUOS AGRÍCOLAS”**

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto de investigación

Presentado para optar el grado académico de:

QUÍMICA

AUTORA: WENDY ELIZABETH PERALTA HOLGUÍN

DIRECTOR: Dr. JORGE EFRÉN SILVA YUMI

Riobamba – Ecuador

2021

©2021, Wendy Elizabeth, Peralta Holguín

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

Yo, Wendy Elizabeth Peralta Holguín declaro que el presente trabajo de titulación 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 titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 2 de febrero del 2021.

The image shows a handwritten signature in blue ink. The name 'WENDY' is written on the top line, followed by a horizontal line, and 'PERALTA' is written on the bottom line.

Wendy Elizabeth Peralta Holguín

Ci. 1314521970

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE QUÍMICA

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Proyecto de Investigación, “**OBTENCIÓN DE NANOCRISTALES DE CELULOSA A PARTIR DE RESIDUOS AGRÍCOLAS**” realizado por la señorita: **WENDY ELIZABETH PERALTA HOLGUÍN**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

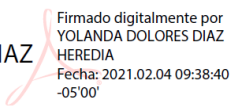


NOMBRE	FIRMA	FECHA
Dra. Yolanda Díaz Heredia PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	YOLANDA DOLORES DIAZ HEREDIA  Firmado digitalmente por YOLANDA DOLORES DIAZ HEREDIA Fecha: 2021.02.04 09:38:40 -05'00'	02-02-2021
Dr. Jorge Sil va Yumi DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	 Firmado electrónicamente por: JORGE EFREN SILVA YUMI	02-02-2021
Ing. Carlos Medina Serrano MIEMBRO DE TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: CARLOS ALCIBAR MEDINA SERRANO	02-02-2021

TABLA DE CONTENIDO

ABREVIATURAS.....	viii
ÍNDICE DE TABLA.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO METODOLÓGICO.....	4
1.1. Antecedentes.....	4
1.2. Bases teóricas.....	5
<i>1.2.1. Celulosa.....</i>	<i>5</i>
<i>1.2.1.1. Estructura Química.....</i>	<i>5</i>
<i>1.2.1.2. Interacciones moleculares.....</i>	<i>5</i>
<i>1.2.2. La nanocelulosa.....</i>	<i>6</i>
<i>1.2.3. Nanofibrillas de celulosa (CNF) o celulosa nanofibrilada (NFC)......</i>	<i>6</i>
<i>1.2.4. Celulosa bacteriana (BC).....</i>	<i>7</i>
<i>1.2.5. Nanocristales de celulosa (CNC), celulosa nanocristalina (NCC) o celulosa nanowhiskers (CNW)......</i>	<i>7</i>
1.3. Residuos Agroindustriales.....	9
1.4. Bases Conceptuales.....	10
<i>1.4.1. Celulosa.....</i>	<i>10</i>
<i>1.4.2. Nanocelulosa.....</i>	<i>10</i>
<i>1.4.3. Nanocristales de celulosa.....</i>	<i>10</i>
<i>1.4.4. Residuos Agroindustriales.....</i>	<i>10</i>

CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	11
2.1.	Tipo de investigación	11
2.2.	Diseño de la investigación	11
2.2.1.	Objetivo del diseño	12
2.2.1.1.	<i>Operacionalización de los objetivos</i>	12
2.2.2.	Localización del estudio	13
2.2.3.	Población de estudio	13
2.2.4.	Recolección de datos	13
2.2.4.1.	<i>Técnicas</i>	14
2.2.4.2.	<i>Instrumentos</i>	14

CAPÍTULO III

3.	MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	15
3.1.	Análisis y Discusión de Resultados	15
3.1.1.	La producción agrícola en el Ecuador	15
3.1.2.	Características físicas y químicas de los residuos agrícolas	21
3.1.2.1.	<i>Características de la cascarilla y paja de arroz</i>	21
3.1.2.2.	<i>Características del pseudo - tallo y tallo floral del plátano</i>	22
3.1.2.3.	<i>Características de la hoja de mazorca de maíz</i>	23
3.1.2.4.	<i>Características del bagazo de la caña de azúcar</i>	24
3.1.2.5.	<i>Características de la hoja y cáscara de piña</i>	25
3.1.3.	Métodos de obtención de nanocristales de celulosa	25
3.1.3.1.	<i>Obtención de nanocristales de celulosa a partir de la cascarilla y paja de arroz</i>	28
3.1.3.2.	<i>Obtención de nanocristales de celulosa a partir de pseudo - tallo y tallo floral</i>	29
3.1.3.3.	<i>Obtención de nanocristales de celulosa a partir de la hoja de mazorca y tallo de maíz</i>	31

3.1.3.4. <i>Obtención de nanocristales de celulosa a partir del bagazo de la caña de azúcar</i>	33
3.1.3.5. <i>Obtención de nanocristales de celulosa a partir de la hoja y cáscara de piña</i>	34
3.2.1. Viabilidad del uso de residuos agrícolas producidos en Ecuador para la obtención de nanocristales de Ecuador	35
3.2.1.1. <i>Usos industriales de los nanocristales de celulosa</i>	35
3.2.1.2. <i>Viabilidad de los residuos agrícolas en el Ecuador para la obtención de nanocristales de celulosa</i>	37
CONCLUSIONES	39
RECOMENDACIONES	40
GLOSARIO	
BIBLIOGRAFÍA	

ABREVIATURAS

°C:	grados centígrados
BC:	Celulosa bacteriana
C/N:	Carbono/Nitrógeno
Ca:	Calcio
Cd:	Cadmio
CH₃COOH:	Ácido acético
cm³:	centímetro cubico
CNC:	Nanocristales de celulosa
CNF:	Nanofibrillas de celulosa
CNW:	Celulosa nanowhiskers
CO₂:	Dióxido de carbono
Cr:	Cromo
FAO:	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura
Fe:	Hierro
gr:	gr
H₂O₂:	Peróxido de hidrogeno
H₂SO₄:	Ácido Sulfúrico
Ha:	Hectáreas
K:	Potasio
K₂O:	Oxido de potasio
kg:	Kilogramo
Khz:	Kilohercios
KOH:	Hidróxido de Potasio
L:	Litro
M:	Molar
mg:	miligramo

Mg:	Magnesio
ml:	mililitro
mm:	milímetro
Mn:	Manganeso
N:	Nitrógeno
Na:	Sodio
NaClO:	Hipoclorito de sodio
NaClO₂:	Clorito de sodio
NaOH:	Hidróxido de sodio
NCC:	Celulosa nanocristalina
NFC:	Celulosa nano fibrilada
nm:	nanómetro
OH:	Hidroxilo
TEMPO:	2,2,6,6-tetrametil-piperidina-1-oxilo
P:	Fosforo
p/p:	peso/peso
p/v:	peso/volumen
P₂O₃:	Oxido de fosforo (III)
P₂O₅:	Oxido de fosforo (III)
Pb:	Plomo
PC:	policarbonato
pH:	potencial de Hidrogeno
PLA:	ácido poliláctico
PMMA:	metacrilato de polimetilo.
PU:	poliuretano
PVA:	alcohol polivinílico
rpm:	revoluciones por minuto
S:	Azufre

SiO₂:	Dióxido de silicio
Tm:	Toneladas métricas
W:	Watt
Zn:	Zinc

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1-2: Operacionalización de los objetivos.....	12
Tabla 1-3: Características de la paja de arroz.	21
Tabla 2-3: Características de la paja de arroz.	22
Tabla 3-3: Características del pseudo-tallo de plátano.	23
Tabla 4-3: Características del tallo floral del plátano.	23
Tabla 5-3: Características de la hoja de mazorca de maíz.	24
Tabla 6-3: Características del bagazo de la caña de azúcar.	24
Tabla 7-3: Características de la hoja de piña.....	25
Tabla 8-3: Características de la cáscara de piña.	25
Tabla 9-3: Obtención de nanocristales de celulosa a partir de la cascarilla y paja de arroz.	28
Tabla 10-3: Obtención de nanocristales de celulosa a partir de pseudo - tallo y tallo floral.	30
Tabla 11-3: Obtención de nanocristales de celulosa a partir de la hoja de mazorca y tallo de maíz.	32
Tabla 12-3: Obtención de nanocristales de celulosa a partir del bagazo de la caña de azúcar. ...	33
Tabla 13-3: Obtención de nanocristales de celulosa a partir de la hoja y cáscara de piña.	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Estructura de la fibra celulósica.....	5
Figura 2-1: Redes de enlace de hidrógeno intramolecular (-) e intermolecular (-) en la estructura de celulosa	6
Figura 3-1: Nanofibrillas de celulosa (CNF) o celulosa nanofibrilada (NFC).....	7
Figura 4-1: Celulosa bacteriana (BC).....	7
Figura 5-1: Nanocristales de celulosa (CNC).....	8
Figura 6-1: Separación de fases de suspensiones de celulosa a diferentes concentraciones	8
Figura 7-1: Arreglo quiral de las suspensiones de nanocristales. Giro a la izquierda.....	9

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue evaluar la potencialidad de los residuos agrícolas de arroz, plátano, maíz, caña de azúcar y piña producidos en Ecuador para la obtención de nanocristales de celulosa. La investigación con enfoque cualitativa - documental y descriptivo recopiló datos del objeto de estudio para su análisis y evaluación. Se analizó diversos planteamientos teóricos, procedimentales y metodológicos para la obtención de nanocristales de celulosa; inicialmente se identificó el tipo de residuo generado por cada cultivo en estudio, de los cuales se describió las características físico-químicas con el propósito de establecer que por su composición se constituyen en un material potencial para la obtención de nanocelulosa, posteriormente se analizó los parámetros como el pH, la temperatura y el tiempo que influyen en los métodos empleados en la obtención de nanocristales de celulosa. A partir de lo cual, se concluyó que los residuos de caña de azúcar, plátano y maíz por su elevado contenido lignocelulósico y cantidad de producción en el país son los productos agrícolas más aptos y viables para obtener nanocristales de celulosa; por consiguiente, se recomendó utilizar en conjunto los diferentes residuos procedentes de un mismo cultivo agrícola para la elaboración de nanocristales de celulosa.

Palabras clave: <CELULOSA>, <NANOCELULOSA>, <NANOCRISTALES>, <HIDRÓLISIS ÁCIDA>, <RESIDUOS AGRÍCOLAS>.



26/02/2021

0668-DBRAI-UPT-2021

ABSTRACT

The objective of this study was to assess the potential of agricultural residues of rice, banana, maize, sugar cane, and pineapple produced in Ecuador for the production of cellulose nanocrystals. Qualitative-documentary and descriptive research collected data from the subject matter of study for analysis and evaluation. Various theoretical, procedural and methodological approaches to obtaining cellulose nanocrystals were analyzed; initially identified the type of residue generated by each crop under study, which the physical-chemical characteristics were described in order to establish by their composition they are constituted in a potential material for obtaining Nano cellulose, then analyzed the parameters such as pH, temperature and time that influence the methods used in obtaining nanocrystals of cellulose. It was concluded that sugarcane, banana and maize residues for their high lignocellulosic content and quantity of production in the country are the most suitable and viable agricultural products for obtaining cellulose nanocrystals; therefore, it was recommended to use together the different residues from the same agricultural crop for the production of cellulose nanocrystals.

Keywords: <CELLULOSE>, <NANOCELLULOSE>, <NANOCRYSTALS>, <ACID HYDROLYSIS>, <AGRICULTURAL RESIDUES>.

INTRODUCCIÓN

En el año 2018, Ecuador registró una producción de más de 23.000 millones de kilogramos (kg) en cultivos agrícolas de: azúcar, banano, papa, cacao, naranja, palma aceitera, maíz duro seco. La producción de arroz, plátano y brócoli, representaron el 59,46% del total de la producción nacional. El sector agrícola es uno de los principales pilares de la economía ecuatoriana; pero, pese a esta contribución financiera importante, se presenta un problema ambiental perjudicial, ya que la agroindustria genera una gran acumulación de residuos gaseosos, líquidos, sólidos y orgánicos (Riera, Maldonado y Palma, 2018).

Este problema se puede mitigar aprovechando eficientemente este tipo de residuos; por la característica lignocelulósica que tienen en común los residuos agrícolas se los puede emplear para la obtención de productos de consumo y extracción de componentes; sin embargo, en el Ecuador no se registra el manejo de este tipo de residuos (Riera, Maldonado y Palma, 2018).

La nanotecnología y la agricultura se están involucrando día a día en el crecimiento económico mundial; el cual entre otras aplicaciones permite la extracción de componentes de residuos orgánicos, entre ellos los nanocristales de celulosa (CNC), el cual es reconocido como un material innovador y de relevancia científica. Entre sus aplicaciones se puede mencionar películas para recubrimientos, refuerzo en polímeros, fibras y textiles, aplicaciones biomédicas y electrónicas (Pech, 2018). La obtención de CNC a nivel industrial es aún un área abierta para la investigación (Kaur, Kumari y Sharma, 2018).

La presente investigación busca evaluar la potencialidad de diversos residuos agrícolas producidos en Ecuador como: de arroz, plátano, maíz, caña de azúcar y piña, para la obtención de nanocristales de celulosa. El trabajo tiene dos componentes metodológicos: El primero, es un análisis de documental y el segundo el estudio cualitativo para seleccionar las mejores alternativas para la obtención nanocristales de celulosa.

El trabajo se sustenta en un marco teórico-conceptual que apoya científicamente el objeto de estudio en la investigación de nanocristales de celulosa a partir de residuos agrícolas; además, permitió identificar las características físicas y químicas de los residuos agrícolas en estudio y de los tratamientos y procedimientos requeridos para obtener nanocristales de celulosa.

Los resultados permiten establecer si es posible obtener de los residuos agrícolas que se generan en el país nanocristales de celulosa, si hay materia prima suficiente para el emprendimiento y la determinación de las aplicaciones industriales a las cuales se destinarían estos nanocristales.

Planteamiento del problema

Los residuos agrícolas en el Ecuador no son aprovechados para crear productos con valor agregado; razón por la cual, se puede formular el siguiente problema de estudio:

¿Los residuos agrícolas producidos en el Ecuador como el: arroz, maíz, caña de azúcar, piña y plátano, ¿pueden constituirse en materias primas para la obtención de nanocelulosa?

Justificación

Ecuador es un país agrícola, cuya economía depende en gran medida del consumo interno y exportación de los diversos productos que salen de sus campos; pese a este factor económico positivo, en el país no se genera productos con valor agregado y se presenta un manejo ambiental adecuado con sus desechos. Entre los residuos agrícolas ecuatorianos encontramos los provenientes de: cultivos permanentes (banano, palma africana, caña de azúcar, cacao, café, etc.) y cultivos transitorios (maíz, arroz, trigo, cebada, papa, tomate y otros) (El Telégrafo, 2020).

En la actualidad existe una creciente demanda de nuevos materiales que no provoquen un grave impacto al medio ambiente; y que presenten propiedades únicas como la renovabilidad y biodegradabilidad (Rezanezhad, Nazanezhad y Asadpur, 2013) ; los residuos lignocelulósicos son fuente de investigaciones globales para la obtención de productos tecnológicos con características innovadoras y propiedades muy versátiles.

Este trabajo pretende dar una alternativa de utilización de residuos vegetales provenientes de los cultivos de arroz, plátano, maíz, caña de azúcar y piña; en los cuales se destacan los siguientes residuos con su respectivo contenido de celulosa: paja de arroz 42% (Saldívar, 2005), cascarilla de arroz 28% (Vargas Et Al., 2013), pseudo-tallo 31.21 % (Subagyo y Chafidz, 2020), tallo floral 29.86 % (Carchi, 2014), hoja de mazorca de maíz 43.14 % (Prado-Martínez et al., 2012), bagazo de la caña de azúcar 32.44 % (Prado y Spinacé, 2018), hoja de piña 43.53 %, cáscara de piña 40.55 % (Sánchez et al., 2014); a partir de la celulosa que proporcionan estos materiales se extraer nanocristales de celulosa, los cuales pueden ser utilizados en la producción de farmacéuticos, componentes electrónicos, materiales porosos, papel e incluso alimentos.

Debido a la escasa investigación de los nanocristales de celulosa (CNC) a partir de los residuos agrícolas, la presente investigación busca establecer una serie de planteamientos teóricos – procedimentales con el fin de establecer si los residuos agrícolas del Ecuador pueden constituirse en fuentes potenciales para la obtención de nanocelulosa.

OBJETIVOS

Objetivo General

- Evaluar mediante una investigación documental la potencialidad de los residuos agrícolas de: arroz, plátano, maíz, caña de azúcar y piña; para la obtención en estos de nanocristales de celulosa.

