

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES**  
**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL**



**“DESLIGNIFICACIÓN DE RESIDUOS AGRÍCOLAS Y  
AGROINDUSTRIALES, MEDIANTE UN PROCESO QUÍMICO  
PARA OBTENER PULPA DE CELULOSA EN LA REGIÓN  
UCAYALI”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO FORESTAL**

**ANGIE STEFANI AMASIFUEN RENGIFO**

**PUCALLPA – PERÚ**

**2022**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI  
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES  
COMISIÓN DE GRADOS Y TÍTULOS



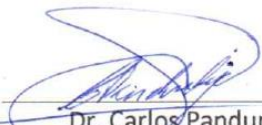
ACTA DE APROBACION DE SUSTENTACIÓN DE TESIS  
N° 430/2022-CGyT-FCFyA-UNU

En la ciudad de Pucallpa a las 09:30 a.m. del miércoles 23 de febrero de 2022, de acuerdo con el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Ucayali, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador en forma virtual, mediante la plataforma unificada de comunicación y colaboración Microsoft Teams, los mismos que estuvo designados con Memo Múltiple N.º 025-2022-UNU-FCFyA, conformado por los siguientes docentes:

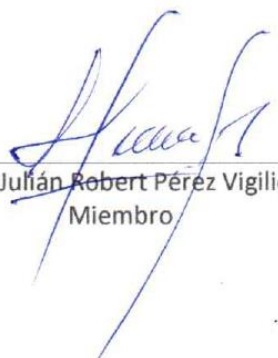
Dr. Carlos Panduro Carbajal	Presidente
Dra. Julissa Katy Bautista Valencia	Miembro
Mg. Julián Robert Pérez Vigilio	Miembro

Se procedió a evaluar a la sustentación de la tesis denominado: **“Deslignificación de Residuos Agrícolas y Agroindustriales, Mediante un Proceso Químico para Obtener Pulpa de Celulosa en la Región Ucayali”**, presentado por la bachiller **AMASIFUEN RENGIFO, ANGIE STEFANI**; asesorado por el Dr. Grober Panduro Pisco, habiendo finalizado la sustentación, se procedió a la formulación de preguntas por parte del Jurado Evaluador, las que fueron absueltas por el sustentante en consecuencia la tesis fue **APROBADO POR UNANIMIDAD Y RECOMENDACIÓN DE PUBLICACIÓN**, quedando expedito para el otorgamiento del **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO FORESTAL**, después de las correcciones respectivas de la tesis.

Siendo las 10:35 a.m. horas del mismo día se da por finalizado el acto académico, firmando los miembros en señal de conformidad.

  
Dr. Carlos Panduro Carbajal  
Presidente

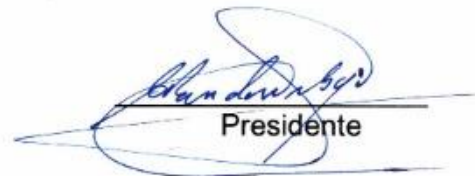
  
Dra. Julissa Katy Bautista Valencia  
Miembro

  
Mg. Julián Robert Pérez Vigilio  
Miembro

## ACTA DE APROBACIÓN

La presente tesis fue aprobada por el Jurado Evaluador de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali, como requisito para optar el Título Profesional de Ingeniero Forestal.

Dr. Carlos Panduro Carbajal



Presidente

Dra. Julissa Katy Bautista Valencia



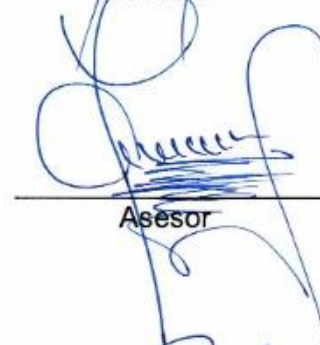
Miembro

Mg Julián Robert Pérez Vigilio



Miembro

Dr. Grober Panduro Pisco



Asesor

Ing. Edwar Edinson Rubina Arana



Co - Asesor

Bach. Angie Stefani Amasifuen Rengifo



Tesista



UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI  
VICERRECTORADO DE INVESTIGACION  
DIRECCION GENERAL DE PRODUCCION INTELLECTUAL

# CONSTANCIA

## ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACION SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND

**N° 0071-2022**

La Dirección de Producción Intelectual, hace constar por la presente, que el Informe final de Tesis, titulado:

"DESIGNIFICACIÓN DE RESIDUOS AGRÍCOLAS Y AGROINDUSTRIALES, MEDIANTE UN PROCESO QUÍMICO PARA OBTENER PULPA DE CELULOSA EN LA REGIÓN UCAYALI".

Cuyo(s) autor (es) : AMASIFUEN RENGIFO, ANGIE STEFANI

Facultad : CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

Escuela Profesional : ING. FORESTAL

Asesor(a) : DR. PANDURO PISCO, GROBER

Después de realizado el análisis correspondiente en el Sistema Antiplagio URKUND, dicho documento presenta un porcentaje de similitud de 2%.

En tal sentido, de acuerdo a los criterios de porcentaje establecidos en el artículo 9 de la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND, el cual indica que no se debe superar el 10%. Se declara, que el trabajo de investigación: SI Contiene un porcentaje aceptable de similitud, por lo que SI se aprueba su originalidad.

En señal de conformidad y verificación se FIRMA Y CODIFICA la presente constancia

FECHA 14/02/2022



Dr. ABRAHAM ERMITANIO HUAMAN ALMIRON  
Dirección de Producción Intelectual

# AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS

## REPOSITORIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

Yo, Angie Stefani Amasifuen Rengifo.  
Autor de la TESIS titulada:  
"Deslignificación de residuos agrícolas y agroindustriales mediante un proceso químico para obtener pulpa de celulosa en la región Ucayali".

Sustentada el año: 2022  
Con la asesoría de: Dr. Greber Panduro Pisco.  
En la Facultad de: Ciencias Forestales y Ambientales.  
Carrera Profesional de: Ingeniería Forestal.

### Autorizo la publicación:

- PARCIAL**  Significa que se publicará en el repositorio institucional solo la caratula, la dedicatoria y el resumen de la tesis. Esta opción solo es válida marcar si su tesis o documento presenta material patentable, para ello deberá presentar el trámite de CATI y/o INDECOPI cuando se lo solicite la DGPI UNU.
- TOTAL**  Significa que todo el contenido de la tesis y/o documento será publicada en el repositorio institucional.

De mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali ([www.repositorio.unu.edu.pe](http://www.repositorio.unu.edu.pe)), bajo los siguientes términos:

**Primero:** Otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali **licencia no exclusiva** para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en formato digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones.

**Segundo:** Declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas, caso contrario, me hago único(a) responsable de investigaciones y observaciones futuras, de acuerdo a lo establecido en el estatuto de la Universidad Nacional de Ucayali y del Ministerio de Educación.

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: 23 / 02 / 2022

Email: angie.a.r@outlook.com

Firma: 

Teléfono: 969583822

DNI: 72127553

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar esta tesis a mis padres Gildemeister Amasifuen López y Marina Rengifo Salas ellos han dado razón a mi vida, gracias por sus consejos, su apoyo incondicional y su paciencia durante todo este tiempo, todo lo que soy es gracias a ellos.

A mi hermano y a toda mi familia que es lo mejor y lo más valioso que Dios me ha dado.

## **AGRADECIMIENTO**

A mis padres por ser los principales promotores de mis sueños, gracias a ellos por confiar y creer en mis expectativas, por siempre desear y anhelar siempre lo mejor para mi vida, gracias por cada consejo y por cada una de sus palabras que me guiaron durante mi vida.

Agradezco también a mi Asesor de Tesis el Dr. Grober Panduro Pisco por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento científico, así como también haberme tenido toda la paciencia del mundo para guiarme durante todo el desarrollo de la tesis.

Y para finalizar, agradezco también a todos los que fueron mis amigos y compañeros de clase durante todos los niveles de estudios en la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali, ya que gracias al compañerismo, amistad y apoyo moral han aportado en un alto porcentaje a mis ganas de seguir adelante en mi carrera profesional.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTO .....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	viii
ÍNDICE DE TABLA .....	xi
ÍNDICE DE FIGURA .....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT .....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	5
1.1. Planteamiento del Problema.....	5
1.2. Formulación del problema .....	6
1.2.1. Problema general.....	6
1.2.2. Problemas específicos .....	6
1.3. Objetivos .....	7
1.3.1. General .....	7
1.3.2. Específico .....	7
1.4. Hipótesis .....	7
1.4.1. Hipótesis alterna (Ha) .....	7
1.4.2. Hipótesis nula (H0) .....	7
1.5. Componentes estudiados .....	8
1.5.1. Variables independientes .....	8
1.5.2. Variables dependientes.....	8
CAPÍTULO II .....	9



Marco Teórico.....	9
2.1. Antecedentes del Problema .....	9
2.1.1. A nivel internacional.....	9
2.1.2. A nivel nacional.....	12
2.2. Planteamiento Teórico del Problema.....	14
2.2.1. Potencial de residuos agrícolas y agroindustriales.....	14
2.2.2. Potencial de residuos agroindustrial en Ucayali .....	15
2.2.3. Método de deslignificación.....	22
2.2.4. Deslignificación.....	25
2.2.5. Parámetros de pretratamiento .....	27
2.2.6. Obtención de envases con pulpa de residuos agrícolas y agroindustriales.....	29
2.3. Definición de Términos Básicos .....	30
CAPÍTULO III.....	32
Metodología.....	32
3.1. Metodología de la investigación .....	32
3.2. Ubicación, población y muestra.....	32
3.2.1. Ubicación .....	32
3.2.2. Población .....	33
3.2.3. Muestra.....	33
3.3. Diseño de la investigación .....	33
3.4. Análisis estadístico .....	34
3.5. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos .....	35
3.5.1. Técnicas .....	35
3.5.2. Instrumentos .....	35

3.6.	Procedimiento de Recolección de Datos .....	36
3.6.1.	Adquisición de materiales, equipos, herramientas e insumos .....	36
3.6.2.	Selección y acondicionamiento del área de trabajo.....	36
3.6.3.	Recolección de residuos agroindustriales .....	37
3.6.4.	Preparación de la biomasa .....	38
3.6.5.	Preparación de las soluciones químicas .....	39
3.6.6.	Deslignificación de la biomasa .....	40
3.6.7.	Recolección de la pulpa de celulosa .....	41
3.6.8.	Análisis químico lignocelulósico de la biomasa .....	42
3.6.9.	Procesamiento de datos recolectados en campo .....	43
3.6.10.	Análisis estadístico .....	43
CAPÍTULO IV .....		44
RESULTADOS Y DISCUSIONES.....		44
4.1.	Concentración de lignocelulósico para obtención de pulpa celulosa .....	45
4.2.	Condiciones físicas del proceso de deslignificación para obtención de pulpa de celulosa .....	50
4.3.	Potencial celulósico de los residuos agroindustriales en la obtención de pulpa orgánica .....	53
CAPÍTULO V .....		55
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		55
5.1.	Conclusiones.....	55
5.2.	Recomendaciones.....	56
BIBLIOGRAFÍA.....		58
ANEXO .....		71
Tablas.....		74

## ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1. Composición química de la biomasa de caña de azúcar. ....	17
Tabla 2. Relación de residuos de arroz. ....	18
Tabla 3. Composición de la biomasa de arroz cáscara. ....	19
Tabla 4. Composición de hijas y tallos de yuca. ....	20
Tabla 5. Composición química de la biomasa de plátano. ....	22
Tabla 6. Población de residuos caña, arroz, yuca y plátano. ....	33
Tabla 7. Organizaciones agroindustriales visitadas. ....	37
Tabla 8. Relación biomasa: volumen y tiempo de cocción con hidróxido de sodio y agua oxigenada. ....	40
Tabla 9. Relación biomasa: volumen y tiempo de cocción con etanol y sal de Mohr. ...	40
Tabla 10. Tratamientos y composición lignocelulósico promedio sin pretratar y con pretratamiento de los residuos agroindustriales. ....	44
Tabla 11. Efecto de la temperatura en el rendimiento celulósico. ....	51
Tabla 12. Efecto del tiempo de cocción en el rendimiento celulósico. ....	52
Tabla 13. Prueba de ANOVA de la concentración de lignina con hidróxido de sodio, en cáscara de plátano, cascarilla de arroz, cáscara de yuca y bagazo de caña. ....	74
Tabla 14. Prueba HSD Tukey de la concentración de lignina con hidróxido de sodio. .	74
Tabla 15. Prueba de ANOVA de la concentración de lignina con agua destilada, en cáscara de plátano, cascarilla de arroz, cáscara de yuca y bagazo de caña. ....	74
Tabla 16. Prueba HSD Tukey de la concentración de lignina con agua destilada. ....	75
Tabla 17. Prueba de ANOVA de la concentración de lignina con etanol, en cáscara de plátano, cascarilla de arroz, cáscara de yuca y bagazo de caña. ....	75
Tabla 18. Prueba HSD Tukey de la concentración de lignina con etanol. ....	75
Tabla 19. Prueba de ANOVA de la concentración de lignina con sal de Mohr, en cáscara de plátano, cascarilla de arroz, cáscara de yuca y bagazo de caña. ....	76
Tabla 20. Prueba HSD Tukey de la concentración de lignina con sal de Mohr. ....	76
Tabla 21. Prueba de ANOVA de la concentración de celulosa con hidróxido de sodio, en cáscara de plátano, cascarilla de arroz, cáscara de yuca y bagazo de caña. ....	76
Tabla 22. Prueba HSD Tukey de la concentración de celulosa con hidróxido de sodio. ....	77

Tabla 23. Prueba de ANOVA de la concentración de celulosa con agua destilada, en cáscara de plátano, cascarilla de arroz, cáscara de yuca y bagazo de caña. ....	77
Tabla 24. Prueba HSD Tukey de la concentración de celulosa con agua destilada. ....	77
Tabla 25. Prueba de ANOVA de la concentración de celulosa con etanol, en cáscara de plátano, cascarilla de arroz, cáscara de yuca y bagazo de caña. ....	78
Tabla 26. Prueba HSD Tukey de la concentración de celulosa con etanol. ....	78
Tabla 27. Prueba de ANOVA de la concentración de celulosa con sal de Mohr, en cáscara de plátano, cascarilla de arroz, cáscara de yuca y bagazo de caña. ....	78
Tabla 28. Prueba HSD Tukey de la concentración de celulosa con sal de Mohr. ....	79
Tabla 29. Prueba de ANOVA de la concentración de hemicelulosa con hidróxido de sodio, en cáscara de plátano, cascarilla de arroz, cáscara de yuca y bagazo de caña. ....	79
Tabla 30. Prueba HSD Tukey de la concentración de hemicelulosa con hidróxido de sodio. ....	79
Tabla 31. Prueba de ANOVA de la concentración de hemicelulosa con agua destilada, en cáscara de plátano, cascarilla de arroz, cáscara de yuca y bagazo de caña. ....	80
Tabla 32. Prueba HSD Tukey de la concentración de hemicelulosa con agua destilada. ....	80
Tabla 33. Prueba de ANOVA de la concentración de hemicelulosa con etanol, en cáscara de plátano, cascarilla de arroz, cáscara de yuca y bagazo de caña. ....	80
Tabla 34. Prueba HSD Tukey de la concentración de hemicelulosa con etanol. ....	81
Tabla 35. Prueba de ANOVA de la concentración de hemicelulosa con sal de Mohr, en cáscara de plátano, cascarilla de arroz, cáscara de yuca y bagazo de caña. ....	81
Tabla 36. Prueba HSD Tukey de la concentración de hemicelulosa con sal de Mohr. .	81
Tabla 37. Correlación de Pearson, para entre la temperatura de cocción y el rendimiento con hidróxido de sodio. ....	82
Tabla 38. Correlación de Pearson, para entre la temperatura de cocción y el rendimiento con agua destilada. ....	83
Tabla 39. Correlación de Pearson, para entre la temperatura de cocción y el rendimiento con etanol. ....	84
Tabla 40. Correlación de Pearson, para entre la temperatura de cocción y el rendimiento con hidróxido de sodio. ....	85

## ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1. Molienda de residuos agroindustriales. ....	38
Figura 2. Balance de materia para establecer concentraciones de los insumos químicos. ....	39
Figura 3. Proceso de deslignificación del, bagazo de caña, cascarilla de arroz, cáscara de plátano y cáscara de yuca. ....	41
Figura 4. Recolección de pulpa de celulosa de los residuos agroindustriales. ....	41
Figura 5. Deslignificación de residuos agroindustriales con 4 insumos químicos. ....	45
Figura 6. Concentración de celulosa en residuos agroindustriales tratados con 4 insumos químicos. ....	47
Figura 7. Concentración de hemicelulosa, con pretratamiento en cáscara de plátano. ....	49
Figura 8. Potencial celulósico, con pretratamiento en la mayor disposición de residuos agroindustriales. ....	53
Figura 9. Bagazo de caña. ....	72
Figura 10. Cascarilla de arroz. ....	72
Figura 11. Cáscara de plátano. ....	72
Figura 12. Cáscara de yuca. ....	72
Figura 13. Tratamiento de bagazo de caña con NaOH. ....	72
Figura 14. Pulpa de bagazo de caña con NaOH. ....	72
Figura 15. Medición de temperatura en agua destilada. ....	73
Figura 16. Tratamiento de cascarilla de arroz con agua destilada. ....	73
Figura 17. Pulpa de cáscara de plátano tratado con etanol. ....	73
Figura 18. Tratamiento de cáscara de plátano con etanol. ....	73
Figura 19. Pulpa de cáscara de yuca tratado con sal de Mohr. ....	73
Figura 20. Tratamiento de cáscara de yuca tratado con sal de Mohr. ....	73

## RESUMEN

La investigación realizada tuvo como objetivo general determinar la deslignificación de los residuos agroindustriales y agrícolas, mediante el uso de método químico para obtener pulpa de celulosa en la región de Ucayali. En Ucayali se genera alrededor de 15038.4 tn/año de cascarilla de arroz, 8399.2 tn/año de bagazo de caña, 168 tn/año de cascara de yuca y 38.4 tn/año cascara de plátano, que no son aprovechados, teniendo potencial lignocelulósico en su estado natural e incrementados mediante deslignificación.

Para determinar la deslignificación de estos residuos agroindustriales mediante un método químico para obtener pulpa de celulosa, se utilizó hidróxido de sodio al 10%, etanol al 50%, agua destilada y sal de Mohr al 25%, utilizando diseño de arreglo factorial de 4x3 y un grupo de control con cuatro niveles, que aplicando el Análisis de Varianza y Prueba de Tukey.

Según los resultados la mayor remoción de lignina, en la aplicación de sal de Mohr en cáscara de yuca con 83.7%, seguido en la aplicación de hidróxido de sodio que alcanzó remociones de 76.4% en cascara de plátano, 52.7% en cascarilla de arroz y 46.8% en bagazo de caña; en cuanto a pulpa de celulosa, el mayor incremento sucede con la aplicación de hidróxido de sodio con 50.1% en cáscara de plátano y 48.6% en cascarilla de arroz; seguido del etanol con 23% en bagazo de caña y en sal de Mohr con 4.2% en cáscara de yuca. El mayor potencial celulósico se presenta en cascarilla de arroz con 938.7 tn/mes y en bagazo de caña con 486.6 tn/mes, lo que brinda oportunidad de aprovechamiento para elaboración de productos de interés con estrategias ambientales, sociales y económicas para restaurar ecosistemas.

Palabras Clave: deslignificación, lignina, celulosa, agroindustrial, residuo.

## ABSTRACT

The general objective of the research carried out was to determine the delignification of agro-industrial and agricultural residues, through the use of a chemical method to obtain cellulose pulp in the Ucayali region. In Ucayali, around 15,038.4 tons/year of rice husk, 8,399.2 tons/year of cane bagasse, 168 tons/year of cassava husk and 38.4 tons/year of banana husk are generated, which are not used, having lignocellulosic potential in their natural state and increased by delignification.

To determine the delignification of these agro-industrial residues by means of a chemical method to obtain cellulose pulp, sodium hydroxide at 10%, ethanol at 50%, distilled water and Mohr's salt at 25% were used, using a 4x3 factorial arrangement design and a control group with four levels, applying the Analysis of Variance and Tukey's Test.

According to the results, the highest removal of lignin, in the application of Mohr's salt in cassava husk with 83.7%, followed by the application of sodium hydroxide that reached removals of 76.4% in banana husk, 52.7% in rice husk and 46.8% in cane bagasse; Regarding cellulose pulp, the greatest increase occurs with the application of sodium hydroxide with 50.1% in banana peel and 48.6% in rice husk; followed by ethanol with 23% in cane bagasse and Mohr's salt with 4.2% in cassava husk. The greatest cellulosic potential occurs in rice husks with 938.7 tons/month and in sugar cane bagasse with 486.6 tons/month, which provides an opportunity to make use of products of interest with environmental, social and economic strategies to restore ecosystems.

Key Words: delignification, lignin, cellulose, agroindustrial, residue.

## INTRODUCCIÓN

La región Ucayali es altamente agroindustrial, con cultivos como la palma aceitera, palmito, cacao, caña de azúcar, arroz, camu camu, yuca y plátano, genera alrededor de 15038.4 tn/año de cascarilla de arroz, 8399.2 tn/año de bagazo de caña, 168 tn/año de cáscara de yuca y 38.4 tn/año cáscara de plátano. Estos residuos generan problemas de eliminación, utilización y gestión de los desechos de biomasa, trayendo impactos negativos o positivos, de acuerdo a la óptica del cual se estudia, siendo un desafío creciente para las ciudades, especialmente en los países en desarrollo, debido a la creciente generación de desechos que generan contaminación por su disposición inadecuada y la falta de enfoques factibles y eficientes para reciclar estos residuos que pueden convertirse en agentes mejoradores de la calidad del ambiente, ya que tienen alto potencial de aprovechamiento por su variada composición química para elaborar productos de interés ambiental, social y económico, lo que llama la atención en todo el mundo y el modo de vivir de los seres vivos y la recuperación de medios bióticos Tong, (2019); Hakeem, Jawaid, & Alothman, (2015) & Vargas & Pérez, (2018). La celulosa, la hemicelulosa y la lignina son tres componentes principales de la biomasa lignocelulósica, con cantidades que varían según los tipos de biomasa (madera dura, madera blanda, residuos agrícolas y cultivos energéticos), paredes celulares primarias y secundarias, edades y ubicaciones Chundawat, Beckhan, Himmel, & Dale, (2010) & Wyman, (1990). Se cree que la lignina rodea la celulosa y la hemicelulosa como una estructura compleja que hace que la biomasa celulósica sea altamente recalcitrante a las enzimas, patógenos y microorganismos Lynd, Cushman, Nichols, & Wyman, (1991) & Studer, *et al.* (2011).



La cáscara de arroz se compone de celulosa (25–35%), hemicelulosa (18–21%), lignina (26–31%) y sílice (15–17%), pectina, ceras y sales inorgánicas (Luduena, *et al.* (2011). En bagazo de caña se reporta 26.7% de lignina, 37.4% celulosa y 35% de hemicelulosa González, Hernández, & Reyes, (2019). En pellejo de yuca se encontró 56-58% de celulosa, 25.20% de lignina y 17-20 de hemicelulosa González, Daza, Caballero, & Martínez, (2016). No se han reportado estudios lignocelulósicos en cáscara de plátano. La lignina es el material estructural clave en la formación de las paredes celulares de las plantas, especialmente en la madera y la corteza debido a su estructura aromática que mejora la resistencia y rigidez Hakeem, Jawaid, & Alothman, (2015). Por otro lado, la celulosa es el polímero más abundante y representa aproximadamente del 40 al 50% de la biomasa vegetal y leñosa en peso, exhibe una alta resistencia y es renovable y biodegradable usado en la industria textil, papel, de materiales, alimentos y farmacéutica y química, la obtención de celulosa ayuda a maximizar el reciclaje y minimizar los desechos Anwar, Gulfranz, & Irshad, (2014); Klemm, Heublein, Fink, & Col, (2005) & Allwyn & Vasudevan, (2018). Sustancias como la hemicelulosa y lignina se eliminan, mediante tratamiento para obtener celulosa con alta pureza. En comparación con el tratamiento único, la combinación de tratamientos mecánicos, químicos, biológicos y enzimáticos puede aumentar la calidad de la celulosa, siendo éstos los más comunes; sin embargo, aumenta el costo y provoca un alto consumo de energía Kumneadklang, Thong, & Larпкиattaworn, (2019) & Kucharska, Rybarczyk, Holowacz, & otros, (2018).

El costo de producción de etanol del bagazo de caña lignocelulósico es afectado principalmente por el pretratamiento. La máxima deslignificación y recuperación de celulosa con un uso mínimo de reactivos de pretratamiento, condiciones de temperatura

más bajas y una duración de tiempo reducida para los pretratamientos, así como las altas cargas de biomasa, ayuda a minimizar el costo de producción Ngoc, Mupondwa, Tabil, Li, & Castellanos, (2018) & Dutra, *et al.* (2017).

El pretratamiento alcalino (NaOH) es el método que remueve mayor cantidad de lignina comparado con el ácido ( $H_2SO_4$ ) y organosolv ( $C_2H_5OH$ ), siendo la concentración de NaOH el factor más influyente estudiadas, el etanol no tiene efectividad significativa en la remoción de la lignina (Reales, Castaño, & Zapata, 2016). Estudios en cascarilla de arroz, bagazo de caña y aserrín con pretratamiento de ácido diluido ( $H_2SO_4$ ) genera una pobre remoción de lignina y hemicelulosa en todos los materiales, aunque se muestra selectivo hacia la hemicelulosa. El pretratamiento combinado, ácido diluido seguido de álcali (NaOH), es bastante riguroso, pues si bien se presentan altos niveles de remoción de lignina y hemicelulosa, también se presenta una pérdida importante de celulosa en bagazo y cascarilla Torres, Morales, & Quintero, (2017).

En lugar de tratar con métodos tradicionales (incineración y vertedero), muchos investigadores apuntan a extraer polímeros naturales como celulosa, lignina, gelatina, quitina, etc., con métodos novedosos como el organosolv, la combinación de tratamientos mecánicos, químicos y biológico, con el objetivo de mejorar rendimientos y pureza, simplificar los procesos de extracción y mejorar las propiedades funcionales. En estudios futuros se esperan enfoques viables y rentables para la conversión de residuos en productos de valor agregado y se optimicen métodos de extracción que sean capaces de escalar y puedan generar productos con altos rendimientos y purzas para cada uno de los principales desechos de biomasa Zhou & Wang, (2020).

Con el presente trabajo se evaluó la obtención de pulpa celulosa de residuos agroindustriales a través de la deslignificación mediante el uso de método químico, de hidróxido de sodio (NaOH), agua destilada (H<sub>2</sub>O), etanol (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH) y sal Mohr; así como la influencia de la temperatura y tiempo de cocción en el rendimiento de la pulpa de celulosa, generando otras alternativas de acuerdo al tipo de residuo agroindustrial para la deslignificación.

## CAPÍTULO I

### 1.1. Planteamiento del Problema

La generación de subproductos o residuos agroindustriales en las diferentes etapas de los procesos productivos es actualmente una problemática a nivel mundial, debido a que en la mayoría de los casos no son procesados o dispuestos adecuadamente, situación que contribuye al proceso de contaminación ambiental. Los residuos agroindustriales cuentan con un alto potencial para ser aprovechados en diferentes procesos que incluyen elaboración de nuevos productos, agregación de valor a productos originales y recuperación de condiciones ambientales alteradas, las intenciones de fabricar productos diferentes de los residuos es interesante aunque no se obtengan resultados favorables como en platos de hojas de *Calathea lutea* (bijao) Vargas & Pérez, (2018) & Flores & Limache, (2017).

La deslignificación de biomasa lignocelulósica es un paso fundamental para obtener monosacáridos a partir de macromoléculas como la celulosa y hemicelulosa. Diferentes procesos físicos, químicos y biológicos, han sido empleados con el fin de alterar y modificar la matriz de diversas materias primas vegetales, por la presencia de lignina, uno de los componentes más recalcitrantes en su estructura, Pantoja, Cuatin, & Muñoz, (2015).

El cuidado del ambiente se ha convertido es atención de la sociedad en su conjunto y por ello, la producción industrial se hace más competitiva a través de la utilización de tecnologías avanzadas y recursos renovables, la posibilidad de reciclar y hacer del descarte un recurso y recurrir a las bioenergías, representa un tema de fundamental importancia en la economía de algunos sectores industriales, Area & Vallejos, (2012).

En Perú MINAM (2018), reporta que la materia orgánica abarca más del 50% de los residuos sólidos, en Ucayali no se aprovecha los residuos sólidos orgánicos, por ello el 2019 se declaró en emergencia la gestión integral de los residuos sólidos, (García, *et al.* (2017) indican que en la industria platanera el 85% no se aprovechan, solo se aprovecha el fruto del cual cerca del 30% es cáscara. China es el principal productor de plásticos y la mayor demanda está en Alemania (24,9%), Italia (14,3%), Francia (9,6%), Reino Unido (7,7%) y España (7,4%); Estévez, (2019).

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿Será efectivo la deslignificación de los residuos agroindustriales y agrícolas, mediante el uso de método químico para obtener pulpa de celulosa en la región de Ucayali?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- ¿Cuál es la concentración de lignina y celulosa en la obtención de pulpa orgánica?
- ¿Cuáles son las condiciones físicas de la deslignificación para obtener pulpa orgánica?
- ¿Cuál es el potencial celulósico de los residuos agroindustriales en la región Ucayali?

