



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIA

CARRERA QUÍMICA

**“OBTENCIÓN DE NANOCELULOSA MEDIANTE LA
HIDRÓLISIS ÁCIDA DE LA CÁSCARA DE SOLANUM
TUBEROSUM”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Trabajo Experimental

Presentado para optar al grado académico de:

QUÍMICO

AUTORES: RICARDO SEBASTIÁN GALARZA ESPARZA

JOSEPH ISAAC MENA DÍAZ

DIRECTOR: Dr. JORGE EFRÉN SILVA YUMI PhD.

Riobamba – Ecuador

2021

©2021, Joseph Isaac Mena Díaz & Ricardo Sebastián Galarza Esparza

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

Nosotros, JOSEPH ISAAC MENA DÍAZ y RICARDO SEBASTIÁN GALARZA ESPARZA, declaramos que el presente trabajo de integración curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de integración curricular. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 30 de agosto 2021



Joseph Isaac Mena Díaz
1720898806



Ricardo Sebastián Galarza Esparza
1804411625

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE QUÍMICA

El tribunal del trabajo de integración curricular certifica que: El trabajo de integración curricular Tipo: Trabajo Experimental, **OBTENCIÓN DE NANOCELULOSA MEDIANTE LA HIDRÓLISIS ÁCIDA DE LA CÁSCARA DE SOLANUM TUBEROSUM**, realizado por los señores: **JOSEPH ISAAC MENA DÍAZ Y RICARDO SEBASTIÁN GALARZA ESPARZA**, 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

	FIRMA	FECHA
Dr/Carlos Pilamunga Capus/PhD. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	_____	30/08/2021
Dr/Jorge Efren Silva Yumi/PhD. DIRECTOR DEL TRABAJO DE TRABAJO DE TITULACIÓN	_____	30/08/2021
Ing/ Carlos Alcibar Medina Serrano/Mgs. MIEMBRO DEL TRIBUNAL	_____	30/08/2021

DEDICATORIA

Este trabajo quiero dedicar a mi familia que han sido un gran apoyo desde el principio de mi ingreso a la universidad, especialmente lo dedico a mi abuela, Gloria Esparza, ya que sin ella no podría haber llegado hasta aquí. También a mis amigos que me han brindado una amistad completamente sincera y con los que he compartido momentos inolvidables.

Esta tesis va dedicada a mis docentes de la facultad de ciencias de la ESPOCH, ya que sin ellos no podría haber logrado esto. Espero que los conocimientos brindados en estos años se hallan aprovechado de la mejor manera.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia que han sido un apoyo fundamental en este trayecto. A mis profesores de la carrera de Química de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ellos han sido los que me han impartido los conocimientos que necesito para desarrollarme en mi profesión. Agradezco al Dr. Jorge Silva por brindar el asesoramiento durante el desarrollo de esta investigación. Por último, agradezco a mi compañero de tesis, gracias por incluirme en esta investigación y trabajar a lado mío en la mayoría de proyectos que hemos realizado.

Agradezco a muchas personas las cuales han estado presentes a lo largo de mis estudios. En primer lugar, a Dios por brindarme la salud y la sabiduría para poder lograr este proyecto. A mis padres los cuales siempre estuvieron apoyándome a lo largo de mi carrera universitaria y que sin ellos no podría haber completado nada de lo logrado. A mi familia y amigos los cuales han sido claves como apoyo moral. En este punto me gustaría agradecer especialmente a Sebastián, el cual ha sido un gran amigo y compañero, sin el cual este trabajo de titulación no sería posible. A Valeria la cual ha sido una fuente de motivación constante y de superación. A mis maestros de la Universidad, en especial al Doctor Jorge Silva, quien amablemente nos ayudó y colaboro como nuestro tutor de tesis. A si mismo al Ing. Víctor Valverde, que nos apoyó con todo el material necesario para poder llevar de la mejor manera nuestro trabajo investigativo

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO.....	5
1.1. Antecedentes.....	5
1.2. Bases Teóricas.....	6
1.2.1. Papa.....	6
1.2.2. Residuos sólidos orgánicos y sus efectos.....	7
1.2.3. Formación de los lixiviados.....	8
1.2.4. Efectos de los lixiviados.....	8
1.2.5. Celulosa.....	8
1.2.5.1. Principales fuentes de celulosa.....	9
1.2.6. Hemicelulosa.....	10
1.2.7. Lignina.....	10
1.2.8. Humedad.....	11
1.2.9. Clasificación de las estructuras de nanocelulosa.....	11
1.2.10. Extracción de nanocelulosa.....	13
1.2.10.1. Preparación de la nanocelulosa.....	13
1.2.11. Espectrofotometría de Infrarrojo.....	16
1.2.12. Microscopía electrónica de barrido.....	16
1.3. Bases conceptuales.....	17

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO.....	21
2.1. Tipos de Investigación.....	21
2.1.1. Por el método de investigación.....	21
2.1.2. Según su objetivo.....	21

2.1.3.	<i>Según su nivel de profundidad en el objeto de estudio</i>	21
2.1.4.	<i>Según su manipulación de variables</i>	21
2.1.5.	<i>Según el tipo de inferencia</i>	21
2.1.6.	<i>Según el periodo temporal</i>	22
2.1.7.	<i>Por el lugar de estudio</i>	22
2.2.	Diseño de la investigación	22
2.2.1.	<i>Diseño experimental</i>	22
2.2.1.1.	<i>Identificación de variables</i>	25
2.2.1.2.	<i>Planteamiento de la hipótesis</i>	25
2.2.1.3.	<i>Matriz de consistencia</i>	26
2.2.1.4.	<i>Operacionalización de variables</i>	27
2.2.1.5.	<i>Localización del estudio</i>	28
2.2.1.6.	<i>Población de estudio</i>	28
2.2.1.7.	<i>Tamaño de la muestra</i>	28
2.2.1.8.	<i>Técnica de recolección de datos</i>	28

CAPÍTULO III

3.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	32
3.1.	Resultados y Discusión	32
3.1.1.	<i>Datos experimentales</i>	32
3.1.2.	<i>Análisis de la cáscara de Solanum tuberosum</i>	32
3.1.2.1.	<i>Determinación de Humedad</i>	32
3.1.2.2.	<i>Determinación de porcentaje de celulosa</i>	33
3.1.2.3.	<i>Muestra de la cáscara de papa sin ningún tratamiento</i>	34
3.1.2.4.	<i>Espectro IR de la cáscara de la papa sin tratamiento experimental</i>	35
3.1.3.	<i>Resultados del microscopio electrónico de barrido</i>	35
3.1.4.	<i>Análisis de la nanocelulosa</i>	37
3.1.4.1.	<i>Espectros Ir de la nanocelulosa</i>	37
3.1.4.2.	<i>Grupos funcionales de nanocelulosa</i>	38
3.1.4.3.	<i>Comparativa de los espectros IR de nanocelulosa con la cáscara de papa sin tratamiento</i>	39
3.1.4.4.	<i>Diseño bifactorial</i>	41
3.1.4.5.	<i>Porcentaje de rendimiento obtenido de los diferentes tratamientos experimentales</i>	42

CONCLUSIONES	44
RECOMENDACIONES	45
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Diseño bifactorial.....	24
Tabla 2-2: Matriz de consistencia	26
Tabla 3-2: Operacionalización de variables	27
Tabla 4-2: Factores fisicoquímicos a variar para la obtención de nanocelulosa de la cáscara de la papa.....	30
Tabla 5-3: Calidad de la cáscara.....	32
Tabla 6-3: Porcentaje de humedad	32
Tabla 7-3: Promedio de porcentaje de humedad	33
Tabla 8-3: Datos para la determinación de porcentaje de celulosa en la cáscara de papa	33
Tabla 9-3: Grupos funcionales de referencia de la cáscara de papa.....	34
Tabla 10-3: Grupos funcionales presentes en la muestra de cáscara de papa	34
Tabla 11-3: Grupos funcionales de referencia de la nanocelulosa.....	38
Tabla 12-3: Grupos funcionales presentes en la nanocelulosa obtenida de la cáscara de Solanum tuberosum	38
Tabla 13-3: Análisis de ANOVA	41
Tabla 14-3: Comparación de rendimientos de obtención de nanocelulosa a partir del porcentaje de celulosa	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-3: Espectro IR de la cáscara de la papa <i>Solanum tuberosum</i>	35
Figura 2-3: Nanocelulosa obtenida del tratamiento 1	35
Figura 3-3: Nanocelulosa obtenida del tratamiento 2	36
Figura 4-3: Nanocelulosa obtenida del tratamiento 3	36
Figura 5-3: Nanocelulosa obtenida del tratamiento 4	36
Figura 6-3: Espectros IR del tratamiento experimental 1 de nanocelulosa obtenida de la cáscara de <i>Solanum tuberosum</i>	37
Figura 7-3: Espectros IR del tratamiento experimental 2 de nanocelulosa obtenida de la cáscara de <i>Solanum tuberosum</i>	37
Figura 8-3: Espectros IR del tratamiento experimental 3 de nanocelulosa obtenida de la cáscara de <i>Solanum tuberosum</i>	37
Figura 9-3: Espectros IR del tratamiento experimental 4 de nanocelulosa obtenida de la cáscara de <i>Solanum tuberosum</i>	38
Figura 11-3: Cáscara de papa/Tratamiento experimental 1	39
Figura 12-3: Cáscara de papa/Tratamiento experimental 2	40
Figura 13-3: Cáscara de papa/Tratamiento experimental 3	40
Figura 14-3: Cáscara de papa/Tratamiento experimental 4	40

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: RECOLECCIÓN DE LAS CÁSCARAS DE PAPA DE DIFERENTES RESTAURANTES

ANEXO B: SELECCIÓN DE LAS CÁSCARAS DE PAPA CON MEJORES CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

ANEXO C: SECADO DE LAS MUESTRAS PARA DETERMINACIÓN DE HUMEDAD ..55

ANEXO D: PESAJE DE LAS MUESTRAS SECAS PARA DETERMINACIÓN DE HUMEDAD

ANEXO E: TRATAMIENTO ALCALINO ÁCIDO ALCALINO PARA ELIMINAR LAS DIFERENTES IMPUREZAS DE LA CÁSCARA DE LA SOLANUM TUBEROSUM

ANEXO F: AGITACIÓN DE LAS MUESTRAS CON EL PRETRATAMIENTO ALCALINO ÁCIDO ALCALINO

ANEXO G: MUESTRAS DE CÁSCARA DESPUÉS DEL PRETRATAMIENTO

ANEXO H: MUESTRAS DE CÁSCARA DE PAPA DESPUÉS DEL BLANQUEAMIENTO CON PERÓXIDO DE HIDROGENO

ANEXO I: TRITURACIÓN DE LAS MUESTRAS PARA SU HIDRÓLISIS ÁCIDA

ANEXO J: MUESTRAS CON ÁCIDO SULFÚRICO 4 Y 6 M EN AGITACIÓN

ANEXO K: MUESTRAS HIDROLIZADAS DE LA PAPA CHOLA

ANEXO L: EXTRACCIÓN DE CELULOSA DE LAS CÁSCARAS DE CELULOSA PARA DETERMINAR EL RENDIMIENTO DE LA REACCIÓN

ANEXO M: CELULOSA OBTENIDA DE LA CÁSCARA DE LA PAPA

ANEXO N: CERTIFICADO DE BIBLIOTECA

RESUMEN

La creciente generación y disposición de residuos sólidos urbanos (RSU) constituye un gran problema para el medioambiente. Los rellenos sanitarios son ampliamente utilizados para la gestión de (RSU); sin embargo, pueden generar varios problemas ambientales como: contaminación de las aguas subterráneas, suelos, entre otros. En Ecuador entre los distintos tipos de residuos existentes, se encuentran los de la papa (*Solanum tuberosum*), los cuales no tienen ningún tipo de aprovechamiento. Esta investigación se plantea la posibilidad de obtener nanocelulosa a partir de la cáscara de papa. Para ello, se tomó muestras de la cáscara de papa; se analizó su composición y se determinó el contenido de humedad, así como de celulosa; posteriormente se sometió a una hidrólisis ácida para obtener la nanocelulosa. Se trabajó con temperaturas de 50 – 70 grados Celsius durante 50 minutos, y concentraciones de ácido sulfúrico (AS), 4 - 6 M. Se realizó un análisis infrarrojo de la cáscara de la papa, y del producto obtenido. Además, se realizó un análisis por microscopía electrónica de barrido (MEB) para determinar el tamaño y morfología de la nanocelulosa. El porcentaje de humedad fue del 86,1%, y el porcentaje de celulosa fue del 22,2%. El espectro infrarrojo mostró las señales características de nanocelulosa, teniendo bandas alrededor de 3335,73 cm^{-1} correspondiente a los grupos O-H, a 1367,55 cm^{-1} de los grupos C-CH₃, a 2917,47 cm^{-1} correspondientes a los grupos C-H y a 1160,16 cm^{-1} de los grupos C-O. El análisis por (MEB) mostró nanopartículas con diámetros entre 30 y 11450 nm. Se concluye que las condiciones más favorables para obtener nanocelulosa son: hidrólisis ácida con (AS) 6 M, y una temperatura de 50 grados Celsius. Por último, se recomienda variar el tiempo de hidrólisis para obtener mejores resultados con concentraciones de (AS) más diluidas.

Palabras clave: <CASCARA DE LA PAPA>, <CELULOSA>, <HIDRÓLISIS ÁCIDA>, <NANOCELULOSA>, < PAPA CHOLA (*Solanum tuberosum*)>, <RESIDUOS SOLIDOS URBANOS(RSU)>, <ÁCIDO SULFÚRICO(AS)>, < MICROSCOPIA ELECTRONICA DE BARRIDO(MEB)>.



1909-DBRA-UTP-2021

SUMMARY/ABSTRACT

The growing generation and disposal of municipal solid waste (MSW) is a major problem for the environment. Landfills are widely used for MSW management; however, they can generate several environmental problems such as: contamination of groundwater, soils, among others. In Ecuador among the different types of existing waste, there are those of the potato (*Solanum tuberosum*), which do not have any type of use. This research raises the possibility of obtaining nanocellulose from potato peel. To do this, samples were taken from the potato peel; its composition was analyzed and the moisture content, as well as cellulose, was determined; it was subsequently subjected to acid hydrolysis to obtain the nanocellulose. It was worked with temperatures of 50 – 70 degrees Celsius for 50 minutes, and concentrations of sulfuric acid (AS), 4 - 6 M. An infrared analysis of the peel of the potato and the product obtained was carried out. In addition, a scanning electron microscopy (MEB) analysis was performed to determine the size and morphology of the nanocellulose. The percentage of humidity was 86.1%, and the percentage of cellulose was 22.2%. The infrared spectrum showed the characteristic signals of nanocellulose, having bands around 3335.73 cm⁻¹ corresponding to the O-H groups, to 1367.55 cm⁻¹ of the C-CH₃ groups, to 2917.47 cm⁻¹ corresponding to the C-H groups and to 1160.16cm⁻¹ of the C-O groups. The analysis by (MEB) showed nanoparticles with diameters between 30 and 11450 nm. It is concluded that the most favorable conditions to obtain nanocellulose are: acid hydrolysis with (AS) 6 M, and a temperature of 50 degrees Celsius. Finally, it is recommended to vary the hydrolysis time to obtain better results with more dilute concentrations of (AS).

Keywords: <POTATO PEEL>, <CELLULOSE>, <ACID HYDROLYSIS>, <NANOCELLULOSE>, <CHOLA POTATO (*Solanum tuberosum*)>, <URBAN SOLID WASTE (MSW)>, <SULFURIC ACID(AS)>, <SCANNING ELECTRON MICROSCOPY (MEB)>.

INTRODUCCIÓN

Sudamérica, es una tierra llena de recursos naturales, entre ellos se encuentran los productos que se obtienen a través de la agricultura. Algunos de ellos gozan de gran popularidad en la región, por lo que son altamente consumidos en los hogares latinoamericanos. La papa *Solanum tuberosum* es uno de los tubérculos más utilizados en la cocción de diferentes platos, por lo que en países como Ecuador, Colombia o Perú tienen una alta demanda y producción. El alto consumo de este tubérculo, a su vez, también genera un gran número de desechos orgánicos, los cuales al acumularse en rellenos sanitarios pueden generar lixiviados, que son contaminantes ambientales de gran preocupación.

La finalidad de esta investigación es utilizar los residuos sólidos orgánicos (cascara) de la papa *Solanum tuberosum* para obtener nanocelulosa, el cual es un producto muy demandado en diversas industrias extraíderas. Dando así, una alternativa para utilización de los diferentes residuos generados por este tubérculo.

Planteamiento del problema

Enunciado del problema

Sudamérica es una tierra con riqueza natural, esta puede ser mineralógica, petrolera, turística, o agro ganadera. Entre todos estos recursos, tenemos uno que ha pasado desapercibido la mayoría del tiempo, porque, al ser un producto agrícola, solo ha sido aprovechado en la nutrición humana. Hacemos referencia a la *Solanum tuberosum*, un tubérculo de origen sudamericano, que se encuentra ampliamente en países como, Ecuador, Perú, Colombia, entre otros. Su producción es amplia, porque, es un producto de uso común, y empleado en diferentes platos populares de estas regiones.

El Ecuador es un país que no cuenta con una adecuada gestión de desechos sólidos, esto lo contemplamos en noticias, como la publicada por el diario El Universo (2020), donde explica que, Quito una de las más grandes ciudades del país, puede sufrir una crisis ambiental, debido a que, el relleno sanitario del INGA, se encuentra a punto de terminar su vida útil. Además, esta problemática se agrava, puesto que, este vertedero presenta problemas con los lixiviados generados por los desechos de tipo orgánico.