Objetivos Específicos

- Analizar teóricamente los métodos para la obtención de nanocristales de celulosa a partir de residuos agroindustriales y las variables clave de estos procesos.
- Identificar las características físicas y químicas de los residuos agroindustriales: arroz, plátano, maíz, caña de azúcar y piña; requeridas para la obtención de nanocristales de celulosa.
- Establecer la potencialidad del uso de los residuos agrícolas de: arroz, plátano, maíz, caña de azúcar y piña; para la obtención de nanocristales de celulosa.

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO METODOLÓGICO

1.1. Antecedentes

La investigación de la producción de celulosa a nanoescala y su aplicación en materiales compuestos, han ganado cada vez más atención científica, esto se debe a la serie de características presentes en la nanocelulosa, que incluyen: la renovabilidad, el bajo costo de la materia prima para su obtención, su relación superficie vs. volumen, la alta resistencia y rigidez, el bajo coeficiente de expansión térmica y peso, la baja densidad, la alta relación de aspecto y la biodegradabilidad, entre otros (Kar, Pandey y Rana, 2015).

Se han estudiado desechos agrícolas de: tallos de girasol, fibras de cáñamo, pulpa de bambú, algodón, corteza de abeto, fibras de sisal, fibras de hoja de piña, piel de ajo, cáscara de soja, paja de arroz, fibras de cáscara de coco, semillas de mango, desechos de algas rojas, residuos de cáscara de banano (Collazo-Bigliardi, Ortega-Toro y Chiralt, 2018). Estas investigaciones de materiales lignocelulósicos han permitido establecer que poseen un elevado nivel de biodegradabilidad, una baja densidad y excelentes propiedades mecánicas como: una gran rigidez y resistencia.

En la actualidad existe una gran demanda de materiales de alto rendimiento con propiedades mecánicas y físicas, requerimientos que han hecho de la nanocelulosa un material renovable atractivo para aplicaciones (Abitbol et al., 2016). La nanocelulosa se refiere a extractos celulósicos o materiales procesados; se puede dividir en tres tipos:

- Nano fibrillas de celulosa (CNF) o celulosa nano fibrilada (NFC).
- Celulosa bacteriana (BC)
- Nanocristales de celulosa (CNC), celulosa nanocristalina (NCC) o celulosa nanowhiskers (CNW).

Con relación a los procedimientos de obtención de los nanocristales de celulosa, se da principalmente por hidrólisis selectiva (Abitbol et al., 2016), el cual es un método químico que facilita la eliminación de sitios amorfos que se distribuyen regularmente a lo largo de las microfibrillas (Belitz, Grosch y Schieberle, 2009). Además, en los últimos años se ha informado un número excepcional de usos de nanocristales de celulosa en aplicaciones biomédicas (Kar, Pandey y Rana, 2015), de fotónica, películas, espumas, hidrogeles y cristales líquidos optoelectrónica (Abitbol et al., 2016) y

fortalecedores para compuestos, modificación de reología, biomateriales de envasado, cosméticas, entre otras (Salas et al., 2014).

1.2. Bases teóricas

1.2.1. Celulosa

La celulosa es un componente orgánico que está presente en al menos un tercio de las plantas avanzadas; es el compuesto orgánico natural más abundante y producido en la biosfera (Poletto y Ornaghi, 2015), su producción anual se estima en más de $\sim 1,5 \times 10^{12}$ (Rojas, 2016). Además, es el componente principal de la madera y de la mayoría de las fibras naturales como: el algodón, lino, cáñamo, yute, ramio y sisal. También se encuentra en la familia de animales marinos llamados tunicados, como: algas, bacterias, hongos y amebas (Poletto y Ornaghi, 2015).

1.2.1.1. Estructura Química

La celulosa es un homopolisacárido lineal compuesto de unidades de celobiosa conectados entre sí por enlaces glicosídicos β (1-4), la unidad de repetición comprende dos anillos de fórmula general $(C_6H_{10}O_5)_n$ (Poletto y Ornaghi, 2015). Lo componen aproximadamente 36 moléculas conocidas como fibrillas o microfibrillas elementales que se empaquetan en unidades más grandes llamadas celulosa microfibrilada. Estas últimas se ensamblan en la fibra celulósica (Figura 1-1); el diámetro de las nanofibrillas es de aproximadamente 5 nm, mientras que la celulosa microfibrilada tiene diámetros que varían de 20 a 50 nm (Lavoine et al., 2012).

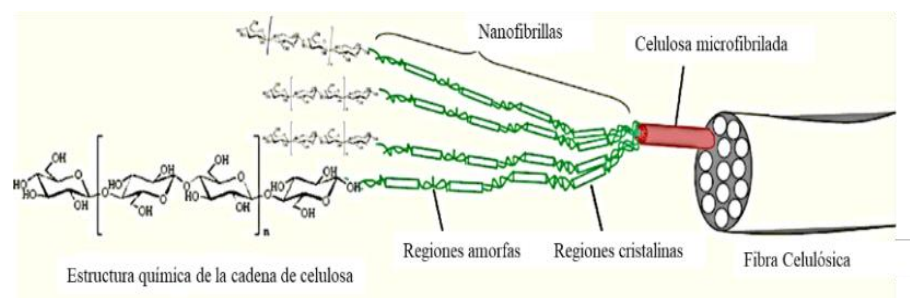


Figura 1-1: Estructura de la fibra celulósica

Fuente: (Lavoine et al., 2012)

1.2.1.2. Interacciones moleculares

Las interacciones moleculares de la celulosa se dan por tres hidroxilos de cada unidad base de glucosa de la molécula de celulosa que pueden interactuar entre sí formando enlaces de valencia secundarios. La fuerza de estos enlaces de hidrógeno es del orden de 25 kJmol; y por lo tanto, es aproximadamente 100 veces más fuertes que las fuerzas de Van der Waals (aprox. 0.15 / mol). Existen dos posibilidades para que los grupos hidroxilo en la molécula de celulosa forman enlaces de hidrógeno; la primera, mediante la interacción entre los grupos posicionados adecuadamente

en la misma molécula (intramolecular); y la segunda, por las interacciones entre los grupos hidroxilo en las moléculas de celulosa adyacentes (intermolecular) (Figura 2-2) (Krässig, 1993).

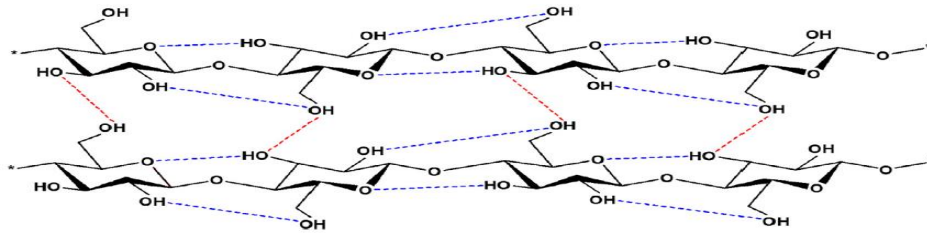


Figura 2-1: Redes de enlace de hidrógeno intramolecular (-) e intermolecular (-) en la estructura de celulosa

Fuente:(Phanthong et al., 2018)

La unión intramolecular de hidrógeno es la causa principal de la rigidez de la molécula de celulosa, que se refleja en su alta viscosidad en solución, lo cual conduce a su alta tendencia a cristalizar y su capacidad para formar hebras fibrilares. La rigidez de la cadena se ve favorecida además por el enlace β -glucosídico, lo cual predetermina la naturaleza lineal de la cadena. El enlace de hidrógeno intramolecular es además responsable de la distancia de repetición cristalográfica de 1,03 nm (Krässig, 1993).

Dependiendo de las interacciones intramoleculares y orientaciones moleculares presentes, la celulosa puede existir como diferentes polimorfos o alomorfos I, II, III, IIII, IVI y IVII (Morales De La Rosa, 2015). La celulosa también contiene áreas hidrofóbicas en los átomos de C que tienen cierta influencia en sus propiedades como la solubilidad. (Rojas, 2016).

1.2.2. La nanocelulosa

La celulosa de diferente origen, mediante transformaciones físicas, químicas y enzimáticas puede dar como resultado la celulosa microcristalina con variadas unidades, superficies químicas y propiedades mecánicas (Abitbol et al., 2016).

Los diferentes tipos de nanocelulosa exhiben distintas propiedades (Abitbol et al., 2016). En comparación con las nanofibrillas de celulosa (CNF) y Celulosa bacteriana (BC), la funcionalización de nanocristales de celulosa (CNC) están generando mayor interés en su uso, principalmente debido a sus sorprendentes propiedades mecánicas e interesantes propiedades ópticas (Abitbol et al., 2016).

1.2.3. Nanofibrillas de celulosa (CNF) o celulosa nanofibrilada (NFC).

Las nanofibrillas de celulosa (CNF) son fibrillas entrelazadas de un micrómetro de largo que contienen dominios de celulosa amorfa y cristalina (Figura 3-1). El enredo de las partículas largas le da una alta viscosidad de suspensiones acuosas a concentraciones relativamente bajas (por

debajo del 1% en peso). La extracción de CNF de fibras celulósicas puede lograrse mediante tres tipos de procesos: 1) tratamientos mecánicos, por ejemplo: homogeneización, molienda; 2) tratamientos químicos, por ejemplo: oxidación TEMPO; y 3) la combinación de tratamientos químicos y mecánicos (Abitbol et al., 2016).

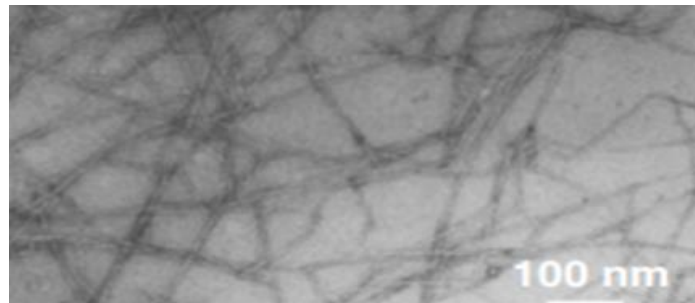


Figura 3-1: Nanofibrillas de celulosa (CNF) o celulosa nanofibrilada (NFC).

Fuente:(Abitbol et al., 2016)

1.2.4. Celulosa bacteriana (BC)

La celulosa bacteriana (BC) es producida extracelularmente por microorganismos, siendo el más eficiente *el Gluconacetobacter xylinum*. La BC se sintetiza como celulosa pura y posee diámetros promedio de 20–100 nm y longitudes de micrómetro (Figura 4-1); estas se enredan para formar una red estable (Abitbol et al., 2016).

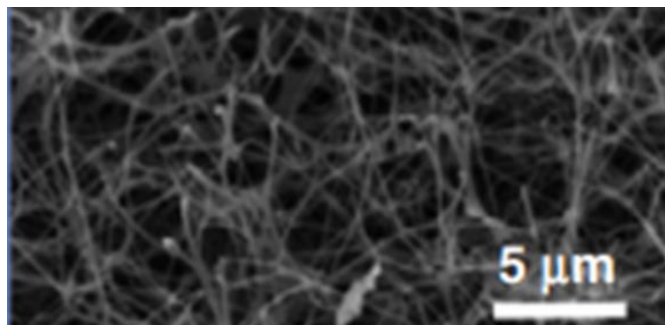


Figura 4-1: Celulosa bacteriana (BC)

Fuente:(Abitbol et al., 2016)

1.2.5. Nanocristales de celulosa (CNC), celulosa nanocristalina (NCC) o celulosa nanowhiskers (CNW).

Los nanocristales de celulosa (CNC) son estructuras rígidas en forma de varilla (Belitz, Grosch y Schieberle, 2009) y consisten en segmentos de celulosa con una estructura cristalina casi perfecta (Figura 5-1). Estas varillas poseen diámetros entre 3 a 20 nm (Pech, 2018) y longitudes de 100 a 1000 nm (Pereira y Arantes, 2018), varían en sus dimensiones según la fuente de origen (Pech, 2018).

Los CNC poseen elevada: resistencia específica y área superficial; además poseen una cristalinidad líquida excepcional (Belitz, Grosch y Schieberle, 2009).

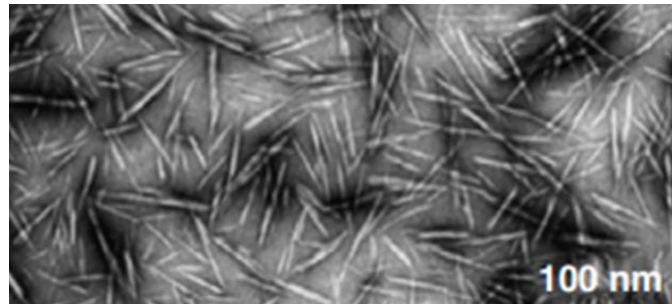


Figura 5-1: Nanocristales de celulosa (CNC)

Fuente:(Abitbol et al., 2016)

Los CNC poseen una superficie reactiva de grupos OH (Pech, 2018), estos son específicos y relativamente grandes y proporcionan sitios activos para realizar modificaciones (Abitbol et al., 2016) como: sustitución (Castro y Delgado, 2016), oxidación, esterificación, eterificación, injerto de polímeros (Abitbol et al., 2016).

Los CNC poseen una forma rectangular con un orden limitado; bajo una concentración límite se encuentran en fase isotrópica y no poseen orden, sin embargo cuando se encuentra sobre esa concentración si poseen orden, y además forman una fase anisotrópica; esto indica que la altura de la fase anisotrópica es proporcional a la concentración de la nanocelulosa (Figura 6-1) (Castro y Delgado, 2016).

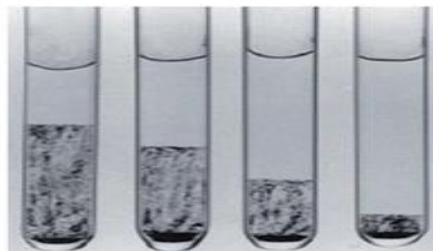


Figura 6-1: Separación de fases de suspensiones de celulosa a diferentes concentraciones

Fuente:(Abitbol et al., 2016)

Con relación a la cristalinidad de los CNC, se atribuye una mayor cristalinidad a aquellos residuos celulósicos que al inicio se les aplica un proceso de remoción de los componentes no celulósicos y posterior un proceso de aislamiento (Pech, 2018). Los CNC pueden constituir cristales líquidos, lo cual involucra una fase nemática quiral en donde las moléculas no poseen un orden en su posición pero registran una tendencia a una misma dirección, y cada capa de molécula está rotada

continuamente respecto a las capas adyacentes de forma helicoidal (Castro y Delgado, 2016) (Figura 7-1).

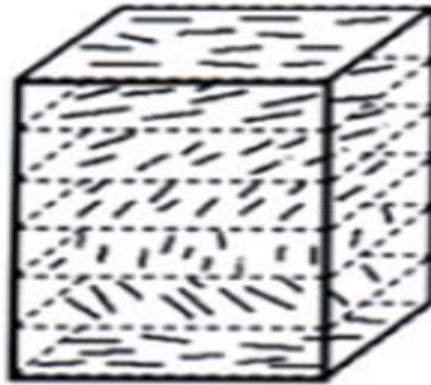


Figura 7-1: Arreglo quiral de las suspensiones de nanocristales.

Giro a la izquierda.

Fuente: (Castro y Delgado, 2016)

1.3. Residuos Agroindustriales

Los residuos agroindustriales son el resultado presente en diferentes etapas de todo proceso de producción; generalmente no poseen utilidad posterior y se presentan en la actualidad como un problema que contribuye al proceso de contaminación ambiental a nivel mundial, debido a que no son desechados de manera adecuada (Vargas y Pérez, 2018). Son materiales adicionales de cultivos cosechados que tienen diferentes usos; y se derivan de los cultivos de cereales, frutas, legumbres entre otros, que no son destinados al consumo humano; entre las principales partes excluidas de estos desechos se incluyen: los tallos, las hojas, las cáscaras, las semillas, etc. (Rezanezhad, Nazanezhad y Asadpur, 2013).

Estos desechos agrícolas son aprovechados en pequeñas cantidades como: alimento de animales, en la obtención de energía por procesos de combustión, elaboración de abonos orgánicos, pero la mayor cantidad de estos son quemados al aire libre (Arias y Meneses, 2016), lo cual según Vargas y Pérez (2008) produce problemas ambientales en medios abióticos, bióticos y socioeconómicos.

Los residuos agroindustriales poseen celulosa y hemicelulosa, entre un 75 % y 80 % (Vargas y Pérez, 2018). Para Arias y Meneses (2016) esta característica los cataloga como material para elaboración de nuevos productos o la agregación de valor a los productos originales.