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. General**

Determinar la deslignificación de los residuos agroindustriales y agrícolas, mediante el uso de método químico para obtener pulpa de celulosa en la región de Ucayali.

#### **1.3.2. Específico**

- Determinar la concentración adecuada de lignina y celulosa para obtención de pulpa orgánica.
- Establecer las condiciones físicas del proceso de deslignificación para obtención de pulpa orgánica.
- Cuantificar el potencial celulósico de los residuos agroindustriales en la obtención de pulpa orgánica.

### **1.4. Hipótesis**

#### **1.4.1. Hipótesis alterna (Ha)**

La deslignificación de los residuos agroindustriales y agrícolas, mediante el uso de método químico permite obtener pulpa de celulosa al 100% en la región de Ucayali.

#### **1.4.2. Hipótesis nula (H0)**

La deslignificación de los residuos agroindustriales y agrícolas, mediante el uso de método químico no permite obtener pulpa de celulosa al 100% en la región de Ucayali.

## **1.5. Componentes estudiados**

### **1.5.1. Variables independientes**

[X1] = residuos agroindustriales y agrícolas. [X2] = Insumo químico.

### **1.5.2. Variables dependientes**

[Y1] = Contenido de lignina.

## CAPÍTULO II

### Marco Teórico

#### 2.1. Antecedentes del Problema

##### 2.1.1. A nivel internacional

Vargas & Pérez, (2018), presenta una revisión bibliográfica de las diferentes alternativas de aprovechamiento de los residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente. La búsqueda incluyó publicaciones acerca del uso de residuos de origen agroindustrial en la prevención e intervención de posibles impactos negativos. Como resultado de la revisión se identificaron cinco categorías de empleo de los residuos agroindustriales: 1) obtención de bioenergéticos (bioetanol, biodiésel, biogás, biomasa energética), 2) proceso de compostaje, 3) aprovechamiento en la producción de alimentos para animales, 4) elaboración de otros productos de interés (ladrillos, composites, estibas, entre otros) y 5) recuperación de medios abióticos contaminados (remoción de colorantes, metales pesados e hidrocarburos). El aprovechamiento de estos residuos se ha convertido en un tema de gran interés por los diversos beneficios ambientales y económicos obtenidos, que promueven un desarrollo sostenible.

López, *et al.* (2016) este estudio demostró la posibilidad de obtención de celulosa a partir de bagazo de caña (*Saccharum spp.*), con un tratamiento químico de hidrólisis ácida (sulfúrica) a las fibras de celulosa generando 48% de rendimiento. El análisis de los difractogramas rayos-X reveló que la cristalinidad de la celulosa obtenida es de 55%  $\pm 2.0$ , con un tamaño promedio



de cristales de  $2 \text{ nm} \pm 0.20$  equivalente a  $22 \text{ \AA} \pm 2.0$ , mientras que la cristalinidad de la celulosa parte del bagazo de caña (sin tratamiento) tuvo un valor menor (41%), con tamaño promedio del cristal de  $2.2 \text{ nm}$  ( $22 \text{ \AA}$ ), similar al de la celulosa obtenida con tratamiento. La mayor cristalinidad de la celulosa obtenida fue atribuida a la manera eficiente de disolución de las regiones amorfas (lignina y hemicelulosa), confirmada con los espectros de Espectroscopía de infrarrojo (FTIR). Las imágenes de estereoscopía permitieron observar características de las fibras de celulosa, mostrando buena relación de aspecto que le permitirá actuar como refuerzo en materiales compuestos, además de representar una fuente promisoría en la producción de biomateriales y papel.

Torres, Morales, & Quintero, (2017) su trabajo determinó el efecto de diferentes pretratamientos químicos sobre la composición química y cristalinidad en los materiales lignocelulósicos, aserrín de madera, bagazo de caña y cascarilla de arroz. Los pretratamientos evaluados se llevaron a cabo aplicando ácido sulfúrico o hidróxido de sodio o la combinación de ambos sobre el material. Con la aplicación del pretratamiento combinado genera las mayores remociones de lignina. Para bagazo de caña se obtuvo una remoción de lignina del 80,6%, mientras que para aserrín y cascarilla de arroz la remoción fue del 46,7%. Sin embargo, se observó una pérdida apreciable de celulosa, del 30,7% para el bagazo y 15,58% para la cascarilla. El análisis por difracción de rayos X, reveló un incremento de la cristalinidad para el aserrín y el bagazo de caña.

Niju & Swathika, (2019), su estudio revisa las tecnologías actuales de pretratamiento y sus inconvenientes debido a la formación de inhibidores, y examina de manera importante los roles clave de peróxido de hidrógeno alcalino (AHP) en el refinado de la biomasa, particularmente el bagazo de caña de azúcar para la producción de bioetanol. El bagazo de caña de azúcar ha demostrado ser una materia prima prometedora para la producción de bioetanol debido a su alto contenido celulósico y su enorme disponibilidad. Para que la producción de bioetanol sea eficaz, el pretratamiento es el paso más crucial para eliminar la lignina recalcitrante y hacer que la celulosa sea más accesible a las enzimas para su hidrólisis. Las técnicas de pretratamiento más ampliamente utilizadas emplean alta temperatura y presión que generan inhibidores del crecimiento biológico como furfural e hidroximetil furfural (HMF).

Reales, Castaño, & Zapata, (2016), evaluaron el efecto de tres tipos de pretratamiento (ácido, alcalino y organosolv), sobre la remoción de lignina de la biomasa de tallos de yuca. Se utilizó una concentración de sólidos 10% (p/v). En el tratamiento ácido se evaluó la concentración de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> entre 0.79 y 2.21 %p/v de, y el tiempo entre 8 y 22 minutos, a 121° C y 15 psi. En el alcalino se evaluó la concentración de NaOH entre 0.59 y 3.41 % p/v y el tiempo entre 4 y 11 h, a 60° C y en el organosolv se evaluó la concentración de etanol entre 41.7 y 98.3 % v/v de etanol y el tiempo entre 4 y 11 h, a 60° C. Las variables con influencia significativa sobre la remoción de lignina fueron concentración de ácido, tiempo y concentración de álcalis, y el tiempo en el proceso organosolv.

El pretratamiento alcalino presentó los mayores porcentajes de remoción de lignina mientras que el pretratamiento organosolv mostró los niveles más bajos.

Flórez, Gonzáles, & López, (2018) En Colombia se produce alrededor de 9 millones de toneladas de residuos de la cosecha de la caña de azúcar por hectárea cada año, que no han sido valorizados hacia ningún tipo de producto. Para separar las hemicelulosas puras, se estudiaron cinco procesos de extracción a partir de las hojas y cogollos de las variedades de caña de azúcar CC 8592, CC 8475 y V 7151. Después de evaluar la eliminación de ceras con etanol y mezclas de cloroformo-metanol, los residuos se expusieron a diferentes concentraciones de peróxido de hidrógeno y clorito de sodio acidificado para lograr su deslignificación. Además, se desarrollaron procedimientos de extracción con hidróxido de sodio e hidróxido de potasio, y de precipitación. El método que logró el mayor rendimiento fue el de descenso con metanolcloroformo y deslignificación con clorito de sodio y borohidruro de sodio, con un rango de recuperación entre 0.20-0.34 g hemicelulosas/g residuo seco en las variedades estudiadas.

### **2.1.2. A nivel nacional**

Auccapuma, (2018), investigó el efecto de la temperatura, tiempo de cocción y concentración de hidróxido de sodio en el rendimiento y las propiedades físico-mecánicas de la pulpa formada de la paja (*Stipa ichu* L.). En ello se aplicó un diseño factorial 23 para determinar los efectos siguiendo el proceso Soda-Antraquinona y los procedimientos de normas TAPPI para la determinación de las propiedades físico-mecánicas. El resultado del rendimiento es 38.22%, y en

las propiedades físico-mecánicas el grado de blancura es 39.62 °Photovolt, el índice de rasgado es 9.32 mN-m<sup>2</sup>/g; longitud de rotura es 8404.67 m y la doblez pliegues es 559 #, en ello la temperatura de cocción de 170 °C, tiempo de cocción de 75 min; y la concentración de hidróxido de sodio de 15% tienen efecto estadísticamente significativo en el rendimiento en pulpa.

Delgado & Uribe, (2017), investigó determinar la mejor combinación de tres variables, con tres niveles, que son tiempo de cocción (1; 1.5 y 2 horas), concentración de Na(OH) (5%, 10% y 15%) y tamaño de partícula (0.1 cm; 0.5 cm y 2 cm), para la obtención de pulpa de celulosa a partir de hojas de caña de azúcar; el mayor rendimiento de la experimentación fue de 34.47% con una combinación de variables de 1 hora para tiempo de cocción, 5% de concentración de Na(OH), 2 cm. de tamaño de partícula. Las pulpas obtenidas se sometieron a un análisis de calidad en donde se determinó el porcentaje de lignina y celulosa, los cuales fueron 5.03% y 86.73% respectivamente para la pulpa de mayor rendimiento. Para el caso de las hojas de caña de azúcar se dimensionó la fibra para obtener el coeficiente de flexibilidad, rigidez, Runkel y Peteri, los cuales fueron 0.79; 0.22; 0.27 y 707.17 respectivamente, los que influyen mucho en el comportamiento de las hojas, también se analizó la densidad básica, que fue 0.287 gr/cm<sup>3</sup>.

## **2.2. Planteamiento Teórico del Problema**

### **2.2.1. Potencial de residuos agrícolas y agroindustriales**

Los residuos o subproductos se generan en cualquier proceso productivo y usualmente no son de utilidad posterior como materia prima para la cadena de producción Rosas, Ortiz, Herrera, & Leyva, (2016). El sector agroindustrial no es la excepción, así que genera residuos que pueden ser definidos, según Saval, S., (2012), como materiales en estado sólido o líquido obtenidos a partir del consumo directo de productos primarios o de su industrialización, que ya no son de utilidad para el proceso que los generó, pero sí se pueden aprovechar o transformar para obtener otro producto con valor económico, comercial o social. Cada subsector de la agroindustria genera residuos específicos.

Los residuos agroindustriales presentan una alta posibilidad de ser aprovechados generando beneficios para el ambiente y la sociedad, al reciclarse y utilizarse para prevenir la contaminación o recuperar ecosistemas alterados. La diversidad de residuos agroindustriales puede ser utilizada principalmente como alternativa para la producción de compost Hernández, *et al.* (2016) y bioenergéticos Muñoz, Cuatin, & Pantoja, (2013) Sin embargo, en un nivel menor está el aprovechamiento de estos en la producción de alimentos para animales Saval, S., (2012) y fabricación de ladrillos o bloques (Mattey, *et al.* (2015) u otros productos de interés con un valor agregado.

Según Alvarez & Carpio, (2019), en San Juan de Lurigancho, desarrollaron un trabajo sobre diseño de un plan de negocio para la introducción de bolsas

plásticas biodegradables donde los comerciantes manifestaron, su interés por la conservación y preservación del medio ambiente, donde el 78% de los 264 encuestados están dispuestos a comprar bolsas plástico biodegradables y el 60% están dispuestos a pagar un poco más por la adquisición de las mismas.

Según Chávez Porras & Rodríguez González, (2016), reportan que para el 2012, las ciudades produjeron cerca de 1,3 millones de t/año de residuos sólidos (RS), con una producción per cápita de 1,2 kg/día y para el 2025 en 4,3 millones, pero por lo general se queman generando efectos nocivos al medio Ambiente.

## **2.2.2. Potencial de residuos agroindustrial en Ucayali**

### **2.2.2.1. Bagazo de caña de azúcar**

En el Perú, las actividades de la industria de caña de azúcar generan una cantidad considerable de residuos no alimenticios que son desaprovechados energéticamente. Cada planta de caña de azúcar se compone básicamente del tallo principal, hojas, cogollo y raíces. La biomasa aprovechable energéticamente es el bagazo y los residuos agrícolas cañeros (RAC). La caña de azúcar produce una gran cantidad de biomasa aprovechable, en su estado de madurez produce 71.8% de tallos, 12.6% de cogollos o puntas de caña, 8.7% de hojas y 6.9% de mamones o retoños Ramírez, y otros, (2014). Cuberlo, Bárbara, & Valdes, (2002), indicaron que la biomasa en la caña de azúcar se distribuye entre el tallo verde (75%) y los residuos agrícolas (25%), de estos el cogollo representa el 30%, las hojas secas el 30% y las hojas

verdes 30%. Otro estudio revela que los residuos de caña de azúcar los conforman hojas verdes (13.3%), hojas secas (64.2%), cogollos (7.5%) y cañas remanentes(15%), estos desechos no son aprovechados, los mismos que se dejan sobre el suelo como abono y en su mayoría se quema Velásques & López, (2015). Asimismo, según el flujo de procesamiento de azúcar en los ingenios azucareros del Perú, se tiene que la fracción de bagazo producida por tonelada de caña de azúcar que ingresa en el proceso es de 0.3 tn de bagazo/tn de caña Chacón, (2014).

Esta biomasa, dependiendo de la variedad de caña, posee un porcentaje en peso de 42% de celulosa, 26% de hemicelulosa y 22% de lignina Velásques & López, (2015). Por otro lado, León, Dopico, Triana, & Medina, (2013) consideraron que la paja de la caña de azúcar está constituida por la vaina y la hoja seca, cuya composición química en estado natural sería: 45.13% de celulosa, 14.11% de lignina y 8.03% de cenizas. Así mismo Jaramillo, Gómez, & Fontalvo, (2012), incluyeron a las hojas, cogollos y trozos de caña remanentes en un solo grupo de residuos, cuya composición química fue: 31.0% de celulosa, 22.6% de hemicelulosa y 19.4% de lignina insoluble en ácido. Se observa que el cogollo y las hojas verdes presentan la mayor composición de celulosa (superior a 40%) que las otras biomásas, así mismo presentan la mayor composición de hemicelulosa, que también se puede convertir en azúcar fermentable, para la generación de bioetanol. En cuanto a la composición química del bagazo de caña de azúcar, el Instituto Cubano

de Investigaciones de los derivados de caña de azúcar ICIDCA, (1986) reporta estudios realizados a diferentes variedades de caña de azúcar en cuanto a la composición química del bagazo, esta es 46.6% de celulosa, 76% de holocelulosa, 20.7% de lignina y 2.6% de cenizas.

*Tabla 1.  
Composición química de la biomasa de caña de azúcar.*

Residuo	Celulosa	Hemicelulosa	Lignina
<b>Bagazo</b>	46.60%	29.40%	20.70%
<b>Hojas verdes</b>	45.13%	26.00%	14.11%
<b>Hojas secas</b>	31.00%	24.30%	22.00%
<b>Cogollo</b>	42.00%	26.00%	11.54%
<b>Caña remanente</b>	31.00%	22.60%	18.90%

Fuente: ICIDCA (1986); León-Martínez, *et al.* (2013) & Jaramillo Pineda, *et al.* (2012).