Los lixiviados son líquidos que percolan por los residuos sólidos depositados y que extraen sólidos disueltos o suspendidos a partir de ellos. (EMGIRS 2016). Su composición puede variar, dado que, suelen tener altas concentraciones de: nitrógeno, hierro, cloruros, fenoles y manganeso. También, puede incluir otros productos químicos como metales pesados, pesticidas o solventes (Bellver 2020). Al no ser tratados adecuadamente, pueden convertirse en potenciales contaminantes

ambientales, especialmente del agua superficial o subterránea, por esta razón, se busca evitar la formación de los mismos (Bellver, 2020).

En el país, pocas ciudades cuentan con plantas de tratamiento de agua (Instituto Nacional de Estadística y Censos 2015, p. 28), para remediar la contaminación por la formación de lixiviados. En consecuencia, varias poblaciones pueden verse afectadas con problemas de salud, debido al consumo de agua contaminada. Incluso sin ser aledañas a un vertedero.

La problemática planteada anteriormente, se agudiza, porque, el Ecuador posee una pobre cultura del reciclaje y de la separación de la basura, facilitando la mezcla de diferentes desechos en los rellenos sanitarios. Esto se debe a diversos factores, uno de ellos es, la falta de políticas que sancionen fomenten la separación y el reciclaje. Así mismo, se necesita una mayor participación de la empresa privada, ya que, si bien existen industrias en el país relacionadas con el reciclaje; la fomentación de programas o iniciativas por parte de la industria nacional, en torno al aprovechamiento de los desechos podría disminuir el flujo de desperdicios en los rellenos sanitarios.

De acuerdo con, Riera, Maldonado y Palma (2019, p. 228) , en el país se elimina sin ningún tipo de aprovechamiento 2200 millones de kilogramos de residuos agroindustriales los cuales están principalmente conformados por almidón o compuestos lignocelulósicos, los cuales tienen un gran potencial para ser utilizados después de diferentes procesos químicos (Ministerio del Ambiente y Agua 2015).

Es importante que el Ecuador, tenga un cambio de mentalidad ante la industria del reciclaje de desechos orgánicos, ya que, de estos se pueden obtener productos de alto valor en el mercado. Cabe hacer énfasis en este último punto, puesto que, el país según información del diario El Comercio (2012) en la publicación, "Ecuador, con petróleo para 20 años más", un estudio revela que el país cuenta con reservas de petróleo para 20 años más, lo que vuelve alarmante la situación del país. Se debería empezar a buscar nuevas materias primas o productos para su comercialización, los cuales ayuden a sustentar la economía del país, debido a que, el petróleo representa un 36,7% de las exportaciones del país, convirtiéndonos en dependientes de este producto (El Comercio 2012).

En el presente trabajo investigativo, nos enfocamos en los desechos generados por la cáscara de *Solanum tuberosum* o comúnmente conocida como papa chola. Ya que, los residuos generados por empresas dedicadas a la producción de papas enfundadas, restaurantes de comida rápida, o en su defecto, la basura generada por el consumo de este tubérculo en los hogares ecuatorianos es considerable. Así pues, según datos obtenidos por Riera, Maldonado y Palma (2019, p. 233), es el 7mo producto agrícola que más produce el Ecuador con una cantidad de producción de 377.243.000 de kg por año, de modo que es de suponer que los desechos producidos por la misma deben ser numerosos (Riera, Maldonado y Palma 2019).

Formulación del problema

Generación de residuos sólidos de la papa chola (*Solanum tuberosum*)

¿Es posible obtener nanocelulosa a partir de los residuos sólidos de *Solanum tuberosum*?

Justificación

La nanocelulosa es un material, que ha tenido un crecimiento de popularidad en diferentes industrias, gracias a sus propiedades estructurales y químicas. Por lo que se lo puede utilizar en diferentes cadenas productivas como: gas, adhesivos, productos de papel, textiles, cemento, plásticos, pinturas, recubrimientos, objetos de cuidado personal, atención médica, alimentos, bebidas, y electrónica (Future Markets Inc. 2019). Teniendo así, un gran campo de aplicación, además, de ser económicamente redituable ya que según un reporte de Future Markets Inc. (2019): "Nanocellulose Market, Production and Pricing Report," la demanda de nanocelulosa supera a la producción de la misma. (Future Markets Inc. 2019).

Esto se debe a diferentes factores, uno de ellos es su obtención, porque, se utilizan reactivos y equipos que son de uso común en empresas y fabricas relacionadas con la química. Además, con el beneficio de que se puede aprovechar residuos orgánicos de diferentes orígenes, en vista de que, la mayoría cuentan con celulosa en su composición.

Se eligió la cáscara de *Solanum tuberosum* como materia prima a trabajar, dado que, contiene una cantidad considerable de celulosa en su composición (alrededor del 21%) (Flor 2017, pp. 71-73), lo que, vuelve factible utilizar este desecho agrícola como objeto de estudio.

Otro motivo, por lo que, se optó el uso de la *Solanum tuberosum*, es su amplio consumo, sobre todo en la región andina del Ecuador, esto se evidencia con los datos proporcionados por Riera, Maldonado y Palma (2019, p. 233), donde el país en promedio consume 377.243.000 kg de papa al año, por lo que, la cantidad de desechos generados por el mismo debe estar en la misma proporción, volviendo a estos últimos un material deseable para convertirlo un producto de valor agregado (Riera, Maldonado y Palma 2019).

Por otra parte, la presente investigación puede contribuir, fomentar la diversificación y el desarrollo industrial del país, porque, el Ecuador, en vista de que sus reservas petrolíferas tienen aproximadamente 20 años de vida útil; podría empezar a plantearse, la creación de nueva industria relacionada con el reciclaje y el desarrollo de nuevos materiales a partir de los desechos orgánicos generados por la actividad humana. Lo que, en nuestra opinión, es otro motivo por el cual se debe aprovechar los recursos con los que ya se cuenta; pero, están siendo desperdiciados por el desconocimiento, o por la falta de investigación.

Objetivos

Objetivo General

Obtener nanocelulosa mediante la hidrólisis ácida de la cáscara de *Solanum Tuberosum*, para el aprovechamiento de los residuos sólidos de la misma.

Objetivos Específicos

- Aislar la celulosa contenida en la cáscara de la *Solanum Tuberosum* mediante hidrólisis ácida, para su posterior transformación en nanocelulosa
- Establecer las condiciones experimentales más favorables que permitan conseguir el mejor rendimiento, al momento de obtener nanocelulosa
- Determinar mediante diferentes técnicas instrumentales las características fisicoquímicas de la nanocelulosa para su posterior análisis y descripción

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

La *Solanum tuberosum* (papa Chola) es una variedad encontrada por primera vez en los altiplanos de, Perú y Bolivia, hace unos 8000 años. Desde entonces, este tipo de tubérculo ha sido consumido en toda la región sudamericana, debido a su sabor y a la facilidad de este fruto en producirse (Carrera 2018).

Ecuador, es uno de los grandes consumidores de este alimento, dado que, a nivel nacional se produce 275.346 toneladas de papa, dato que se puede evidenciar en el boletín técnico N°-01-2019, de la ESPAC (2020, p. 10). Los mayores consumidores de este producto natural son los hogares, los cuales representan un 74% del total; en segundo lugar, es la Industria relacionada con la papa la cual ocupa un 9% de este producto; por último un 17 % de papa se utiliza como semillas (Mancero 2007, p. p 10).

Este trabajo investigativo se enfoca en la utilización de estos residuos sólidos, para elaborar productos de alto valor como la nanocelulosa. La celulosa, por lo general se extrae de la madera, la cáscara de ciertos frutos, por ejemplo, el coco y el pomelo (Abraham et al. 2013; Mat Zain, Yusop y Ahmad 2014). En las algas, la celulosa, puede obtenerse de diversas especies como, *Valonia*, *Micrasterias rotata*, *Coldophora*, etc. La celulosa bacteriana, es un producto que se origina en los procesos metabólicos primarios de bacterias, como por ejemplo, *Gluconacetobacter xylinus* (Kargarzadeh, Hanieh et al. 2017, p. 8).

Presenta diversas aplicaciones potenciales a nivel industrial (envasado, construcción, electrónica, alimentos, etc) (Hansen et al. 2014, p. 1). Los materiales de nanocelulosa, son menos costosos en comparación con otros nanomateriales, además, son resistentes, ligeros y renovables (Erickson y Washington 2014, p. 26). Para el aislamiento de la celulosa y su posterior uso en la elaboración de nanomateriales; se recurre al uso de metodologías, en las cuales se procede con la eliminación de, lignina, hemicelulosa y resinas; mediante tratamientos básicos y/u oxidantes; afectando la organización cristalina, polimorfismo, estabilidad térmica y química del material celulósico (Mariano, El Kissi y Dufresne 2014, p. 794).

En 1983, a partir de la pulpa de madera mediante un proceso de homogenización, se logró producir por primera vez Nanofibras de celulosa (cellulose nanofiber, CNF) (Abdul, Bhat y Ireana 2012, p. 967), posteriormente, en el año de 1990, Rånby, obtuvo suspensiones coloides de celulosa por un proceso de degradación controlada de fibras de celulosa, esto inspiró que, Nickerson y Habrle, en sus investigaciones observarán por primera vez nanocristales de celulosa en forma de

aguja mediante la degradación inducida por ebullición, de las fibras de celulosa (Habibi, Lucia y Rojas 2010, p. 3484).

La nanocelulosa al ser un producto relevante, se han realizado diversas investigaciones para obtenerla, usando métodos que sean amigables con el ambiente; mediante el aprovechamiento de residuos agroindustriales. Por ende, se ha logrado obtener nanocelulosa de la cáscara de sandía, con rendimientos entre un 58,35 y 64,76% (García y Zegarra 2020, p. 14). Así mismo, Ochica (2015, p. 42), obtuvo Nanofibras de celulosa a partir del bagazo de la caña de azúcar, obteniendo un porcentaje de celulosa del 42%. Pech (2018, p. 53) obtuvo nanocristales de celulosa, a partir de las fibras de celulosa de, Agave Tequila Weber, con porcentajes de rendimiento de un 28%.

La nanocelulosa, es un producto que ya se ha obtenido en el país, en investigaciones como la del Boletín de Prensa N° 170 el 05 de junio desarrollado por el Senescyt (2014), donde el Ph.D. Javier Carvajal, obtuvo este material a partir de la biomasa de la tagua. O como lo refleja el trabajo de Herrera (2018, p. 16) donde extrajo nanocelulosa, a partir de las puntas de abacá.

En el país no se ha realizado ninguna investigación respecto a la obtención de nanocelulosa a partir de los residuos sólidos de la *Solanum tuberosum*; pero, en otros países, han conseguido obtener nanocristales de celulosa, a partir de otras variedades de papa. En la India, en el artículo elaborado por Raigond et al. (2018), obtuvieron nanocristales de celulosa, a partir de la cáscara de papa de la variedad Kufri Chipsona-1; los nanocristales presentaban forma de varillas, con tamaños entre 40 a 100 nm. Por otra parte, en Canadá, la investigación llevada por Chen et al. (2012); obtuvieron nanocristales de celulosa de las cáscaras de papa de la variedad Russet Burbank, con porcentajes de rendimiento entre 41-42%; las dimensiones de dichos nanocristales fue de 410 ± 181 nm.

1.2. Bases Teóricas

1.2.1. Papa

La papa, es uno de los vegetales más producidos y consumidos a nivel mundial; originaria de Los Andes. Tanto su consumo como producción se ha incrementado en países en vías de desarrollo (Devaux et al. 2010, p. 5-6). En el Ecuador, en el año 2019, la superficie cosechada de papa fue de 19.675 hectáreas, sus cultivos principales se localizan en la región Sierra, en las provincias de, Cotopaxi, Chimborazo y Carchi. La producción anual fue de 275.346 toneladas, el 43,6% de producción nacional proviene del Carchi (ESPAC 2020).

En el Ecuador, en base a un estudio realizado por el Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) en 1994, de determinó que existen 400 diferentes tipos de papa, entre las especies andígenas y phureja, pero se siembra comúnmente solo 30 tipos, de los cuales los más representativos son las variedades de, INIAP-Gabriela y Superchola. El cultivo

de papa en el país se desarrolla en terrenos irregulares, en laderas hasta con un 45% de pendiente y a una altitud entre 2.400 a 3.800 m.s.n.m (Sherwood y Pumishato 2002, p. 21-24).

Las categorías taxonómicas de la papa son:

Familia: Solanaceae

Género: Solanum

Subgénero: Potatoe

Sección: Petota

Especie: Tuberosa

Componentes principales que la papa:

- Carbohidratos: en forma de almidón (75% de la materia seca), azúcares y otros polisacáridos.
- Fibra alimentaria: se encuentra en la piel; conforma del 1 al 2% del total de la papa
- Compuestos Nitrogenados: representa del 3 al 15% de la materia seca.
- Proteínas: localizadas en el córtex y médula de la papa, dentro de las principales proteínas contenidas en la papa tenemos, albúminas 49%, globulinas 26%, pro laminas 4,3%, y glutelinas 8,3%.
- Lípidos: se encuentra mayoritariamente en la piel (0,1%)
- Vitaminas: contiene vitamina C, vitaminas hidrosolubles y liposolubles en pequeñas trazas (Isique y Sing 2017, p. 23).
- La papa contiene además lignina en concentraciones de 0,25% p/p a 1,13% p/p, celulosa de 0,77 % p/p a 3,24% p/p y hemicelulosa de 0,67% p/p a 3,01% p/p, en materia seca, en base a los resultados obtenidos por (Flor 2017, p. 71-73).

1.2.2. Residuos sólidos orgánicos y sus efectos

Gran parte de residuos sólidos orgánicos como, la cáscara de papa, cascarilla de arroz, cáscara de frutos cítricos, etc, son desechados junto con la basura común o en el peor de los casos suelen ser vertidos en alcantarillas. Por ende, al no ser reciclados apropiadamente, dichos residuos pueden causar diversos impactos ambientales, afectando los suelos, agua y ecosistemas (Vargas y Pérez 2018, p. 61). En la investigación realizada por Saval (2012, p. 34), indica que, los microorganismos presentes en el suelo, degradan estos residuos, generando lixiviados los cuales pueden infiltrarse en el subsuelo y contaminar los acuíferos, además, pueden generar malos olores.

Dentro de los efectos más destacados que generan este tipo de desechos, son, un incremento en la contaminación, provocando problemas de salud, afectando a la naturaleza, destruyendo ecosistemas y degradando la biosfera. La salud se ve afectada por la acumulación y el manejo inadecuado de los mismos, provocando la proliferación de ratas, cucarachas y mosquitos, los cuales son portadores de graves enfermedades (Mejías, Orozco y Galáan 2016, p. 32).

1.2.3. Formación de los lixiviados

La acumulación de residuos orgánicos, se degradan con mayor facilidad por la acción del, calor, el viento y la humedad; los cuales, suelen mezclarse con nitratos y fosfatos presentes en el suelo. A esta mezcla se une, además, líquidos presentes en todo tipo de envases plásticos o metálicos; compuestos de uso diario como detergentes y otros químicos; también el agua de lluvia interviene en la formación de los lixiviados. La combinación de todo lo mencionado con anterioridad, forma un líquido negro o amarillo de aspecto denso y maloliente, cuya composición puede variar dependiendo de sus grados de toxicidad, dependiendo de los elementos que lo forman (Bellver, 2020).

1.2.4. Efectos de los lixiviados

Los lixiviados son preocupantes para diferentes gobiernos y municipios a nivel mundial, debido a que pueden presentar, metales pesados y concentraciones elevadas de calcio y magnesio, amonio entre otros. Los lixiviados de un relleno sanitario en general, presentan una elevada concentración de materia orgánica, allí se encuentran altas concentraciones de organismos patógenos como la *Escherichia coli*, *Citrobacter freundii*, *Hafnia alvei*, etc. También, hay presencia de sustancias como el arsénico; un compuesto altamente cancerígeno. Dentro de los metales que suelen estar presentes en los lixiviados, tenemos; el plomo, que precede de baterías de los coches, aparatos electrónicos o plásticos, el cual, puede ocasionar lesiones cerebrales en los niños e hipertensión arterial en adultos; el mercurio, que produce lesiones renales y neurológicas; las fuentes de cadmio que producen lesiones renales y hepáticas (Ramos 2009). El control inadecuado de los lixiviados puede contaminar los suelos, aguas superficiales y acuíferos (Fernández 2006).

1.2.5. Celulosa

La celulosa es un polímero renovable, de bajo costo, ligero, con morfología única, insoluble en agua y abundante. Se la ha utilizado, en forma de fibras o derivados en diversos productos y materiales durante casi 150 años. La celulosa se encuentra distribuida en plantas superiores y animales marinos como, Tunicados. Además, podemos encontrarla en menores concentraciones en, hongos, algas, invertebrados e incluso amebas (Habibi, Lucia y Rojas 2010, p. 3480).

La celulosa, empezó a ser utilizada como materia prima en siglo XIX; pero, su estructura fue revelada completamente en la década de 1920 cuando Hermann Staudinger, descubrió que las moléculas pequeñas podían unirse a través de enlaces de valencia primarios y formar macromoléculas (Jiang 2020, p. 95).

1.2.5.1. Principales fuentes de celulosa

La celulosa, se puede extraer de una amplia gama de plantas, animales y bacterias. Es de gran importancia la fuente de donde se extrae este material, ya que, afecta el tamaño y las propiedades de la celulosa extraída (Huang, Dufresne y Lin 2019, p. 1).