El uso de los residuos agroindustriales consta de aplicaciones prometedoras en diversos campos industriales (de Oliveira et al., 2017). Actualmente se impulsa el desarrollo de tecnologías para el uso sustentable de los recursos naturales; las aplicaciones que se trabajan básicamente son para: valorización química y biológica, de lo que se obtiene sólidos líquidos y gases comercializables, obtención de combustibles y valorización térmica la cual pretende reducir el volumen de los

residuos y recuperar energía con aplicación de procesos de incineración y pirólisis. (Vargas y Pérez, 2018)

1.4. Bases Conceptuales

1.4.1. Celulosa

La celulosa es un componente orgánico que está presente en al menos un tercio de las plantas avanzadas; además, es el compuesto orgánico natural más abundante producido en la biosfera (Poletto y Ornaghi, 2015), cuya producción anual se estima en $\sim 1,5 \times 10^{12}$ TM (Rojas, 2016).

La celulosa es el componente principal de la madera y la mayoría de las fibras naturales como el algodón, lino, cáñamo, yute, ramio y sisal; y también está presente en la familia de animales marinos llamados los tunicados cuyas especies son: las algas, las bacterias, los hongos y las amebas (Poletto y Ornaghi, 2015).

1.4.2. Nanocelulosa

Es la celulosa de alta energía cuyas transformaciones físicas, químicas y enzimáticas pueden dar como resultado una celulosa microcristalina con variadas unidades, superficies químicas y propiedades mecánicas (Abitbol et al., 2016).

1.4.3. Nanocristales de celulosa

Los nanocristales de celulosa (CNC) son estructuras rígidas en forma de varilla, cuyos segmentos de celulosa forman una estructura cristalina casi perfecta (Belitz, Grosch y Schieberle, 2009); estas varillas tienen diámetros de 3 a 20 nm y su longitud es de 100 a 600 nm; pero estas dimensiones varían según la fuente de origen (Pech, 2018). En comparación con la celulosa a granel que tiene mayores fracciones amorfas, los nanocristales exhiben una mayor resistencia específica, una área de superficie alta y propiedades cristalinas líquidas únicas (Belitz, Grosch y Schieberle, 2009).

1.4.4. Residuos Agroindustriales

Los residuos agroindustriales son el resultado presente en diferentes etapas de todo proceso de producción; generalmente no poseen utilidad posterior y se presentan en la actualidad como un problema que contribuye al proceso de contaminación ambiental a nivel mundial, debido a que no son desechados de manera adecuada (Vargas y Pérez, 2018).

CAPITULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Tipo de investigación

El enfoque de la investigación es cualitativo ya que el alcance del estudio consistió en comprender un fenómeno complejo como es la potencialidad de obtener nanocristales de celulosa a partir de los residuos agrícolas (Hernández, Fernández y Baptista, 2016); para lo cual, se recopiló a través de una revisión de literatura científica una serie de datos, ideas e interpretaciones para responder la pregunta de investigación ¿Los residuos agrícolas producidos en el Ecuador como el: arroz, maíz, caña de azúcar, piña y plátano, pueden constituirse en materias primas para la obtención de nanocelulosa?.

La investigación es no experimental ya que el estudio se desarrolló sin manipular variables; únicamente se analizó la información científica existente sobre el tema (Hernández, Fernández y Baptista, 2016); es decir, la investigación fue teórica ya que partió de una elaboración conceptual y el análisis del objeto de estudio (nanocristales de residuos agrícolas) cuyo conocimiento se concentra en la búsqueda de explicaciones sobre el fenómenos en estudio (Barahona, 2013). Por las condiciones del estudio fue una investigación documental, debido a que el autor obtiene de fuentes documentales la información que permitió analizar el fenómeno en análisis.

El nivel de investigación es descriptivo, ya que se pretendió obtener respuestas a las interrogantes como ¿Cuáles son los residuos agrícolas que pueden convertirse en nanocristales? ¿Con que métodos se pueden obtener nanocristales de residuos agrícolas? y ¿Cuál es la utilidad de los nanocristales?

El tipo de inferencia que se utilizó en la investigación fue inductivo, por qué va de lo particular a lo general; esto debido a que, el análisis partió de ciertos residuos de cultivos agrícolas a generalizar su potencialidad para convertirse en nanocristales.

Finalmente, según el periodo de recopilación de información la información es un estudio transversal ya que se recopila datos documentales de los residuos agrícolas en un momento (Hernández, Fernández y Baptista, 2016).

2.2. Diseño de la investigación

El diseño cualitativo que se ajustó a la investigación fue documental, ya que el trabajo de establecer si de ciertos residuos agrícolas se podría obtener nanocristales de celulosa se realizó a

través de la consulta de una serie de documentos (libros, revistas, registros, informes, entre otros etc.). El tipo específico fue la investigación secundaria, en la cual se incluye la investigación bibliográfica y la tipología de revisiones existentes (de evidencias, meta - análisis, meta – síntesis, etc.).

2.2.1. Objetivo del diseño

Analizar los documentos científicos que permitan tener conocimiento para establecer la potencialidad de obtener nanocristales de celulosa de los residuos agrícolas de: arroz, plátano, maíz, caña de azúcar y piña.

2.2.1.1. Operacionalización de los objetivos

La operacionalización de los objetivos de esta investigación permitió encontrar factores medibles, entender la conceptualización y los procedimientos para obtener conocimiento del objeto de estudio: la obtención de nanocristales de celulosa de residuos agrícolas (Tabla 1-2).

Tabla 1-2: Operacionalización de los objetivos

Objetivo General	Objetivos Específicos	Concepto	Indicador	Instrumento
Evaluar la potencialidad de residuos agrícolas producidos en Ecuador para la obtención de nano cristales de celulosa mediante un análisis de literatura en el campo de investigación.	<ul style="list-style-type: none"> • Analizar los diferentes métodos para la obtención de nanocristales de celulosa a partir de residuos agroindustriales y las variables, clave de los procesos. • Identificar las características físicas y químicas relevantes de los residuos agroindustriales en el proceso de obtención de nanocristales de celulosa. • Establecer la viabilidad del uso de residuos agrícolas producidos en Ecuador (arroz, plátano, maíz, caña 	Los CNC son estructuras rígidas en forma de varilla (Belitz, Grosch y Schieberle, 2009) y poseen diámetros entre 3 a 20 nm (Pech, 2018) y longitudes de 100 a 1000nm (Pereira y Arantes, 2018)	<ul style="list-style-type: none"> • Evidencias, meta-análisis, meta-síntesis científicas relacionadas a la obtención de nanocristales de celulosa a partir de residuos agroindustriales 	<ul style="list-style-type: none"> • Documentos bibliográficos con información pertinente sobre la obtención de nanocristales de celulosa a partir de residuos agroindustriales

	de azúcar, piña) para la obtención de nanocristales de celulosa.			
--	--	--	--	--

Realizado por: Peralta Wendy, 2020

2.2.2. Localización del estudio

La presente investigación se diseñó en la carrera de Química de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ubicada en Panamericana Sur km 1 1/2, Riobamba-Ecuador. (Figura 1-2); pero debido a la situación sanitaria, su ejecución se la realizó con la búsqueda en el Internet de fuentes documentales científicas con información pertinente y relevante acerca del tema.

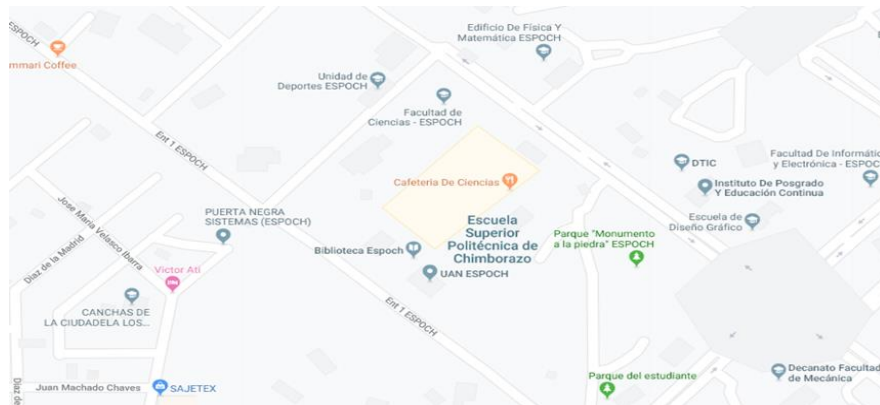


Figura 1-2: Mapa de ubicación de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Fuente: (Google, 2020)

2.2.3. Población de estudio

Ya que la investigación es documental, la población en estudio son todos los documentos que contienen información relacionada con el objeto de estudio: la obtención de nanocristales de celulosa de residuos agrícolas; se presume que la población es infinita debido a la cantidad de textos bibliográficos científicos disponibles en: base de datos, bibliotecas digitales y páginas web en Internet que tratan sobre la temática de estudio.

2.2.4. Recolección de datos

La investigación documental depende principalmente de la información que se recoge o consulta en documentos o material bibliográfico de índole permanente, es decir, al que se puede acceder como fuente o referencia en cualquier momento o lugar. Con base a esta afirmación y según el tema y los objetivos propuestos, se diseñó la recolección de datos de manera sistemático para no alterar la naturaleza y sentido de la información.

Para encontrar la información pertinente se revisó diversas bases de datos digitales; utilizando palabras claves como: nanotecnología, celulosa, residuos agrícolas entre las principales, se

seleccionó diversos artículos los cuales fueron recopilados, organizados por temas, analizados y sintetizada la información útil para el estudio.

2.2.4.1. Técnicas

Las técnicas de investigación documental se centran en los procedimientos para organizar y analizar las fuentes de información documentales o secundarias. Las técnicas utilizadas fueron: La bibliografía anotada, que consistió en elaborar un listado de los documentos recopilados con información completa de las fuentes y la información sintetizada que aporta a la comprensión de la problemática del estudio.

2.2.4.2. Instrumentos

Los instrumentos utilizados en la investigación fueron: Las fichas de síntesis, herramientas que sintetizaron la información (se trató de ser lo más fiable a lo mencionado en el texto original, sin ninguna tergiversación); y las fichas de comentario, instrumentos en los cuales se escribió la opinión de los textos leídos; generalmente fue una valoración de lo que estuvo plasmado en los documentos sobre la temática en estudio.

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1. Análisis y Discusión de Resultados

3.1.1. La producción agrícola en el Ecuador

Ecuador es un país que posee un gran sector productivo agropecuario. Los principales cultivos de mayor extensión en el país son principalmente el arroz y el maíz, la caña de azúcar y el plátano. La economía de Ecuador está fundamentada en la producción de estos productos; en el año 2019 la producción de la caña de azúcar fue de 10.088.870 Tm, de plátano 6.583.477 Tm, de maíz 1.479.770 Tm, de arroz 1.099.686 Tm y de piña fue de 80.000 Tm.

3.1.1.1. Producción de arroz

En el 2020 la productividad de arroz en el Ecuador fue de 1.099.686 Tm (INEC, 2020), que representan la tercera parte de la superficie cultivable en el país (CFN, 2018). La mayor producción de arroz se da en las provincias de Los Ríos, Guayas, Manabí y El Oro, seguido de una menor producción en las provincias de Loja, Esmeraldas, Bolívar, Cañar, Orellana, Cotopaxi, Sucumbíos, Morona Santiago y Napo (Figura 1-3). Se puede observar el mapa que señala las zonas con mayor producción se ubican en la región Costa, seguida de la Amazonía y con una baja producción de la Sierra.

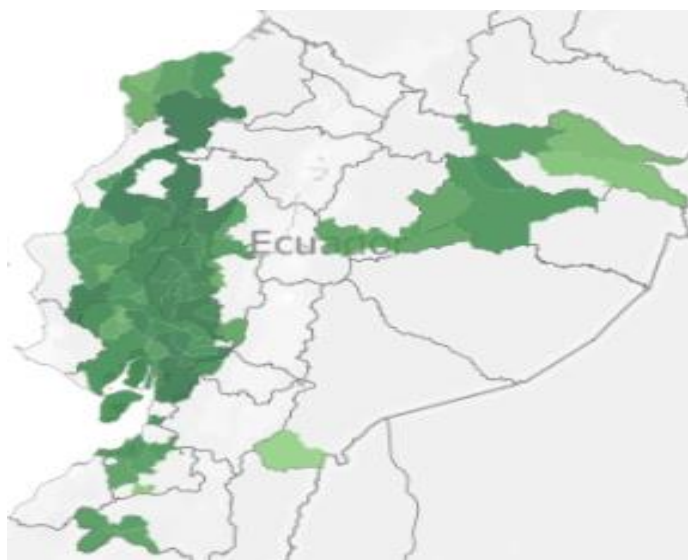


Figura 1-3: Mapa del Ecuador con las zonas productoras de arroz.

Fuente: (MAG, 2020)

¹ El color verde indica las zonas productoras del cultivo.

En el proceso de cosecha se obtiene inicialmente la paja de arroz de la cual se obtiene una tonelada por cada ocho toneladas cultivadas de este cereal. Entre las aplicaciones de este residuo se puede mencionar la incorporación directa a cultivos o en combinación con fertilizantes químicos; también, en compostaje por el alto contenido de silicio que posee. Además, se puede mencionar su uso en la generación de energía, creación de materiales compuestos con fibras naturales y plásticos, la obtención de pasta celulósica, hemicelulosa, lignina y derivados y la obtención de papeles (Abril, Navarro y Abril, 2009).

Luego en el proceso de pilado se obtiene el arroz pilado (65,3%), el polvillo (9%), la cascarilla (23,2%) y el arrocillo (2,5%) (Abril, Navarro y Abril, 2009).

La cascarilla de arroz es un residuo lignocelulósico que se obtiene de la producción de arroz (Naveda et al., 2019), es la parte exterior del grano (Vargas et al., 2013). En el país se produce 123 millones de toneladas de cascarilla de arroz, lo que representa el 20 al 25% de la producción total de la gramínea (Llanos et al., 2016).

La cascarilla de arroz posee alto contenido de sílice (Vargas et al., 2013), entre sus aplicaciones se tiene: la creación de paneles de construcción, elaboración de materiales aislantes, fabricación de aglomerados, tostado para sustrato en el cultivo (Santos y Silva, 2019), conversión de la biomasa desde sus azúcares a etanol y furfural, elaboración de abonos orgánicos como el compost, material para el cultivo de hongos, obtención de papel y material de construcción (Vargas et al., 2013).

También la cascarilla es utilizada en la alimentación para animales de granja pero con bajo aporte de fibra a la dieta de estos, a lo cual se suma que debido al elevado contenido de sílice provoca irritación de los tractos digestivos; es por esta razón, que en muchos países se permite incluir entre un 5 al 25% de este desecho (Vargas et al., 2013); la cascarilla se la usa también como material para crear la cama para animales (Kaur, Kumari y Sharma, 2018).

Debido al alto contenido de silicio, la cascarilla se la usa para obtener productos de silicio (Santos y Silva, 2019) y como material abrasivo para limpiar materiales de bronce, hierro, latón, acero, y aluminio (Kaur, Kumari y Sharma, 2018).

3.1.1.2. Producción de plátano

105 millones de toneladas de bananas se producen al año en el mundo (CFN, 2017). En el Ecuador la producción estimada de plátano es de 6.583.477 Tm (INEC, 2020). La mayor producción de esta fruta se da en las provincias de Los Ríos, Guayas, El oro, Cotopaxi, Cañar y menor producción en Santo Domingo de los Tsáchilas, Esmeraldas, Santa Elena, Manabí, Azuay, Pichincha, Imbabura, Loja, Chimborazo, Morona Santiago, Napo y Sucumbíos (Figura 2-3).

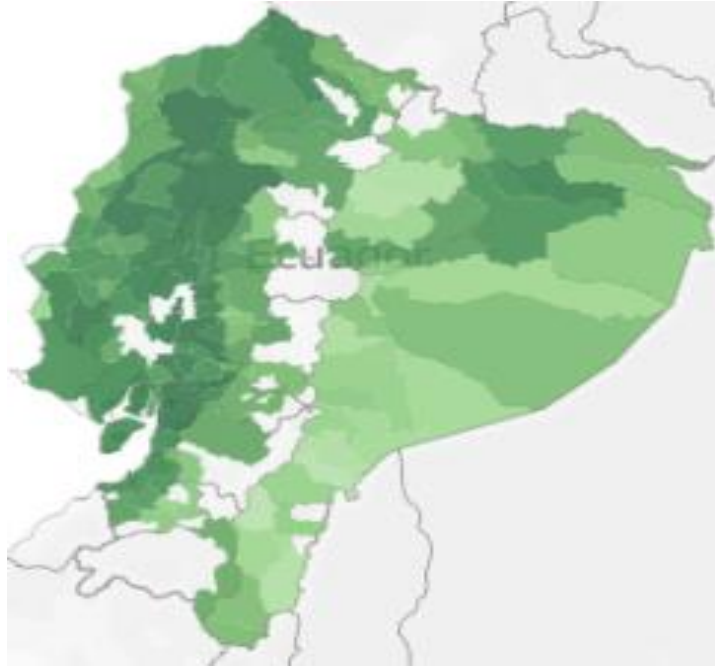


Figura 2-3: Mapa del Ecuador con las zonas productoras de plátano.