#### **2.2.2.2. Cascarella de arroz**

Según la tendencia, se observa un crecimiento positivo en la producción nacional del arroz cáscara lo que aseguraría su disponibilidad en el futuro cercano, y con ello también una importante generación de residuos del procesamiento de arroz cáscara. En cuanto a la biomasa de arroz, en la tabla 2 se presenta la relación de residuos de cáscara y paja generados en una producción típica de arroz, obtenida de diferentes fuentes, como Kumar & Bandyopadhyay, (2006), Purohit, (2009), Saha & Cotta, (2008), Hashim, (2005), Maiorella, (1983) quienes reportaron en sus estudios diferentes valores, para la proporción de cáscara y paja en una planta de arroz, para este estudio se tomaron valores promedio para la cáscara y la paja de arroz de 0.265 y 1.338



respectivamente. Estos valores se usaron para calcular las respectivas biomásas de arroz utilizando los datos anuales de producción de arroz cáscara en Perú, presentados en la figura 9. La estimación de biomasa total de arroz al igual que la producción anual de arroz cáscara, presenta una tendencia positiva a través de los años. Posteriormente se calculó el potencial de la producción de bioetanol mediante la determinación de las composiciones de biomasa, los que son principalmente celulosa y hemicelulosa.

*Tabla 2.  
Relación de residuos de arroz.*

<b>Tipo de residuo de arroz</b>	<b>Relación de residuos generados</b>
	0.2
Cáscara	0.23
	0.33
	0.4
Paja	1 – 1.5
	1.53

Fuente: Kumar & Bandyopadhyay, (2006), Purohit, (2009), Saha & Cotta, (2008), Hashim, (2005), Maiorella, (1983).

El porcentaje de celulosa y lignocelulosa como compuesto primario en las biomásas de cáscara y paja de arroz, obtenido de diversas fuentes. Para simplificar el cálculo, se toman valores medios para la celulosa y hemicelulosa de 31.8% y 26.8% para la cáscara de arroz y 37.5% y 30.35% para la paja de arroz respectivamente, utilizados para calcular la producción de bioetanol.

*Tabla 3.*  
*Composición de la biomasa de cáscara de arroz.*

<b>Composición de la biomasa</b>	<b>Cáscara de arroz (%)</b>	<b>Paja de arroz (%)</b>
<b>Celulosa</b>	28.6 <sup>a</sup> - 35 <sup>b</sup>	32 <sup>a</sup> - 43 <sup>b</sup>
<b>Hemicelulosa</b>	28.6 <sup>a</sup> - 25 <sup>b</sup>	35.7 <sup>a</sup> - 25 <sup>b</sup>
<b>Lignina</b>	24.4 <sup>a</sup> - 20 <sup>b</sup>	22.3 <sup>a</sup> - 12 <sup>b</sup>
<b>Material extractivo</b>	18.4 <sup>a</sup>	10 <sup>b</sup>

Fuente: a: Poh & Kong, (2002), b: Binod, *et al.* (2010).

### **2.2.2.3. Cáscara de yuca**

El aumento de la siembra de yuca es muy beneficioso para el desarrollo económico, pero también genera preocupación acerca de la eliminación de los residuos vegetales que se generan como hojas y tallos. Estos residuos contienen lignocelulosa y presentan una alternativa de ser usados como materia prima de bajo costo para aumentar la producción de etanol a través de un pretratamiento, hidrólisis y fermentación adecuada Niño, Acosta, & Gelves, (2013).

Con base a la distribución porcentual de la biomasa del cultivo de la yuca (50% tubérculo, 40% tallos y 10% Follaje) y a las cifras de producción del tubérculo en el país Castaño, (2008).

Buitrago, (1990) afirma que la cáscara de yuca representa entre el 15 a 20% del peso total de la raíz y su calidad es bastante uniforme, conteniendo mayor proporción de proteína, grasa, fibra y minerales que

la pulpa; y que, al secar y transformar en harina, es un insumo energético que puede ser empleado en la 76 alimentación de cerdos.

*Tabla 4.*  
*Composición de hojas y tallos de yuca.*

<b>Análisis de fibra por el método de Van Soest</b>	<b>Porcentaje (%)a</b>	
	<b>Hojas</b>	<b>Tallos</b>
Fibra detergente ácida (FDA)	47.96	52.95
Ácido detergente lignina (ADL)	7.06	13.12
Fibra detergente neutra (FDN)	63.59	65.95
Celulosa	40.9	39.83
Hemicelulosa	15.63	13

Fuente: Niño, Acosta, & Gelves, (2013).

#### **2.2.2.4. Cáscara de plátano**

De los residuos que se generan durante el crecimiento del plátano, el de mayor volumen lo constituyen los pseudotallos que cubren la mayor parte del árbol y son responsables de potenciar el crecimiento de los frutos, posterior a que este fruto madure el pseudotallo muere y es sustituido por uno nuevo, este pseudotallo debe ser retirado mediante la poda quedando como deshecho que junto a la hojarasca son destinados a quemarse como una medida para disminuir los residuos que hayan quedado de los diferentes hongos que causan enfermedades en las plantas (enfermedad de Panamá, Sigatoka amarilla y negra, etc.), sin embargo, también constituyen una importante fuente contaminación por el humo emitido. Del pseudotallo también emergen las hojas principales de la planta que son de un tamaño de 30 – 60 cm de ancho y de hasta 2 m de largo Abdul, Siti, & Mohd, (2006).

Las hojas provenientes de la poda constante de la planta también son una importante fuente de residuos lignocelulósicos con potencial energético aprovechable, esta actividad se realiza aproximadamente 1 a 2 veces por mes en un ciclo de vida productiva de 10 a 12 meses Abdullah, Sulaiman, & Taib, (2006). También se consideran residuos agrícolas a los plátanos en mal estado y que son desechados que no cumplen con la calidad del producto final y los raquis del racimo que se recolectan en las plantas de procesamiento y empaque de los frutos, los cuales son desechados pudiendo causar problemas ambientales como la propagación de enfermedades o la contaminación del agua subterránea Santa, Ruiz, Cruz, & Jeoh, (2013). En suma, durante el desarrollo y después de la cosecha del cultivo de plátano este deja cuatro tipos de residuos agrícolas: raquis, pseudotallos, hojas y frutos desechados Guerrero, *et al.* (2016).

Según Kasper, *et al.* (2013) muestra que por cada tonelada de plátano cosechado se recolecta una cantidad significativa de biomasa residual compuesta por 3 toneladas de pseudotallos, 150 kg de raquis y 480 kg de hojas en materia fresca. Otros estudios reportan que en promedio por cada tonelada de plátano producido se generan 2.13 toneladas de residuos lignocelulósicos frescos (pseudotallos, hojas y raquis) Guerrero, Ballesteros, & Ballesteros, (2018) y por otro lado Jingura & Matengaifa, (2008) trabajaron con biomásas agrícolas de

cultivos de frutas y hortalizas, basándose en una relación producto: residuo de 1:2 para las frutas y 1:0.4 para las hortalizas.

*Tabla 5.*  
*Composición química de la biomasa de plátano.*

Residuo	% Celulosa	% hemicelulosa	% Lignina
	26.4 <sup>a</sup>	10.2 <sup>a</sup>	9.4 <sup>a</sup>
<b>Pseudotallo</b>	28.4 <sup>b</sup>	7.5 <sup>b</sup>	10.5 <sup>b</sup>
	36.1 <sup>c</sup>	7.0 <sup>c</sup>	16.43 <sup>c</sup>
	38.0 <sup>a</sup>	8.7 <sup>a</sup>	8.9 <sup>a</sup>
<b>Raquis</b>	37.3 <sup>b</sup>	11.4 <sup>b</sup>	13.3 <sup>b</sup>
	44.3 <sup>c</sup>	22 <sup>c</sup>	9.6 <sup>c</sup>
	21.9 <sup>a</sup>	12.8 <sup>a</sup>	21.5 <sup>a</sup>
<b>Hojas</b>	20.4 <sup>b</sup>	8.6 <sup>b</sup>	24.3 <sup>b</sup>
	32.6 <sup>c</sup>	12.0 <sup>c</sup>	21.8 <sup>c</sup>

Fuente: a: Guerrero, Aguado, Sánchez, & Curt, (2016); b: Oliveira, Cordeiro, Evtuguin, Torres, & Silvestre, (2007); c: Gabhane, *et al.* (2014).

### 2.2.3. Método de deslignificación

Los procesos de obtención de celulosa de las fibras no madereras se pueden dividir en: mecánicos, hidrotérmicos, químicos o combinados. El objetivo principal del proceso denominado pulpado es separar la celulosa de la lignina aumentando el rendimiento de las materias primas. Es importante separar la celulosa de la lignina porque el papel está constituido por fibras celulósicas. Las fibras celulósicas se reorganizan y se distribuyen aleatoriamente en una estructura en forma de lámina Sridach, (2010). Las propiedades de la lámina como la resistencia a la tracción dependen directamente del contenido de celulosa (Ververis, *et al.* (2004).

### **2.2.3.1. Pre tratamiento físico**

#### **Proceso mecánico**

Consiste en la separación mecánica de la lignina. El método de piedra molida es el más utilizado. Consiste en moler a la madera en una piedra de moler giratoria. La fibra de madera se junta con la superficie de la piedra por el efecto de la presión. Las desventajas de este tipo de tratamiento es que debilita a la fibra, la lignina no se elimina completamente produciendo un papel que se volverá amarillo en poco tiempo. Además, las fibras son más débiles que las obtenidas químicamente. Sin embargo, la ventaja es el alto rendimiento y bajo costo Fahmy, *et al.* (2017)

#### **Proceso hidrotérmico**

El tratamiento por explosión de vapor o también llamado proceso de Masonite fue en un principio una alternativa al proceso mecánico. Durante el tratamiento se emplea vapor a alta presión, temperaturas elevadas entre 100 a 300°C, tiempos entre 1 a 10 min y finalmente una descompresión brusca con enfriamiento Chandra, *et al* (2016).

### **2.2.3.2. Pre tratamiento químico**

El objetivo es deslignificar al material lignocelulósico con el fin de obtener la pasta química para la elaboración de papel o derivados de la celulosa. Debido a que la lignina es insoluble en agua debe convertirse en derivados solubles adicionando una solución química. Durante los

tratamientos químicos la hemicelulosa se hidroliza y se elimina de la fibra. Además la lignina que queda en la pulpa suele eliminarse en procesos de blanqueo para mejorar su calidad.

**Proceso Kraft:** proceso alcalino en el que se utiliza hidróxido de sodio NaOH y sulfuro de sodio Na<sub>2</sub>S Castells, (2012). La temperatura de operación es de 175°C durante 2 a 5h.

**Proceso al Sulfito:** proceso ácido que produce un menor rendimiento que el proceso Kraft. La madera se trata con bisulfito de magnesio y exceso de dióxido de azufre aproximadamente a 175°C y durante 6 a 12h. Se elimina un mayor porcentaje de lignina Holtzapfel, (2003).

**Proceso a la sosa:** Proceso alcalino en el que se utiliza hidróxido de sodio NaOH. Se ha utilizado la solución al 12% durante 5h a 160°C para obtener pulpas de paja. Bajpai, (2018). En el caso de tallos de canola y paja de colza se ha utilizado la solución alcalina de 14% al 23% de 160 a 180°C, con una relación de licor- materia prima de 4:1 a 8:1 Potucek, Gurung, & Hajkova, (2014).

### 2.2.3.2. Pre tratamiento biológico

#### Pretratamiento enzimático de biomasa

En los pretratamientos biológicos, la biomasa se somete a la acción de microorganismos como los hongos o enzimas (lacasas) que degradan en forma aeróbica, la lignina. En procesos de biopulpeo enzimático, los pretratamientos que usan mediadores como el HBT (1-

hidroxibenzotriazol) o el ABTS (2,2- azinobis (3-etilbenzotiazoline-6sulfonato), disminuyen lignina en su totalidad manejando tiempos cortos de 2 a 8 horas, pero su uso es restringido por el alto costo y biodegradabilidad limitada García M., (2008) Ávila, Palechor, & Valencia, (2013).

## **2.2.4. Deslignificación**

### **2.2.4.1. Pre tratamientos**

#### **2.2.4.1.1. Pre tratamiento con peróxido de hidrógeno alcalino**

Entre los diversos pre tratamientos alcalinos que existen, destaca el pre tratamiento de deslignificación oxidativa con peróxido de hidrógeno alcalino (PHA) por lograr un alto porcentaje de remoción de lignina y recuperación de celulosa y hemicelulosa (holocelulosa) en diversos sustratos lignocelulósicos. Además, durante el proceso no se generan compuestos inhibitorios para los procesos de fermentación y digestión anaerobia, como los furfurales, y se logra incrementar los rendimientos de sacarificación enzimática Gould, J. M., (1985).

#### **2.2.4.1.2. Pre tratamiento a base de ácido**

En las industrias, la hidrólisis ácida se considera el método de pre tratamiento más destacado. Generalmente se realiza con ácidos minerales, ácidos orgánicos y dióxido de azufre también es una opción Naik, Dasu, Goud, & Rao, (2017). El ácido rompe los enlaces



covalentes en los enlaces compuestos en la estructura lignocelulósica y da como resultado la formación de azúcares reductores. Los ácidos más utilizados son el ácido sulfúrico, el ácido nítrico y el ácido clorhídrico Xu & Huang, (2014). De estos ácidos, el ácido sulfúrico se usa principalmente debido a su bajo costo y alta eficiencia en la eliminación de lignina Sindhu, *et al.* (2011). Se lleva a cabo a 120-210 ° C con una concentración de ácido inferior al 4% en peso y el tiempo de incubación puede diferir de minutos a horas. Esta técnica es una de las técnicas científicas con menor costo y es fácil de operar. Si bien el pre tratamiento con ácido tiene un costo efectivo, tiene algunos de los inconvenientes del alto costo del reactor para su uso, la formación de yeso durante la neutralización después del pre tratamiento y la formación de subproductos inhibidores. Los principales inhibidores formados en el pre tratamiento ácido son hidroximetil furfural y subproductos como compuestos fenílicos y ácidos carboxílicos alifáticos Jönsson & Martín, (2016).

#### **2.2.4.1.3. Pre tratamiento a base de pulpa**

La fabricación de pasta se utiliza comúnmente en las industrias de producción de papel y la fabricación de pasta química se puede implementar en biomasa lignocelulósica para degradar la lignina. Generalmente se utilizan dos tipos de procesos de despulpado, que son kraft y sulfito despulpado. La pulpa de papel kraft se basa en

hidróxido de sodio y sulfuro de sodio. En sulfito despulpado, mezcla acuosa de bisulfito ( $\text{HSO}_3$ ) y se utilizan sulfito. En ambos procesos, la lignina y algunas hemicelulosas se degradan en licor negro que puede movido. El proceso de pre tratamiento de despulpado da como resultado la formación de ácidos alifáticos Jönsson & Martín, (2016).