- Plantas

Se ha estudiado una amplia variedad de materiales vegetales, en lo que respecta a la extracción de celulosa y nanocelulosa, incluida la, madera, el arroz, el sisal, el cáñamo, el lino, el kenaf y el coco. Las fibras de algodón, también se han utilizado como material de origen de alta calidad, aprovechando su contenido relativamente bajo de componentes no celulósicos en comparación con la madera (Kargarzadeh, Hanieh et al. 2017, p. 8 a).

- Tunicados

Los tunicados, son animales invertebrados marinos, específicamente, miembros del subfilo Tunicata. La mayoría de la investigación en esta área se ha centrado en una clase de tunicados que se conocen comúnmente como, ascidias marinas, que son, una especie de filtradores de invertebrados marinos. Los tunicados producen celulosa en el tejido exterior, denominado túnica, del que se puede extraer una fracción de celulosa purificada denominada tunicina. La celulosa tunicada está compuesta de celulosa casi pura de tipo alomorfo con alta cristalinidad (Kargarzadeh, Hanieh et al. 2017, p. 8 b).

- Algas

Las algas de varias especies, verdes, rojas, grises y marrones, también se han considerado como fuentes de celulosa y de nanocelulosa. Por ejemplo, se han utilizado *Valonia*, *Micrasterias denticulate*, *Micrasterias rotate*, *Coldophora*, *Boerogesenia* y otros tipos de algas (Kargarzadeh, Hanieh et al. 2017, p. 8 c).

- Bacterias

La celulosa bacteriana (CB), es un producto de los procesos metabólicos primarios de ciertos tipos de bacterias. La especie bacteriana, productora de CB más utilizada es, *Gluconacetobacter xylinus*. En condiciones especiales de cultivo, estas bacterias producen un gel espeso, compuesto de microfibrillas de celulosa, el cual tiene entre un 97% y un 99% de agua. La ventaja de CB, es

que es posible ajustar las condiciones de cultivo, para alterar la formación y cristalización de microfibrillas. La otra característica importante de CB, es su alta pureza química, que la distingue de los tipos de celulosa vegetal que, generalmente, se asocian con hemicelulosas y lignina. Sin embargo, tanto las celulosas sintetizadas por bacterias, como la celulosa extraída de varias plantas tienen estructuras moleculares similares (Kargarzadeh, Hanieh et al. 2017, p. 8 d).

1.2.6. Hemicelulosa

La hemicelulosa, comprende una concentración del, 20 al 30% de la pared celular de las plantas (Holtzaple 2003, p. 3060), es uno de los componentes esenciales de la pared celular, a diferencia de otros compuestos como el almidón, gomas, celulosa y pectinas. La hemicelulosa no tiene un valor comercial comparable, pero es relevante, debido a que, puede afectar en la extracción de celulosa y otros compuestos de interés. Se precipita con, etanol, después de haber sido extraída de la pared celular mediante álcali diluido (Gregory et al. 1999, p. 600). La hemicelulosa se puede dividir en cuatro tipos de polisacáridos diferentes, que son: xilanos, mananos, β -glucanos con enlaces mixtos y xiloglucanos (Heinze y Liebert 2012, p. 142-143).

Fue utilizada por primera vez en 1891 por Schulze, porque suponían, que era un precursor de celulosa. Staudinger propuso el nombre de "polosis" para evitar asociaciones erróneas con la celulosa. Se diferencia de la celulosa, puesto que, sus polímeros son cortos, con un grado de polimerización de 50-200, estas pueden ser de estructura lineal o ramificadas en Y. Generalmente es un heteropolímero, compuesto por varios azúcares (Holtzaple 2003, p. 3060-3061).

La hemicelulosa, se descompone por encima de los 200 °C, siendo de ese modo, uno de los componentes menos estables de la pared celular. Se la elimina extrayéndola con hidróxido de sodio, a una concentración entre 2 y 18%; aunque, se usa comúnmente a una concentración del 10%. El extracto después es neutralizado, precipitando hemicelulosa A, la cuál es lineal o casi lineal sin grupos carboxilo ácidos, por otra parte, la hemicelulosa B permanece en solución, la cual se precipita al agregar etanol de forma gradual (Holtzaple 2003, p. 3065-3069).

1.2.7. Lignina

La abundancia de lignina natural en la biosfera es de 300 mil millones de toneladas y aumenta cada año en 20 mil millones de toneladas (Luo y Abu Omar 2017, p. 574). La biosíntesis de lignina se divide en tres procesos, biosíntesis de monómeros de lignina, transporte y polimerización. La lignina se polimeriza en tres tipos de monolignol (alcohol sinapílico, unidad S; alcohol coniferílico, unidad G y alcohol p-cumárico, unidad H) mediante peroxidasa y lactasa. La lignina es primordial para el crecimiento y desarrollo de las plantas, mejora la rigidez de la pared celular,

las propiedades hidrófobas y permite el transporte de minerales a la planta (Liu, Luo y Zheng 2018, p. 1).

Los productos de lignina, son de bajo valor, por ejemplo, los lignosulfatos, los cuales se usan como aglutinantes, debido a su solubilidad específica en el agua. También puede ser usada como curtiente, componente de resina, antioxidantes o aerogeles. La lignina, además, presenta propiedades termoplásticas, es por ello que se la utiliza en la elaboración de ciertos productos termoplásticos, permitiendo reducir el uso de mezclas de polímeros costosos, como poliésteres, poliamidas, policaprolactona y polihidroxitirato (Windeisen y Wegener 2016, p. 7-8).

1.2.8. Humedad

Todos los alimentos, contienen agua en mayor o menor proporción. Su contenido en agua varía entre un 60 y un 95% en los alimentos naturales. En los tejidos de origen vegetal y animal, el agua, se puede encontrar de dos formas: “agua libre” y “agua ligada”. El agua libre o adsorbida, que es la forma común, proviene de la humedad del medio ambiente, por lo que se libera con gran facilidad. El agua ligada, se halla combinada o absorbida; se encuentra en los alimentos como agua de cristalización o ligada a las proteínas, moléculas de sacáridos y absorbida sobre la superficie de las partículas coloidales. (UNAM 2007, p. 1).

1.2.9. Clasificación de las estructuras de nanocelulosa

Los diversos tipos de Nanocelulosa, pueden clasificarse en diferentes subcategorías según su, forma, dimensión, función y método de preparación, que a su vez dependen principalmente de la fuente celulósica y las condiciones de procesamiento (Huang, Dufresne y Lin 2019, p. 2).

- **Celulosa microcristalina.**

La celulosa microcristalina o microcrystalline cellulose (MCC), es un material de celulosa en partículas, disponible comercialmente, que se prepara mediante hidrólisis de celulosa con ácido mineral diluido. Consiste en grandes multiagregados de nanocristales que están unidos entre sí. El MCC comercial, puede encontrarse en forma de partículas esféricas o en forma de varilla con tamaños de 10 a 200 nm (Kargarzadeh, Hanieh, et al. 2017, p. 9).

- **Microfibrillas de celulosa**

Las microfibrillas de celulosa o cellulose microfibrils (CMF), se puede producir mediante el refinamiento mecánico intensivo de la pulpa de celulosa purificada. Se considera que las CMF,

contiene múltiples agregados de nanofibrillas elementales. Las microfibrillas, tienen un ancho de 20 a 100 nm y una longitud de 500 a 2000 nm (Kargarzadeh, Hanieh. et al. 2017, p. 11).

- **Nanofibrillas de celulosa**

Las nanofibrillas de celulosa o cellulose nanofibrils (CNF), consisten en haces estirados (agregados) de nanofibrillas elementales que se construyen a partir de dominios cristalinos amorfos alternos. Los CNF pueden tener 20 a 50 nm de ancho y 500 a 2000 nm de largo. Los CNF, se producen generalmente por deslaminación mecánica de la pulpa de madera blanda, en homogeneizadores de alta presión (HPH), sin ningún pretratamiento, o después de un pretratamiento químico o enzimático (Kargarzadeh, Hanieh. et al. 2017, p. 11).

- **Nanocristales de celulosa**

Los nanocristales de celulosa o Cellulose nanocrystals (CNC), presentan una forma similar a la de una varilla y tiene una flexibilidad muy limitada en comparación con las CNF, debido a su mayor cristalinidad. Los CNC, también se conocen como celulosa nanocristalina, nanovarillas, y cristales de celulosa en forma de varilla. Las partículas nanocristalinas se generan por la división de dominios amorfos, así como por la ruptura de contactos cristalinos locales entre nanofibrillas, a través de la hidrólisis con ácidos altamente concentrados (6-8 M). Este proceso químico, es seguido por tratamientos mecánicos o ultrasónicos de alta potencia. Una característica importante de los CNC preparados con ácido sulfúrico (AS), es la carga de partículas negativa debido a la formación de grupos éster sulfato, lo que mejora la estabilidad de fase de las partículas nanocristalinas en un medio acuoso. Las dimensiones geométricas de los CNC, pueden variar ampliamente, con un diámetro en el rango de 5 a 50 nm y una longitud en el rango de 100 a 500 nm (Kargarzadeh, Hanieh. et al. 2017, p. 11-12).

Las dimensiones y cristalinidad de un CNC, dependen de la fuente de celulosa y las condiciones de extracción. Los CNC, extraídos de materiales de celulosa pura exhiben una mayor cristalinidad. Las partículas de celulosa nanocristalina, exhiben excelentes propiedades mecánicas. El módulo teórico de Young de un CNC a lo largo del eje de la cadena de celulosa, se estima en 167,5 GPa, que es similar al módulo de Kevlar e incluso superior al módulo del acero. Al igual que otros tipos de NC, los CNC, también se pueden funcionalizar con éxito para reducir la hidrofobicidad y facilitar la incorporación de las nanopartículas modificadas en una matriz de polímero hidrofóbico (Kargarzadeh, Hanieh et al. 2017, p. 11-12).

- **Nanocelulosa amorfa**

La Amorphous Nanocellulose (ANC) o nanocelulosa amorfa, se puede obtener mediante la hidrólisis ácida de la celulosa regenerada con la posterior desintegración por ultrasonido. Las partículas de ANC, generalmente tienen una forma elíptica con diámetros promedio de 50 a 200 nm. Debido a su estructura amorfa, exhibe características específicas, tales como mayor contenido de grupos funcionales, alta accesibilidad, mejor absorción y mayor capacidad de espesamiento. Sin embargo, las partículas de ANC, tienen malas propiedades mecánicas y no son adecuadas para su uso como nanorrellenos de refuerzo. Por lo tanto, las aplicaciones principales de ANC, son como portadores de sustancias bioactivas y agentes espesantes en varios sistemas acuosos. (Kargarzadeh, Hanieh. et al. 2017, p. 13).

1.2.10. Extracción de nanocelulosa

Existen diferentes metodologías para la adecuada extracción de nanocelulosa, a continuación, se describirá varios de ellos, así como la importancia del pretratamiento en la materia prima (Kargarzadeh, Hanieh. et al. 2017).

1.2.10.1. Preparación de la nanocelulosa

El aislamiento de la nanocelulosa de varias fuentes orgánicas se realiza, usualmente en tres pasos. El primero, es la purificación de la materia prima para eliminar los componentes no celulósicos del material vegetal y aislar la celulosa purificada. La purificación se puede realizar, por ejemplo, con hidróxido de sodio o potasio, seguido de blanqueo con clorito de sodio. Este procedimiento, se puede repetir varias veces para una purificación más eficaz de la celulosa.

El segundo, es un tratamiento químico controlado; generalmente hidrólisis ácida, que se utiliza para dividir los dominios amorfos, eliminar los contactos cristalinos de interfibrillas locales y liberar la nanocelulosa; por último, se realiza el tercer paso, el cual consiste en un tratamiento mecánico o ultrasónico (Kargarzadeh, Hanieh. et al. 2017, p. 18-22).

- **Pretratamiento**

El pretratamiento adecuado de las fibras de celulosa, promueve la, accesibilidad, aumenta la superficie interna, altera la cristalinidad, rompe los enlaces de hidrógeno y aumenta la reactividad de la celulosa (Huang, Dufresne y Lin 2019, p. 27). La elección del método de pretratamiento, depende de la fuente de celulosa, y en menor grado de su morfología. El pretratamiento de materiales

vegetales, promueve la eliminación total o parcial de componentes distintos de la celulosa (hemicelulosa y lignina) y el aislamiento de fibras individuales posteriores.

El pretratamiento busca los métodos más eficientes, para facilitar la delaminación de la pared celular, liberar fibrillas de tamaño nanométrico y polimorfismo de la celulosa. Se utiliza reactivos de naturaleza básica, ya que, estos permiten una oxidación selectiva de la lignina, y así, las fibras de celulosa, sean más propensas a la hidrólisis ácida, la cual es un paso fundamental para la obtención de la nanocelulosa (Kargarzadeh, Hanieh et al. 2017, p. 27).

- **Pretratamiento alcalino-ácido-alcalino**

Este pretratamiento incluye tres pasos: (i), remojo de las fibras vegetales en hidróxido de sodio con concentraciones del 12 al 17,5% en peso durante 2 horas en una relación 1:20 g/ml, con el fin de aumentar la superficie de la fibra y hacer que las fibras sean más susceptibles a la hidrólisis; (ii), tratamiento de las fibras con una solución de ácido clorhídrico, 1M, a una temperatura entre 60-80 °C, para hidrolizar la hemicelulosa; y (iii), tratar las fibras con una solución de NaOH al 2% en peso durante 2 horas, a temperaturas entre 60-80 °C, para romper la estructura de la lignina. (Kargarzadeh, Hanieh et al. 2017, p. 28).

- **Blanqueamiento**

En este proceso, la pulpa puede blanquearse, para eliminar la lignina residual y otras impurezas, sin cambios en la cristalinidad o polimorfismo de la celulosa. Tras el proceso de blanqueo, se obtiene celulosa blanca, con una resistencia mejorada al envejecimiento. Se pueden usar varios agentes blanqueadores, tales como, peróxido de hidrógeno, oxígeno, ozono, ácido peracético, clorito de sodio, cloro y dióxido de cloro. Entre los agentes blanqueadores, el oxígeno y el dióxido de cloro son los más populares (Kargarzadeh, Hanieh. et al. 2017, p. 28).

- **Efecto del tamaño de la partícula en la cinética de la reacción**

Las partículas más pequeñas dan como resultado una mayor velocidad de reacción; porque, la superficie del reactivo se ha incrementado (BAYER 2012).

- **Hidrólisis ácida**

Para liberar la nanocelulosa, la hidrólisis ácida del material celulósico purificado, se lleva a cabo utilizando ácidos minerales fuertes, con concentraciones entre 6M a 8M; en condiciones controladas de, temperatura, tiempo, agitación y relación ácido/celulosa. Se pueden utilizar

diferentes ácidos minerales para este fin, como, ácido sulfúrico, ácido clorhídrico, ácido fosfórico, ácido maleico, ácido bromhídrico, ácido nítrico y ácido fórmico; o mezcla compuesta de ácido clorhídrico con ácidos orgánicos (acético o butírico). El ácido sulfúrico, es el más utilizado para la preparación de nanocelulosa. Durante la hidrólisis, los dominios amorfos y los contactos interfibrilares locales de la celulosa, se hidrolizan; mientras que los cristales estables permanecen intactos y pueden aislarse como partículas nanocristalinas en forma de varilla (Kargarzadeh, Hanieh et al. 2017, p. 18).

La nanocelulosa separada en un ácido fuerte, se diluye con agua y se lava mediante sucesivas centrifugaciones. Se realiza una neutralización con agua destilada para eliminar el ácido libre de la nanocelulosa obtenida. Kargarzadeh, Hanieh et al. (2017, p. 18); han informado pasos adicionales como filtración, centrifugación o ultra centrifugación, así como desintegración mecánica o por ultrasonidos. Si los CNC, se preparan mediante la hidrólisis de celulosa con ácido clorhídrico, las partículas nanocristalinas no cargadas tienden a flocular en dispersiones acuosas. Por otro lado, cuando se usa ácido sulfúrico, como agente hidrolizante, reacciona con los grupos hidroxilo de la superficie de la nanocelulosa, dando lugar a la formación de grupos sulfónicos cargados negativamente. La hidrólisis ácida de las cadenas de celulosa en dominios amorfos, implica la protonación rápida de oxígeno glucosídico u oxígeno cíclico, seguida de una división lenta de los enlaces glucosídicos inducida por la adición de agua. Este proceso de hidrólisis produce dos fragmentos de cadena más cortos, al tiempo que conserva la estructura básica de la columna vertebral (Kargarzadeh, Hanieh. et al. 2017, p. 18).

Además, de la escisión de la cadena; la hidrólisis de celulosa con ácido sulfúrico, también implica una esterificación parcial de los grupos hidroxilo. La presencia de grupos sulfato da como resultado la superficie cargada negativamente en la nanocelulosa. Esto produce una estabilización, a través de las fuerzas de repulsión de capas dobles eléctricas, la cual, es muy eficiente para prevenir la agregación de los CNC. Sin embargo, la introducción de grupos sulfato, compromete la termo estabilidad del NC.

Por lo general, al utilizar ácidos concentrados, con tiempos de reacción más largos y temperaturas elevadas, conducen a una carga superficial más alta, además, de tamaños más estrechos; pero genera, rendimientos más bajos, una cristalinidad y estabilidad térmica más bajas de los nanocristales de celulosa (Kargarzadeh, Hanieh. et al. 2017, p. 20).