Fuente: (MAG, 2020)

De la cosecha de este producto se usa del 20 al 30%, y de residuos se obtiene de un 70 a 80%; estos residuos son: el pseudo - tallo, raquis o tallo floral, hojas, entre otras (Mazzeo et al., 2010); actualmente las hojas son aprovechadas con gran aceptación por parte de los consumidores como un envoltorio natural de alimentos.

El vástago o raquis de banano o más conocido como tallo floral, es junto a la cáscara uno de los últimos residuos que se produce después del consumo del banano y se suele utilizar como alimento para ganado de forma directa o mediante la industrialización en forma de harinas (CFN, 2017). Debido a la calidad de sus nutrientes, actualmente es usado para la alimentación humana, además, es materia prima para fabricar materiales fibrosos como papeles, materiales de construcción y artesanías (Thorat y Bobade, 2018).

El pseudo - tallo es una fuente de fibra y es semejante a un tronco; su núcleo central es suave y está envuelto con hasta 25 vainas de hojas que se desenvuelven del tallo y se transforman en hojas cuando han madurado (CFN, 2017; Subagyo y Chafidz, 2020). Después de la cosecha se calcula que la cantidad de residuo de pseudo -tallo que se obtiene está entre 60 a 80 toneladas por hectárea (Thorat y Bobade, 2018).

Este residuo (el pseudo – tallo) se emplea en la fabricación de telas, cordones, hilos, material de protección para el interior de los vehículos, productos sanitarios especializados y de alta calidad para bebés, en la elaboración de papeles como billetes de banco, bolsas de café y té, telas de filtro,

² El color verde indica las zonas productoras de plátano

fibras de refuerzo para yeso, tejidos desechables y tejidos de densidad ligera (Mazzeo et al., 2010; Subagyo y Chafidz, 2020).

Debido a sus propiedades antioxidantes se utiliza en la industria farmacéutica en la fabricación de medicamentos para trastornos urinarios; problemas estomacales como: diarrea y disentería, además en la eliminación de cálculos renales, cálculos biliares y también ayuda a controlar la obesidad (Thorat y Bobade, 2018).

También es empleado en la elaboración de harinas para consumo humano debido a los macronutrientes que posee como el potasio (K), sodio (Na), calcio (Ca), magnesio (Mg), fósforo (P) y vitamina B6 (Mazzeo et al., 2010).

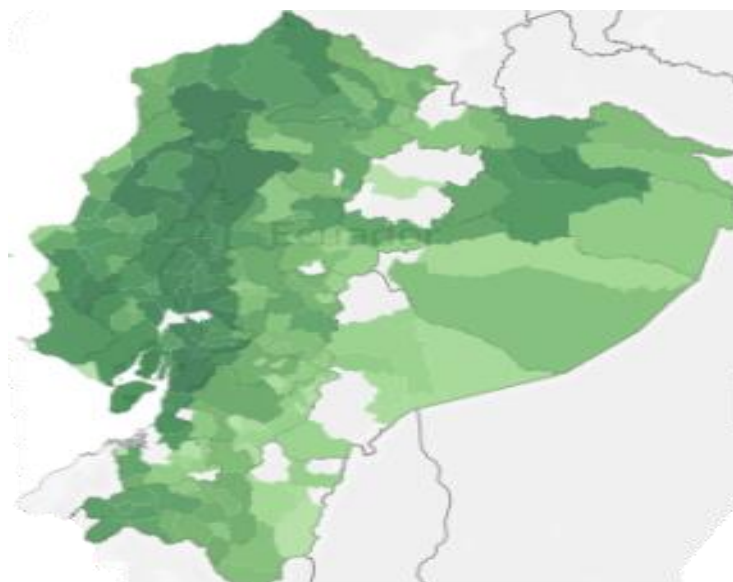
El núcleo del pseudo - tallo después de la cocción se puede consumir o también se pueden preparar harinas. El residuo debe ser cortado en pequeñas dimensiones y posteriormente ser secado a temperaturas de 40 a 70 °C. Se utiliza con una preparación variada en productos de panadería y lácteos (Thorat y Bobade, 2018).

3.1.1.3. Producción de maíz

La producción de maíz en el Ecuador es aproximadamente de 1.479.770 Tm (INEC, 2020), que generan una cantidad de biomasa residual de maíz seco que fluctúa de 20 a 35 toneladas por hectárea; en el caso del maíz de choclo, este residuo varía de 16 a 25 toneladas por hectárea (Prado-Martínez et al., 2012).

Las mazorcas, las hojas y los tallos son los residuos importantes que salen del procesamiento y consumo de maíz. Por un kilogramo de granos de maíz secos producidos, aproximadamente en residuos se producen: 0.15 kg de mazorcas, 0.22 kg de hojas y 0.50 kg de tallos (Zhang, Ghaly y Li, 2012).

Es importante señalar que en Ecuador la mayor producción de maíz se da en las provincias de: Los Ríos, Manabí, Guayas, Loja, Imbabura, Cotopaxi, Chimborazo, Santa Elena, Pichincha, Esmeraldas, Tungurahua, Bolívar, Orellana, Carchi; una menor producción se presenta en las provincias de: Azuay, Cañar, Sucumbíos, El Oro, Napo, Santo Domingo de los Tsáchilas, Zamora Chinchipe, Morona Santiago y Pastaza (Figura 3-3).



3

Figura 3-3: Mapa del Ecuador con las zonas productoras de maíz

Fuente: (MAG, 2020)

Los residuos del maíz son empleados en la industria alimentaria, textil, química, farmacéutica (Muñoz, 2015); las mazorcas se emplean como material de construcción y para obtención de carbón activado; las hojas de maíz son utilizadas como materia prima para azúcares fermentables y fuente de fibra suplementaria para papel, también se usa en preparaciones alimenticias o en la elaboración de artesanías (muñecas y otras decoraciones), se menciona además su uso como un té, debido a sus propiedades diuréticas; los tallos de maíz se usan como alimento para el ganado y biofertilizante (Maté, 2017). Estos residuos también son usados como fuente de energía a través de la conversión termoquímica en procesos de gasificación y pirólisis.

3.1.1.4. Producción de caña de azúcar

El cultivo de la caña de azúcar es de larga duración, a partir de la cual se obtiene principalmente azúcar y jugo de caña además de otros tipos de endulzantes. La producción mundial es aproximadamente de 1.450 millones de toneladas, cultivadas en 22 millones de hectáreas (Matute, 2016); la producción en Ecuador se ha calculado en 10.088.870 Tm (INEC, 2020). La mayor producción de caña se da en las provincias de Guayas, Cañar, Imbabura; y una menor producción, se presenta en las provincias de Loja, Los Ríos, Carchi, Azuay, Manabí (Figura 4-3).

La caña de azúcar produce grandes cantidades de biomasa, pero solo una pequeña fracción tiene aplicación; entre algunos de los subproductos obtenidos se puede mencionar a la melaza, que es un jarabe oscuro que se utiliza para la preparación de alimentos, en aplicaciones industriales, la obtención de etanol y la elaboración de bebidas alcohólicas (Burgos, 2015; Quezada, 2015). Además de la melaza se aprovecha el bagazo, que es el residuo sólido resultante de la extracción del jugo

³ El color verde indica las zonas productoras de maíz.

de los tallos de la caña de azúcar, el cual contiene un material lignocelulósico, que se obtiene después de la filtración del jugo de caña de azúcar. Aproximadamente por cada 1000 toneladas de caña de azúcar procesada se generan alrededor de 270 toneladas de bagazo y 34 toneladas de una especie de lodo (Martinez-Hernandez et al., 2018).



Figura 4-3: Mapa del Ecuador con las zonas productoras de caña de azúcar

Fuente: (MAG, 2020)

Las industrias encargadas del procesamiento de la caña de azúcar son los ingenios azucareros, industrias que utilizan el bagazo de caña como fuente primaria de combustible en forma de vapor para producir energía eléctrica, proceso que depende de la tecnología utilizada y de las características físicas que posee el residuo al momento de ser empleado. Sin embargo, este uso no es ideal en el manejo de residuos orgánicos debido a que la combustión produce emisiones muy contaminantes (Teixeira et al., 2015).

Otras aplicaciones del bagazo son la generación de biodiesel con pretratamiento e hidrólisis, seguido de un proceso de fermentación y deshidratación. También se lo utiliza como sustrato sólido para hongos en el crecimiento microbiano, fabricación de papel, alimento para el ganado, envase de alimentos desechables, producción de proteínas de células individuales, etanol, enzimas y aditivos alimentarios como la vainillina, xilitol y furfural (Martinez-Hernandez et al., 2018).

3.1.1.5. Producción de la piña

En Ecuador se registra una producción para exportación de piña de 80.000 Tm (Espinosa, [consulta: 13-07-2020]), la fruta es utilizada para obtener jugo, concentrados, enlatados y mermeladas, sin embargo su residuo alcanza del 10 al 25% de su peso total de esta (Prado y Spinacé, 2018). Durante

⁴ El color verde indica las zonas productoras de caña de azúcar

el procesamiento de esta fruta quedan como desecho hojas y cáscaras lo que equivale a un el 50% del peso total de la fruta que se retiran y descartan (Madureira et al., 2018).

Estos residuos son poco utilizados, pero existen aplicaciones como: compostaje, producción de textiles, fabricación de pulpa y papel, alimentación animal, obtención de bromelina, producción de energía y refuerzo en compuestos poliméricos; sin embargo, la mayoría de estas fibras aún se queman (Prado y Spinacé, 2018).

3.1.2. Características físicas y químicas de los residuos agrícolas

A continuación, se describen las características físicas y químicas más relevantes de los residuos agrícolas en estudio, especialmente describiendo su contenido de material lignocelulósico necesario para la obtención de nanocristales de celulosa. Los valores de composición de las siguientes tablas se expresan en porcentaje en relación a un total del 100% del residuo.

3.1.2.1. Características de la cascarilla y paja de arroz

La paja y cascarilla de arroz son residuos lignocelulósicos que se derivan de la producción de arroz. Las principales características físico – químicas de la paja de arroz (Tabla 1-3) son: su elevado contenido de materia orgánica total; considerable contenido de dióxido de silicio, característica que lo hace un material perjudicial para aplicaciones como la alimentación animal, uno de los usos más comunes que se hace con este tipo de residuos.

Tabla 1-3: Características de la paja de arroz.

Característica	Cantidad			
Densidad (g/cm ³)	-	-	1.56	
Densidad aparente (g/cm ³)	-	-	0.017	
Humedad (%)	12.7	-	8.6	
pH (suspensión)	-	-	7.00	
SiO ₂ (%)	14.3	-	-	10-18
Materia Orgánica Total (%)	80.3	-	84.9	
Relación C/N (%)	-	-	39.5	
Celulosa (%)				42-46
Lignina (%)	-	3.2-4.4	-	12-15
Cenizas (%)	-	16-18	-	15-20
P ₂ O ₃ (%)	0.1	-	-	
P ₂ O ₅ (%)			0.32	
K ₂ O (%)	1.55	-	2.46	
Pb (mg/kg)	0.75	-	-	
Cd (mg/kg)	0.12	-	-	
Cr (mg/kg)	6.0	-	-	

Fuente: (Abril, Navarro y Abril, 2009; Bartaburu, Montes y Pereira, 2020; UPU, [consulta: 13-07-2020 b]; Saldívar, 2005)

En base a las propiedades físico – químicas de la cascarilla de arroz (Tabla 2-3) se puede considerar como una excelente fuente de obtención de CNC, debido a su alto contenido de celulosa; además, presenta cantidades significativas de dióxido de silicio; y, posee en su composición metales pesados, por lo que no puede ser empleado como abono sin previos análisis de suelo, concentración de los metales y tratamientos.

Tabla 2-3: Características de la cascarilla de arroz.

Característica	Cantidad				
Densidad (g/cm ³)	-	-	-	-	1.57
Densidad aparente (g/cm ³)	-	-	-	-	0.115
Materia orgánica (%)	-	-	-	-	83.0
Relación C/N (%)	-	-	-	-	48.2
P ₂ O ₅ (%)	-	-	-	-	0.66
K ₂ O (%)	-	-	-	-	0.52
Humedad (%)	6.83	-	6.62	-	8.7
pH Suspensión (%)	-	-	-	-	6.42
Solubles en agua fría (%)	5.5	-	-	-	-
Solubles en agua caliente (%)	9.5	-	-	-	-
Cenizas (%)	21.5	12	17.40	13.2-21.0	-
SiO ₂ (%)	90.69	80-90	-	18.8-22.3	-
Lignina (%)	26.10	-	-	9-20	-
Holocelulosa (%)	56.7	-	-	-	-
Celulosa (%)	36.82	36-40	41.20	28-36	-
Hemicelulosa (%)	23.23	12-19	21	12	-

Fuente: (Santos y Silva, 2019; Nascimento Et Al., 2016; Llanos Et Al., 2016; Vargas Et Al., 2013; UPU [13-07-2020 a])

3.1.2.2. Características del pseudo- tallo y tallo floral del plátano

El pseudo - tallo del plátano es un residuo lignocelulósico provenientes del cultivo del plátano. La característica con mayor importancia del pseudo - tallo del plátano (Tabla 3-3) es la diversidad de componentes químicos que tiene como son: Na, K, Ca, Mg, P, Fe, Zn, Mn, la mayoría en importantes porcentajes; razón por la cual, se lo puede catalogar como un material residual que puede ser empleado en la alimentación humana y animal de forma directa o mediante el procesamiento industrial; sin embargo, resalta la relevante cantidad de compuestos lignocelulósicos.

Tabla 3-3: Características del pseudo-tallo de plátano.

Característica	Cantidad						
Humedad (%)	10.00	9.74	-	9.74	20.23	-	-
Cenizas (%)	1.02	8.65	1.5	8.64	-	6.75	8.65
Na (%)	-	-	-	-	-	4.44	-
K (%)	-	-	-	-	-	9.44	-
Ca (%)	-	-	-	-	-	13.35	-
Mg (%)	-	-	-	-	-	2.55	-
P (%)	-	-	-	-	-	1.37	-
Fe (%)	-	-	-	-	-	0.031	-
Zn (%)	-	-	-	-	-	0.081	-
Mn (%)	-	-	-	-	-	0.0127	-
Lignina (%)	5.10	15.07	18.6	15.07	15.55	-	19.45
Celulosa (%)	63.20	31.21	63.90	31.26	57	-	37.85
Hemicelulosa (%)	18.60	14.98	-	14.98	10.33	-	26.67

Fuente: (Subagyo y Chafidz, 2020; Thorat y Bobade, 2018; Carchi, 2014)

El tallo floral también tiene un alto porcentaje de compuestos lignocelulósicos, lo que le permite su aplicación en la industria textil (ropa, hilos y materiales similares) dentro de la nueva tendencia tecnológica para crear nuevos materiales textiles; sin embargo, debido a la característica mencionadas se lo considera también como una buena fuente de obtención de CNC. (Tabla 4-3)

Tabla4-3: Características del tallo floral del plátano.

Característica	Cantidad
Ceniza (%)	18.78
Lignina (%)	18.69
Celulosa (%)	29.86
Hemicelulosa (%)	34.09

Fuente: (Carchi, 2014)

3.1.2.3. Características de la hoja de mazorca de maíz

Entre las características relevantes de la hoja de mazorca de maíz (Tabla 5-3) se pueden mencionar el elevado contenido de material lignocelulósico, que lo cataloga como una importante materia prima para la elaboración de fibras suplementarias para el papel; sin embargo, este residuo no tiene mucha explotación; razón por lo cual, puede ser empleado en la obtención de nanocristales de celulosa con el fin de aprovechar satisfactoriamente este residuo agrícola.

Tabla 5-3: Características de la hoja de mazorca de maíz.