### **2.2.5. Parámetros de pretratamiento**

Niju & Swathika (2019), la eficacia del pretratamiento depende de los parámetros que se deben optimizar para una deslignificación máxima. Los principales parámetros que afectan al pretratamiento con AHP son el tiempo de incubación de la reacción, la concentración de biomasa, la concentración de peróxido de hidrógeno y la temperatura mantenida durante el pretratamiento. La forma en que estos parámetros afectan la eficiencia del pretratamiento se discute a continuación:

#### **2.2.5.1. Efecto del tiempo de pretratamiento**

El tiempo de contacto entre la biomasa y la solución de AHP varía generalmente de varios minutos a horas. El tiempo de reacción informado en la literatura varía de 1 a 24 h dependiendo de la biomasa y la concentración de peróxido de hidrógeno Dutra, *et al.* (2017). El aumento en el tiempo aumenta el rendimiento de azúcar hasta cierto nivel pero no tiene mucha influencia en el pretratamiento. El tiempo óptimo para el bagazo de caña de azúcar fue de 1 h, lo que produjo

niveles altos de glucosa con 7.35% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> concentración incubada a 25 ° C Rabelo, *et al.* (2011).

#### **2.2.5.2. Efecto de la carga de biomasa**

La carga de biomasa es la concentración de sólidos en el pretratamiento que es la cantidad de masa a ser pretratada por la masa o el volumen de la reacción de pretratamiento. La carga de biomasa determina la eficacia del pretratamiento. Por lo general, a escala industrial, se requiere una alta carga de biomasa, ya que reduce el costo y, al mismo tiempo, también aumenta la liberación general de azúcares. Es importante combinar el pretratamiento y la hidrólisis a altas concentraciones de sólidos generalmente por encima del 15% para que el proceso sea económico. Sin embargo, una carga de sólidos muy alta puede aumentar la viscosidad y esto puede resultar en un aumento de energía para mezclar y agitar Dutra, *et al.* (2017).

#### **2.2.5.3. Temperatura de reacción**

La temperatura juega un papel importante entre los parámetros, ya que las altas temperaturas mantenidas durante el pretratamiento pueden conducir a la formación de inhibidores de la fermentación y también los requisitos de energía serán altos. El tratamiento AHP generalmente se lleva a cabo en un rango de temperatura más suave de 25 a 70 ° C Dutra, *et al.* (2017). La mayoría de los tratamientos AHP empleados en el bagazo de caña de azúcar se llevaron a cabo a 25 ° C y produjeron una gran cantidad de azúcares durante la hidrólisis.

#### **2.2.5.4. Efecto de la concentración de peróxido de hidrógeno**

La concentración de peróxido de hidrógeno es uno de los parámetros más importantes, ya que reduce la recalcitrancia de la biomasa y mejora la accesibilidad de la biomasa a las enzimas y ácidos para la hidrólisis Rabelo *et al.* (2011). La concentración de peróxido de hidrógeno depende del tipo de biomasa y para el bagazo de caña de azúcar varía de 1 a 5% (v / v). El aumento de la concentración de peróxido de hidrógeno aumenta la liberación de azúcares, pero esto también puede aumentar el costo del pretratamiento. Por lo tanto, debe elegirse una concentración óptima que dé como resultado un rendimiento máximo y, al mismo tiempo, sea económicamente viable Dutra, *et al.* (2017).

#### **2.2.6. Obtención de envases con pulpa de residuos agrícolas y agroindustriales**

Según García, *et al* (2017), extrajeron pulpa de celulosa de la paja de caña de azúcar, utilizando un proceso de hidrólisis ácida usando como reactivo ácido sulfúrico, previamente realizaron una hidrólisis básica con hidróxido de sodio; repitieron el proceso dos veces, el último utilizando reactivos de grado industrial para posteriormente hacer la comparación de costos y características de los resultados de extracción de la 18 muestra. Al analizar los resultados, observaron que la fibra obtenida por los dos métodos no tenía una diferencia significativa, pero sí, en la extracción de la pulpa con ácido sulfúrico, ya que con el primer método se extrajo mayor cantidad de pulpa de celulosa. Por último, evaluaron propiedades de la pulpa como la pureza, cristalinidad y tamaño

Según Agustin, Bashir, & Alonzo, (2014) Prepararon bioplásticos basados en almidón de maíz reforzados con nanocristales de celulosa extraídos de la paja de arroz. Para la obtención de nanocristales de celulosa eliminaron primero la lignina y hemicelulosa utilizando hidróxido de sodio, luego blanquearon la fibra con hipoclorito de sodio; después se realizó una hidrólisis utilizando ácido sulfúrico. Obtuvieron pequeños nanocristales; para obtener el bioplástico usaron distintas proporciones de almidón y nanocristales; realizaron pruebas de resistencia al bioplástico resultante y observaron que ésta aumentó mientras mayor sea 17 la proporción de nanocristales, pero disminuyó la elasticidad, también la absorción de humedad mejora en la resistencia al agua.

Según Jiménez, *et al.* (2017) obtuvieron pulpa de celulosa a partir de residuos de agave, sometieron a las fibras a dos métodos de pulpeo, uno alcalino y otro ácido, con NaOH y CH<sub>3</sub>COOH respectivamente, usando aditivos como carbonato de sodio y sulfato de sodio para el primero y HCl, ambos métodos lo realizaron en 9 corridas experimentales a niveles de velocidad de agitación, concluyendo que el rendimiento obtenido por el segundo método es más alto, y que las fibras presentan mejores características que la fibras obtenidas con el método alcalino.

### 2.3. Definición de Términos Básicos

**Residuos sólidos:** sustancias que pueden descomponerse en un tiempo relativamente corto y constituyen materiales desechados tras su vida útil por lo general sin tratamiento Pardo, Menéndez, & Guirardo, (2011).

**Biomasa lignocelulósica:** La celulosa, la hemicelulosa y la lignina son tres componentes principales de la biomasa lignocelulósica, con cantidades que varían según los tipos de biomasa (madera dura, madera blanda, residuos agrícolas y cultivos energéticos), paredes celulares primarias y secundarias, edades y ubicaciones Chundawat, Beckhan, Himmel, & Dale, (2010).

**Lignina:** es la que rodea la celulosa y la hemicelulosa como una estructura compleja que hace que la biomasa celulósica sea altamente recalcitrante a las enzimas, patógenos y microorganismos. Lynd, Cushman, Nichols, & Wyman, (1991) & Studer, *et al.* (2011).

**Celulosa:** es el polímero más abundante y representa aproximadamente del 40 al 50% de la biomasa vegetal y leñosa en peso, exhibe una alta resistencia y es renovable y biodegradable

Usado en la industria textil, papel, de materiales, alimentos y farmacéutica y química, la obtención de celulosa ayuda maximizar el reciclaje y minimizar los desechos Anwar, Gulfraz, & Irshad, (2014); Klemm, Heublein, Fink, & Col, (2005).

**Deslignificación:** Los procesos de obtención de celulosa de las fibras no madereras se pueden dividir en: mecánicos, hidrotérmicos, químicos o combinados. El objetivo principal del proceso denominado pulpado es separar la celulosa de la lignina aumentando el rendimiento de las materias primas Sridach, (2010).

## **CAPÍTULO III**

### **Metodología**

#### **3.1. Metodología de la investigación**

La presente investigación es de carácter innovador, por lo tanto, tiene un enfoque cuantitativo, por el objetivo es aplicada (práctico o empírico), por su alcance descriptivo, por utilizar medios para obtener datos de campo y experimental.

La investigación se desarrolló en base a los procedimientos para obtener pulpa de celulosa basado en 3 métodos químicos para deslignificar, tipo sulfito, Kraft y soda de acuerdo a Lora, (2008) & Vishtal & Kraslawki, (2011); así como el uso de etanol donde se observa el tiempo de reacción para eliminación máxima de lignina Ruzene & Goncalves, (2007); Ruzene & Goncalves, (2003) & Joaquim, (2009). Así mismo, la información obtenida sobre la reactividad química y la estructura de la lignina aislada es valiosa Bauer, *et al.* (2012). Basada en las metodologías se planteó proponer una deslignificación química que reduzca impactos negativos sobre el ambiente y costos; para obtener pulpa de celulosa de residuos agroindustriales de cáscara de plátano, bagazo de caña, cascarilla de arroz y cáscara de yuca para someterlo a cocción, los tratamientos fueron, T0: hidróxido de sodio, T1: agua destilada, T2: etanol y T3: sal de Mohr con 3 repeticiones

#### **3.2. Ubicación, población y muestra**

##### **3.2.1. Ubicación**

El proyecto se desarrolló en las instalaciones de la Universidad Nacional de Ucayali, así como para la recolección de muestras en los distritos de Callería,

Yarinacocha, Campo Verde y Padre Abad, en las provincias de Coronel Portillo y Padre Abad, región Ucayali, con Coordenadas Este y Norte.

### 3.2.2. Población

La población Total de residuos de cáscara de plátano, bagazo de caña de azúcar, cascarilla de arroz y cáscara de yuca.

*Tabla 6.  
Población de residuos caña, arroz, yuca y plátano.*

<b>Materia prima</b>	<b>Residuo</b>	<b>Cantidad (tn)</b>
Caña de azúcar	Bagazo de caña	1046.6
Arroz	Cáscara de arroz	1253.2
Yuca	Cáscara de yuca	14
Plátano	Cáscara de plátano	3.2

### 3.2.3. Muestra

La muestra es probabilística seleccionada mediante un diagrama de bloques completamente al azar que hace un total de 15kg de residuos (cáscara de plátano obtenidos de campo verde, bagazo de caña de azúcar obtenidos del km 50, cascarilla de arroz obtenidos de km 6, cáscara de yuca obtenidos de campo verde) e insumos químicos (NaOH, Etanol, Agua destilada, Sal de Mohr) respectivamente.

### 3.3. Diseño de la investigación

Se realizó una investigación experimental del tipo experimentos puros, un diseño factorial de 4x3 con un grupo de control y cuatro niveles, en el cual se tuvo 12 grupos



experimentales y un grupo de control o testigo con cuatro niveles, el cual será sometido a 3 repeticiones de cada tratamiento; haciendo un total de 48 unidades experimentales.

	T1	T2	T3
N1	T1N1	T2N1	T3N1
N2	T1N2	T2N2	T3N2
N3	T1N3	T2N3	T3N3
N4	T1N4	T2N4	T3N4

N1: Bagazo de caña; N2: Cáscara de arroz; N3: Cáscara de yuca; N4: Cáscara de plátano.

T1: Agua destilada; T2: Sal de Mohr; T3: Etanol.

Diseño factorial para el grupo de control.

	T0
N1	T0N1
N2	T0N2
N3	T0N3
N4	T0N4

T0: Grupo de control o hidróxido de sodio (NaOH).

### 3.4. Análisis estadístico

Los datos fueron sometidos a un análisis estadístico con el software SPSS 26, se realizó pruebas de Análisis de Varianza (ANVOA) para determinar cuál fue la sustancia química que desdesignó la biomasa de bagazo de caña, cascarilla de arroz, cáscara de yuca y cáscara de plátano; analizando a un nivel de confianza del 95%, ello se evaluó mediante gráficos de las medias.

### **3.5. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos**

#### **3.5.1. Técnicas**

Se empleó la observación experimental, porque se elaboró un registro de datos en condiciones relativamente controladas a través de la ejecución del proyecto el mismo que siempre estuvo sujeto a los datos que registren en campo y los análisis obtenidos de laboratorios.

#### **3.5.2. Instrumentos**

Se empleó el uso de fichas técnicas de observación para así poder registrar los datos obtenidos de los experimentos que se realizarán a través del tratamiento químico controladas en relación al tiempo de deslignificación.

#### **Materiales**

- Papel Bond de 75 y de 80 mg
- Lapiceros
- Engrampador tipo tijera
- Archivadores
- Folder manila
- Fasteners hembra y macho
- Plumón indeleble punta fina
- Sobres de manila
- Regla de 60 cm

## **Equipos**

- Impresora Multifuncional
- Laptop
- GPS
- Cámara Digital
- Balanza Digital
- Potenciómetro

## **Insumos**

- Hidróxido de sodio
- Sal de Mohr
- Etanol
- Agua destilada

### **3.6. Procedimiento de Recolección de Datos**

#### **3.6.1. Adquisición de materiales, equipos, herramientas e insumos**

En esta primera etapa se adquirió los materiales, equipos, herramientas, insumos y otros componentes que ayudaron a alcanzar el cumplimiento y desarrollo del proyecto, esto con la finalidad de garantizar el funcionamiento óptimo de la deslignificación durante la aplicación de los tratamientos.

#### **3.6.2. Selección y acondicionamiento del área de trabajo**

Se seleccionó el área con las condiciones necesarias de infraestructura, ya que el proyecto de obtención de pulpa de celulosa a partir de la deslignificación

química requirió de molienda y lavado de la biomasa. Se seleccionó el área de la carpintería y laboratorio de química para realizar los análisis lignocelulósicos de la biomasa de bagazo de caña, cascarilla de arroz, cáscara de yuca y cáscara.

### 3.6.3. Recolección de residuos agroindustriales

Se realizó las visitas a las organizaciones que se muestran en la tabla con la finalidad de recoger las muestras de residuos de bagazo de caña, cascarilla de arroz, cáscara de yuca y cáscara de plátano.

*Tabla 7.  
Organizaciones agroindustriales visitadas.*

Organización	Materia prima	Residuo
Asociación de productos ecológicos del caserío san Cristóbal de agua blanca J.M. Ucayali S.A.C HAVISHA Producción y comercialización de productos agrícolas S.A.C.	Caña de azúcar	Bagazo de caña
Asociación agropecuaria de yuca del valle de nuevo Tunuya Asociación de productores de yuca santa catalina	Yuca	Cáscara de yuca
Comisiones delegantes de san Cristóbal de agua blanca ASERCAMPO S.A.C. Molino Santa Clara Industrias Molinera Campo Verde S.A.C. Express Import Export S.A.C Asoc. de Productores Agropecuarios la Conquista Molinera Landbar E.I.R.L Molino Aguilar E.I.R.L	Arroz	Cáscara de arroz
Asociación agroindustrial progreso – AAIPRO	Plátano	Cáscara de plátano

### 3.6.4. Preparación de la biomasa

La biomasa obtenida de bagazo de caña de azúcar, cáscara de arroz, cáscara de yuca y cáscara de plátano, fue sometido a una molienda para reducir el tamaño de las partículas que garantizó la deslignificación, mediante el uso de un molino manual; posteriormente se pesó los residuos para proceder con la deslignificación.