- **Tratamiento de los nanocristales con Ultrasonido**

Las ondas acústicas, de naturaleza, no se pueden absorber por las moléculas, por lo que se tienen que transformar en una forma químicamente útil, a través, de un proceso indirecto y complejo llamado cavitación. Como todos los sonidos, los ultrasonidos se propagan a través de una serie de olas de compresión y expansión, que se desplazan a través de un medio, el ciclo de expansión

de los ultrasonidos origina suficiente presión negativa como para romper las fuerzas de cohesión de las moléculas del líquido, separándolas localmente, creando una micro cavidad o burbuja (GIDOLQUIM 2014).

A lo largo de varios ciclos acústicos, la cavidad va aumentando, hasta lograr finalmente una medida crítica con la cual puede absorber eficientemente energía de la irradiación ultrasónica. En este punto, la cavidad puede crecer de manera adecuada. Sin esta energía, la cavidad no se puede mantener y el líquido que lo rodea entra violentamente a la cavidad, ocasionando su implosión (GIDOLQUIM 2014).

Esta implosión de la cavidad, crea un entorno favorable para reacciones químicas. La rápida compresión de los gases y vapor en el centro de la burbuja, provoca temperaturas y presiones enormes, de hasta 5000 °C y 1000 atm, respectivamente. Dado que, las burbujas son muy pequeñas en comparación con el volumen del líquido que hay alrededor, el calor generado se disipa rápidamente, con lo cual, las condiciones ambientales son esencialmente inalteradas. Además, el rápido colapso, también genera ondas de choque que pueden inducir efectos mecánicos.

1.2.11. Espectrofotometría de Infrarrojo

De acuerdo con, Skoog, Holler y Crouch (2007, p. 455), esta técnica es ampliamente utilizada para la determinación de grupos funcionales en compuestos orgánicos. Además, las aplicaciones más importantes de esta región espectral se encuentran en el análisis cuantitativo de materiales industriales, materiales agrícolas y en los procesos de control.

Otro motivo de gran importancia para utilizar este método, es que diversas investigaciones como las de, Herrera (2018), o la realizada por Pulido et al. (2016), permite conocer los cambios estructurales de la muestra antes y después del tratamiento químico, así también conocer en forma cualitativa la composición, en este caso de la nanocelulosa, para poder verificar la celulosa contenido en este material.

1.2.12. Microscopía electrónica de barrido

Es una técnica de caracterización, que permite conocer la morfología y el tamaño de las partículas obtenidas después del tratamiento químico, lo que ayuda a determinar varios factores necesarios para el análisis del producto obtenido. Esto se respalda con varios autores como lo dicho por Huang, Dufresne y Lin (2019), el cual recomienda esta técnica para la caracterización de la nanocelulosa. El uso de este método también se puede observar en varias investigaciones relacionadas con la nanocelulosa como las realizadas por: Herrera (2018) y Pulido et al. (2016).

1.3. Bases conceptuales

Blanqueamiento

Productos oxidantes utilizados para purificar de los compuestos no deseados de una muestra

Celulosa

La celulosa. está conformada por unidades de anhidroglucosa (AGUs), unidas mediante enlace β -1,4-glicosídico, cada unidad posee tres grupos funcionales hidroxilo (uno primario y dos secundarios), además la AGU puede formar enlaces de hidrógeno internos, los cuales, dificultan la rotación de los anillos glucopiranosícos, aumento la rigidez de las cadenas de celulosa. Los enlaces de hidrógeno intra e intermoleculares fuertes, son constituyentes de celulosa y son, ordenados, rígidos, fuertes, inaccesibles al agua y a ciertos reactivos químicos; por otra parte, si los enlaces de hidrógenos son débiles contribuyen un incremento en la hidrofilia y accesibilidad de materiales de celulosa (Kargarzadeh, Hanieh et al. 2017, p. 5).

Celulosa microcristalina

La celulosa microcristalina, se deriva de la α -celulosa despolimerizada y purificada, a partir, de plantas fibrosas. Esta constituye la fracción solida de bajo peso molecular, resistente a la hidrólisis parcial controlada de la celulosa en medio ácido. Es un producto blanco, inodoro, libre de contaminantes orgánicos e inorgánicos (García, Bordallo y Cordero 2006).

Espectroscopia de Infrarroja (IR)

Esta espectroscopia infrarroja, se fundamenta en la absorción de la radiación IR, por las moléculas en vibración. Una molécula absorberá la energía de un haz de luz infrarroja, cuando dicha energía incidente sea igual a la necesaria, para que, se dé una transición vibracional de la molécula. Es decir, la molécula comienza a vibrar de una determinada manera gracias a la energía que se le suministra mediante luz infrarroja (Nakamoto 2008, p. 3-5).

Hemicelulosa

La hemicelulosa, es un heteropolisacárido formado, por un conjunto heterogéneo de polisacáridos y por un solo tipo de monosacáridos, los cuales, están unidos por enlaces β (1-4), que forman una

cadena lineal ramificada. Entre los monosacáridos que destacan, tenemos, la glucosa, la galactosa o la fructosa (Ebringerová, Hromádková y Heinze 2005, p. 4).

Hidrólisis ácida

Rompimiento de uno o más enlaces, por acción de ácido, en un compuesto que usualmente es origen orgánico.

Humedad

La humedad es una propiedad que describe el contenido de agua presente en un objeto, el cual se puede expresar en términos de varias magnitudes (UNAM 2007, p. 1).

Lignina

La lignina, es un polímero estable de residuos fenilpropanóicos, los cuales en su mayoría se encuentran metoxilados (Bermek y Eriksson 2009, p. 373). Es uno de los principales componentes de la pared celular vegetal, de elevado peso molecular, con una composición y estructura compleja (Liu, Luo y Zheng 2018, p. 1).

Lixiviados por residuos orgánicos

La materia orgánica presente en los residuos sólidos, se degrada formando un líquido contaminante, de color negro y de olor muy penetrante, denominado lixiviado. Además, este líquido arrastra todo tipo de sustancias nocivas; se han encontrado hasta 200 compuestos diferentes, algunos, tóxicos y hasta cancerígenos. La humedad de los residuos y la lluvia, son los dos factores principales que aceleran la generación de lixiviados (Fernández 2006).

Microfibrillas de celulosa

Son una matriz ordenada de 1-4-D-glucanos, formando una fibra de 3 nm de diámetro y longitud indefinida. Debido al alto grado de orden, las microfibrillas de celulosa son birrefringentes, tienen alta resistencia a la tracción, además, resisten el ataque químico y enzimático. En las paredes celulares primarias, las fibrillas están separadas entre sí por polisacáridos, en particular xiloglucano, arabinoxilano y polisacáridos pécticos, mientras que, en las paredes secundarias se agrupan varias fibrillas llamadas fibrillas elementales, para formar una microfibrilla (Cosgrove 2012).

Microscopio Electrónico de Barrido

El microscopio electrónico de barrido (SEM), utiliza un haz de electrones en lugar de un haz de luz, para formar una imagen. Para lograrlo, el equipo cuenta con un dispositivo, llamado, filamento; genera un haz de electrones para iluminar la muestra y con diferentes detectores, se recogen después los electrones generados de la interacción con la superficie de la misma para crear una imagen que refleja las características superficiales, proporcionando información de la, forma, textura y composición química de sus constituyentes (SCAI 2016).

Nanocelulosa

La nanocelulosa son un derivado de la celulosa, que se puede obtener a través de la hidrólisis ácida de la celulosa, donde la celulosa se expone al ácido sulfúrico a temperatura y tiempo controlados (Deshmukh et al. 2017, p. 36).

Nanofibrillas de celulosa

Las nanofibrillas de celulosa (CNF), están hechas de fibra derivada de la madera (pulpa) que ha sido microrefinada al nivel nano de varias centésimas de una micra y más pequeña (Kargarzadeh, Hanieh. et al. 2017).

Papa

La papa (*Solanum tuberosum*) pertenece a la familia de las solanáceas de plantas con flores. Se originó y fue domesticada por primera vez en las montañas de los Andes de Sudamérica. Hay más de 2,000 variedades conocidas dentro del género Solanum. Tienen diferentes tamaños, colores y formas (Sherwood y Pumishato 2002).

Plantas

Organismo vivo que crece sin poder moverse, en especial el que crece fijado al suelo y se nutre de las sales minerales y del anhídrido carbónico que absorbe por las raíces o por los poros de las hojas (Léxico 2020).

Residuos sólidos orgánicos

Los residuos orgánicos, son biodegradables, se componen naturalmente y tiene la propiedad de poder degradarse, transformándose en otra materia orgánica. Los residuos orgánicos se componen de, restos de comida y restos vegetales de origen domiciliario (RSU 2019).

Ultrasonido

Loa ultrasonidos, se definen como sonidos de frecuencia más allá de lo perceptible por el odio humano. Los ultrasonidos, se pueden usar como alternativa a otras técnicas para activar reacciones químicas (GIDOLQUIM 2014).

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Tipos de Investigación

2.1.1. *Por el método de investigación*

La investigación tiene un enfoque cuantitativo, porque la mayoría de los datos que se obtendrá en la investigación son cuantificables, debido a que, para comprobar lo planteado en la hipótesis, se necesita la medición de varios factores presentes en el trabajo como: tamaño de partícula, concentración de varios reactivos, tiempo entre otros.

2.1.2. *Según su objetivo*

Es del tipo aplicada, porque procederemos a realizar procesos y técnicas ya establecidas, que nos permitirá obtener la nanocelulosa.

2.1.3. *Según su nivel de profundidad en el objeto de estudio*

Es explicativa, porque busca determinar las causas y efectos al variar diferentes parámetros en la elaboración de la nanocelulosa.

2.1.4. *Según su manipulación de variables*

Nuestra investigación es de tipo experimental, ya que tenemos completo control sobre las variables a investigar; debido a que se pretende realizar toda la experimentación en un laboratorio.

2.1.5. *Según el tipo de inferencia*

Este tipo de investigación es hipotética-deductiva. Porque, se busca saber las mejores condiciones para obtener nanocelulosa, así como determinar si es factible obtener este material a partir de la cáscara de la papa chola. Por lo que nuestra investigación, está sujeta a la comprobación de hipótesis planteadas previamente.

2.1.6. Según el periodo temporal

Es del tipo, transversal. Porque, nuestro proyecto investigativo se desarrolla en un periodo de tiempo fijo y corto.

2.1.7. Por el lugar de estudio

El presente trabajo de investigación, se lo realizará en un laboratorio, debido a que, este presenta un ambiente controlado sobre las variables de estudio con las que se trabajará en la obtención de nanocelulosa, a partir, de la hidrólisis ácida de la cáscara de *Solanum tuberosum*.

2.2. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación, es experimental en donde se analiza y manipula las variables.

2.2.1. Diseño experimental

Diseño bifactorial completamente al azar

Considere los factores A y B con a y b ($a, b \geq 2$) niveles de prueba, respectivamente. Con ellos se puede construir el arreglo o diseño factorial $a \times b$, el cual consiste en $a \times b$ tratamientos. Algunos casos particulares de uso frecuente son: la factorial 2^2 , la factorial 3_2 y la factorial 3×2 . Se llama *réplica* a cada corrida completa del arreglo factorial. Los diseños factoriales que involucran menos de cuatro factores por lo regular se corren replicados para tener la potencia necesaria en las pruebas estadísticas sobre los efectos de interés. Si se hacen n réplicas, el número total de corridas experimentales es $n(a \times b)$.(Pulido 2008)

El diseño aplicado en esta investigación es completamente al azar bifactorial 2^2

Análisis estadístico

El método estadístico que se utilizó para el análisis de los datos obtenidos, es el ANOVA bifactorial 2^2 , porque con un diseño factorial 2^2 se estudia el efecto de dos factores considerando dos niveles en cada uno. Cada réplica de este diseño consiste de $2 \times 2 = 4$ combinaciones o tratamientos que se pueden denotar de diferentes maneras (Gutiérrez y Salazar, 2008, p.168).

La notación de signos $+$, $-$ es muy práctica para escribir las matrices de diseño; esta notación, combinada con la de Yates permite representar y calcular fácilmente los efectos de interés. La

notación con letras A+, A- se utiliza para escribir, al final del análisis del experimento, el mejor punto o tratamiento ganador que se ha encontrado (Gutiérrez y Salazar 2008, p. 168).

La notación de Yates [(1), a, b, ab] tiene un significado diferente a las demás: con ella se representa el total o la suma de las observaciones en cada tratamiento, más que al tratamiento mismo. Hay que observar que la lógica de la notación de Yates es la siguiente: si una letra minúscula está presente, entonces el factor correspondiente se encuentra en su nivel alto; si está ausente, el factor está en su nivel bajo; por ejemplo, ab se refiere al tratamiento en el que los factores A y B están en su nivel alto.

Para el cálculo de los efectos hay que tener en cuenta que hay tres efectos de interés: los dos efectos principales (A y B) y el efecto de interacción (AB). Con el uso de la notación de Yates podemos ver que, si cada tratamiento se corre n veces, entonces la media de Y en el nivel alto de A es $(a + ab) / 2n$ y en el nivel bajo es $(b + (1)) / 2n$. De aquí, y de la definición de efecto dada en el capítulo anterior, el efecto A se calcula como (Gutiérrez y Salazar 2008, p. 169):

$$\text{Efecto A} = \frac{1}{2n} [a + ab - b - (1)] = \frac{[a + ab]}{2n} - \frac{[b + (1)]}{2n}$$

Formula obtenida de: Gutiérrez y Salazar, 2008.

Y el efecto de B es:

$$\text{Efecto B} = \frac{1}{2n} [b + ab - a - (1)] = \frac{[b + ab]}{2n} - \frac{[a + (1)]}{2n}$$

Formula obtenida de: Gutiérrez y Salazar, 2008.

El efecto de interacción entre los factores A y B está dado por la diferencia entre el efecto de A en el nivel alto de B y el efecto de A en el nivel bajo de B, esto es:

$$\text{Efecto AB} = \frac{1}{2n} [ab + (1) - a - b] = \frac{[ab - b]}{2n} - \frac{[a - (1)]}{2n}$$

Formula obtenida de: Gutiérrez y Salazar, 2008.

Las expresiones matemáticas que definen los contrastes para los tres efectos A, B Y AB en el diseño bifactorial 2^2 están dados por:

- Contraste A= [a + ab - b - (1)]
- Contraste B= [b + ab - a - (1)]
- Contraste AB= [ab + (1) - a - b]

Formulas obtenidas de: Gutiérrez y Salazar, 2008.

Son contrastes por el hecho de que son combinaciones lineales donde los coeficientes suman cero ($1 + 1 - 1 - 1 = 0$). Una vez obtenido el contraste, el efecto correspondiente se obtiene dividiéndolo entre la constante que lo convierta en una diferencia de medias; este número es la mitad de las observaciones hechas en el experimento (Gutiérrez y Salazar 2008, p. 170).

Para obtener el ANOVA se necesita calcular la suma de cuadrados de cada uno de los efectos, las sumas de cuadrados se pueden obtener ya sea de los efectos o directamente de los contrastes.

Una vez obtenidos los contrastes se procede a estimar los efectos, dividiendo éstos por la constante que los convierte en diferencias de medias. En particular el diseño factorial 2^2 que está constante es $2n$. Para investigar cuáles de los tres efectos están activos o son significativos se procede a probar las hipótesis dadas por:

$$H_0: \text{Efecto } A = 0$$

$$H_0: \text{Efecto } B = 0$$

$$H_0: \text{Efecto } AB = 0$$

Formulas obtenidas de: Gutiérrez y Salazar, 2008.

Cada una contra la alternativa de que el efecto en cuestión es diferente de cero. Estas hipótesis se prueban con el análisis de varianza (Gutiérrez y Salazar, 2008, p.172).

Para obtener las sumas de cuadrados para cada efecto se aplica el resultado sobre contrastes y resultan las expresiones dadas por:

$$SC_A = \frac{[a + ab - b - (1)]^2}{n2^2}$$

$$SC_B = \frac{[b + ab - a - (1)]^2}{n2^2}$$

$$SC_{AB} = \frac{[ab + (1) - a - b]^2}{n2^2}$$

Formulas obtenidas de: Gutiérrez y Salazar, 2008.

Donde cada una de ellas tiene sólo un grado de libertad, debido a que cada factor tiene únicamente dos niveles. La suma de cuadrados totales se calcula con la expresión:

Tabla 1-2: Diseño bifactorial

FV	SC	GL	CM	F ₀	Valor-p
A	SC _A	1	CM _A	CM _A / CM _E	P(F>F ₀)
B	SC _B	1	CM _B	CM _B / CM _E	P(F>F ₀)
AB	SC _{AB}	1	CM _{AB}	CM _{AB} / CM _E	P(F>F ₀)
Error	SC _E	4(n-1)	CM _E		
Total	SC _T	n ² -1			

Fuente: Gutiérrez y Salazar, 2008.

Realizado por: Mena, Joseph; Galarza, Ricardo, 2021.

$$SC_r = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{l=1}^n Y_{ijl}^2 - \frac{Y_{...}^2}{n2^2}$$

Formulas obtenidas de: Gutiérrez y Salazar, 2008.

Y tiene $n2^{2-1}$ grados de libertad, es decir, el total de observaciones en el experimento menos uno. La suma de cuadrados del error se calcula por diferencia: $SCE = SCT - SCA - SCB - SCAB$ y tiene $(n2^{2-1}) - 3 = 4(n-1)$ grados de libertad (Gutiérrez y Salazar 2008, p. 172).

La tabla de ANOVA del diseño factorial 2^2 con n réplicas se presenta a continuación

Las sumas de cuadrados divididas entre sus respectivos grados de libertad se llaman cuadrados medios. Los dos que más interesan son el cuadrado medio de tratamientos y el cuadrado medio del error, que se denotan por:

$$CM_{A,B,AB} = \frac{SC_{A,B,AB}}{k-1} \text{ y } CM_E = \frac{SCE}{N-K}$$

Formulas obtenidas de: Gutiérrez y Salazar, 2008.