Característica	Cantidad	
pH	-	5.86
N (ppm)	-	20 ppm
Cenizas (%)	0.761	-
K meq/ml	-	0.21/100
S (ppm)	-	17
P (ppm)	-	83
Ca (meq/ml)	-	2.5/100
Mg (meq/ml)	-	0.61/100
Lignina (%)	23.00	-
Holocelulosa (%)	78.86	-
Celulosa (%)	43.14	-

Fuente: (Prado-Martínez et al., 2012 ; Guacho, 2014)

3.1.2.4. Características del bagazo de la caña de azúcar

Una de las características del bagazo, residuo de la caña de azúcar es: la considerable cantidad de carbono; razón por la cual, es ampliamente utilizado como combustible para generación de energía, especialmente en los ingenios azucareros (Tabla 6-3); sin embargo; su utilización produce altas emisiones contaminantes de dióxido de carbono.

Por su elevado contenido de material lignocelulósico, es un material óptimo para la extracción de CNC. Además, debido a estas propiedades es empleado en la fabricación de papel y otros materiales biodegradables como: envase de alimentos; por otra parte, su procedencia la hace un material excelente para la proliferación de hongos, proteínas, enzima y otros aditivos.

Tabla 6-3: Características del bagazo de la caña de azúcar.

Característica	Cantidad				
Humedad (%)	-	-	4	-	-
Carbono fijo (%)	-	41.9	28.7-30.7	-	-
Cenizas (%)	1.5-5.0	11.74	1.26	0.51	-
C (%)	-	42.54	48.58	23.48	-
H (%)	-	5.71	5.97	3.28	-
N (%)	-	0.63	0.20	-	-
S (%)	-	0.30	-	-	-
O (%)	-	39.62	38.98	23.23	-
Lignina (%)	19-24	-	-	-	18-26.3
Holocelulosa (%)	59-76	-	-	-	-
Celulosa (%)	32.44	-	-	-	41-55

Hemicelulosa (%)	-	-	-	-	20-27.5
Fuente:	(Prado y Spinacé, 2018; Antolin y Oliva, 2003; Manals-Cutiño, Penedo-Medina y Salas-Tort, 2015; Diaz, 2008; Teixeira et al. 2015)				

3.1.2.5. Características de la hoja y cáscara de piña

La hoja y cáscara de piña son residuos provenientes de la producción de piña y entre sus características (Tabla 7-3 y 8-3) se puede encontrar pectina, por lo que estos residuos pueden ser aplicados en la industria alimenticia. Además, pueden ser empleados para la obtención de la bromelina.

Tabla 7-3: Características de la hoja de piña

Característica	Cantidad
Ceniza (%)	7.37
Pectina (%)	2.32
Lignina (%)	13.88
Celulosa (%)	43.53
Hemicelulosa (%)	21.88

Fuente: (Sánchez et al., 2014)

En estos residuos también se resalta el gran contenido de material lignocelulósico, por lo cual, se puede establecer que estos residuos tienen potencial para ser aplicados en la obtención de CNC. Entre otras aplicaciones con baja explotación podemos mencionar la producción de textiles, papeles y refuerzo en materiales poliméricos; por otro lado, sus características cítricas no permiten que sea un material apto para la elaboración de compostaje.

Tabla 8-3: Características de la cáscara de piña.

Característica	Cantidad
Ceniza (%)	1.5
Pectina (%)	2.49
Lignina (%)	10.01 10
Celulosa (%)	40.55 74
Hemicelulosa (%)	28.69

Fuente: (Sánchez et al., 2014; TICSO, 2014)

3.1.3. Métodos de obtención de nanocristales de celulosa

Los métodos para obtener los CNC, son: químicos, mecánicos y de conservación.

- a) *Métodos químicos:* los métodos químicos para obtener CNC son: el tratamiento de blanqueo, alcalino y la hidrólisis ácida.

1. *Tratamiento de blanqueo*: Es un tratamiento ampliamente utilizado para eliminar la mayor parte de lignina (Sustancia de la pared celular de muchas células vegetales, la cual da dureza y resistencia) y otros componentes con la ayuda de la combinación de agua destilada, después de la agitación de clorito de sodio y ácido acético con la biomasa lignocelulósica (Phanthong et al., 2018).

Las sustancias usadas en este tratamiento (clorito de sodio y ácido acético) suelen agregarse en intervalos de tiempo para controlar el valor del pH, a la mezcla que se mantiene agitada le sigue un lavado con agua destilada hasta alcanzar un pH neutro (Phanthong et al., 2018).

Los productos sólidos obtenidos se denominan holocelulosa, son de color blanco e incluyen hemicelulosa y celulosa (Phanthong et al., 2018); estas fibras se secan a temperaturas entre los 60°C y 130°C, en tiempos que varían de los 90 minutos hasta 6 horas.

2. *Tratamiento alcalino*: La fibra obtenida de este tratamiento es la celulosa, su proceso consiste en eliminar el polímero amorfo de hemicelulosa, los materiales no celulósicos y el resto de lignina. La sustancia generalmente utilizada es el hidróxido de sodio; con el cual los autores indican procesos de agitación que van desde 90 minutos a 24 horas. Luego, los productos sólidos obtenidos se lavan por destilación con agua hasta alcanzar el pH neutro (Phanthong et al., 2018); finalmente, la muestra se seca.
3. *Hidrólisis ácida*: Este método químico involucra la digestión de la celulosa por una solución de ácido a temperaturas que van de los 45 a 60°C en un intervalo de tiempo de 15 a 24 horas; luego se purifica por centrifugación; posteriormente, se aplica sonicación con el fin de romper los agregados y generar una suspensión coloidal; para finalizar el proceso, se somete a la muestra a una diálisis con el fin de eliminar los iones e impurezas con bajo peso molecular (Blanco et al., 2018).

Este método facilita la eliminación de sitios amorfos que se distribuyen regularmente a lo largo de las microfibrillas (Belitz, Grosch y Schieberle, 2009); la reacción de sustitución se efectúa en la superficie de los CNC donde se crean grupos funcionales para estabilizar la nanocelulosa suspendida, esto se produce debido a la elevada reactividad del grupo hidroxilo de la celulosa (Castro y Delgado, 2016).

El ácido sulfúrico y clorhídrico suelen ser los reactivos más utilizados (Pech, 2018) debido a que pueden penetrar fácilmente en las regiones amorfas que tienen un bajo nivel de orden y además no afectan las regiones cristalinas (Belitz, Grosch y Schieberle, 2009). El ácido sulfúrico ocasiona la protonación del oxígeno cíclico y finalmente la ruptura de enlaces glucosídicos, este proceso produce cadenas más pequeñas de la estructura básica, dependiendo de las condiciones de hidrólisis se producen diferentes rendimientos de celulosa. (Pech, 2018).

- b) *Métodos mecánicos*: los métodos mecánicos para obtener CNC son: la ultrasonicación y el “Cryocrushing”.
1. **La Ultrasonicación**: Es un proceso mecánico en el que se usa el poder oscilante para aislar la nanocelulosa por efecto de las fuerzas hidrodinámicas que son alimentadas por el ultrasonido; para este tratamiento se requiere una baja consistencia de la suspensión de celulosa. Procedimentalmente la suspensión de pulpa diluida se expone a ondas ultrasónicas que a la vez crean ondas alternas de baja presión y alta presión, las que crean y colapsan a la vez pequeñas burbujas de vacío; su eficiencia varía con la concentración y tamaño de la nanocelulosa; así como, la potencia, la temperatura y el tiempo después de la ultrasonicación, finalmente las suspensiones son centrifugadas para recuperar el sobrenadante (Blanco et al., 2018).
 2. **El Cryocrushing**: En este proceso las fibras de celulosa se congelan con nitrógeno líquido y se trituran por las fuerzas de cizallamiento con bajo impacto mecánico, donde los cristales de hielo ejercen presión sobre las paredes celulares, haciendo que se rompan y liberen los fragmentos de nanocelulosa de la pared celular (Blanco et al., 2018).
- c) *Método de conservación*: a este método corresponde la liofilización
1. **Liofilización**: Es un método que permite prolongar el tiempo de vida útil del elemento, conservando las propiedades físicas y fisicoquímicas. Consiste en una congelación rápida y a baja temperatura para una posterior eliminación por sublimación del agua libre de la fase sólida acompañada de la evaporación de algunas porciones de agua no congelable, “*los productos liofilizados se caracterizan por su baja actividad de agua, bajos cambios de volumen y de forma, alta capacidad de rehidratación, aumento en su porosidad y por presentar un estado vítreo*” (Ayala, Serna y Mosquera, 2010).

Los métodos ya descritos, durante su ejecución son afectados por: el pH, temperatura y tiempo, mediante este estudio se las identifica como variables claves de los procesos, debido a que, diferentes intervalos aplicado a los residuos agrícolas resulta en dimensiones diferentes de longitud, diámetro y espesor de los nanomateriales obtenidos.

A continuación, se presenta para cada residuo los métodos óptimos para la obtención de nanocristales de celulosa basados en la revisión bibliográfica realizada. Las características generales que se consideraron para obtener mayor eficiencia en el proceso (menor inversión de tiempo, reactivos y equipos), son que los nanocristales de celulosa posean un diámetro de 3 a 20 nm y una longitud de 10 a 1000 nm.

3.1.3.1. Obtención de nanocristales de celulosa a partir de la cascarilla y paja de arroz

Para la obtención de nanocristales a partir de los residuos de arroz (Tabla 9-3) la metodología que se considera apta para aplicar a los residuos del arroz es la de Santos y Silva (2019), debido a que se aplica a la cascarilla de arroz ecuatoriana; además el tamaño obtenido de los CNC en diámetro es 5 nm y longitud 80 nm.

Las investigaciones de Jsohar, Ahmad y Dufresne, (2012) y de Thakur et al., (2020), también cumplen con la condición del diámetro, pero se desconoce la longitud, por esta condición no puede ser considerado como ideal este proceso, al igual que los procesos de Kaur, Kumari y Sharma, (2018) y Lu y Hsieh (2012), quienes obtuvieron dimensiones más grandes a los referenciados.

Tabla 9-3: Obtención de nanocristales de celulosa a partir de la cascarilla y paja de arroz.

	Residuo				
	Cascarilla de arroz			Paja de arroz	
Pretratamiento	Molienda y tamizado.			-	Se lava con agua tibia, luego se seca y luego se somete a molienda.
	Secado a 65°C por 1 hora y 15 minutos, luego se somete a molienda y tamizado, finalmente se lava y se seca a 60°C por 7 horas.				
Tratamiento alcalino	NaOH al 4% a 80°C durante 1 hora.	NaOH al 5% p/p a 102°C por 90 minutos.	NaOH al 4% p/p en Temperatura de reflujo durante 2 horas.	NaOH al 12% p/p a 121°C por 1 hora.	-
Tratamiento de blanqueo	NaClO ₂ al 5% p/p a 80°C durante 2 horas.	NaClO al 1% p/p a 80°C durante de 110 minutos.	Solución tampona de CH ₃ COOH con NaClO ₂ y agua destilada a 100-130°C durante 4 horas.	NaClO al 5% p/p a 75°C durante de 90 minutos, con CH ₃ COOH a 1m que ajusta el pH entre 3-5	NaClO ₂ al 1.4% de a 70°C con CH ₃ COOH a que ajusta el pH entre 3-4.
Tratamiento alcalino	-	-	-	-	KOH al 5% p/p a temperatura ambiente por 24 h y luego a

					90°C por 2 horas.
Hidrólisis acida	H ₂ SO ₄ a 45°C por 1 hora, centrifugación a 10.000 rpm a 10°C durante 15 minutos hasta un pH de 5-6.	H ₂ SO ₄ al 60% por 45 minutos a 45°C.	H ₂ SO ₄ a 50°C por 40 minutos, centrifugación a 10.000 rpm Durante 10 min, se dializa hasta un pH de 5-6.	H ₂ SO ₄ al 75% p/p a 50°C por 5 horas, centrifugación a 10.000 rpm Durante 15 días, se dializa hasta un pH constante.	H ₂ SO ₄ al 64% a 45°C por 45 minutos, se centrifugó a 5000 rpm a 10°C durante 25 minutos, se dializó con agua ultrapura hasta un pH neutro.
Cryocrushing	Congelación con nitrógeno líquido para liberar nanocristales.	-	-	-	-
Baño de ultrasonido	-	A 28 kilohercios (Khz) para separar la parte amorfa de la cristalina.	Durante 30 minutos	Sé sónico.	Sé sónico.
Cryocrushing	-	-	-	-	Congelación con nitrógeno líquido,
Liofilización	-	-	-	Se liofiliza,	-
Caracterización					
Diámetro	76,77 nm	5 nm	15-20 nm	5–15 nm	30.7nm
Longitud	-	80 nm	-	-	270nm
Espesor		-	-	-	5.95nm
Fuente:	(Kaur, Kumari y Sharma, 2018; Santos y Silva, 2019; Johar, Ahmad y Dufresne, 2012; Thakur et al., 2020; Lu y Hsieh, 2012)				

3.1.3.2. Obtención de nanocristales de celulosa a partir de pseudo - tallo y tallo floral

Son diversos los procesos para la obtención de nanocristales a partir de los residuos del plátano (Tabla 11-3); cómo se puede observar, en los procesos que se aplica la liofilización no se presentan diferencias significativas en el diámetro del nanomaterial con relación a los otros procesos.

La revisión bibliográfica permitió establecer que la metodología más indicada para el proceso de obtención de nanocristales de celulosa de los residuos de plátano es la ejecutada por Carchi (2014); ya que utiliza residuos de plátano del país y obtiene nanocristales con un diámetro de

17.73 nm y una longitud 286.44 nm, los cuales se encuentran dentro de las especificaciones de los otros procedimientos y estudios referenciados.

Los procesos de Das et al., (2018) y Meng et al., (2018) no mencionan resultados dentro de las especificaciones de diámetro y longitud; por otra parte, la metodología de Mueller, Weder y Foster, (2014) no puede considerarse eficiente puesto que a pesar de que cumple con el requerimiento nanométrico, emplean el proceso de conservación por liofilización, lo que implica un mayor uso de recursos.

Tabla 10-3: Obtención de nanocristales de celulosa a partir de pseudo - tallo y tallo floral.

	Residuo			
	Pseudo - tallo		Pseudo - tallo y tallo floral	
Pretratamiento	Se corta a dimensiones de 1 cm x 1 cm, luego se seca, finalmente purifica por extracción soxhlet durante 24 horas a presión y temperatura ambiente.	-	Se lava y luego se seca a temperatura ambiente.	Se lava, luego se corta a 2cm x 2cm y finalmente se seca a 105°C por 14 horas.
Tratamiento alcalino	NaOH a 80°C durante 2 horas, se lava con agua hasta obtener un pH de 7.	-	NaOH al 2% a una temperatura entre 110-120°C durante 1 hora, se lavó con agua destilada hasta un pH neutro.	NaOH al 15% p/v durante 100 minutos, se lava con agua destilada hasta un pH neutro.
Tratamiento de blanqueo	H ₂ O ₂ al 1.3% p/p y CH ₃ COOH al 0.1% v/v a 70°C durante 2 horas, se lava con agua hasta obtener un pH neutro.	-.	NaClO ₂ 1,7% p/p entre una temperatura de 60-70 °C durante 4 horas, se usó CH ₃ COOH para mantener un pH de 4.5-6.5.	NaClO al 0.5% durante 1 hora a 70°C, luego se filtró y posteriormente se lavó con agua destilada caliente para obtener un pH neutro
Liofilización			Se procedió a liofilización	
Tratamiento alcalino		-	Tampón de acetato con pH de 4.8 (16 mg de tempo y 100 ml	-

		de NaClO ₂) con NaClO al 1% p/p durante 24 horas.		
Hidrólisis ácida	H ₂ SO ₄ a 50°C por 90 minutos, centrifugación a 3.600 rpm durante 15 minutos hasta un pH neutral, se dializa hasta un pH constante.	H ₂ SO ₄ a 64% p/p a 50°C durante 30 minutos.	H ₂ SO ₄ a 50°C durante 40 minutos.	H ₂ SO ₄ a 61% p/v a 45°C durante 90 minutos, centrifugación de 10 a 3.500 rpm hasta un pH entre 3 y 5.
Baño de ultrasonido	Durante 12 horas	25 Khz, 750 W, centrifugación 10000 rpm a 4°C por 15 minutos. Se dializó durante 5 días	-	-
Liofilización	Durante 48 horas	Se liofilizó.	-	-
				Caracterización
Diámetro	13±4nm	2.24±0.57 nm	2.51-4.76 nm	17.73 nm
Longitud	375±100nm	125±28 nm	-	286,44nm

Fuente: (Mueller, Weder y Foster, 2014; Meng et al., 2018; Das et al., 2018; Carchi, 2014)

3.1.3.3. Obtención de nanocristales de celulosa a partir de la hoja de mazorca y tallo de maíz

De los diversos procesos para obtener nanocristales de los residuos de maíz (Tabla 12-3), se puede observar que en el proceso de liofilización la aplicación de mayores intervalos de tiempo no es determinante para la obtención de un diámetro mayor de los nanocristales de celulosa.