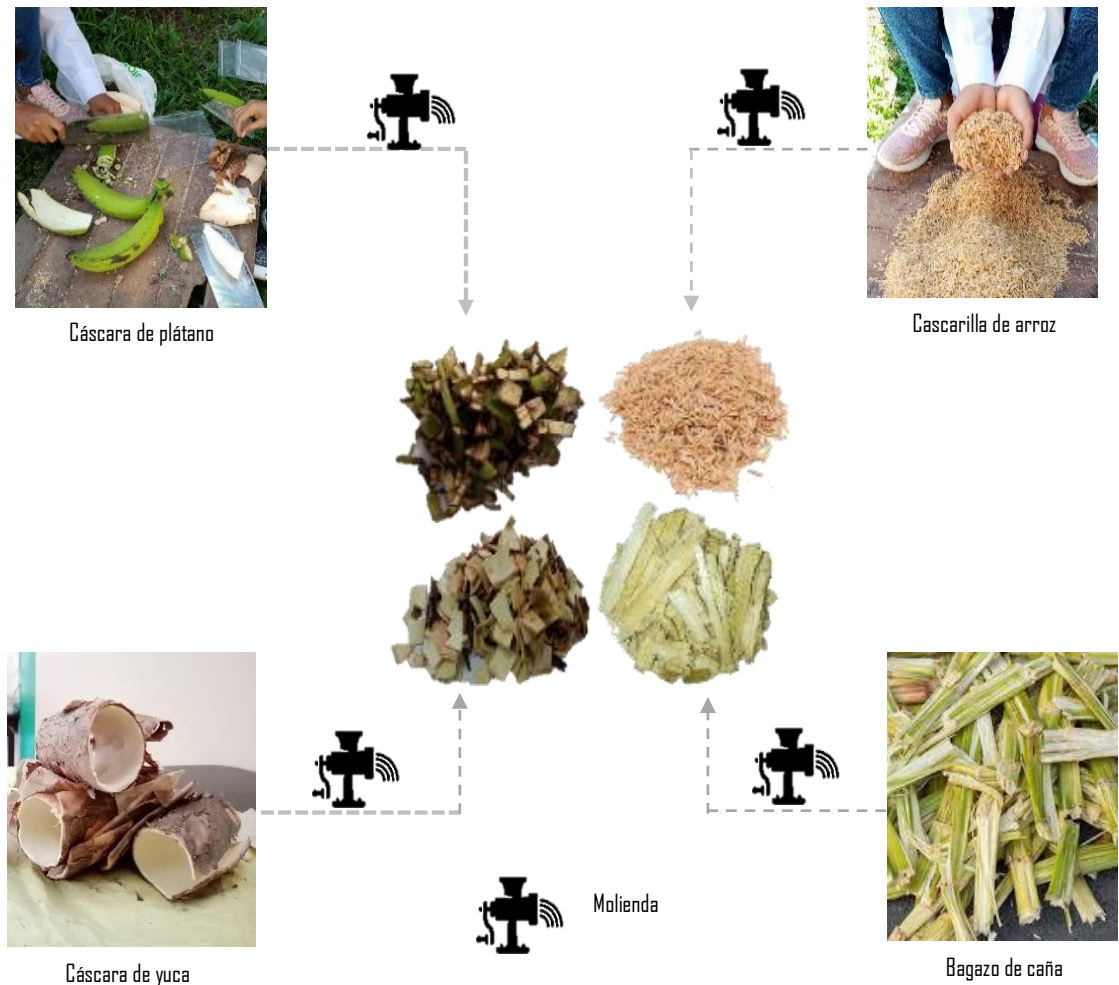


Figura 1. Molienda de residuos agroindustriales.

### 3.6.5. Preparación de las soluciones químicas

Mediante un balance de materia se estableció, las ecuaciones para obtener diluciones a diferentes concentraciones, como se muestra en la figura:

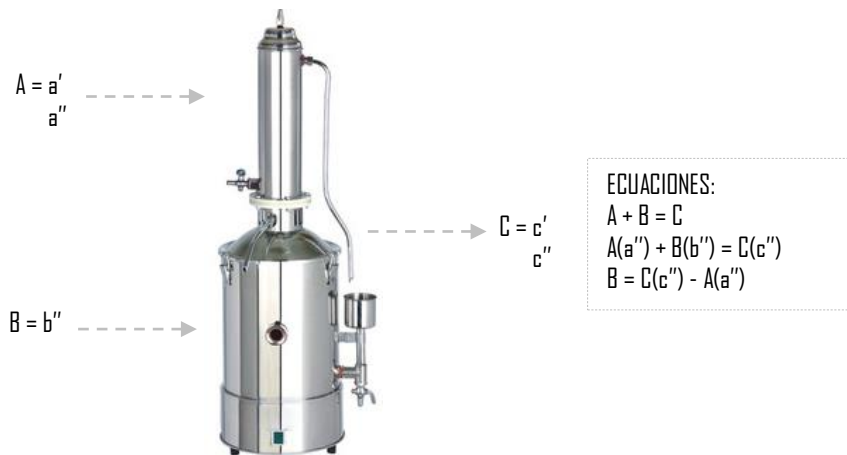


Figura 2. Balance de materia para establecer concentraciones de los insumos químicos.

Solución de hidróxido de sodio, donde se utilizó un compuesto comercial llamado Turbocaustic con una concentración al 88.5% de hidróxido de sodio, la solución se llevó a una solución al 10% de hidróxido de sodio, de acuerdo a la siguiente ecuación:

Solución agua destilada que fue preparado mediante el uso de un destilador.

Solución de sal de Mohr, fue preparado a partir de una solución de sulfato de amonio y sulfato de hierro a un 50% de concentración, que fue diluido hasta una concentración del 20% de sal de Mohr.

Solución de etanol, obtenido de la destilación del jugo de caña de azúcar con una concentración al 90%, que fue diluido hasta el 15%.

### 3.6.6. Deslignificación de la biomasa

Para el hidróxido de sodio (NaOH), etanol (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH), agua destilada (H<sub>2</sub>O) y sal de Mohr ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>Fe(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O) se estableció una relación de masa (g) : volumen (ml), considerando el tipo de residuo agroindustrial, bagazo de caña, cascarilla de arroz, cáscara de plátano y cáscara de yuca, así como se muestra en la tabla, basado en la metodología de Torres, Morales, & Quintero, (2017); (Borrero, s. f.); Ruiz, (2018); Da costa, *et al.* (2015).

*Tabla 8.*  
*Relación biomasa: volumen y tiempo de cocción con hidróxido de sodio y agua oxigenada.*

Insumo	Residuo	Relación	Tiempo (min)
<b>Hidróxido de sodio</b>	Plátano	01:10	75
	Yuca	01:10	75
	Bagazo	1.1:15	75
	Cascarilla	1.1:15	75
<b>Agua destilada</b>	Plátano	01:18.5	60
	Yuca	01:18.5	60
	Bagazo	1.1:15	60
	Cascarilla	1.1:15	60

Fuente: adaptado de (Torres, Morales, & Quintero, 2017) (Borrero, s. f.) (Ruiz, 2018) (Da costa, Da silva, Marabezi, De souza, & Savastano, 2015).

*Tabla 9.*  
*Relación biomasa: volumen y tiempo de cocción con etanol y sal de Mohr.*

Insumo	Residuo	Relación	Tiempo (min)
<b>Etanol</b>	Plátano	01:08	60
	Yuca	01:08	60
	Bagazo	1.1:15	60
	Cascarilla	1.1:15	60
<b>Sal de Morh</b>	Plátano	01:08	75
	Yuca	01:08	75
	Bagazo	1.1:15	75
	Cascarilla	1.1:15	75

Fuente: adaptado de Torres, Morales, & Quintero, (2017) (Borrero, s. f.) Ruiz, (2018) Da costa, *et al.* (2015).



Figura 3. Proceso de deslignificación del bagazo de caña, cascarilla de arroz, cáscara de plátano y cáscara de yuca.

### 3.6.7. Recolección de la pulpa de celulosa

Terminado el proceso de deslignificación se procede hasta la etapa de filtrado, donde se remueve todo el excedente del insumo químico con abundante agua, posteriormente fue llevado al laboratorio para el análisis lignocelulósico.

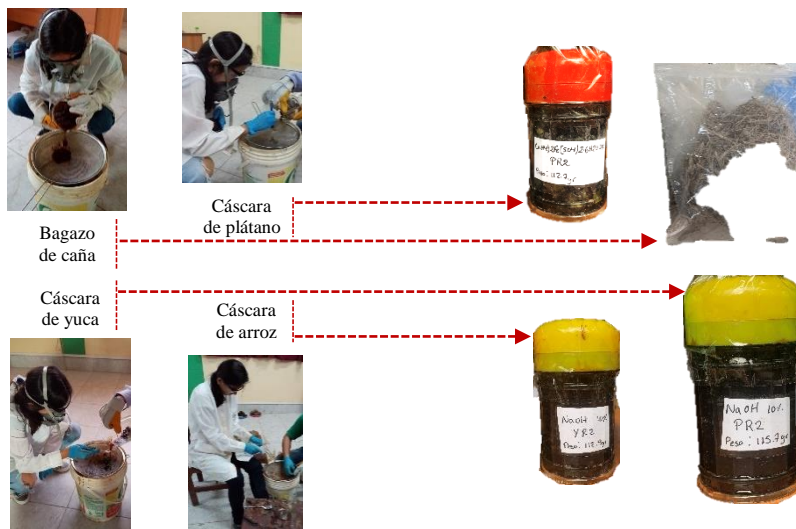


Figura 4. Recolección de pulpa de celulosa de los residuos agroindustriales.



### **3.6.8. Análisis químico lignocelulósico de la biomasa**

Se procedió a analizar la composición lignocelulósica de la pulpa de los residuos agroindustriales de bagazo de caña de azúcar, cascarilla de arroz, cáscara de plátano y cáscara de yuca, esto mediante las normas técnicas TAPPI y ASTM, según se detalla Buchanan, (2007).

Para remover los extractivos de la muestra (componentes solubles en solventes neutros que puedan interferir con algunos análisis químicos posteriores) siguiendo la norma TAPPI 204 (Technical Association of Pulp and Paper Industry – Muestra libre de extractivos). Luego se estimó el contenido de holocelulosa mediante el método de ASTM D-1104 donde por cada muestra se pesan 2 g de muestra libre de extractivos, se colocan en un frasco de 250 ml y se añade 150 ml de agua, 0,2 ml de ácido acético y 1 g de clorito sódico, se coloca en un baño de agua a 70-80°C y cada hora durante 5 horas se añaden 0,22 ml e ácido acético muy frío y 1 g de clorito de sodio; pasadas las cinco horas se coloca en baño de hielo hasta que alcance 10°C, se filtra el contenido del frasco, se lava con 500 ml de agua fría y se secan los crisoles a 105°C hasta peso constante.

Posteriormente se determinó el contenido de celulosa, con la norma ASTM 1695-77, para esta prueba se toman 2 g de holocelulosa y se agregan 10 ml de hidróxido de sodio al 17,5% a una temperatura constante de 20°C en un baño termorregulador, después de 2 min se agregan 5 ml de solución de hidróxido de sodio en intervalos de 5 min hasta completar 25 ml de hidróxido de sodio incluyendo la cantidad inicial, luego se mezcla a 20°C durante 30 min, hasta

completar 45 min y se agregan 33 ml de agua destilada a 20°C y se deja reposar 1 hora antes de filtrar con crisoles lavando con agua destilada. A la celulosa recogida en el crisol se le agregan 15 ml de ácido acético al 10% y luego se retira el ácido dejando la muestra levemente cubierta por 3 min, luego se seca en el crisol y se determina el peso de la celulosa. Por último, se evaluó la lignina insoluble en ácido, se siguió el procedimiento de la norma TAPPI T222 os-74.

### **3.6.9. Procesamiento de datos recolectados en campo**

Se organizaron los datos recolectados en campo por tratamiento y repetición de tal manera que permitió su procesamiento de promedios, figuras de la comparación entre testigos y tratamientos.

### **3.6.10. Análisis estadístico**

Se realizó el análisis estadístico para los testigos una prueba estadística de análisis de varianza – ANVOA y posteriormente una prueba de Tukey, para encontrar relación entre la temperatura y tiempo de cocción se utilizó el software estadístico correlación de Pearson (prueba paramétrica) a un nivel de confianza del 95% con el software SPSS 26.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

*Tabla 10.  
Tratamientos y composición lignocelulósico promedio sin pretratar y con pretratamiento de los residuos agroindustriales.*

Insumo	Residuo	Lignina (%)		Celulosa (%)		Hemicelulosa (%)	
		inicial	final	inicial	final	inicial	final
Hidróxido de sodio	Cáscara de plátano	28.8	6.8	22.9	73	21.7	4.2
	Cascarilla de arroz	22	10.4	29.9	78.5	13.5	7
	Cáscara de yuca	25.2	5	19.3	20.5	8.1	10.1
	Bagazo de caña	25	13.3	24.4	46.3	20.2	22.6
Agua destilada	Cáscara de plátano	28.8	14.3	22.9	68.6	21.7	14.3
	Cascarilla de arroz	22	21.1	29.9	57.5	13.5	12
	Cáscara de yuca	25.2	4.5	19.3	18.3	8.1	9.7
	Bagazo de caña	25	18.3	24.4	45.8	20.2	29.3
Etanol	Cáscara de plátano	28.8	17.7	22.9	63.9	21.7	14.1
	Cascarilla de arroz	22	15.4	29.9	59.9	13.5	20.1
	Cáscara de yuca	25.2	6.5	19.3	18	8.1	11.4
	Bagazo de caña	25	14.7	24.4	48.1	20.2	30.7
Sal de Mohr	Cáscara de plátano	28.8	38.5	22.9	49.6	21.7	11.3
	Cascarilla de arroz	22	25.7	29.9	56.4	13.5	14.1
	Cáscara de yuca	25.2	4.1	19.3	23.5	8.1	12.2
	Bagazo de caña	25	36.1	24.4	39.9	20.2	14.7

En la tabla se reportan los resultados de la aplicación de los tratamientos sobre los residuos agroindustriales y agrícolas (cáscara de plátano, cascarilla de arroz, bagazo de caña y cáscara de yuca) junto a los insumos químicos (NaOH, Etanol, agua destilada, Sal de Mohr), así como la composición porcentual de lignina, celulosa y hemicelulosa sin pretratar y con pretratamiento que se obtuvieron.

#### 4.1. Concentración de lignocelulósico para obtención de pulpa celulosa

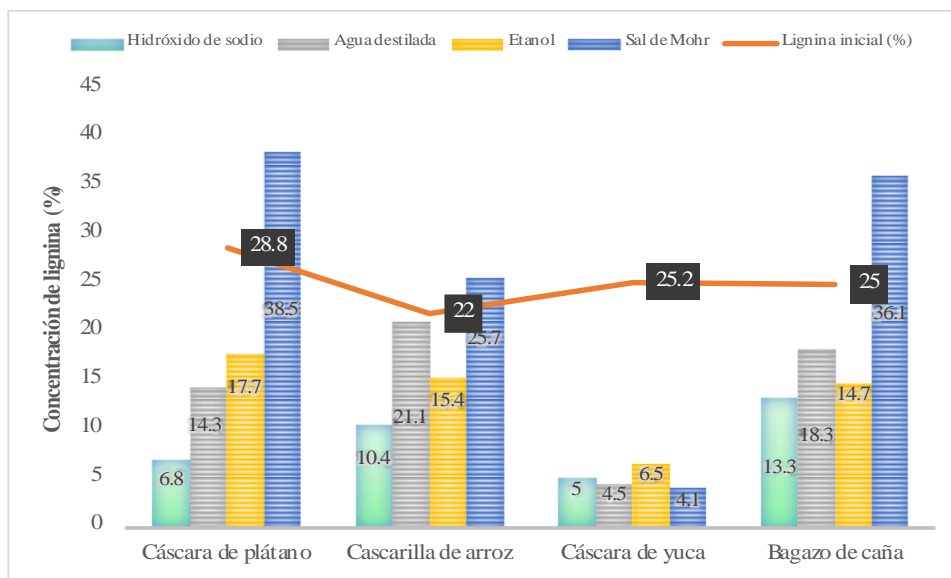


Figura 5. Concentración de lignina de residuos agroindustriales en términos de remoción.