Una vez obtenido estos valores y en base a tablas se puede realizar la respectiva inferencia estadística, y determinar si los tratamientos tuvieron o no efecto.

Se aplicó este análisis de varianza para el procesamiento de datos obtenidos luego de la experimentación, ya que permite determinar los efectos individuales de la concentración y temperatura, así como, la interacción de ambas en el tamaño de partícula.

2.2.1.1. Identificación de variables

Variable dependiente

Nanocelulosa.

Variable independiente

Residuos sólidos (cascara) de *Solanum tuberosum*.

2.2.1.2. Planteamiento de la hipótesis

Al someter a los diversos procesos como el de pretratamiento alcalino-ácido-alcalino, blanqueamiento, hidrólisis ácida y ultrasonido, variando las condiciones de temperatura y concentración de reactivos, se obtendrá nanocelulosa a partir de los residuos sólidos de la *Solanum tuberosum*.

2.2.1.3. Matriz de consistencia

Tabla 2-2: Matriz de consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables
Problema General	Objetivo General	Hipótesis general	Variable independiente
¿Es posible obtener nanocelulosa por medio de hidrólisis ácida, a partir de los residuos sólidos(cascara) de <i>Solanum tuberosum</i> ?	Obtener nanocelulosa mediante la hidrólisis ácida de la cáscara de <i>Solanum tuberosum</i> , para el aprovechamiento de los residuos sólidos de la misma	Se obtiene nanocelulosa ente 1 y 100 nanómetros de los residuos sólidos (cascara) de la <i>Solanum tuberosum</i> .	Residuos sólidos (cascara) de la <i>Solanum tuberosum</i> Indicador: (Concentración, temperatura)
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específica	Variable dependiente
¿Es posible aislar la celulosa contenida en la cáscara de la <i>Solanum tuberosum</i> ?	Aislar la celulosa contenida en la cáscara de la <i>Solanum tuberosum</i> mediante hidrólisis ácida, para su posterior transformación en nanocelulosa	Se aísla y se transforma la celulosa contenida en la cáscara de la <i>Solanum tuberosum</i> mediante hidrólisis ácida.	Nanocelulosa Indicador: (Tamaño de la muestra)
¿Es posible establecer las condiciones experimentales más favorables para conseguir el mejor rendimiento?	Establecer las condiciones experimentales más favorables que permitan conseguir el mejor rendimiento, al momento de obtener los nanocelulosa	En base a la experimentación, se establece las mejores condiciones para conseguir el mejor rendimiento de extracción de nanocelulosa	
¿Es posible establecer mediante técnicas experimentales las características fisicoquímicas de los nanocelulosa?	Determinar mediante diferentes técnicas instrumentales las características fisicoquímicas de los nanocelulosa para su posterior análisis y descripción	Se determina la presencia de celulosa por espectrometría IR, además de partículas de entre 1 y 100 nanómetros por microscopia electrónica de barrido	

Realizado por: Mena, Joseph; Galarza, Ricardo, 2020.

2.2.1.4. Operacionalización de variables

Tabla 3-2: Operacionalización de variables

VARIABLE	CONCEPTO	CATEGORIA	INDICADOR	MÉTODO/TÉCNICA/INSTRUMENTO
<p>Variable dependiente: Nanocelulosa</p>	<p>Presentan una forma alargada similar a la de varilla, Las partículas de nanocelulosa se generan por la división de dominios amorfos, así como por la ruptura de contactos cristalinos locales entre nanofibrillas, a través de la hidrólisis con ácidos altamente concentrados</p>	<p>Tamaño de las partículas de nanocelulosa</p>	<p>Favorable (partículas entre 1 y 100 nm), Desfavorable (partículas superiores a 100 nm)</p>	<p>Microscopia Electrónica de barrido</p>
<p>Variable independiente Residuos sólidos (cascara) de la <i>Solanum Tuberosum</i>:</p>	<p>Residuos generados por la <i>Solanum Tuberosum</i> (papa chola), debido a la mala gestión de los municipios respecto a la basura generada por empresas y la población común</p>	<p>Extracción de los compuestos lignocelulósicos Hidrolisis de la celulosa</p>	<p>Espectro IR Concentración Temperatura</p>	<p>Espectroscopia de Ir Observación Termómetro interno de los equipos utilizados</p>

Realizado por: Mena, Joseph; Galarza, Ricardo, 2020.

2.2.1.5. *Localización del estudio*

Los procedimientos experimentales, se llevaron a cabo en el laboratorio de Investigación de la Facultad de Ciencias, de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, localizada en Panamericana Sur km 1 1/2, Riobamba-Ecuador, con las coordenadas, -1.6552036163790431, -78.67893769598376.

2.2.1.6. *Población de estudio*

La población de estudio que se considera para el presente proyecto fue la cáscara de la papa chola, que provino de los restaurantes aledaños a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

2.2.1.7. *Tamaño de la muestra*

Se trabajó 1000 g como muestra de cáscara de papa chola

2.2.1.8. *Técnica de recolección de datos*

Primera Etapa:

Muestreo

Se recolectó los residuos de cáscaras de la papa *Solanum tuberosum* de 5 restaurantes aledaños a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo que utilicen este tubérculo, donde se toma aproximadamente 500 g de muestra en una funda plástica Ziploc. Este proceso se realiza por triplicado. Después, se procede a mezclar todas las cáscaras de papa obtenidas, y se toma una muestra de 1000 g, para su posterior tratamiento.

Se selecciona las cáscaras de papa que presentan mejores condiciones físicas, para evitar que existan contaminantes antes de procesar las cáscaras, por los distintos procesos químicos necesarios para la obtención de nanocelulosa. Después de realizar este paso, se procede a limpiar con agua las diferentes cáscaras y se toma una muestra de 50 g para el tratamiento químico y la posterior obtención de nanocelulosa.

Determinación de humedad

La metodología utilizada para la determinación de humedad, se basa en la propuesta por, García y Zegarra (2020); donde, se deja tarar los cápsulas de porcelana, durante dos horas a 105 °C en

una estufa. Una vez enfriados los materiales, se los pesa en una balanza analítica (AS 60/220.R2 Plus), y se los deja reposar en el desecador. Se tomó 5g de muestra de cáscara de papa y se los colocó en la cápsula de porcelana tarada. Después se los colocó en la estufa a una temperatura de 60 °C, por 24 horas. Pesar la cápsula de porcelana con las muestras enfriadas con anterioridad en un desecador; se anotó los pesos y se calculó el porcentaje de humedad.

Fórmula para el cálculo de porcentaje de humedad.

$$\%humedad = \frac{P_1 - P_2}{m} * 100\%$$

P₁: peso del crisol más muestra

P₂: peso del crisol más muestra seca

m: peso de la muestra

Determinación de celulosa en la cáscara de papa

Para la determinación del contenido de celulosa en la cáscara de papa, se utilizó la metodología de Domínguez et al. (2012, p. 203) el cual consiste en pesar 1 g de muestra seca con un vidrio reloj, colocar en un balón de destilación de 250 ml, agregar 15 ml de ácido acético al 80% y 1,5 ml de ácido nítrico al 68%, llevar a reflujo en un equipo compuesto por un balón de destilación y un refrigerante, durante 20 minutos; luego, filtrar la solución caliente, usando papel filtro, un embudo buchner, kitasatos, y una bomba de vacío; llevar a una estufa a una temperatura de 105 °C durante 24 horas. Posteriormente incinerar, mediante el uso de un crisol a una temperatura de 540°C por 4 horas, mediante el empleo de una mufla (EF47910 Thermo Scientific Thermolyne). En los dos casos antes descritos se debe pesar en una balanza analítica (AS 60/220.R2 Plus), una vez enfriada la muestra. El cálculo de la celulosa contenida en la muestra se realiza de la siguiente manera:

$$\%celulosa = \frac{M_f - M_c}{M_i} * 100\%$$

M_c: Masa de la muestra calcinada (g)

M_f: Masa de la muestra secada (g)

M_i: Masa inicial de la muestra (g)

Preparación de la muestra

Se toman 8g de muestra, se procede a eliminar la humedad, dejándolas en una estufa durante 1 día a una temperatura de 60 °C, posteriormente se realiza un pretratamiento alcalino-acido-alcalino y un blanqueamiento para el aislamiento de la celulosa contenida en la cáscara de la *Solanum tuberosum*, por ende, se preparan soluciones de NaOH al 12%, y ácido clorhídrico al

1M en balones de aforo de 1L. Se dejará reposar las cáscaras de papas en la solución de NaOH en proporción 1:20 w/v, durante dos horas, utilizando como envases un Erlenmeyer de 250ml; se sometió este producto a una hidrólisis ácida de hemicelulosas con la solución de HCl por 30 min, en proporción 1:20 w/v; por último, tratar el producto resultante con una solución de NaOH al 2% durante 2 horas. Todo el proceso se realizará a una temperatura de 60°C en un agitador SHAKER. Este proceso se realiza con el fin de aislar la celulosa de los demás compuestos. Se realizó en cada paso un lavado con agua destilada para retirar diferentes contaminantes.

Una vez realizado el pretratamiento, nuevamente se colocó la cáscara de la papa en una estufa para retirar la humedad adquirida por medio de los diferentes procesos químicos, por lo cual, se la deja reposar durante 2 días a una temperatura de 40 °C. A continuación, con las cáscaras secas, se trituran, tratando de disminuir de manera considerable su tamaño. Posteriormente, se somete a la celulosa aislada de la cáscara de la *Solanum tuberosum*, a un blanqueamiento, durante 40 min con peróxido de hidrógeno al 40%, en relación 1:20 w/v.

Segunda Etapa:

Se preparan soluciones de ácido sulfúrico a concentraciones de 4M y 6M, en balones de aforo de 1L. Las soluciones de ácido sulfúrico se vierten en las muestras pretratadas, en una proporción 1:20 w/v. Y se colocan las condiciones experimentales, como se indica en la Tabla 3-2, para determinar los efectos que estos tienen en la obtención de nanocelulosa. Todos los tratamientos se realizaron durante 40 minutos.

Tabla 4-2: Factores fisicoquímicos a variar para la obtención de nanocelulosa de la cáscara de la papa

	Temperatura (°C)	Concentración (M)
Tratamiento 1	50	6
Tratamiento 2	50	4
Tratamiento 3	70	4
Tratamiento 4	70	6

Realizado por: Mena, Joseph; Galarza, Ricardo, 2020.

Para finalizar, se sometió a las muestras a un tratamiento de ultrasonido a 40 kHz con la ayuda de un sonicador (Bransón 8800) para mejorar sus propiedades químicas y físicas; por último, se procede a neutralizar el pH de las mismas comprobando dichos valores con la ayuda de un pH metro (PEAK instruments).

Caracterización

Se realizó un análisis IR con un espectrofotómetro marca JASCO *FT/IR-4100* para determinar la formación de nanocelulosa y la eliminación de impurezas que contiene la cáscara de la papa. Para observar la estructura de la nanocelulosa se utilizó el Microscopio Electrónico de Barrido (SEM) marca TESCAN modelo MIRA 3 del Laboratorio de Caracterización de Nanomateriales del CENCINAT. Donde cada una de las muestras entregadas fue colocada sobre una capa de cinta de carbono doble faz en un portamuestra para microscopia electrónica de barrido. A continuación, las muestras fueron cubiertas con oro, para este fin se usó un evaporizador de oro Sputter Coating Quorum Q105R bajo las siguientes condiciones: 15 mA y 80 mTorr por 60 segundos. Las observaciones en el SEM se realizaron con el detector de electrones secundarios (SE) a 5 kV. Por último, se buscó fibras con tamaños de entre 1 y 100 nm en las imágenes proporcionadas.

CAPÍTULO III

3. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

3.1. Resultados y Discusión

3.1.1. Datos experimentales

Tabla 5-3: Calidad de la cáscara

Calidad cáscara	Peso (g)
Peso total	1000
Peso de las cáscaras en buen estado	650
Peso de las cáscaras en mal estado	350
Total	1000

Realizado por: Mena, Joseph; Galarza, Ricardo, 2021.

3.1.2. Análisis de la cáscara de *Solanum tuberosum*

3.1.2.1. Determinación de Humedad

Tabla 6-3: Porcentaje de humedad

Muestra 1	PC	81,7839 g
	PM	5,0565 g
	PCM	86,8404 g
	PCMS	82,5075 g
Muestra 2	PC	87,0348 g
	PM	5,0192 g
	PCM	92,0540 g
	PCMS	87,7078 g
Muestra 3	PC	82,0436 g
	PM	5,0023 g
	PCM	87,0459 g
	PCMS	82,7225 g

Realizado por: Mena, Joseph; Galarza, Ricardo, 2021.

- PC: Peso crisol vacío
- PM: Peso muestra
- PCM: Peso crisol + muestra

- PCMS: Peso crisol + muestra seca

Tabla 7-3: Promedio de porcentaje de humedad

Muestras	Humedad (%)	Promedio
Muestra 1	85,69	86,23
Muestra 2	86,59	
Muestra 3	86,42	

Realizado por: Mena, Joseph; Galarza, Ricardo, 2021.

De la caracterización que se realizó previamente de la cáscara de la papa, se obtienen porcentajes de humedad alrededor del 86,23 % que concuerda con lo expresado por Isique y Sing (2017), el cual, obtuvo un porcentaje de humedad del 85,06%. En el trabajo realizado por, Centeno y Gloria (2014), adquirió un porcentaje de humedad del 91,5%; esto se contrasta por lo propuesto por, Ospina (2009), que expresa un valor de porcentaje de humedad del 70-75%. Este dato puede variar dependiendo del tipo de cáscara de papa con el que se trabaje. Además, esto refleja que el mayor componente de la cáscara es agua, dejando una pequeña parte para que pueda ser aprovechada.

3.1.2.2. Determinación de porcentaje de celulosa

Tabla 8-3: Datos para la determinación de porcentaje de celulosa en la cáscara de papa

Tipo de muestra	Peso (g)
Muestra calcinada	0,0048
Muestra seca	0,2273
Muestra inicial	1,0010

Realizado por: Mena, Joseph; Galarza, Ricardo, 2021.

$$\% \text{ celulosa} = \frac{0,2273 - 0,0048}{1,0010} * 100\%$$

$$\% \text{ celulosa} = 22,23\%$$

El porcentaje de celulosa obtenida en las muestras fue de, 22,23%. Este dato se asemeja con el obtenido en el año 2017 por Flor, con un porcentaje de celulosa de la cáscara de la papa de alrededor del 21 %. De la misma forma, en el año 2013, en la investigación realizada por Barón obtuvo un porcentaje de celulosa del 35,5% por otra parte en el 2017, los autores, Isique y Sing, informan que obtuvieron porcentajes de celulosa de alrededor del 15 -19% (Baron 2013; Flor 2017, p. 71-73; Isique y Sing 2017).

Estos valores reflejan, que existe una cantidad considerable de celulosa en la cáscara de papa, que puede ser aprovechada. En contraste, los datos proporcionados en 2018 por Pernalet, Piñas, Suárez, Ferrer, Aiello quienes exponen que en la caña de azúcar se halla porcentajes de celulosa alrededor de un 51,67%. De igual modo, en 2018, López, Salgado, Turrado, Hidalgo, Ortiz y Córdova, obtuvieron en la caña de azúcar porcentajes de celulosa de un 63% . Por otro lado, en 2012, Prado, Anzaldo, Becerra, Palacios, Vargas, Rentería reportan porcentajes de celulosa en la mazorca del maíz y en el bagazo de la caña de azúcar valores de: 43,14% y 32-44% respectivamente. De esta manera, y en nuestra opinión personal, la cáscara de la papa puede considerarse también, un residuo a ser utilizado en la obtención de nanocelulosa. (López Velázquez et al. 2018; Pernalet et al. 2008; Prado Martínez et al. 2012)

3.1.2.3. Muestra de la cáscara de papa sin ningún tratamiento

Tabla 9-3: Grupos funcionales de referencia de la cáscara de papa

Grupos Funcionales	Número de onda (cm⁻¹) referencia
O-H (Estiramiento)	3307,14
C-H (Estiramiento)	2924,01
C=O (Estiramiento)	1735,40
C=C o C=O (deformación)	1630,50
C-H y OH	1460,00
C-H (alifático)	1368,70
C=C	1239,70
C-O	1014,63

Fuente: (Condori y Pumacayo 2019, p. 47).

Realizado por: Mena, Joseph; Galarza, Ricardo, 2021.

Tabla 10-3: Grupos funcionales presentes en la muestra de cáscara de papa

Grupos Funcionales	Número de onda (cm⁻¹)
O-H (Estiramiento)	3349,84
C-H (Estiramiento)	2925,81
C=O (Estiramiento)	1747,89
C=C o C=O (deformación)	1640,86
C-H y OH	1432,91
C-H (alifático)	1374,91
C=C	1246,93
C-O	1020,87

Realizado por: Mena, Joseph; Galarza, Ricardo, 2021.