El análisis de las características y resultados de los cuatro procesos permite establecer que la metodología de Kampeerapappun (2015), puede ser la más adecuada para la obtención de monocristales de celulosa a partir de residuos del maíz, puesto que implica menor aplicación de tiempo en los tratamientos y se obtiene resultados dimensionales de nanocristales con diámetros de 7.4±1.5 nm y una longitud de 230,3±20,9 nm, los cuales teóricamente están dentro de los rangos establecidos.

Aunque los procesos ejecutados por Smyth et al., (2017), De S. Costa et al., (2015) y Huang et al., (2017) cumplen con los tamaños de partículas indicados, su proceso implica mayor aplicación de tiempo para los diversos tratamientos, lo cual se pueden catalogar como procesos poco eficientes.

Tabla 11-3: Obtención de nanocristales de celulosa a partir de la hoja de mazorca y tallo de maíz.

	Residuo			
	Hoja de mazorca de maíz		Tallo de maíz	
Pretratamiento	Se lavó, luego se secó a 90 °C por 24 horas, después fue Rectificado y finalmente tamizado.	Se secó y se sometió al proceso de molienda	Se lavó, se sometió al proceso de molienda y finalmente se tamiza.	Se lavó, luego se secó a 103±2°C durante 8 horas.
Tratamiento alcalino	NaOH al 4 % p/p a 80°C durante 2 horas.	NaOH al 2% p/p a condiciones ambientales por 12 horas, se lavó con agua desionizada hasta un pH de 7.	NaOH al 2% 80°C durante 4 h.	-
Tratamiento de blanqueo	NaClO ₂ al 1.7% p/v a 80°C durante 4 horas.	Solución de NaClO ₂ al 1.7% a 80°C durante 2 horas, se lava con agua desionizada hasta un pH neutro.	NaClO ₂ y NaOH	Solución de NaClO ₂ durante 1 hora a 75°C.
Tratamiento alcalino	-	-	-	NaOH al 8% por 2 horas 80°C, se lava con agua destilada hasta un pH neutral.
Hidrólisis ácida	H ₂ SO ₄ al 64% p/p a 45°C por 45 minutos, centrifugación a 10.000 rpm a 10°C durante 10 minutos, se dializa hasta un pH constante.	H ₂ SO ₄ a 45°C durante 45 minutos, centrifugación hasta un pH de 4.5, posteriormente se realizó una diálisis hasta un pH neutro	H ₂ SO ₄ al 55% p/p a 50°C durante 15 minutos, se centrifugó y se procedió a la diálisis con agua desionizada hasta un pH de 6	H ₂ SO ₄ al 60 % a 60°C por 1 hora, centrifugación a 4.000rpm durante 5 minutos, se dializó con agua desionizada hasta un pH neutro.
Baño de ultrasonido	Durante 30 minutos en un baño de hielo.	Durante 5 minutos (50% sin potencia, 50 % con potencia).	Durante 5 minutos.	Durante 4 minutos a una potencia de salida de 1400 Hz en un baño de hielo
Liofilización	-	-	-	A 50°C durante 2 días
	Caracterización			
Diámetro	7.4±1.5 nm	6±2 nm	6.9nm	6.4±3.1 nm
Longitud	230,3±20,9 nm	940±70nm	356nm	120.2±61.3nm

Fuente: (Kampeerappun, 2015; Smyth et al., 2017; De S. Costa et al., 2015; Huang et al., 2017)

3.1.3.4. Obtención de nanocristales de celulosa a partir del bagazo de la caña de azúcar

De la revisión de tres procesos para la obtención de nanocristales de bagazo de caña (Tabla 13-3) se puede establecer que omitir el tratamiento alcalino puede presentar cierta influencia sobre los resultados, debido a que los compuestos que son ajenos a la celulosa no son desechados.

Además, del análisis de estos procesos se pudo establecer que el producto de mejor características es del Tien et al. (2017), porque implica utilizar una metodología con menores intervalos de tiempo en los tratamientos y sus resultados presentan diámetros y longitudes dentro de lo especificaciones; sin embargo, este proceso requiere la aplicación de un tratamiento alcalino para evitar impurezas en los resultados.

Por otra parte, el proceso aplicado por Evans et al. (2019) y el de Kord et al. (2016) presentan intervalos de tiempo mayores, por lo que se los considera como procesos poco eficientes, además presentan productos fuera del rango del nanomaterial en estudio.

Tabla 12-3: Obtención de nanocristales de celulosa a partir del bagazo de la caña de azúcar.

	Residuo		
	Bagazo de caña		
Pretratamiento	Se lavó, luego se secó a 55°C durante 24 horas.	Se lavó, luego se secó después se sometió a molienda y tamizado, finalmente se secó en a 105°C por 5 horas.	Se cortó, luego se sometió al proceso de molienda y tamizado, después se realizó el desparafinado y finalmente se dejó secar a 60°C durante 16 h.
Tratamiento alcalino		NaOH al 1% durante 2 horas 80°C en un baño de agua caliente.	
Tratamiento de blanqueo	NaClO ₂ al 1.4% p/v con CH ₃ COOH. a un pH de 4 a 70°C durante 6 horas, se lava con agua destilada hasta un pH de 6-7.	NaClO 0,735% p / v durante 2 horas a 80°C, se lavó luego con agua desionizada Hasta un pH neutro.	Solución con un pH 4 con NaClO ₂ al 1.3% y CH ₃ COOH .
Tratamiento alcalino			KOH al 10% y NaOH al 10% a 20°C.
Hidrólisis ácida	H ₂ SO ₄ al 60% p/v a 45°C por 75 minutos, centrifugación a 15.000 rpm durante 15 minutos hasta un pH de 1, se dializó con agua	Se hidroliza con 32% p /v de H ₂ SO ₄ durante 24 horas bajo agitación constante, se centrifugó a 10.000 rpm durante	H ₂ SO ₄ al 64% A 45°C por 60 minutos, centrifugación a 12.000 rpm durante 15 minutos, se dializó hasta un pH neutro.

	destilada hasta un pH de 7.	15, se dializó con agua desionizada.	
Baño de ultrasonido	En un baño de hielo durante 15 minutos.	En un baño de hielo durante 1 hora, se centrifugó a 6.000rpm durante 30 minutos, luego con acetona a 6.000 rpm por 30 minutos.	Se hace sónico durante 10 minutos en un baño de hielo.
Caracterización			
Diámetro	9.8±6.3 nm	38nm	
Longitud	280.1±73.3 nm	76nm	148nm

Fuente: (Tien et al., 2017; Evans et al., 2019; Kord et al., 2016)

3.1.3.5. Obtención de nanocristales de celulosa a partir de la hoja y cáscara de piña

La revisión de cinco procesos para la obtención de nanocristales de celulosa a partir de los residuos de la piña (Tabla 14-3) presentan en sus resultados amplios rangos de dimensión del nanomaterial, donde si tiene influencia en los resultados (diámetro y longitud) los intervalos de tiempo, pH y temperatura empleados en los distintos tratamientos.

El estudio bibliográfico realizado de los procesos para la obtención de nanocristales de celulosa, permite establecer que el ejecutado por Marcos dos Santos et al., (2013) presenta una adecuada metodología y cuyos resultados les permitieron obtener nanopartículas con un diámetro y longitud dentro del rango bibliográfico.

Los trabajos realizados por Prado y Spinacé (2018), Balakrishnan et al., (2018), Fernández et al., (2020) y Madureira et al., (2018), no mencionan en su caracterización las dimensiones obtenidas, razón por la cual no se puede indicar sean metodologías óptimas.

Tabla 13-3: Obtención de nanocristales de celulosa a partir de la hoja y cáscara de piña.

	Residuo	
	Hoja de piña	Cáscara de piña
Pretratamiento	Se lavó, luego se secó y después se cortó a dimensiones aproximadas de 5 mm.	Se secaron y luego se trituraron. Se secó a 60°C por 24 h. cortó el material 2x2 cm, se sometió a molienda hasta tamaño de partícula 0.50 mm.

Tratamiento alcalino	2% p/p de NaOH a 100°C durante 4 horas.	5% p/p de NaOH a 90°C por 1 hora.	2% NaOH a 15 minutos a una presión de 138 KPa.	2% NaOH p/p durante 4 horas a 100°C.	
Tratamiento de blanqueo	Buffer de acetato (25g de NaOH y 75 ml de CH ₃ COOH en 1l. de agua destilada) y NaClO ₂ al 1.7% p/p a 80°C / 4 horas.	Solución de H ₂ O ₂ al 16% v/v con NaOH al 5% a 55°C durante 90 minutos, se lava con agua desionizada hasta un pH de 5.	Solución de H ₂ O ₂ NaOH al 4% p/v y H ₂ O ₂ al 30% v/v a 70°C durante de 90 minutos a 4000 rpm, se usa agua destilada a un pH de 7.	Buffer de acetato (27 g de NaOH y 75 ml de CH ₃ COOH en 1l. de agua destilada) y NaClO ₂ al 1.7% p/p a 80°C durante 6 horas, se obtiene un pH neutro	
Tratamiento alcalino			KOH al 4% p/v a 80°C / 1h.		
Hidrólisis ácida	H ₂ SO ₄ a 45°C por 30 minutos, centrifugación a 7.000 rpm a 10°C durante 10 minutos, se dializa hasta un pH neutro.	H ₂ SO ₄ al 60% a 45°C por 1 hora, centrifugación a 9.000 por 9 minutos hasta un pH de 5, diálisis hasta un pH neutro.	H ₂ SO ₄ al 64 % a 45°C por 30 minutos, centrifugación a 6.000rpm.	H ₂ SO ₄ al 64% a 50°C por 2 horas, centrifugación a 10.000 rpm durante 10, diálisis hasta un pH neutro.	H ₂ SO ₄ al 64% a 50°C por 30 minutos, se centrifugó a 7000 rpm por 10 minutos, se obtiene un pH neutro.
Baño de ultrasonido	10 minutos.	5 minutos	A 20 Hertz durante 5 minutos.	5 minutos a 70% de intensidad	
Caracterización					
Diámetro	4.45±1.41 nm	39 nm	25±10 nm		
Longitud	249.7±51.5nm		140 nm	657.8±188.7	

Fuente: (Marcos Dos Santos et al., 2013; Prado Y Spinacé, 2018; Balakrishnan et al., 2018; Fernandes et al., 2020; Madureira et al., 2018)

3.2.1. Viabilidad del uso de residuos agrícolas producidos en Ecuador para la obtención de nanocristales de celulosa

3.2.1.1. Usos industriales de los nanocristales de celulosa

En este apartado se menciona las aplicaciones potenciales, que pueden tener los nanocristales de celulosa obtenidos de diversos residuos agrícolas: (Abitbol et al., 2016)

- **Fotónica:** Los CNC pueden formar películas quirales nemáticas, iridiscentes y coloreadas simplemente por evaporación de suspensiones acuosas, los cristales líquidos de derivados de celulosa exhiben quiralidad dextrógiro o levógiro; por lo tanto, las películas de CNC

nemáticas quirales reflejan selectivamente la luz levógiro y aparece colorida cuando el paso helicoidal es del orden de magnitud de la longitud de onda de la luz visible (Abitbol et al., 2016).

La nanocelulosa es de interés para aplicaciones fotónicas por su comportamiento cristalino líquido de los CNC que da lugar a películas iridiscentes de carácter óptico definido; además, los CNC pueden formar películas ópticamente transparentes por lo que han sido utilizadas para fabricar dispositivos anti-falsificación, tintas para imprimir, materiales iridiscentes entre otros (Abitbol et al., 2016).

- Películas: Las películas de CNC han sido ampliamente investigadas, principalmente por su organización nemática quiral, sus propiedades ópticas, por su barrera de gas, absorción de agua, propiedades mecánicas y conductividad térmica. La alineación de películas CNC se estudia por la aplicación de fuerzas externas, como las de tipo magnética, eléctrica y cortante; también, se han propuesto películas de CNC para diversas aplicaciones, que van desde el envasado de alimentos, hasta la orientación celular y electrónica. Se ha demostrado que las películas ultradelgadas de CNC alineadas, exhiben una gran respuesta piezoeléctrica y por lo tanto tienen potencial para ser utilizados en dispositivos electrónicos flexibles; la combinación de CNC y polímeros conductores, es otro enfoque para producir conductores flexibles y conductores (Abitbol et al., 2016).
- Espumas y aerogeles: Se han utilizado métodos diferentes basados en interacciones físicas entre los CNC para preparar espumas y aerogeles, incluyendo para su obtención tratamientos de liofilización y cambio de solvente / secado de punto crítico. Las propiedades de los CNC, tales como carga, tamaño y concentración, juegan un papel importante en la autoorganización de las partículas; útil para la arquitectura de las espumas y aerogeles de CNC (Abitbol et al., 2016).
- Materiales termoplásticos: Los CNC son ampliamente utilizados como relleno en matrices poliméricas termoplásticas y para producir nanocompuestos rentables y altamente duraderos, estos materiales dejan una huella "más verde". La cristalinidad nativa, la alta resistencia y la relación de aspecto de moderada a alta (aprox. 10–1000 longitud/diámetro; depende del tipo) de la nanocelulosa son útiles para la transferencia de tensión y la carga en termoplásticos, como el almidón, el alcohol polivinílico (PVA), el ácido poliláctico (PLA), el policarbonato (PC), el poliuretano (PU) y el metacrilato de polimetilo (PMMA) (Abitbol et al., 2016).
- Compuestos de nanocelulosa-proteína: La combinación de la nanocelulosa y las proteínas en materiales nanocompuestos tienen como objetivo combinar cualidades atractivas de cada componente de manera sinérgica. Los CNC también son útiles como refuerzo mecánico de materiales basados en proteínas, incluidos el colágeno, el gluten y la prolamina (Abitbol et al., 2016).

También se lo utiliza como papel de la nanocelulosa y como relleno en los materiales basados en proteínas ya que es un material de bajo costo y puede permitir la reducción del componente de la proteína sin sacrificar las propiedades mecánicas o mejorar estas debido a sus capacidades de refuerzo relacionadas con su relación de aspecto y la cristalinidad (Abitbol et al., 2016).

- **Médicas:** La nanocelulosa es un biomaterial prometedor para aplicaciones médicas debido a su buena biocompatibilidad y toxicidad relativamente baja, así como por su geometría, química superficial, reología, cristalinidad y autoensamblaje; este nanomaterial, puede cargarse con fármacos proporcionando una buena estabilidad de este. Los sistemas basados en CNC también son atractivos como materiales mecánicamente adaptables para aplicaciones de microelectrodos y microsondas (Abitbol et al., 2016).
- **Eléctrica:** Debido a sus propiedades dieléctricas y a su característica cristalina (módulo de Young) que le proporciona estabilidad química, los CNC pueden ser empleados para producir aceites dieléctricos, capacitores y otros productos eléctricos (Castro y Delgado, 2016).
- **Alimentación:** Los CNC se puede emplear como estabilizadores y emulsionantes naturales de alimentos; además, se puede utilizar como aditivos para aumentar el contenido de fibra dietética en los alimentos o ayudar a superar el efecto negativo de la fibras dietéticas tradicionales; por otro lado, se utiliza como aderezo bajo en grasa para helados, ensaladas y productos lácteos (Mu et al., 2019).

3.2.1.2. Viabilidad de los residuos agrícolas en el Ecuador para la obtención de nanocristales de celulosa

Con respecto a la viabilidad de emplear residuos agrícolas para la obtención de nanocristales, es necesario mencionar que de los productos estudiados (arroz, maíz, plátano, caña de azúcar y piña) generan biomasa residual en las diferentes etapas del proceso de producción

Aunque con características físicas y composición química diferente, todos estos residuos son materiales que contienen cantidades importantes de componentes celulósicos, los cuales, con métodos y tratamientos químicos, mecánicos y de conservación en conjunto, permiten la obtención de nanocristales de celulosa.

Desde el punto de vista económico, la obtención industrial de nanocristales de celulosa a partir de residuos agrícolas requieren de importantes inversiones para la compra de equipos, maquinarias de producción y caracterización; por el otro lado, el contar con elevadas cantidades de materia prima, harían que los costos de producción de los nanocristales de celulosa y el desarrollo de aplicaciones industriales sean aceptables para el mercado nacional y mundial, pudiendo tener una buena aceptación en el mercado y recuperar los costos de inversión.

Es importante tomar en cuenta que la operatividad de una planta para la obtención industrial de nanocrisales de celulosa involucra el uso de sustancias sujetas a fiscalización como lo son: el ácido sulfúrico, el hidróxido de sodio y el ácido clorhídrico, entre las principales.