Se muestra una mayor deslignificación en cáscara de plátano con hidróxido de sodio con una remoción de 76.4 %, seguido por agua destilada con 50.3%, en etanol con 38.5% y la Sal de Mohr muestra un incremento en la lignina de 33.7%.

Se observa que la remoción de lignina en cascarilla de arroz con hidróxido de sodio es de 52.7%, al respecto, Torres, Morales, & Quintero, (2017) reporta una remoción de 26.2% con hidróxido de sodio al 10% a 70°C, de la misma manera Yanfeng, *et al.* (2008) manifiesta una remoción de 28%. En etanol una remoción de 30%, con agua destilada de 4.1% y con sal de Mohr se presenta un incremento de 16.8% de lignina, siendo el hidróxido de sodio el que muestra mayor remoción de lignina.

La cáscara de yuca pierde 83.7% de lignina con sal de Mohr, 82.1% con agua destilada, 80.2% con hidróxido de sodio y 74.2% con etanol, que es mayor al

reportado por Reales, Castaño, & Zapata, (2016), con 36.4% y 17.86% de remoción de lignina con hidróxido de sodio y etanol en tallos de yuca respectivamente.

La mayor deslignificación en bagazo de caña es de 46.8% para el hidróxido de sodio, con lo que superamos a lo reportado por Torres, Morales, & Quintero, (2017); Alves, *et al.* (2011) & Ahmadi, *et al.* (2016) Quienes encontraron una remoción del 48.3% y 41% de lignina con hidróxido de sodio al 10% respectivamente; por otro lado, Gonzáles, Hernández, & Reyes, (2019), hicieron un tratamiento en bagazo con hidróxido al 0.5% y 1 hora de reacción alcanzando una remoción de 12.2% y con hidróxido de sodio al 1% y 1 hora de reacción alcanzó 12.6% de remoción, ambos a temperatura ambiental. Por otro lado, Maryana, *et al.*, (2014) y Talha, *et al.* (2016) alcanzaron una remoción del 92% de lignina con hidróxido de sodio al 1%, 100°C y 45 minutos de reacción. Xu & Huang, (2014) & Jönsson & Martín, (2016) esto se logra al romper estructuras recalcitrantes de lignina en el bagazo de caña, con reacción de saponificación de los enlaces éster que reticulan las hemicelulosas y ligninas provocando su ruptura, mejorando el contacto con la celulosa; seguido para etanol con 41.2%, con 26.8% en agua destilada y un incremento de 44.4% con sal de Mohr.

En términos estadísticos se presenta una diferencia significativa de 0.00 entre las varianzas de las medias de la lignina final entre la cáscara de plátano, cascarilla de arroz, bagazo de caña y cáscara de yuca con un nivel de confianza del 95% sometidos a un pretratamiento con hidróxido de sodio (10%), agua destilada, etanol (50%) y sal de Mohr (25%) respectivamente, dónde la menor concentración de lignina se obtiene en cáscara de yuca (5%), en cáscara de plátano (6.7%), cascarilla

de arroz (10.4%) y bagazo de caña (13.3%) para el hidróxido de sodio, en agua destilada la cáscara de yuca (4.4%), cáscara de plátano (14.3%), bagazo de caña (18.3%) y cascarilla de arroz (21.1%), con etano se presentó en cáscara de yuca (6.4%), bagazo de caña (14.7%), cascarilla de arroz (15.4%) y cáscara de plátano (17.6%); por último con sal de Mohr se obtuvo en cáscara de yuca (4.1%), cascarilla de arroz (25.7%), bagazo de caña (36%) y cáscara de plátano (38.5%), Anexo tablas 12 al 19.

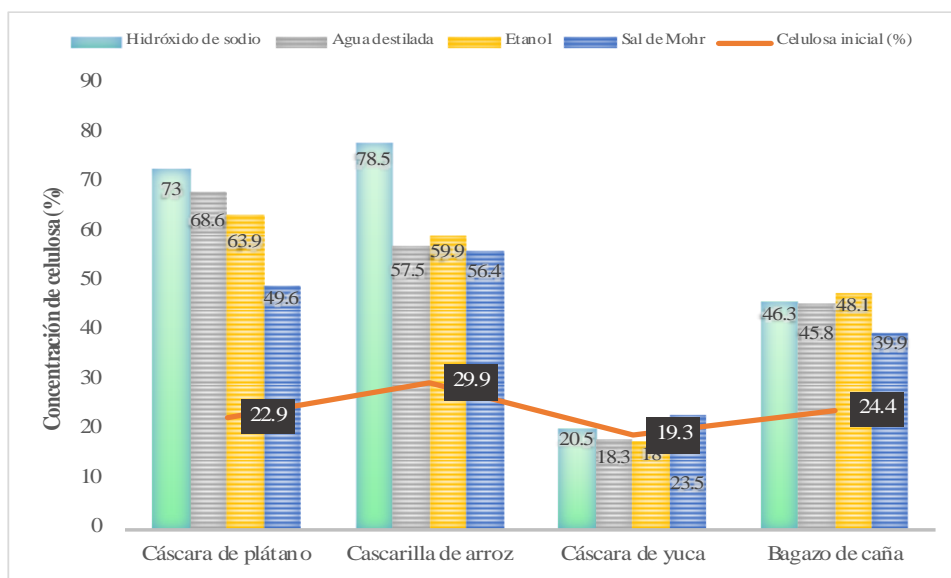


Figura 6. Concentración de celulosa en residuos agroindustriales en términos de ganancia o pérdida.

Se registra mayor incremento de la concentración de celulosa en cáscara de plátano para tratamiento con hidróxido de sodio con 50.1%, seguido por agua destilada con 45.7%, etanol con 41% y la sal de Mohr de 26.7%.

El mayor incremento en la concentración de celulosa encontrado en cascarilla de arroz es 48.6% para el hidróxido de sodio, superando a Torres, Morales, & Quintero,

(2017) que obtuvo un incremento de 9.8% de celulosa con hidróxido de sodio al 10% y 70°C. En etanol con 30%, en agua destilada es 27.6% y con sal de Mohr es 26.5%.

En la cáscara de yuca, se muestra menores resultados de incremento en la concentración de celulosa, empezando con 4.2% para la sal de Mohr, 1.2% para el hidróxido de sodio, con 1% para el agua destilada y 1.3% para el etanol, teniendo disminución de celulosa en agua destilada y etanol, respecto al inicial.

El bagazo de caña muestra un incremento en la concentración de celulosa de 23.7% en etanol, 21.9% para el hidróxido de sodio, siendo menor a los resultados reportados por Torres, Morales, & Quintero, (2017) que alcanzaron 40.3% con hidróxido de sodio al 10% y 70°C; 21.4% con agua destilada y 15.5% con sal de Mohr.

Por otro lado, existe una diferencia significativa de 0.00 entre la varianza de las medias de la concentración de celulosa final a un nivel de confianza del 95%, para el hidróxido de sodio al 10%, agua destilada y sal de Mohr al 25%, sin embargo el pretratamiento con etanol al 50% no muestra diferencia significativa, aplicando la prueba de Tukey encontramos que se alcanzó mayor concentración de celulosa en cascarilla de arroz (78.4%), cáscara de plátano (73%), bagazo de caña (46.3%) y cáscara de yuca (20.4%), en agua destilada se presenta en cáscara de plátano (68.5%), cascarilla de arroz (57.5%), bagazo de caña (45.8%) y cáscara de yuca (18.3%), con Etanol presenta en cascarilla de arroz (59.9%), cáscara plátano (52.4%) y cáscara de yuca (17.9%) y con sal Mohr en cáscara de yuca (56.4%), cáscara de

plátano (49.6%), cascarilla de arroz (39.9%) y bagazo de caña (23.4%), Anexo tablas 20 al 27.

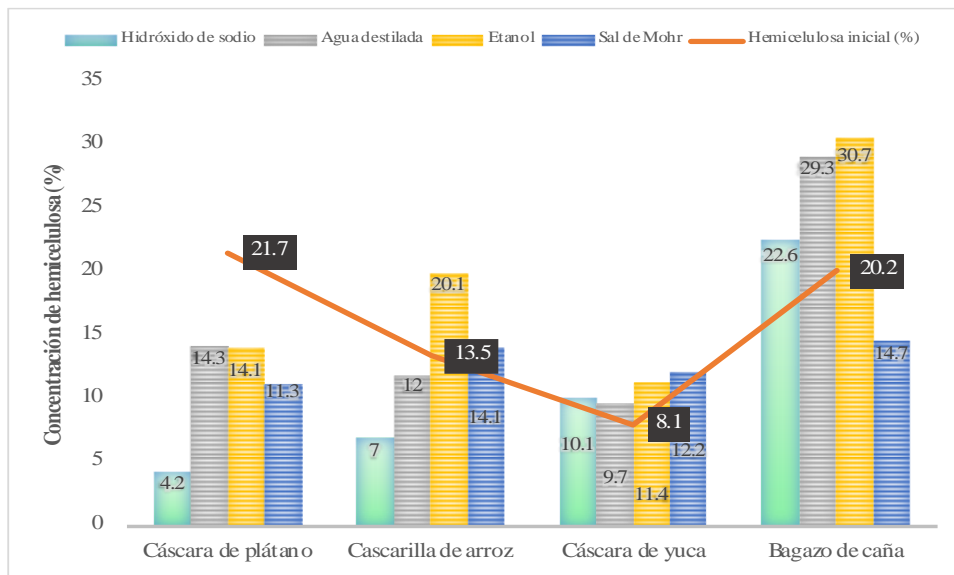


Figura 7. Concentración de hemicelulosa de residuos agroindustriales, en términos de remoción.

La hemicelulosa en cáscara de plátano tuvo un descenso para todos los pretratamientos, siendo la mayor remoción de 80.6% para hidróxido de sodio, 47.9% con sal de Mohr, 35% en etanol y 34.1% con agua destilada.

La remoción de hemicelulosa en cascarilla de arroz, es de 48.1% para el hidróxido de sodio, siendo mayor a lo registrado de 2.7% de remoción en la investigación de Torres, Morales, & Quintero, (2017). En agua destilada se tiene 11.1% de remoción, un crecimiento de 4.4% con sal de Mohr y 48.9% con etanol.

Se muestra un incremento de hemicelulosa en cáscara de yuca para todos los tratamientos, empezando con 19.8% en agua destilada, 24.7% para hidróxido de sodio, 40.7% para etanol y 50.6% para la sal de Mohr.



Para el bagazo de caña se registra un incremento de hemicelulosa para tres pretratamientos, 11.9% para el hidróxido de sodio, sin embargo, Torres, Morales, & Quintero, (2017), encontraron una reducción de 11.2% de hemicelulosa con hidróxido de sodio al 10%. Una remoción de 45% para el agua destilada y 52% para etanol, por otro lado, para la sal de Mohr se muestra una remoción del 27.2%.

La evaluación de estadística indica que existe diferencia significativa del 0.00, a un nivel de confianza al 95%, para el hidróxido de sodio al 10%, agua destilada, etanol al 50% y sal de Mohr al 25% con 0.01; donde la cáscara de plátano (4.2%), cascarilla de arroz (7%), cáscara de yuca (10.1%) y bagazo de caña (22.6%), con agua destilada en cáscara de yuca (9.7%), cascarilla de arroz (12%), cáscara de plátano (14.3%) y bagazo de caña (29.2%), en etanol se obtuvo en cáscara de yuca (11.4%), cáscara de plátano (14.1%), cascarilla de arroz (20.1%) y bagazo de caña (30.7%) y con sal Mohr en cáscara de plátano (11.2%), bagazo de caña (12.2%), cáscara de yuca (14.1%) y cascarilla de arroz (14.7%), Anexo tablas 28 al 35.

#### **4.2. Condiciones físicas del proceso de deslignificación para obtención de pulpa de celulosa**

La temperatura promedio para el hidróxido de sodio a una concentración del 10% es de 75.6°C, para el agua destilada es de 54.6°C, para el etanol es de 50.9°C y para la sal de Mohr es 52.4°C. Donde se puede verificar una proporcionalidad de temperatura y rendimiento, como se presenta con hidróxido de sodio a 77.9° C con 72.4% de rendimiento en plátano, con agua destilada a 58.8°C con un rendimiento de 77.6% en cascarilla de arroz, con etanol a 54.2°C con 76.8% de rendimiento en plátano y en la sal de Mohr no fue el caso, a 58.2°C se alcanzó 38% de rendimiento

en plátano y a 52.6°C se muestra un rendimiento de 60.9% en cascarilla, contrario a lo manifestado por Seung, et al. (2015), menciona que los pretratamientos a bajas temperaturas han mostrado ser apropiados para remover lignina y reducir la cristalinidad en peróxido de hidrógeno y ácido acético.

Donde se presenta según el estadístico de Pearson, que no existe correlación entre la temperatura y el rendimiento ya que el nivel de significancia es mayor al 0.05, para el pretratamiento con hidróxido de sodio al 10%, agua destilada, etanol al 50% y sal de Mohr al 25% según Anexo tabla 36 al 39.