3.1.2.4. Espectro IR de la cáscara de la papa sin tratamiento experimental

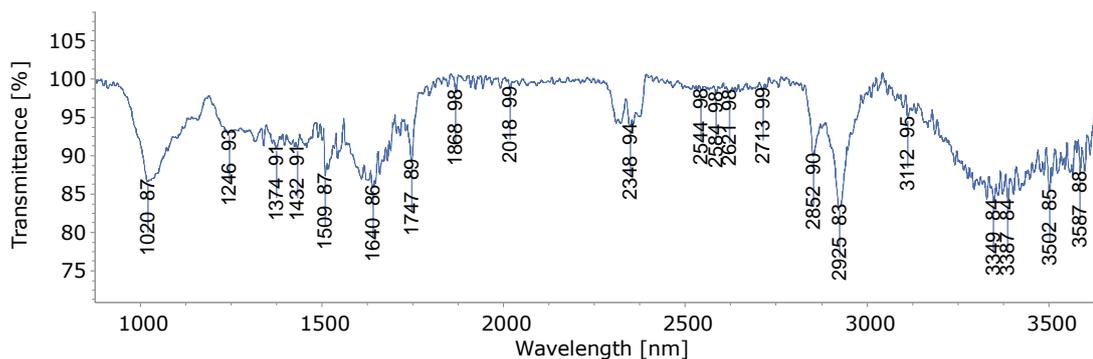


Figura 1-3: Espectro IR de la cáscara de la papa *Solanum tuberosum*

Realizado por: Mena, Joseph; Galarza, Ricardo, 2021.

Los grupos funcionales obtenidos de la cáscara de la *Solanum tuberosum*, sin ningún tipo de tratamiento, se evidencian en la Tabla 6-3; donde se puede apreciar, el grupo O-H con un número de onda igual $3349,84 \text{ cm}^{-1}$, la cuál es una banda de estiramiento antisimétrica; a $2925,81 \text{ cm}^{-1}$ se identifica el pico correspondiente al grupo funcional C-H, además, dicho grupo funcional se presenta en el número de onda $1374,91 \text{ cm}^{-1}$; a $1747,89$ se aprecia la banda de estiramiento que pertenece al grupo funcional C=O; a $1246,93$ encontramos el grupo funcional C=C y finalmente tenemos el grupo funcional C-O con un número de onda de $1020,87 \text{ cm}^{-1}$. Estos grupos funcionales también fueron hallados en las investigaciones realizadas en: 2019 por Condori y Pumacayo, en su trabajo: Evaluación de la remediación de aguas contaminadas con cromo, empleando una columna de lecho fijo con biomasa de cáscara de papa "*Solanum tuberosum*", igualmente, en 2018 Abdullah, Chalimah, Primadona, y Hanaty, en su investigación: Physical and chemical properties of corn, cassava, and potato starchs; de igual manera, en 2018 Rodríguez, Muñoz, Rius, y Palacios, reportan resultados similares en su estudio: Preparación y caracterización de micropartículas de almidón de papa con acrilamida por irradiación de microondas. (Abdullah et al. 2018; Condori y Pumacayo 2019; p. 47; Rodríguez Pineda et al. 2018)

3.1.3. Resultados del microscopio electrónico de barrido

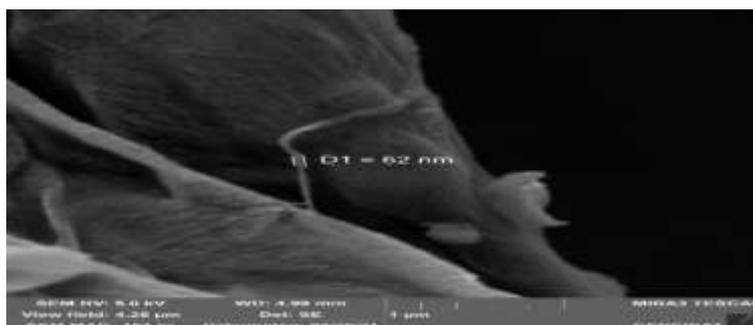


Figura 2-3: Nanocelulosa obtenida del tratamiento 1

Realizado por: Mena, Joseph; Galarza, Ricardo, 2021.

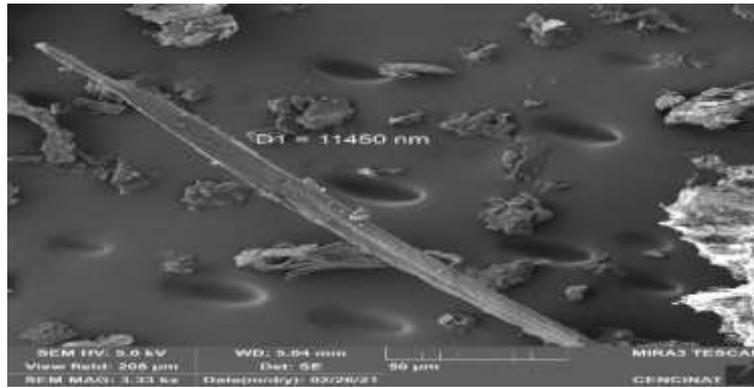


Figura 3-3: Nanocelulosa obtenida del tratamiento 2

Realizado por: Mena, Joseph; Galarza, Ricardo, 2021.

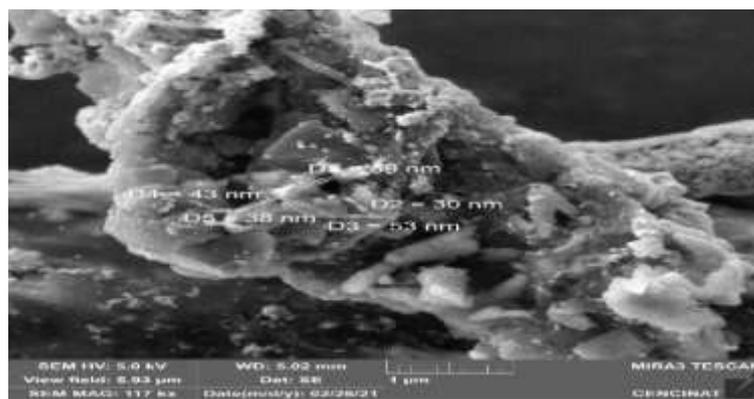


Figura 4-3: Nanocelulosa obtenida del tratamiento 3

Realizado por: Mena, Joseph; Galarza, Ricardo, 2021.

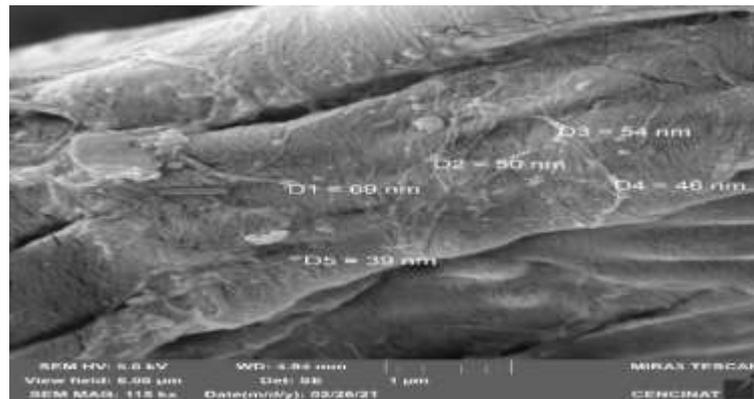


Figura 5-3: Nanocelulosa obtenida del tratamiento 4

Realizado por: Mena, Joseph; Galarza, Ricardo, 2021.

Los tamaños de partícula hallados se encuentran en un intervalo de 30 a 11450nm; son similares con los de Chen et al. (2012); Raigond et al. (2018), los cuales obtuvieron valores de dimensión entre 410 ± 181 nm y 40-100 nm, respectivamente, de los tubérculos originarios de sus países.

3.1.4. Análisis de la nanocelulosa

3.1.4.1. Espectros Ir de la nanocelulosa

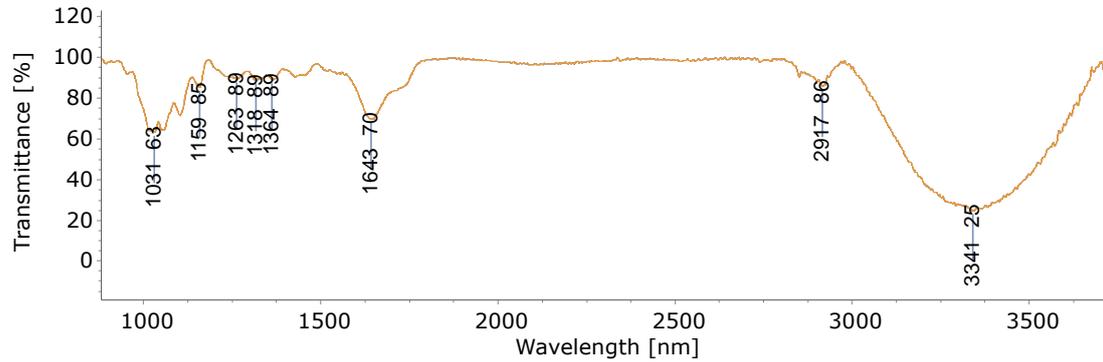


Figura 6-3: Espectros IR del tratamiento experimental 1 de nanocelulosa obtenida de la cáscara de *Solanum tuberosum*

Realizado por: Mena, Joseph; Galarza, Ricardo, 2021.

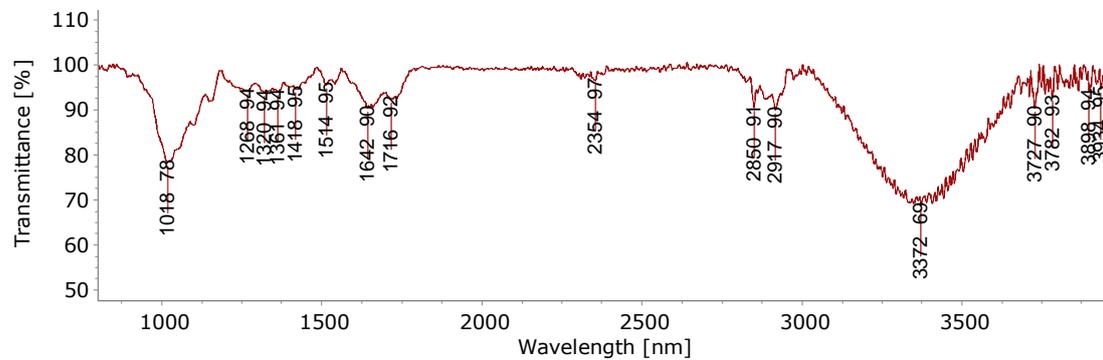


Figura 7-3: Espectros IR del tratamiento experimental 2 de nanocelulosa obtenida de la cáscara de *Solanum tuberosum*

Realizado por: Mena, Joseph; Galarza, Ricardo, 2021.

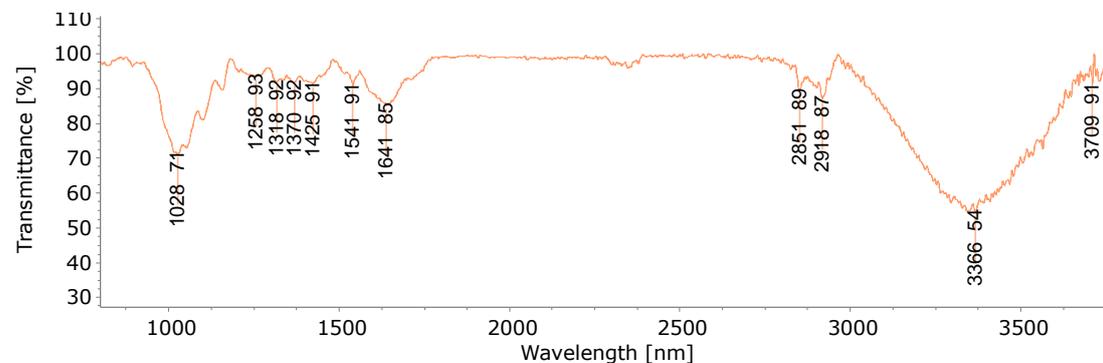


Figura 8-3: Espectros IR del tratamiento experimental 3 de nanocelulosa obtenida de la cáscara de *Solanum tuberosum*

Realizado por: Mena, Joseph; Galarza, Ricardo, 2021.

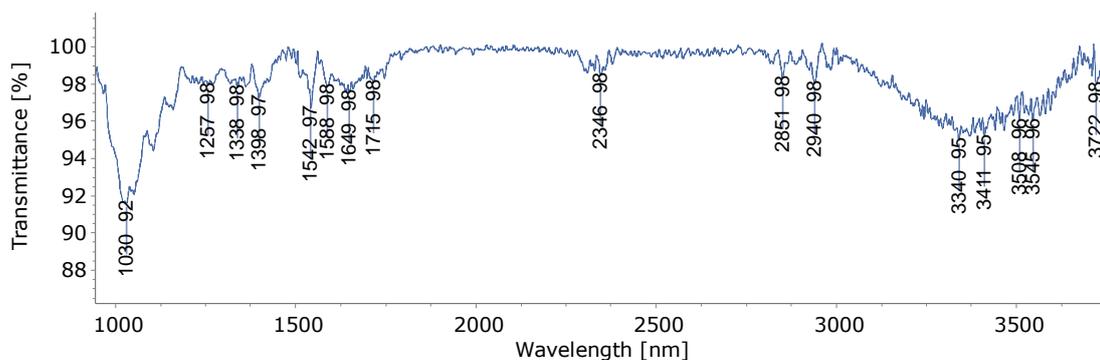


Figura 9-3: Espectros IR del tratamiento experimental 4 de nanocelulosa obtenida de la cáscara de *Solanum tuberosum*

Realizado por: Mena, Joseph; Galarza, Ricardo, 2021.

3.1.4.2. Grupos funcionales de nanocelulosa

Tabla 11-3: Grupos funcionales de referencia de la nanocelulosa

Grupos Funcionales	Número de onda (cm-1)
O-H (Estiramiento)	3335,73
C-H (Tensión)	2917,47-2890,42
Agua Adsorbida (Flexión)	1652,76
C-CH ₃	1367,55
C-O-C (alargamiento asimétrico)	1215,32
C-O (tensión)	1160,16-1016,60

Fuente: Ochica 2015, p. 44.

Realizado por: Mena, Joseph; Galarza, Ricardo, 2021.

Tabla 12-3: Grupos funcionales presentes en la nanocelulosa obtenida de la cáscara de *Solanum tuberosum*

Grupos Funcionales	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Tratamiento 4
O-H (Estiramiento)	3341,25	3372,69	3366,54	3340,95
C-H (Tensión)	2917,86	2917,90	2918,87	2940,98
Agua Adsorbida (Flexión)	1643,7	1642,90	1641,85	1649,98
C-CH ₃	1364,89	1361,94	1370,92	1398,97
C-O-C (alargamiento asimétrico)	1263,89	1268,94	1258,93	1257,98

C-O (tensión)	1159,85- 1031,63	1018,78	1028,71	1030,92
----------------------	---------------------	---------	---------	---------

Realizado por: Mena, Joseph; Galarza, Ricardo, 2021.

Los grupos funcionales presentes en la nanocelulosa extraída de la cáscara de papa en los diferentes tratamientos, se evidencia en la Tabla 9-3. Dentro de los cuales tenemos el grupo O-H con un número de onda entre $3372,69\text{ cm}^{-1}$ y $3340,95\text{ cm}^{-1}$; entre $2917,86\text{ cm}^{-1}$ y $2940,98\text{ cm}^{-1}$ se encuentra el grupo funcional C-H; entre $1641,85\text{ cm}^{-1}$ y $1649,98\text{ cm}^{-1}$ está presente el grupo funcional correspondiente al Agua adsorbida; entre $1361,94\text{ cm}^{-1}$ y $1398,97\text{ cm}^{-1}$ encontramos el pico del grupo funcional C-CH₃; entre $1257,98$ y $1268,94$ tenemos la banda de alargamiento asimétrico del grupo C-O-C; por último, entre $1018,78$ y $1159,85$ tenemos al grupo C-O.

Dichos números de onda, coinciden con los hallados en diversos trabajos como los planteados por Kargarzadeh, Hanieh et al. (2017), en su investigación: Methods for extraction of nanocellulose from various sources; de igual manera, Pech (2018), con su trabajo: Obtención de nanocelulosa de la cáscara de sandía (*Citrullus lanatus*), y sus imágenes de microscopía electrónico de barrido; por último, (Ochica 2015, p. 44) reporta resultados similares en su estudio: Obtención de nanofibras de celulosa catiónica.

3.1.4.3. Comparativa de los espectros IR de nanocelulosa con la cáscara de papa sin tratamiento

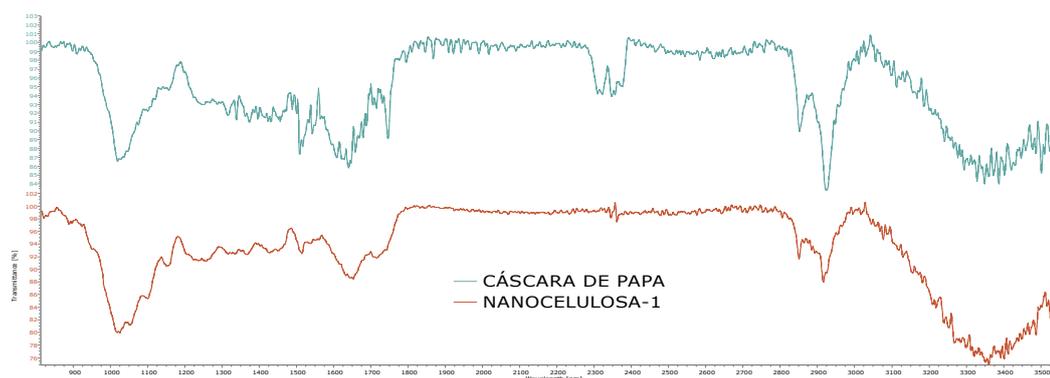


Figura 11-3: Cáscara de papa/Tratamiento experimental 1

Realizado por: Mena, Joseph; Galarza, Ricardo, 2021.