Con base a los criterios anteriores, los residuos contemplados en el estudio cumplen en su composición con las características físico – químicas para ser objeto de estudio en la extracción de nanocrisales de celulosa; pero debido a la cantidad de residuo que producen, los productos agrícolas que se deberían contemplar para la obtención de CNC en Ecuador serían los provenientes de los cultivos de la caña de azúcar, plátano y maíz. Es decir, la obtención de nanocrisales de celulosa a partir de residuos agrícolas resulta ser una buena opción para un proceso de industrialización.

CONCLUSIONES

- Se analizó teóricamente los métodos químicos, mecánicos y de conservación para la obtención de nanocristales de celulosa a partir de residuos agroindustriales, las variables clave de estos son: el pH, la temperatura y el tiempo. El pH ofrece las condiciones básicas o ácidas para que los reactivos se transformen en los productos, estas condiciones varían según los distintos tratamientos, además requieren un control exhaustivo de un pH neutro al finalizar cada etapa para un desarrollo correcto de las siguientes reacciones químicas; la variable tiempo determina el resultado que tengan los reactivos sobre el producto en el lapso estimado, demostrando que en un periodo de reacción adecuado para cada residuo, los CNC muestran dimensiones y longitudes dentro del rango referencial; y la variable temperatura controla la velocidad de reacción, es decir la transformación de reactivos a productos. Dichas variables influyen dentro del proceso, en lograr el diámetro, longitud y espesor adecuados de los CNC; diferentes valores de las variables en cada tratamiento tienen como efecto la variabilidad de composición estructural de los productos, lo que a su vez involucra al rendimiento del proceso, debido a que valores bajo o sobre los rangos indicados en esta investigación podrían evidenciar un rendimiento deficiente de obtención de CNC.
- Se identificó las características físicas y químicas de los residuos agroindustriales: arroz, plátano, maíz, caña de azúcar y piña; requeridas para la obtención de nanocristales de celulosa, estos residuos tienen una composición variada, entre las más relevantes para el estudio se encuentran la lignina, hemicelulosa y celulosa, esta última en concentraciones que van del 28% de un total del 100%; lo que permite señalar que estos residuos son aptos para ser aprovechados en la obtención de nanocristales de celulosa. La hoja de piña y la cascarilla de arroz son los residuos agrícolas estudiados con mayor y menor contenido de celulosa, con 43.53% y 28%, respectivamente.
- Se estableció que los residuos de caña de azúcar, plátano y maíz producidos en Ecuador son los más aptos y viables para la obtención de nanocristales de celulosa, por el contenido de celulosa que poseen en su composición, la elevada producción de estos cultivos, que a su vez involucra la ventaja de adquisición de considerables cantidades de residuos que actualmente no son aprovechados. Económicamente, la obtención industrial de nanocristales de celulosa a partir de residuos agrícolas requieren de importantes inversiones; pero se cuenta con importantes cantidades de materia prima, lo que permitirá que la producción de los nanocristales de celulosa y el desarrollo de aplicaciones industriales tengan inversores para su desarrollo por ser un material innovador con amplias aplicaciones con una buena aceptación en el mercado.

RECOMENDACIONES

Se recomienda:

- Aplicar experimentalmente el proceso de obtención de los nanocristales de celulosa, en especial el propuesto por Santos y Silva, (2019) para los residuos del arroz; el de Carchi, (2014) para los residuos del plátano; y el de Tien et al., (2017) para los residuos del bagazo de caña. Todos se recomiendan por su eficiencia, pero los dos primeros porque son estudios que emplearon residuos generados en el país; y, además presentan los rangos de diámetro y longitud establecidas para los CNC.
- Realizar un estudio de rentabilidad de diversas aplicaciones para los CNC, en conjunto con un análisis financiero sobre los costos de producción de nanocristales de celulosa a partir de residuos agrícolas, con el fin de conocer la rentabilidad que posee ese producto.
- En experimentaciones, utilizar en conjunto los diferentes residuos procedentes de un mismo cultivo para la elaboración de nanocristales de celulosa, en el caso del arroz la paja y cascarilla, para el plátano, pseudo - tallo y tallo floral y en el maíz hojas y tallo, esta recomendación se basa en el criterio de Carchi, (2014) quien ya empleó tallo floral y pseudo - tallo de plátano con resultados de tamaño de CNC dentro de las especificaciones bibliográficas.

GLOSARIO

Celulosa: es el biopolímero más disponible en la tierra y el componente de refuerzo principal en la pared celular de plantas (Blanco et al., 2018).

Cristalinidad: la cristalinidad de los materiales celulósicos es una propiedad importante, ya que de ella dependen las características prácticas de rendimiento de estos materiales. (Blanco et al., 2018).

Hemicelulosa: forma parte de las paredes de las células vegetales, es una estructura amorfa y está compuesta por polímeros de diferentes azúcares (Morales De La Rosa, 2015).

Lignina: es un tipo de copolímeros que generalmente se derivan de tres unidades de monolignoles básicas: alcohol p-cumarílico, alcohol coniferílico y alcohol sinapílico, estos alcoholes se encuentran en diferentes áreas de la pared celular en donde se reorganizan para formar biopolímeros y adoptan características que ayudan a reforzar la pared celular (Santos y Silva, 2019).

Residuos agrícolas: son aquellas partes derivadas del cultivo de diferentes especies vegetales, particularmente durante la cosecha, que no son destinadas al consumo. Se incluyen en esta categoría materiales como tallos, hojas, cáscaras, cortezas, vainas, semillas, rastrojos, etc (Carchi, 2014).

BIBLIOGRAFÍA

ABITBOL, T., RIVKIN, A., CAO, Y., NEVO, Y., ABRAHAM, E., BEN-SHALOM, T., LAPIDOT, S. & SHOSEYOV, O., "Nanocellulose, a tiny fiber with huge applications" *Current Opinion in Biotechnology* [en línea], 2016, vol. 39, pp. 76-88. [Consulta: 3 junio 2020]. ISSN 09581669. DOI 10.1016/j.copbio.2016.01.002. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0958166916000045>.

ABRIL, D., NAVARRO, E. & ABRIL, A. "La paja de arroz. Consecuencias de su manejo y alternativas de aprovechamiento" *Revista de la Facultad de Agronomía* [en línea], 2009, vol. 17, pp. 69-79. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/268872442_La_paja_de_arroz_Consecuencias_de_su_manejo_y_alternativas_de_aprovechamiento.

ANTOLIN, G. & OLIVA DENY. "Caracterización del bagazo de caña de azúcar mediante Análisis Térmico" *Información Tecnológica*, 2003, pp. 91-96. [Consulta: 14 julio 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/273821584_Caracterizacion_del_bagazo_de_cana_de_azucar_mediante_Analisis_Termico.

ARIAS, R., & MENESES, J. Caracterización residuos agroindustriales (cascarilla de arroz y cascarilla de café), como materia prima potencial para la obtención de bioetanol. [en línea] (Trabajo de titulación) (Tercer nivel). Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. Managua. 2016. Disponible en: <https://repositorio.unan.edu.ni/3793/1/53860.pdf>.

AYALA, A., SERNA, L.C. & MOSQUERA, E. "Liofilización de la pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*)" *Vitae* [en línea], 2010, pp. 121-127. [Consulta: 12 julio 2020]. ISSN 0121-4004. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/1698/169815396002.pdf>.

BALAKRISHNAN, P., GOPI, S., GEETHAMMA, V., KALARIKKAL, N. & THOMAS, S. "Cellulose Nanofiber vs Nanocrystals From Pineapple Leaf Fiber : A Comparative Studies on Reinforcing Efficiency on Starch Nanocomposites" *Macromolecular Symposia* [en línea], 2018 vol. 1800102, pp. 1-7. DOI 10.1002/masy.201800102. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/masy.201800102>.

BARAHONA, M. "El papel de la investigación teórica en la construcción del conocimiento: Una reflexión desde la Universidad Estatal a Distancia (UNED)" *Revista Rupturas* [en línea], 2013, vol. 3, pp. 2-16. Disponible en: Dialnet-

ElPapelDeLaInvestigacionTeoricaEnLaConstruccionDel-4888225.pdf.

BARTABURU, D., MONTES, E. & PEREIRA, M. "Utilización de la paja de arroz en la alimentación animal" *Inia* [en línea], 2008 [Consulta: 13 julio 2020]. Disponible en: http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_reservas/reservas_henos/08-paja_arroz.pdf.

BELITZ, H.-D. (Hans-D., GROSCH, W. (Werner) & SCHIEBERLE, P. *Food Chemistry* [en línea]. S.l.: Springer-Verlag. 2009 [Consulta: 5 diciembre 2019]. ISBN 9783540699354. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=IPELBwAAQBAJ&pg=PA92&dq=Food+Chemistry&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjVvy32s-bpAhVSoFsKHUAhDsoQ6AEIMjAB#v=onepage&q=Food+Chemistry&f=false>.

BLANCO, A., MONTE, M, C., CAMPANO, C., BALEA, A., MERAYO, N. & NEGRO, C. "*Nanocellulose for Industrial Use : Cellulose Nanofibers (CNF), Cellulose Nanocrystals (CNC), and Bacterial Cellulose (BC)*" [en línea]. Elsevier, 2018, ISBN 9780128133514. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128133514000055>.

BURGOS, J. Estudio de la lámina óptima de riego para el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) en la parroquia San Carlos del cantón Naranjal - provincia del Guayas [en línea]. (Trabajo de titulación) (Tercer nivel). Universidad de Guayaquil. Guayaquil. 2015. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/8373/1/Burgos+Valencia+Julio.pdf>.

CARCHI, D. Aprovechamiento de los Residuos Agrícolas provenientes del cultivo de Banano para obtener Nanocelulosa [en línea]. (Trabajo de titulación) (Tercer nivel). Universidad de Cuenca. Cuenca. 2014. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/5292/1/tesis.pdf>.

CASTRO, F. & DELGADO, F. *La nanocelulosa : propiedades y aplicaciones.* [en línea]. 2016. Disponible en: <https://www.ineel.mx//boletin022016/divulga.pdf>.

CFN. *Ficha sectorial: Banano y plátanos.* [en línea]. 2017 [Consulta: 15 julio 2020]. Disponible en: <https://www.cfn.fin.ec/wp-content/uploads/2017/09/Ficha-Sectorial-Banano.pdf>.

CFN. *Ficha sectorial: Arroz.* [en línea]. 2018. Disponible en: <https://www.cfn.fin.ec/wp-content/uploads/2018/04/Ficha-Sectorial-Arroz.pdf>.

COLLAZO-BIGLIARDI, S., ORTEGA-TORO, R. & CHIRALT, A. "Isolation and characterisation of microcrystalline cellulose and cellulose nanocrystals from coffee husk and

comparative study with rice husk." *Carbohydrate Polymers* [en línea], 2018, vol. 191, pp. 205-215. [Consulta: 18 noviembre 2019]. ISSN 01448617. DOI 10.1016/j.carbpol.2018.03.022. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0144861718302789>.

DAS, D., SHAMIMA, H., KUMAR, ANUP & KUMAR, ARUN. "Studies on cellulose nanocrystals extracted from *Musa sapientum*: Structural and bonding aspects" *Cellulose Chemistry and Technology* [en línea], 2018, vol. 52(9), Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/328486555_Studies_on_cellulose_nanocrystals_extracted_from_Musa_sapientum_Structural_and_bonding_aspects.

DE OLIVEIRA, J., PINHEIRO, G., OLIVEIRA, K., MELLO, S., SILEIRA DA ROSA, G., GUERRA, A. & DA ROSA ZAVAREZA, E. "Cellulose fibers extracted from rice and oat husks and their application in hydrogel" *Food Chemistry* [en línea], 2017, vol. 221, pp. 153-160. ISSN 0308-8146. DOI 10.1016/j.foodchem.2016.10.048. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.10.048>.

DE S. COSTA, L., FONSECA, A., PEREIRA, F. & DRUZIAN, J. "Extraction and Characterization of cellulose nanocrystals from corn stover" *Cellulose Chemistry and Technology* [en línea], 2015, vol. 49(2), pp. 127-133. DOI <http://doi.org/10.1016/j.matpr.2015.04.045>. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785315000462>.

DIAZ, R. *Caracterización energética del bagazo de caña de azúcar del ingenio Valdez. Ecuador.* [en línea]. Riobamba. 2008. [Consulta: 14 julio 2020]. Disponible en: <https://www.lippel.com.br/dados/download/16-07-2014-15-41caracterizacion-del-bagazo-de-cana-de-azucar.pdf>.

EL TELÉGRAFO. *La producción del campo mejora con la tecnología.* 2020 [en línea]. [Consulta: 30 diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/4/produccion-tecnologia-ecuador-ministerio-agricultura>.

ESPINOSA, M. *Ecuador exporta piña dulce a Europa y América.* [en línea]. [sin fecha] [consulta: 13-07-2020]. Disponible en: <https://www.revistalideres.ec/lideres/ecuador-exporta-pina-dulce-europa.html#:~:text=Desde hace 20 años%2C Ecuador,los bajos niveles de acidez>.

EVANS, S.K., WESLEY, O.N., NATHAN, O. & MOLOTO, M.J. "Chemically purified cellulose and its nanocrystals from sugarcane bagasse: isolation and characterization" *Heliyon* [en línea], 2019, vol. 5, pp. e02635. ISSN 2405-8440. DOI 10.1016/j.heliyon.2019.e02635. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6820307/>.

FERNANDES, P., ORNAGHI, H., VENANCIO, L., DUCHEMIN, B. & HILÁRIO, M. Obtaining cellulose nanocrystals from pineapple crown fibers by free-chlorite hydrolysis with sulfuric acid : physical , chemical and structural characterization" *Cellulose* [en línea], 2020, vol. 6. DOI 10.1007/s10570-020-03179-6. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/341133569_Obtaining_cellulose_nanocrystals_from_pineapple_crown_fibers_by_free-chlorite_hydrolysis_with_sulfuric_acid_physical_chemical_and_structural_characterization.

GOOGLE. *Google Maps*. [en línea]. 2020 [Consulta: 16 mayo 2020]. Disponible en: <https://www.google.com/maps/@-1.6529528,-78.6682284,15z>.

GUACHO, E. Caracterización Agro-morfológica del maíz (*Zea mays* L.) localidad San José de Chazo [en línea]. (Trabajo de titulación) (Tercer nivel). Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba. 2014. [Consulta: 14 julio 2020]. Disponible en: <http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/3455/1/13T0793.pdf>.

HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C. & BAPTISTA, P. *Metodología de la investigación*. Sexta. México: Mc Graw Hill Education, pp. 7-19. 2016. .ISBN 978-1-4562-2396-0. Disponible en: <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>

HUANG, S., ZHOU, L., MEI-CHUN, L., WU, Q. & ZHOU, D. "Cellulose Nanocrystals (CNCs) from Corn Stalk :Activation Energy Analysis" *Materials* [en línea], 2017pp. 1-13. DOI 10.3390/ma10010080. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5344553/>.

INEC. *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC). 2019*. [en línea]. 2020 [Consulta: 22 agosto 2020]. Disponible en: [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2019/Presentacion de los principales resultados ESPAC 2019.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2019/Presentacion_de_los_principales_resultados_ESPAC_2019.pdf).

JOHAR, N., AHMAD, I. & DUFRESNE, A. "Extraction , preparation and characterization of cellulose fibres and nanocrystals from rice husk" *Industrial Crops & Products* [en línea], 2012, vol. 37(1), pp. 93-99. ISSN 0926-6690. DOI 10.1016/j.indcrop.2011.12.016. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669011004791>.

KAMPEERAPPUN, P. "Extraction and Characterization of Cellulose Nanocrystals Produced by Acid Hydrolysis from Corn Husk" *Journal of Metals* [en línea], 2015, vol. 25(1),

pp. 19-26. DOI 10.14456/jmmm.2015.3. Disponible en:
<https://pdfs.semanticscholar.org/74a7/4e1d71efb88f09eb27be96ee1b8d210e163f.pdf>.

KAR, K., PANDEY, J. & RANA, S. *Handbook of Polymer Nanocomposites. Processing, Performance and Application* [en línea]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.2015. [Consulta: 18 noviembre 2019]. ISBN 978-3-642-45228-4. Disponible en:
<http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-45229-1>.

KAUR, M., KUMARI, S. & SHARMA, P. "Chemically Modified Nanocellulose from Rice Husk: Synthesis and Characterisation". *AIR* [en línea], 2018, vol. 13(3) pp. 1-11. DOI 10.9734/AIR/2018/38934. Disponible en:
<http://www.journalair.com/index.php/AIR/article/download/18955/34961>.

KORD, M.R., BROWN, R.J., TSUZUKI, T. & RAINEY, T.J. 2016. "A comparison of cellulose nanocrystals and cellulose nanofibres extracted from bagasse using acid and ball milling methods" *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology* [en línea], 2016, vol. 7. DOI 10.1088/2043-6262/7/3/035004. Disponible en:
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2043-6262/7/3/035004/meta>.

KRÄSSIG, H.A., *Cellulose: structure, accessibility, and reactivity* [en línea]. Gordon and Breach Science. 1993. [Consulta: 5 diciembre 2019]. ISBN 9782881247989. Disponible en:
https://books.google.com.ec/books?id=LQoPM3ZFyIC&pg=PA167&dq=cellulose:+structure,+accessibility,+and+reactivity&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwiNhfr8sebpAhU7J7kGHfbdB_IQ6AEIMDAB#v=onepage&q&f=false.

LAVOINE, N., DESLOGES, I., DUFRESNE, A. & BRAS, J. " Microfibrillated cellulose - Its barrier properties and applications in cellulosic materials: A review. *Carbohydrate Polymers*" [en línea], 2012, vol. 90(2) pp. 735-764. [Consulta: 23 diciembre 2019]. ISSN 01448617. DOI 10.1016/j.carbpol.2012.05.026. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S014486171200447X>.

LLANOS, O., RÍOS, A., JARAMILLO, C. & RODRÍGUEZ, L. "La cascarilla de arroz como una alternativa en procesos de descontaminación. *Producción + Limpia* [en línea], 2016, vol. 11(2) pp. 150-160. DOI 10.22507/pml.v11n2a12. Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/313454708_La_cascarilla_de_arroz_como_una_alternativa_en_procesos_de_descontaminacion.

LU, P. & HSIEH, Y. "Preparation and characterization of cellulose nanocrystals from rice straw"

Carbohydrate Polymers [en línea], 2012, vol. 87(1), pp. 564-573. ISSN 0144-8617. DOI 10.1016/j.carbpol.2011.08.022. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861711007016>.

MADUREIRA, A., ATATOPRAK, T., CABUK, D., SOSE, F., PULLAR, R. & PINTADO, M. "Extraction and Characterisation of Cellulose Nanocrystals from Pineapple Peel" *International Journal of Food Studies* [en línea], 2018, vol. 7, pp. 24-33. Disponible en: <https://www.iseki-food-ejournal.com/ojs/index.php/e-journal/article/view/389/203>.

MAG. *Superficie de principales cultivos a nivel nacional*. 2020. [en línea]. [Consulta: 23 agosto 2020]. Disponible en: <http://geoportal.agricultura.gob.ec/index.php/mapas-interactivos/2-uncategorised/37-mapa-cultivos>.

MANALS-CUTIÑO, E., PENEDO-MEDINA, M. & SALAS-TORT, D. "Caracterización del bagazo de caña como biomasa vegetal" *Tecnología Química* [en línea], 2015, [Consulta: 14 julio 2020]. ISSN 2224-6185. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852015000200010.

MARCOS DOS SANTOS, R., FLAUZINO, W., ALVES, H., FERREIRA, D., OLIVEIRA, N. & PASQUINI, D. "Cellulose nanocrystals from pineapple leaf , a new approach for the reuse of this agro-waste. *Industrial Crops & Products* [en línea], 2013, vol. 50, pp. 707-714. ISSN 0926-6690. DOI 10.1016/j.indcrop.2013.08.049. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669013004664>.

MARTINEZ-HERNANDEZ, E., AMEZCUA-ALLIERI, M., SADHUKHAN, J. & ANELL, J.A. *Sugarcane Bagasse Valorization Strategies for Bioethanol and Energy Production*. [en línea]. S.l.: InTech, 2018. [Consulta: 15 julio 2020]. Disponible en: <https://www.intechopen.com/books/sugarcane-technology-and-research/sugarcane-bagasse-valorization-strategies-for-bioethanol-and-energy-production>.

MATÉ, B. *Usos de las hojas del maíz*. [en línea]. 2017 [Consulta: 14 julio 2020]. Disponible en: https://www.ehowenespanol.com/usos-hojas-del-maiz-info_50053/.

MATUTE, M. Caracterización físico-química del jugo de cinco variedades de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en la hacienda el Jardín [en línea]. (Trabajo de titulación) (Tercer nivel). Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. Calceta. 2016. Disponible en: <http://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/264/1/TAI105.pdf>.

MAZZEO, M., LIBARDO, L., LUIS, M., GUERRERO, L. & BOTERO, J. "Aprovechamiento industrial de residuos de cosecha y poscosecha del plátano en el departamento

de caldas" *Revista Educación en Ingeniería* [en línea], 2010, pp. 128-139. Disponible en: https://www.acofi.edu.co/revista/Revista9/2010_I_02.pdf.

MENG, F., WANG, G., DU, X., WANG, Z., XU, S. & ZHANG, Y. "Preparation and characterization of cellulose nanofibers and nanocrystals from liquefied banana pseudo-stem residue" *Composites Part B: engineering* [en línea], 2018 ISSN 1359-8368. DOI 10.1016/j.compositesb.2018.08.048. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S135983681832451X>.

MORALES DE LA ROSA, S. Hidrólisis ácida de celulosa y biomasa lignocelulósica asistida con líquidos iónicos. [en línea]. (Trabajo de titulación) (Doctorado). Universidad Autónoma de Madrid. Madrid. 2015. Disponible en: https://digital.csic.es/bitstream/10261/132717/1/morales_de_la_rosa_silvia.pdf

MU, R., HONG, X., NI, Y., LI, Y., PANG, J., WANG, Q., XIAO, J. & ZHENG, Y. "Recent trends and applications of cellulose nanocrystals in food industry" *Trends in Food Science and Technology* [en línea], 2019, vol. 93, pp. 136-144. [Consulta: 17 agosto 2020]. ISSN 09242244. DOI 10.1016/j.tifs.2019.09.013. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224418309282>.

MUELLER, S., WEDER, C. & FOSTER, E.J. "Isolation of cellulose nanocrystals from pseudostems of banana plants" *Royal Society of Chemistry Advances* [en línea], 2014, pp. 907-915. DOI 10.1039/c3ra46390g. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/274972146_Isolation_of_cellulose_nanocrystals_from_pseudostems_of_banana_plants%0A.

MUÑOZ, M. El maíz y sus múltiples usos. [en línea]. 2015 Disponible en: <https://consejonutricional.com/2015/07/15/el-maiz-y-sus-multiples-usos/>.

NASCIMENTO, P., MARIM, R., CARVALHO, G. & MALI, S. "Nanocellulose Produced from Rice Hulls and its Effect on the Properties of Biodegradable Starch Films. *Materials Research* [en línea], 2016, vol. 19(1), pp. 167-174. DOI 10.1590/1980-5373-MR-2015-0423. Disponible en: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1516-14392016005002110&script=sci_arttext.

NAVEDA, R., JORGE, P., FLORES DEL PINO, L. & LIZARDO, V. "Remoción de lignina en el pretratamiento de cascarilla de arroz por explosión con vapor" *Revista Social Química de Perú* [en línea], 2019, vol. 85(3), pp. 352-361. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810-634X2019000300007&script=sci_arttext.

PECH, S.C. Obtención y modificación de nanocristales de celulosa de residuos de Agave Tequilana Weber para la producción de nanorefuerzos para Poli (ácido láctico) [en línea]. (Trabajo de titulación) (Doctorado) Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. Mérida. 2018. [Consulta: 9 diciembre 2019]. Disponible en: https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1003/1271/1/PCM_D_Tesis_2018_Soledad_Pech.pdf.

PEREIRA, B. & ARANTES, V. *Nanocelluloses From Sugarcane Biomass*. [en línea]. São Paulo: Elsevier, pp. 179-196. 2018 [Consulta: 13 julio 2020]. ISBN 9780128045442. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128045343000094?via%3DIihub>.

PHANTHONG, P., REUBROYCHAROEN, P., HAO, X., XU, G., ABUDULA, A. & GUAN, G. "Nanocellulose: Extraction and application" *Carbon Resources Conversion* [en línea], 2018, vol. 1(1), pp. 32-43. ISSN 25889133. DOI 10.1016/j.crcon.2018.05.004. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2588913318300036>.

POLETO, M. & ORNAGHI, H. *Cellulose - Fundamental Aspects and Current Trends* [en línea]. InTech. 2015. [Consulta: 18 noviembre 2019]. ISBN 978-953-51-2229-6. Disponible en: <http://www.intechopen.com/books/cellulose-fundamental-aspects-and-current-trends>.

PRADO-MARTÍNEZ, M., ANZALDO-HERNÁNDEZ, J., BECERRA-AGUILAR, B., PALACIOS-JUÁREZ, H., VARGAS-RADILLOO, J. & RENTERÍA-URQUIZA, M. "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, vol. 18(3), pp. 37-51. Disponible en: <http://myb.ojs.inacol.mx/index.php/myb/article/view/357>.

PRADO, K. & SPINACÉ, M. "Isolation and characterization of cellulose nanocrystals from pineapple crown waste and their potential uses" *International Journal of Biological Macromolecules* [en línea], 2018 ISSN 0141-8130. DOI 10.1016/j.ijbiomac.2018.10.187. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014181301833976X#:~:text=Pineapple crown fibers are inexpensive and abundant source of cellulose.&text=Cellulose nanocrystals were extracted from pineapple crown waste by acid hydrolysis.&text=Nanowhisker>.

QUEZADA, J. *Determinación e información del consumo de jugo de caña pasteurizado y embotellado, en la ciudadela urdesa de la ciudad de Guayaquil y la elaboración de un plan de mercadeo* [en línea]. (Trabajo de titulación) (Tercer nivel). Universidad de Guayaquil. Guayaquil. 2015. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/7987/1/TESIS JONATHAN.pdf>.

REZANEZHAD, S., NAZANEZHAD, N. & ASADPUR, G. "Isolation of Nanocellulose from Rice Waste via Ultrasonication" *Lignocellulose*, 2013, vol. 2, Bharadwaj 2004, pp. 282-291.

RIERA, M.A., MALDONADO, S. & PALMA, R. "Residuos Agroindustriales generados en Ecuador para la Elaboracion de biplásticos" *Revista Ingeniería Industrial*, 2018, pp. 227-246. DOI 10.22320/S07179103/2018.13.

ROJAS, O. *Cellulose Chemistry and Properties: Fibers, Nanocelluloses and Advanced Materials* [en línea]. Springer International Publishing. 2016. [Consulta: 2 diciembre 2019]. Advances in Polymer Science. ISBN 978-3-319-26013-6. Disponible en: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-26015-0>.

SALAS, C., NYPELÖ, T., RODRIGUEZ-ABREU, C., CARRILLO, C. & ROJAS, O.J. "Nanocellulose properties and applications in colloids and interfaces" *Current Opinion in Colloid & Interface Science* [en línea], 2014, vol. 19(5), pp. 383-396. [Consulta: 24 noviembre 2019]. ISSN 13590294. DOI 10.1016/j.cocis.2014.10.003. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1359029414000971>.

SALDÍVAR, V. Estudio de tres variables en la obtención de pulpa celulósica, con proceso de alto rendimiento, a partir del tallo de arroz (*oryza sativa* L.). [en línea]. (Trabajo de titulación) (Tercer nivel) S.I.: Universidad Nacional Agraria La Molina. Perú. 2005. [Consulta: 30 diciembre 2020]. Disponible en: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/410/K50-S2-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

SÁNCHEZ, M., RAMOS, M., MORA, R. & JIMENÉZ, E. "Chemical Characterisation of the Industrial Residues of the Pineapple (*Ananas comosus*)" *Journal of Agricultural Chemistry and Environment* [en línea], 2014, vol. 3, pp. 53-56. [Consulta: 14 julio 2020]. DOI 10.4236/jacen.2014.32B009. Disponible en: <http://www.scirp.org/journal/jacenhttp://dx.doi.org/10.4236/jacen.2014.32B009http://dx.doi.org/10.4236/jacen.2014.32B009>.

SANTOS, J. & SILVA, C. Obtención de nanocelulosa a partir de cascarilla de arroz mediante hidrólisis ácida. [en línea]. (Trabajo de titulación) (Tercer nivel). Universidad de Guayaquil. Guayaquil. 2019. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/40057/1/401-1370%20-%20obten%20nanocelulosa%20a%20partir%20cascarilla%20arroz%20mediante%20hidr%C3%B3lisis%20%C3%A1cida.pdf>

SMYTH, M., GARCÍA, A., RADER, C., FOSTER, E. J. & BRAS, J. "Industrial Crops &

Products Extraction and process analysis of high aspect ratio cellulose nanocrystals from corn (*Zea mays*) agricultural residue" *Industrial Crops & Products* [en línea], 2017, vol. 108, pp. 257-266. ISSN 0926-6690. DOI 10.1016/j.indcrop.2017.06.006. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669017303928>.

SUBAGYO, A. & CHAFIDZ, A. *Banana Pseudo-Stem Fiber: Preparation, Characteristics, and Applications. Banana Nutrition - Function and Processing Kinetics* [en línea]. S.l.: IntechOpen, 2020. [Consulta: 13 julio 2020]. Disponible en: www.intechopen.com.

TEIXEIRA, S., ARENALES, A., EUNICE DE SOUZA, A., DA SILVA MAGALHÃES, R., VILCHE, A., AQUINO, D. & FREIRE, R. "Sugarcane bagasse: Applications for energy production and ceramic materials. *Journal of Solid Waste Technology and Management*" [en línea], 2015, vol. 41(3), pp. 229-238. [Consulta: 15 julio 2020]. ISSN 10881697. DOI 10.5276/JSWTM.2015.229. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/282776137_Sugarcane_Bagasse_Applications_for_Energy_Production_and_Ceramic_Materials.

THAKUR, M., SHARMA, A., AHLAWAT, V., BHATTACHARYA, M. & GOSWAMI, S. "Process optimization for the production of cellulose nanocrystals from rice straw derived a-cellulose" *Materials Science for Energy Technologies* [en línea], 2020, vol. 3, pp. 328-334. ISSN 2589-2991. DOI 10.1016/j.mset.2019.12.005. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589299120300045>.

THORAT, R. & BOBADE, H. "Utilization of banana pseudo stem in food applications. *Internacional Journal Agricultural Engineering*" [en línea], 2018 vol. 11, pp. 86-89. [Consulta: 15 julio 2020]. DOI 10.15740/HAS/IJAE/11. Disponible en: http://www.researchjournal.co.in/upload/assignments/11_86-89-99999.pdf.

TICSO. *Aprovechamiento residuos biomasa de produccion de piña (ananas comosus) para municipio de aguazul casanare.* [en línea]. 2014. [Consulta: 15 julio 2020]. Disponible en: http://aguazulcasanare.micolombiadigital.gov.co/sites/aguazulcasanare/content/files/000022/1068_docfinalbiomasapia_1.pdf.

TIEN, N., CHOLLAKUP, R., SMITTHIPONG, W., THIDARAT, N. & SUKYAI, P. "Characterization of Cellulose Nanocrystals Extracted from Sugarcane Bagasse for Potential Biomedical Materials" *Sugar Tech* [en línea], 2017. ISSN 0974-0740. DOI 10.1007/s12355-016-0507-1. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12355-016-0507-1#citeas>.

UPU. *Cascarilla de arroz.* [en línea]. [sin fecha] [Consulta: 13 julio 2020 a]. Disponible en:

<http://www.upv.es/resiagri/ficheros/i0106.pdf>.

UPU. *Paja de arroz*. [en línea]. [sin fecha] [Consulta: 13 julio 2020 b]. Disponible en: <http://www.upv.es/resiagri/ficheros/i0003.pdf>.

VARGAS, J., ALVARADO, P., VEGA-BAUDRIT, J. & PORRAS, M. "Caracterización del subproducto cascarillas de arroz en búsqueda de posibles aplicaciones como materia prima en procesos" *Revista Científica* [en línea], 2013, vol. 23(1). Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5069938.pdf>.

VARGAS, Y. & PERÉZ, L. "Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista Facultad de ciencias Básicas*" [en línea], 2018, vol. 1(1). [Consulta: 23 diciembre 2019]. DOI 10.18359/rfcb.3108. Disponible en: <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/view/3108>.

ZHANG, Y., GHALY, A.E. & LI, B. "Physical properties of corn residues" *American Journal of Biochemistry and Biotechnology* [en línea], 2012, vol. 8(2), pp. 44-53. [Consulta: 15 julio 2020]. ISSN 15533468. DOI 10.3844/ajbbsp.2012.44.53. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/285640286_Physical_properties_of_corn_residues.



Firmado electrónicamente por:
**JHONATAN RODRIGO
PARREÑO UQUILLAS**