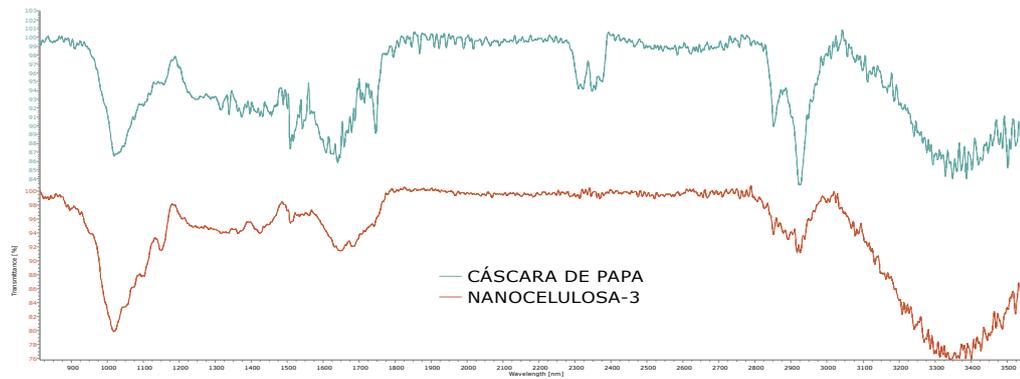


Figura 12-3: Cáscara de papa/Tratamiento experimental 2

Realizado por: Mena, Joseph; Galarza, Ricardo, 2021.

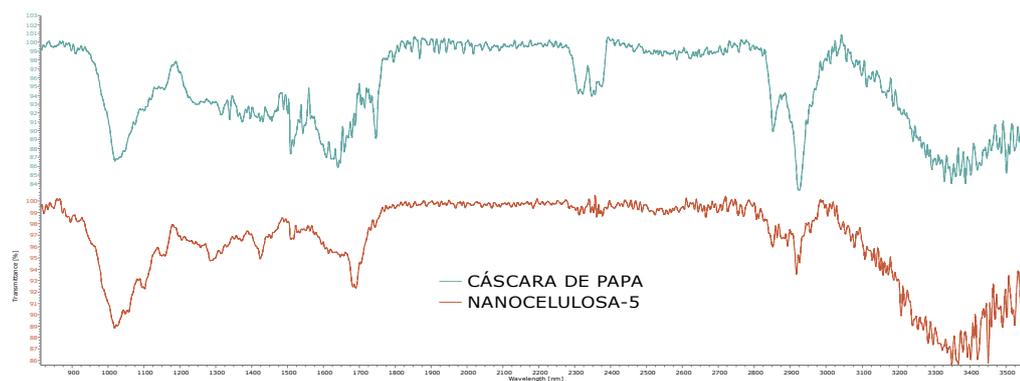


Figura 13-3: Cáscara de papa/Tratamiento experimental 3

Realizado por: Mena, Joseph; Galarza, Ricardo, 2021.

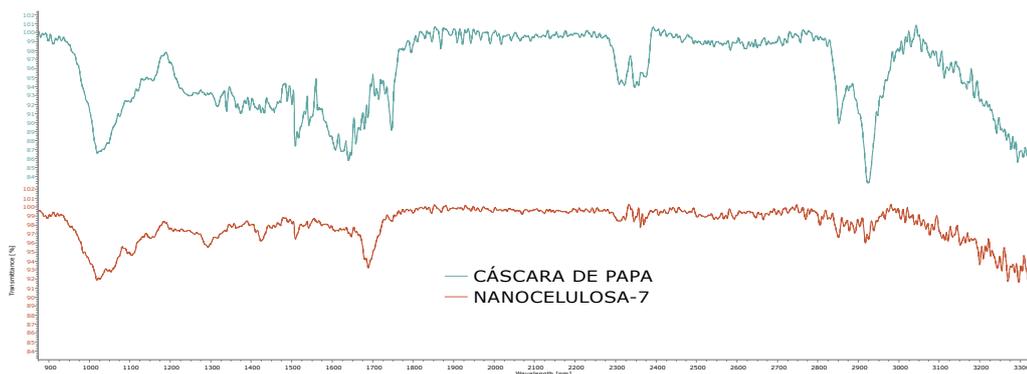


Figura 14-3: Cáscara de papa/Tratamiento experimental 4

Realizado por: Mena, Joseph; Galarza, Ricardo, 2021.

Los gráficos comparativos expuestos con anterioridad, permiten visualizar de mejor manera la pérdida de grupos funcionales después del pretratamiento y posterior obtención de la nanocelulosa. Para esto, se comparó con el espectro IR, de la cáscara de la papa sin ningún tratamiento experimental, donde se observa la pérdida de los grupos funcionales, C-H que corresponde a una banda de estiramiento antisimétrica a los $2925,81\text{ cm}^{-1}$; asimismo, se identifican los picos correspondientes a los grupos funcionales $\text{C}=\text{O}$; a los $1747,89\text{ cm}^{-1}$ la cual

es correspondiente a una banda de estiramiento, los grupos C=C y C=O con su correspondiente pico se encuentra en el número de onda de 1640,86 cm⁻¹. Esto sugiere la correcta purificación de componentes no útiles como: la lignina y hemicelulosa. Por otra parte, se evidencia el surgimiento de grupo funcionales característicos de la celulosa como los C-CH₃; con un número de onda correspondiente entre los 1361,94cm⁻¹ y 1398,97 cm⁻¹. También, el grupo funcional C-O, con una banda de tensión, presenta un pico entre los valores de número de onda 1018, 78 cm⁻¹ y 1159,85 cm⁻¹, y la presencia de Agua Adsorbida, con una banda de flexión entre los 1641,85 cm⁻¹ y 1649,98 cm⁻¹. Esta última se hace presente con mayor facilidad, ya que, según lo expuesto por Kargarzadeh et al. (2017), el pretratamiento de las cáscaras de la papa, asimismo, como el tratamiento químico, necesario para la formación de nanocelulosa; aumentan la superficie reactiva, por ende, la nanocelulosa obtenida tiene mayor facilidad de ganar humedad ambiental.

3.1.4.4. Diseño bifactorial

Tabla 13-3: Análisis de ANOVA

Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: MUESTRAS

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	276573,678 ^a	3	92191,226	16,232	,000
Intersección	218918,152	1	218918,152	38,545	,000
CONCENTRACION	93701,104	1	93701,104	16,498	,001
TEMPERATURA	59152,128	1	59152,128	10,415	,005
CONCENTRACION * TEMPERATURA	103977,123	1	103977,123	18,307	,000
Error	102232,048	18	5679,558		
Total	620903,686	22			
Total, corregido	378805,726	21			

a. R al cuadrado = ,730 (R al cuadrado ajustada = ,685)

H₀ = no existe diferencia en los diferentes tratamientos aplicados para la obtención de nanocelulosa

H_a= existe diferencia en los diferentes tratamientos aplicados para la obtención de nanocelulosa

Realizado por: Mena, Joseph; Galarza, Ricardo, 2021.

3.1.4.5. Porcentaje de rendimiento obtenido de los diferentes tratamientos experimentales

Tabla 14-3: Comparación de los rendimientos de obtención de nanocelulosa a partir del porcentaje de celulosa

Tratamiento 1	Muestra	Peso (g)	Rendimiento (%)
	Muestra 1	0,1857	16,70
	Muestra 2	0,2313	20,81

Tratamiento 2	Muestra	Peso (g)	Rendimiento (%)
	Muestra 3	0,2392	21,52
	Muestra 4	0,2913	26,21

Tratamiento 3	Muestra	Peso (g)	Rendimiento (%)
	Muestra 5	0,1029	9,25
	Muestra 6	0,1023	9,20

Tratamiento 4	Muestra	Peso (g)	Rendimiento (%)
	Muestra 7	0,0466	4,19
	Muestra 8	0,0466	4,19

Realizado por: Mena, Joseph; Galarza, Ricardo, 2021.

En la experimentación se pudo observar que la temperatura y la concentración tienen gran influencia en la formación de nanocelulosa como también lo expresa Kargarzadeh, Hanieh. et al. (2017). Los tratamientos con una concentración de AS 6 M, siempre obtuvieron nanocelulosa, mientras que al disminuir la concentración de AS a 4 M y a una temperatura de 50 °C no se logró obtener este material. Es importante mencionar el efecto de la temperatura, ya que por lo que se observó en las imágenes proporcionadas por el SEM, existe una mayor hidrólisis y separación de la nanocelulosa de las fibras de la papa en las muestras tratadas con una temperatura mayor (70°C). Además de se formó nanocelulosa con una concentración de AS menor (4M), por lo que es un factor de gran influencia durante el proceso de obtención. Esto también lo reflejó el análisis bifactorial el cual indica que la concentración, la temperatura y estos dos factores en conjunto tienen efecto en la formación de nanocelulosa.

También, es importante considerar el rendimiento final de la obtención, porque, si bien el aumentar la temperatura mejora el efecto de la hidrólisis ácida en la cascara de la papa, es un factor que también puede disminuir el rendimiento, ya que como lo reporta Isique y Sing (2017), a temperaturas elevadas la celulosa se empieza a descomponer lo que causa una pérdida de celulosa, y asimismo, de rendimiento final.

Otro factor a considerar, es la concentración de ácido fuerte que se quiere utilizar, así lo reporta Giraldo, Correa y Gutierrez (2007), donde explica, que a una mayor concentración de ácido fuerte; la celulosa se descompone en subproductos como azúcares, ácido acético, furfural, y

hidroximetilfurfural, y demás compuestos aromáticos. Por ello, de acuerdo a los datos obtenidos en la experimentación, el tratamiento con mejor relación tamaño de partícula y rendimiento de extracción es el primero, donde se logró obtener partículas de entre 1 y 100 nm con rendimientos entre el 16 y 20 %; ya que, si bien el tratamiento experimental 3, obtuvo nanocelulosa en un tamaño de 1-100 nm, cuenta con bajo rendimiento. De igual manera, el tratamiento experimental 2, posea rendimientos de obtención más altos, pero no logro obtener nanopartículas.

CONCLUSIONES

Se obtuvo nanocelulosa mediante la hidrólisis ácida con ácido sulfúrico donde se logró aprovechar la cáscara de la *Solanum tuberosum*, con rendimientos de extracción entre 4,19 y 26,21 %.

Se aisló la celulosa contenida en la cáscara de la *Solanum tuberosum*, con un porcentaje de celulosa del 22,23%, logrando obtener números onda correspondientes a los grupos funcionales: O-H con un número de onda entre 3372,69 cm^{-1} y 3340,95 cm^{-1} ; entre 2917,86 cm^{-1} y 2940,98 cm^{-1} se encuentra el grupo funcional C-H; entre 1361,94 cm^{-1} y 1398,97 cm^{-1} encontramos el pico del grupo funcional C-CH₃; entre 1257, 98 y 1268, 94 tenemos la banda de alargamiento asimétrico del grupo C-O-C; por último, entre 1018, 78 y 1159,85 tenemos al grupo C-O. mediante un tratamiento alcalino-acido-alcalino, y una posterior hidrólisis ácida con ácido sulfúrico.

Se estableció que la condición experimental que más favorece en la obtención de partículas de tamaño nanométrico es realizar una hidrólisis ácida con ácido sulfúrico 6 M a 50 °C, ya que, con este tratamiento experimental, se obtiene un rendimiento considerable y un tamaño de partícula entre 1 y 100 nm.

Se determinó mediante espectroscopia IR donde se encontraron los siguientes grupos funcionales: OH, C-H, C-CH₃, agua adsorbida, C-O-C, y C-O. Por otra parte, en la microscopia electrónica de barrido, permitió observar nanocelulosa de diferentes tamaños, los cuales van desde los 30 nm hasta los 11450 nm.

RECOMENDACIONES

Se recomienda tener en consideración el tiempo de reacción, sobre todo cuando se trabaja con concentraciones de ácido sulfúrico inferiores a 4M.

Buscar otro tipo de técnica instrumental que permita analizar de mejor manera la nanocelulosa

Investigar la obtención de nanocelulosa en otro tipo de residuos sólidos comunes como el maíz ya que puede tener un gran potencial de aprovechamiento.

Utilizar otro tipo de ácido para la hidrólisis, así como otro tipo de agente blanqueador para la purificación total de la celulosa.

BIBLIOGRAFÍA

ABDUL, H.P.S., BHAT, A.H. & IREANA, A.F., 2012. Green composites from sustainable cellulose nanofibrils: A review. *Carbohydrate Polymers*, vol. 87, no. 2, pp. 963-979. ISSN 01448617. DOI 10.1016/j.carbpol.2011.08.078.

ABDULLAH, A.H.D., CHALIMAH, S., PRIMADONA, I. & HANANTYO, M.H.G., 2018. Physical and chemical properties of corn, cassava, and potato starches. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 160, pp. 012003. ISSN 1755-1307, 1755-1315. DOI 10.1088/1755-1315/160/1/012003.

ABRAHAM, E., DEEPA, B., POTHEN, L., CINTIL, J., THOMAS, S., JOHN, M., ANANDJIWALA, R. & NARINE, S., 2013. Environmental friendly method for the extraction of coir fibre and isolation of nanofibre. *Carbohydrate Polymers*, vol. 92, no. 2, pp. 1477-1483. ISSN 01448617. DOI 10.1016/j.carbpol.2012.10.056.

BARON, F.M.G., 2013. Obtención de jarabes azucarados a partir de la hidrólisis química de residuos de cáscaras de naranja (*Citrus sinensis* l var valencia) y papa (*Solanum tuberosum*) variedad diacol. , pp. 116.

BAYER, 2012. *Tamaño de las partículas y velocidad de la reacción* [en línea]. 2012. S.l.: s.n. [Consulta: 15 abril 2021]. Disponible en: <https://www.alkaseltzer.com/es/original/science-experiments/particle-size>.

BELLVER, E., 2020. *Contaminación: ¿Qué son los lixiviados?* [en línea]. 2020. S.l.: s.n. [Consulta: 22 diciembre 2020]. Disponible en: <https://tendencias.com/eco/contaminacion-que-son-los-lixiviados/>.

BERMEK, H. & ERIKSSON, K., 2009. Lignin, Lignocellulose, Ligninase. *Encyclopedia of Microbiology*, pp. 373-384.

CARRERA, J., 2018. *La Papa* [en línea]. diciembre 2018. S.l.: s.n. [Consulta: 22 diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.allpa.org/la-papa/>.

CENTENO, Q. & GLORIA, J., 2014. Obtención y caracterización de la fibra dietética a partir de los residuos de papa (*Solanum tuberosum*). , pp. 79.

CHEN, D., LAWTON, D., THOMPSON, M.R. & LIU, Q., 2012. Biocomposites reinforced with cellulose nanocrystals derived from potato peel waste. *Carbohydrate Polymers*, vol. 90, no. 1, pp. 709-716. ISSN 01448617. DOI 10.1016/j.carbpol.2012.06.002.

CONDORI, P. & PUMACAYO, M., 2019. *Evaluación de la remediación de aguas contaminadas con cromo, empleando una columna de lecho fijo con biomasa de cáscara de papa "Solanum tuberosum"*. PhD Thesis. S.l.: Universidad Católica de Santa María.

COSGROVE, D., 2012. *Cellulose microfibril* [en línea]. julio 2012. S.l.: s.n. [Consulta: 15 abril 2021]. Disponible en: <https://wikispaces.psu.edu/display/PCW/2.+Cellulose+microfibril>.

DESHMUKH, K., BASHEER, M., DESHMUKH, R.R., KHADHEER, S.K., BHAGAT, P.R. & CHIDAMBARAM, K., 2017. Biopolymer Composites with High Dielectric Performance: Interface Engineering. *Biopolymer Composites in Electronics* [en línea]. S.l.: Elsevier Inc., pp. 27-128. ISBN 978-0-08-100974-1. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-809261-3/00003-6>.

DEVAUX, A., ORDINOLA, M., HIBON, A. & FLORES, R., 2010. *El sector papa en la región andina: diagnóstico y elementos para una visión estratégica (Bolivia, Ecuador y Perú)*. S.l.: Centro Internacional de la Papa. ISBN 978-92-9060-384-9.

DOMÍNGUEZ, M.M., ÁLVAREZ, A., GRANADOS, M. & HERNÁNDEZ, F., 2012. Estudio de la cinética del pretratamiento e hidrólisis ácida del bagazo de caña de azúcar. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, vol. 13, no. 4, pp. 200-211.

EBRINGEROVÁ, A., HROMÁDKOVÁ, Z. & HEINZE, T., 2005. Hemicelulose. En: T. HEINZE (ed.), *Polysaccharides I*. 1. S.l.: Springer, Berlin, Heidelberg, August, pp. 1-67. ISBN 978-3-540-31583-4.

EL COMERCIO, 2012. *Ecuador, con petróleo para 20 años más* [en línea]. 2012. S.l.: s.n. Disponible en: <https://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/ecuador-petroleo-20-anos-mas.html>.

EL UNIVERSO, 2020. *Botadero de basura El Inga de Quito en emergencia* [en línea]. junio 2020. Quito: s.n. Disponible en: <https://www.eluniverso.com/noticias/2020/06/23/nota/7882074/botadero-basura-inga-quito-emergencia/>.

EMGIRS, 2016. Tratamiento de lixiviados. [en línea]. [Consulta: 17 agosto 2021]. Disponible en: <https://www.emgirs.gob.ec/index.php/zentools/zentools-slideshow/zentools-carousel>.

ERICKSON, B. & WASHINGTON, E., 2014. Transforming nanocellulose. *Chemical and Engineering News*, vol. 92, pp. 26-27.

ESPAC, 2020. Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua. [en línea]. Quito: ESPAC. Disponible en: [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2019/Boletin Técnico ESPAC_2019.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2019/Boletin_Tecnico_ESPAC_2019.pdf).

FERNÁNDEZ, A., 2006. Contaminación por lixiviados. *Eroski Consumer* [en línea], Disponible en: <https://www.consumer.es/medio-ambiente/contaminacion-por-lixiviados.html>.

FLOR, Ricardo., 2017. *Evaluación de la composición de las biomásas residuales de plátano verde (Musa spp) y papa (Solarum Tuberosum) antes y después del proceso de extracción de almidón*. PhD Thesis. S.l.: Universidad San Francisco de Quito USFQ.

FUTURE MARKETS INC, 2019. Nanocellulose Market, Production and Pricing Report 2019. , pp. 222.

GARCÍA, D. & ZEGARRA, R., 2020. *Obtención de nanocelulosa de la cáscara de sandía (Citrullus lanatus) y sus imágenes de microscopía electrónico de barrido (S.E.M.)*. PhD Thesis. S.l.: Universidad Peruana Unión.

GARCÍA, L., BORDALLO, E. & CORDERO, D., 2006. Celulosa Microcristalina. *Revista Cubana de Química*, vol. XVIII, no. 1, pp. 115-117. ISSN 0258-5995.

GIDOLQUIM, 2014. *Activación de reacciones químicas mediante ultrasonidos. Fundamento de la técnica* [en línea]. 2014. S.l.: s.n. [Consulta: 22 diciembre 2020]. Disponible en: <http://www.ub.edu/talq/es/node/252>.

GIRALDO, L.F.M., CORREA, H.A.M. & GUTIERREZ, J.E.B., 2007. Aprovechamiento del residuo agroindustrial del mango común (*Mangifera indica L.*) en la obtención de azúcares fermentables. , pp. 23.

GREGORY, A., BOLWELL, G., HOLLOWAY, R. & COLLEGE, B., 1999. Hemicelluloses. *Royal Holloway and Bedford New College, Egham, UK*. S.l.: s.n., pp. 599-613.

GUTIÉRREZ, H. & SALAZAR, R., 2008. Diseño bifactorial ANOVA. *Análisis y diseño de experimentos* [en línea]. Segunda. S.l.: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. de C.V., pp. 168-173. ISBN 978-970-10-6526-6. Disponible en: <http://marefateadyan.nashriyat.ir/node/150>.

HABIBI, Y., LUCIA, LUCIAN.A. & ROJAS, ORLANDO.J., 2010. Cellulose Nanocrystals: Chemistry, Self-Assembly, and Applications. *Chemical Reviews*, vol. 110, pp. 3479-3500.

HANSEN, F., BRUN, V., KELLER, E., WEGNER, T., MEADOR, M. & FRIEDERSDORF, L., 2014. Cellulose Nanomaterials—A Path Towards Commercialization Workshop Report. . Washington, D.C.: USDA Forest Service and National Nanotechnology Initiative.

HEINZE, T. & LIEBERT, T., 2012. Celluloses and Polyoses/Hemicelluloses. En: K. MATYJASZEWSKI y M. MÖLLER (eds.), *Polymer Science: A Comprehensive Reference, 10 Volume Set*. S.l.: Elsevier, pp. 83-152. ISBN 978-0-08-087862-1.

HERRERA, M., 2018. *Obtención de nanocelulosa a partir de celulosa de puntas de abacá* [en línea]. PhD Thesis. S.l.: Escuela Politécnica Nacional. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19544>.

HOLTZAPPLE, M.T., 2003. Hemicelluloses. *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*. S.l.: Elsevier, pp. 3060-3071.

HUANG, J., DUFRESNE, A. & LIN, N., 2019. *Nanocelulose. From fundamentals to advanced materials*. Weinheim: Wiley-VCH. ISBN 978-85-7811-079-6.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSOS, 2015. *Estadística de información ambiental económica en gobiernos autónomos descentralizados municipales* [en línea]. 2015. S.l.: s.n. Disponible en: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2015/Documento_Tecnico-Gestion_de_Agua_y_Alcantarillado_2015.pdf.

ISIQUE, M.J. & SING, J.L., 2017. *Influencia de la hidrólisis química en las características fisicoquímicas y funcionales de los residuos industriales de papa, camote y yuca* [en línea]. PhD Thesis. S.l.: Universidad Nacional del Santa. Disponible en: <http://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/UNS/2741/30760.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

JIANG, F., 2020. Cellulose Fibers. *Handbook of Fibrous Materials*. First. Columbia: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA., pp. 95-124.

KARGARZADEH, HANIEH, IOELOVICH, M., AHMAD, I., THOMAS, S. & DUFRESNE, A., 2017. Methods for Extraction of Nanocellulose from Various Sources. *Handbook of Nanocellulose and Cellulose Nanocomposites*, pp. 1-49. DOI 10.1002/9783527689972.ch1.

KARGARZADEH, HANIEH., AHMAD, ISHAK., THOMAS, SABU. & DUFRESNE, A., 2017. *Handbook of Cellulose Nanocomposites*. S.l.: Wiley-VCH. ISBN 978-3-527-33866-5.

LÉXICO, 2020. *Planta* [en línea]. 2020. S.l.: s.n. [Consulta: 15 abril 2021]. Disponible en: <https://www.lexico.com/es/definicion/planta>.

LIU, Q., LUO, L. & ZHENG, L., 2018. Lignins: Biosynthesis and biological functions in plants. *International Journal of Molecular Sciences*, vol. 19, no. 2. ISSN 14220067. DOI 10.3390/ijms19020335.

LÓPEZ VELÁZQUEZ, L.Y., SALGADO GARCÍA, S., TURRADO SAUCEDO, T.S., CLAUDIA ISABEL, H.M., ORTIZ GARCÍA, O.G. & CÓRDOVA, S., 2018. *Caracterización de la paja de caña de azúcar y celulosa* [en línea]. 2018. S.l.: s.n. Disponible en: <https://www.atamexico.com.mx/wp-content/uploads/2017/11/2-COPRODUCTOS-2017.pdf>.

LUO, H. & ABU OMAR, M.M., 2017. Chemicals from lignin. En: M.A. ABRAHAM (ed.), *Encyclopedia of Sustainable Technologies* [en línea]. S.l.: Elsevier, 2016, pp. 573-585. ISBN 978-0-12-804677-7. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10235-0>.

LUO, H., CHENG, Y., HE, D. & YANG, E.-H., 2019. Review of leaching behavior of municipal solid waste incineration (MSWI) ash. *The Science of the Total Environment*, vol. 668, pp. 90-103. ISSN 1879-1026. DOI 10.1016/j.scitotenv.2019.03.004.

MANCERO, L., 2007. Estudio de la cadena de papa. Proyecto FAO.ESAE-CIP. . S.l.: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

MARIANO, M., EL KISSI, N. & DUFRESNE, A., 2014. Cellulose nanocrystals and related nanocomposites: Review of some properties and challenges. *Journal of Polymer Science, Part B: Polymer Physics*, vol. 52, no. 12, pp. 791-806. ISSN 10990488. DOI 10.1002/polb.23490.

MAT ZAIN, N.F., YUSOP, S.M. & AHMAD, I., 2014. Preparation and Characterization of Cellulose and Nanocellulose From Pomelo (*Citrus grandis*) Albedo. *Journal of Nutrition & Food Sciences*, vol. 05, no. 01, pp. 4. DOI 10.4172/2155-9600.1000334.

MEJÍAS, N., OROZCO, E. & GALÁAN, N., 2016. Aprovechamiento de los residuos agroindustriales y su contribución al desarrollo sostenible de México Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*, vol. 2, no. 6, pp. 27-41.

MINISTERIO DEL AMBIENTE Y AGUA, 2015. *Hitos en la gestión integral de los residuos sólidos en Ecuador* [en línea]. 2015. S.l.: s.n. [Consulta: 24 enero 2021]. Disponible en: <https://www.ambiente.gob.ec/hitos-en-la-gestion-integral-de-los-residuos-solidos-en-ecuador/>.

NAKAMOTO, K., 2008. Espectroscopia de Infrarrojo. *Infrared and Raman Spectra of Inorganic and Coordination Compounds*. Cuarta. S.l.: A Wiley-Interscience, pp. 3-5.

OCHICA, A., 2015. *Obtención De Nanofibras De Celulosa Cationica*. PhD Thesis. S.l.: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

OSPINA, R.P., 2009. Alternativa de aprovechamiento eficiente de residuos. , pp. 11.

PECH, S., 2018. *Obtención de nanocelulosa de la cáscara de sandía (Citrullus lanatus) y sus imágenes de microscopía electrónico de barrido (S.E.M.)*. PhD Thesis. S.l.: Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.

PERNALETE, Z., PIÑA, F., SUÁREZ, M., FERRER, A. & AIELLO, C., 2008. Fraccionamiento del bagazo de caña de azúcar mediante tratamiento amoniacal: efecto de la humedad del bagazo y la carga de amoníaco. *Bioagro*, vol. 20, no. 1, pp. 3-10. ISSN 1316-3361.

PRADO MARTÍNEZ, M., ANZALDO HERNÁNDEZ, J., BECERRA AGUILAR, B., PALACIOS JUÁREZ, H., VARGAS RADILLO, J. de J. & RENTERÍA URQUIZA, M., 2012. Caracterización de hojas de mazorca de maíz y de bagazo de caña para la elaboración de una pulpa celulósica mixta. *Madera y bosques*, vol. 18, no. 3, pp. 37-51. ISSN 1405-0471.

PULIDO, E., MORALES, B., ZAMUDIO, M. & LUGO DEL ANGEL, F., 2016. Obtención y caracterización de nanocelulosa a partir de tule (*Typha domingensis*). *Artículo Revista de Energía Química y Física Marzo*, vol. 3, no. 6, pp. 31-38.

PULIDO, H.G., 2008. Análisis y diseño de experimentos. , pp. 564.

RAIGOND, P., RAIGOND, B., KOCHHAR, T., SOOD, A. & SINGH, B., 2018. Conversion of Potato Starch and Peel Waste to High Value Nanocrystals. *Potato Research*, vol. 61, no. 4, pp. 341-351. ISSN 0014-3065, 1871-4528. DOI 10.1007/s11540-018-9381-4.

RAMOS, F., 2009. *Los lixiviados pueden aumentar la mortalidad* [en línea]. octubre 2009. Quito: s.n. Disponible en: <https://www.elcomercio.com/actualidad/lixiviados-aumentar-mortalidad.html>.

RIERA, M.A., MALDONADO, S. & PALMA, R.R., 2019. Residuos Agroindustriales Generados En Ecuador Para La Elaboración De Bioplásticos. *Revista Ingeniería Industrial*, vol. 17, no. 3, pp. 227-246. ISSN 07179103. DOI 10.22320/s07179103/2018.13.

RODRÍGUEZ PINEDA, L.M., MUÑOZ PRIETO, E., RIUS ALONSO, C. & PALACIOS ALQUISIRA, J., 2018. *Preparación y Caracterización de Micropartículas de Almidón de Papa con Acrilamida por Irradiación de Microondas* [en línea]. 2018. S.l.: s.n. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/cide/v9n2/0121-7488-cide-9-02-149.pdf>.

RSU, 2019. *Residuos orgánicos* [en línea]. 2019. S.l.: s.n. [Consulta: 15 abril 2021]. Disponible en: <http://www.consorciorsumalaga.com/5936/residuos-organicos>.

SAVAL, S., 2012. Aprovechamiento de Residuos Agroindustriales: Pasado, Presente y Futuro. *Revista de la Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería A.C*, vol. 16, no. 1, pp. 14-46. ISSN 17578981. DOI 10.1088/1757-899X/28/1/012002.

SCAI, 2016. *Microscopía Electrónica de Barrido* [en línea]. 2016. S.l.: s.n. [Consulta: 15 abril 2021]. Disponible en: <http://www.scai.uma.es/areas/micr/sem/sem.html>.

SENESCYT, 2014. Ecuador produce el primer gel de nanocelulosa a partir de la tagua – Senescyt – Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación. [en línea]. [Consulta: 23 diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.educacionsuperior.gob.ec/ecuador-produce-el-primer-gel-de-nanocelulosa-a-partir-de-la-tagua/>.

SHERWOOD, S. & PUMISHATO, M., 2002. El Cultivo de la Papa en Ecuador. *INIAP*. Primera. Quito: Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), pp. 21-24.

SKOOG, D.A., HOLLER, F.J. & CROUCH, S.R., 2007. *Principles of instrumental analysis*. 6th ed. Belmont, CA: Thomson Brooks/Cole. ISBN 978-0-495-01201-6. QD79.I5 S58 2007

UNAM, 2007. Fundamentos y técnicas de análisis de alimentos. [en línea]. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México. Disponible en: http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/FUNDAMENTOSYTECNICASDEANALISISDEALIMENTOS_12286.pdf.

VARGAS, Y. & PERÉZ, L., 2018. Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, vol. 14, no. 1, pp. 59-72. ISSN 1900-4699. DOI 10.18359/rfcb.3108.

WINDEISEN, E. & WEGENER, G., 2016. Lignin as Building Unit for Polymers. *Materials Science and Materials Engineering*, no. June 2015, pp. 1-13. DOI 10.1016/b978-0-12-803581-8.09240-7.

ANEXOS

ANEXO A: RECOLECCIÓN DE LAS CÁSCARAS DE PAPA DE DIFERENTES RESTAURANTES



ANEXO B: SELECCIÓN DE LAS CÁSCARAS DE PAPA CON MEJORES CARACTERÍSTICAS FÍSICAS



ANEXO C: SECADO DE LAS MUESTRAS PARA DETERMINACIÓN DE HUMEDAD



ANEXO D: PESAJE DE LAS MUESTRAS SECAS PARA DETERMINACIÓN DE HUMEDAD



ANEXO E: TRATAMIENTO ALCALINO ÁCIDO ALCALINO PARA ELIMINAR LAS DIFERENTES IMPUREZAS DE LA CÁSCARA DE LA SOLANUM TUBEROSUM



ANEXO F: AGITACIÓN DE LAS MUESTRAS CON EL PRETRATAMIENTO ALCALINO ÁCIDO ALCALINO



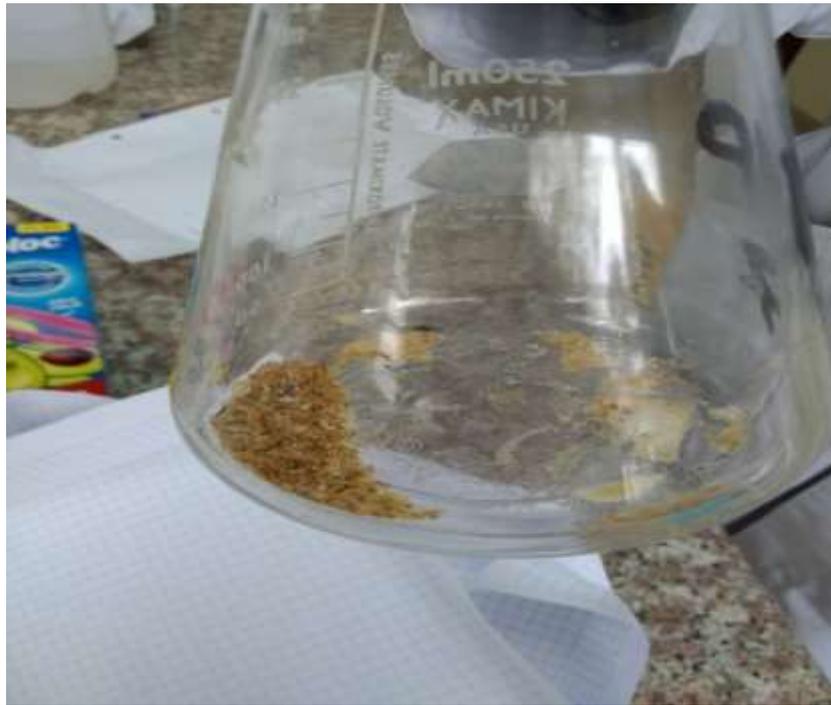
ANEXO G: MUESTRAS DE CÁSCARA DESPUÉS DEL PRETRATAMIENTO



**ANEXO H: MUESTRAS DE CÁSCARA DE PAPA DESPUÉS DEL BLANQUEAMIENTO
CON PERÓXIDO DE HIDROGENO**



**ANEXO I: TRITURACIÓN DE LAS MUESTRAS PARA SU HIDRÓLISIS
ÁCIDA**



ANEXO J: MUESTRAS CON ÁCIDO SULFÚRICO 4 Y 6 M EN AGITACIÓN



ANEXO K: MUESTRAS HIDROLIZADAS DE LA PAPA CHOLA



ANEXO L: EXTRACCIÓN DE CELULOSA DE LAS CÁSCARAS DE CELULOSA PARA DETERMINAR EL RENDIMIENTO DE LA REACCIÓN



ANEXO M: CELULOSA OBTENIDA DE LA CÁSCARA DE LA PAPA



ANEXO N: CERTIFICADO DE BIBLIOTECA



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL APRENDIZAJE
UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 20 / 10 / 2021

INFORMACIÓN DEL AUTORA (S)
Nombres – Apellidos: <i>Joseph Isaac Mena Diaz</i> <i>Ricardo Sebastián Galarza Esparza</i>
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: <i>Ciencias</i>
Carrera: <i>Química</i>
Título a optar: <i>Químico</i>
f. Analista de Biblioteca responsable: <i>Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.</i>

LEONARDO
FABIO MEDINA
NUSTE

Firmado digitalmente
por LEONARDO FABIO
MEDINA NUSTE
Fecha: 2021.10.20
12:56:45 -05'00'



1909-DBRA-UTP-2021