*Tabla 11.  
Efecto de la temperatura en el rendimiento celulósico.*

Insumo	Residuo	Temperatura (°C)	Rendimiento
Hidróxido de sodio (NaOH) al 10%	Plátano	77.9	72.4
	Cascarilla	77.3	65.3
	Bagazo	72.6	38.5
	Yuca	74.7	20.4
Agua destilada (H <sub>2</sub> O)	Cascarilla	58.8	77.6
	Plátano	55.3	71.3
	Bagazo	48.3	51.2
	Yuca	56.3	18.3
Etanol (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH) al 45%	Plátano	54.2	76.8
	Cascarilla	47.3	64.6
	Bagazo	50	50.4
	Yuca	52.4	18
Sal de Mohr ((NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> Fe(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O) al 25%	Cascarilla	52.6	60.9
	Bagazo	50.5	48.9
	Plátano	58.2	38
	Yuca	48.4	23.4

El tiempo de cocción para el hidróxido de sodio y sal de Mohr es de 75 minutos, para el agua destilada y etanol es de 60 minutos. En la tabla 11 se muestra que es proporcional a la temperatura de cocción, siendo el tiempo de reacción y la concentración significativos para la remoción de lignina, teniendo efecto sobre este último cualquier cambio en la

concentración del hidróxido de Sodio Reales, Castaño, & Zapata, (2016); Gómez, Ríos, & Peña, (2013); Alvira, Tomás-Pejó, Ballesteros, & Negro, (2010); Carvalheiro, Duarte, & Gírio, (2008) & Silverstein, et al. (2007), y que el factor temperatura de cocción, tiempo de cocción y concentración de hidróxido de sodio tienen efecto estadístico sobre el rendimiento en pulpa (Auccapuma, 2018); sin embargo, de acuerdo al insumo químico alcanzará un rendimiento diferente como el caso del agua destilada y etanol que con un tiempo de 60 minutos se logra mejores rendimientos de 77.6% y 77.6% en cascarilla de arroz y cáscara de plátano respectivamente, respecto a 75 minutos de hidróxido de sodio y sal de Mohr que muestran rendimientos de 72.4% y 60.9% en cáscara de plátano y cascarilla de arroz, respectivamente.

*Tabla 12.  
Efecto del tiempo de cocción en el rendimiento celulósico.*

Insumo	Residuo	Tiempo (min)	Rendimiento
Hidróxido de sodio (NaOH) al 10%	Plátano	75	72.4
	Cascarilla	75	65.3
	Bagazo	75	38.5
	Yuca	75	20.4
Agua destilada (H <sub>2</sub> O)	Cascarilla	60	77.6
	Plátano	60	71.3
	Bagazo	60	51.2
	Yuca	60	18.3
Etanol (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH) al 45%	Plátano	60	76.8
	Cascarilla	60	64.6
	Bagazo	60	50.4
	Yuca	60	18
Sal de Mohr ((NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> Fe(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O) al 25%	Cascarilla	75	60.9
	Bagazo	75	48.9
	Plátano	75	38
	Yuca	75	23.4

### 4.3. Potencial celulósico de los residuos agroindustriales en la obtención de pulpa orgánica

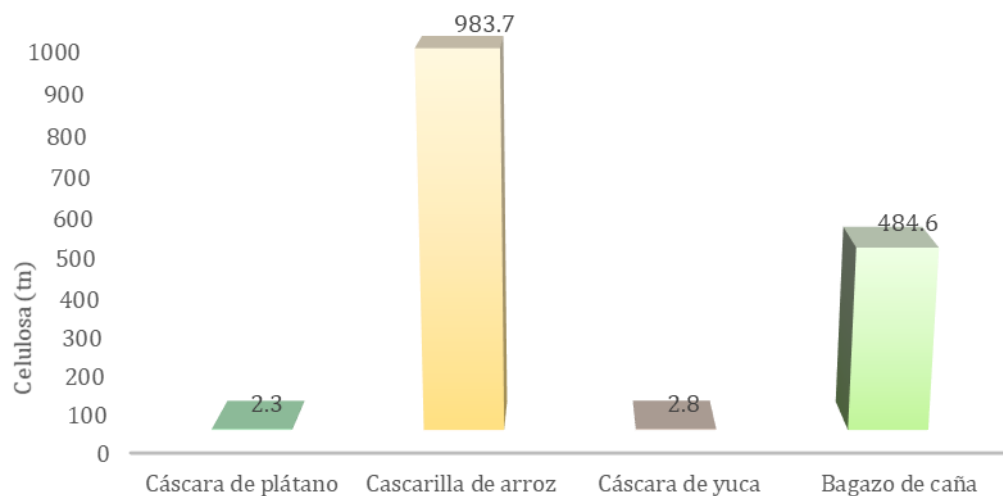


Figura 8. Potencial celulósico, con pretratamiento en la mayor disposición de residuos agroindustriales.

El mayor potencial celulósico se obtiene con cascarilla de arroz, con un valor de 983.7 tn de celulosa, seguido por el bagazo de caña de azúcar con 484.6 tn de celulosa, 2.8 tn de celulosa con cáscara de yuca y 2.3 tn de celulosa con cáscara de plátano, estos residuos que carecen de disposición y aprovechamiento correcto pueden generar impactos negativos en el ambiente, como respalda Barragán, Téllez, & Laguna, (2008); Gómez, Trejo, Velasco, & Lara, (2016) y al respecto Rosas, Ortiz, Herrera, & Leyva, (2016) los residuos o subproductos se generan en cualquier proceso productivo y usualmente no son de utilidad posterior como materia prima para la cadena de producción; cabe resaltar que el bagazo de caña, la cascarilla de

arroz son aprovechados, esto concuerda con la investigación de Sánchez, Gutiérrez, Muñoz, & Rivera, (2010); Vergara, (2015); Montenegro, Ararat, & Betancur, (2015); Palma, Zavala, Cámara, Ruiz, & Salgado, (2016), donde menciona que los residuos con mayor reaprovechamiento son la cascarilla de arroz, los desechos cítricos (bagazo y cáscara), la cáscara del plátano, el zuro de maíz, residuos de la agroindustria de la caña de azúcar, al respecto Alonso, Ramírez, & Rigal, (2012) & Saval, S., (2012), menciona que los residuos agroindustriales son materiales lignocelulósicos; es decir, los contenidos de celulosa, hemicelulosa y lignina representan sus mayores porcentajes de composición. Además el aprovechamiento de estos se convierte en una estrategia ambiental y económico González D. , (2013) & Saval, S.,( 2012), Por lo tanto, los residuos agroindustriales presentan alto potencial de aprovechamiento con diversidad de alternativas de reutilización de interés ambiental, social y económico, participando en la recuperación de medio bióticos contaminados, de los cuales los más utilizados está el bagazo de caña y cascarilla de arroz Vargas & Pérez, (2018).

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

- La deslignificación de los residuos agroindustriales y agrícolas mediante un método químico ayudo a poder determinar el porcentaje de lignina, celulosa, hemicelulosa de los residuos agroindustriales y agrícolas (cáscara de plátano, cascarilla de arroz, bagazo de caña y cáscara de yuca) utilizando insumos químicos como NaOH, Etanol, agua destilada, Sal de Mohr, así mismo se pudo establecer las condiciones físicas de los residuos y igual forma se pudo determinar el potencial celulósico de estos.

- La mayor remoción de lignina se obtiene en cáscara de yuca con un 83.7% en el pretratamiento con sal de Mohr al 25%, enseguida fue para el hidróxido de sodio al 10% que presenta una remoción de 76.4 % lignina en cáscara de plátano, 52.7% en cascarilla de arroz y 46.8% en bagazo de caña, siendo el hidróxido de sodio el que abarca 3 de los 4 pretratamientos en los residuos agroindustriales debido a su capacidad de romper estructuras recalcitrantes, con reacción saponificación de enlaces éster que retícula los enlaces de la hemicelulosa y lignina, estadísticamente presentan diferencias significativas entre los tratamientos indicando que la remoción de lignina varía en función al tipo de residuo agroindustrial; y el incremento de celulosa se muestra mayor con el pretratamiento hidróxido de sodio en cáscara de plátano con 50.1% y 48.6% en cascarilla de arroz, seguido por el pretratamiento con etanol al 50% con 23.% en bagazo de caña y 4.2% de celulosa en cáscara de yuca para el pretratamiento con sal de Mohr; la hemicelulosa responde con mayor remoción al hidróxido de sodio con 80.6% en cáscara de plátano y cascarilla de arroz con 48.1%, en la cáscara de yuca los cuatro

pretratamientos generaron un incremento de la hemicelulosa y en el bagazo de caña la sal de Mohr removi6 un 27.2%.

- La temperatura y tiempo de reacci6n de remoci6n lignina para cada pretratamiento permite obtener un mayor rendimiento que marca diferente entre la c6scara de pl6tano, cascarilla de arroz, c6scara de yuca y bagazo de caña, donde temperaturas de 77.9°C y 52.6°C con 75 minutos para el hidr6xido de sodio y sal de Mohr, 58.8°C y 54.2°C con 60 minutos para el agua destilada y etanol, cuyos rendimientos fueron de 72.4%, 38%, 77.6% y 76.8% respectivamente.

- El mayor potencial lo demuestra la cascarilla de arroz y bagazo de caña con 938.7 tn/mes y 486.6 tn/mes, respectivamente, por su potencial agroindustrial en la regi6n Ucayali y potencial lignocelul6sico, que debera ser aprovechado en la elaboraci6n de otros productos de inter6s, con estrategias ambientales, sociales y econ6micas para restaurar ecosistemas bi6ticos.

## **5.2. Recomendaciones**

- Tener en cuenta para un siguiente estudio el control de la temperatura y tiempo de reacci6n qu6mica, que influye positivamente en la remoci6n de la lignina.
- Para los an6lisis de composici6n lignocelul6sico debe regirse al procedimiento establecido en las normas TAPPI y ASTM para evitar errores en la recolecci6n de los datos.
- Utilizar los resultados en la investigaci6n para promover un aprovechamiento del potencial celul6sico reportado, para elaboraci6n de productos alternativos a los sint6ticos, que ayude a reducir y remediar los ecosistemas acu6ticos y terrestres.

- Utilizar los resultados de la investigación para realizar futuros proyectos innovadores que ayuden al medio ambiente así como la elaboración de envases biodegradables, platos ecológicos, briquetas, entre otros productos para crear un medio ambiente agradable



## BIBLIOGRAFÍA

- Abatzoglou, N., & Boivin, S. (2009). *Biofuels, Bioprod. Biorefin.*, 3: 42-71.
- Abdul, H. P., Siti, M., & Mohd, A. K. (2006). Chemical composition anatomy, lignin distribution and cell wall structure of Malaysian plant waste fibers. *Bioresources*, 17(1):220-232.
- Abdullah, N., Sulaiman, F., & Taib, R. M. (2006). Characterization of banana (*Musa spp.*) plantation wastes as a potential renewable energy source. *AIP Conference Proceedings*, 1528(1): 325-330.
- Abu-Zara, M. R., Shcneiders, L. H., Niederer, J. P., Feron, P. H., & Versteeg, G. F. (2007). CO<sub>2</sub> capture from power plants. Part I. A parametric study of the technical performance based on monoethanolamine. *Internacional Journal of Greenhouse Gas Control*, 1: 37-46.
- Achina, S., Achinas, V., & Euverink, G. J. (2017). A technological overview of biogas production from biowaste. *Engineering*, 3(3):299-307.
- Agustin, M., B. A., & Alonzo, M. (2014). «Bioplastic based on starch and cellulose nanocrystals from rice straw,». *SAGE Publications*.
- Ahmadi, F., Zamiri, M. J., Khorvash, M., Ziaee, E., & I. (2016). Pre-treatment of sugarcane bagasse with a combination of sodium hydroxide and lime for improving the ruminal degradability: optimization of process parameters using response surface methodology. *J. Appl. Anim. Res.*, 44(1):287-296.
- Alhassan, K. A., Abdullahi, B. T., & Shah, M. M. (2019). A review on biogas production as the alternative source of fuel. *Appl. Adv. Res.*, 4(2): 61-65.
- Allwyn, A., & Vasudevan, T. (2018). Un examen de la celulosa y su utilización a partir de desechos agroindustriales. *Invención de drogas hoy*, 10(1):.
- Alonso, M., Ramírez, C., & Rigal, L. (2012). Valorización de residuos agroindustriales del tequila para alimentación de rumiantes. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 18(3):449-457.
- Alvarez, M., & Carpio, R. (2019). *Estudio bibliográfico preliminar para la producción de plásticos biodegradables a partir de harina de yuca*. Arequipa: Tesis para bachiller. Universidad Católica San Pablo, Facultad de Ingeniería y Computación. Escuela Profesional de Ingeniería Industrial.
- Alves, C., De Lima, M. J., Maziero, P., De Azevedo, R. E., García, W., & Polikarpov, I. (2011). Chemical and morphological characterization of sugarcane bagasse

- submitted to a delignification process for enhanced enzymatic digestibility. *Biotechnol Biofuel*, 5:1-19.
- Alvira, P., Tomás-Pejó, E., Ballesteros, M., & Negro, M. J. (2010). Pretreatment technologies for an efficient bioethanol production process based on enzymatic hydrolysis. *Bioresource Technol*, 101(13):4851-4861.
- Anwar, Z., Gulfraz, M., & Irshad, M. (2014). La biomasa lignocelulósica agroindustrial es una clave para desbloquear la bioenergía del futuro: Una breve reseña. *J Radiat Res Appl Sci.*, 7 (2): 163-173.
- Area, M., & Vallejos, M. (2012). Biorrefinería a partir de residuos lignocelulósicos: Conversión de residuos a productos de alto valor. . *Editorial Académica Española.*, ISBN 978-3-659- 05295-8.
- Auccapuma, D. (2018). *Efecto de la temperatura, tiempo de cocción y la concentración del hidróxido de sodio en el rendimiento y las propiedades físico-mecánicas de la pulpa formada de paja (Stipa ichu L.)*. Apurímac-Perú: Universidad Nacional José María Arguedas, Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial.
- Ávila, M., Palechor, J., & Valencia, E. (2013). *Biopulpeo por vía enzimática de fibras de fique usadas para el desarrollo de matrices moldeadas con harina de yuca*. Valle del Cauca, Colombia: Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agrarias.
- Bajpai, P. (2018). Biermann's Handbook of Pulp and Paper: Raw Material and Pulp Making. *Elsevier*, Volumen 1.
- Barragán, B., Téllez, Y., & Laguna, A. (2008). Utilización de residuos agroindustriales. *Revista Sistemas Ambientales*, 2(1):44-50.
- Bauer, S., Sorek, H., Mitchell, V. D., Ibáñez, A. B., & Wemmer, D. E. (2012). Characterization of Miscanthus giganteus lignin isolated by ethanol Organosolv process under reflux condition. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60:8203-8212.
- Binod, P., Sindhu, R., Singhanía, R., Vikram, S., Devi, L., & Nagalakshmi, S. (2010). Bioethanol production from rice straw: an overview. *Bioresource Technology*, 101(13):4767 - 4774.
- Borrero, J. H. (s. f.). *Obtención de fibra de celulosa industrialmente útil para la elaboración de papel a partir de residuos de cosecha agrícola utilizando el proceso diferencial Oxidativo SSOHE*. Colombia, Valle: Universidad del Valle.

- Buchanan, M. (2007). Solvent extractives of wood and pulp, TAPPI N° 204. *Rev. TAPPI N° 204*, cm-97:1-12.
- Budiyono, B., Widiyasa, I. N., Johari, S., & Sunarso, S. (2010). *Int. J. Chem. Biol. Eng.*, 3: 39-44.
- Buitrago, A. J. (1990). *Yuca y papa en la alimentación animal*. Cali, Colombia, p. 446: Centro Internacional de Agricultural Tropical (CIAT).
- Camero, M. R. (2018). *Potencial de generación eléctrica con biogás a partir de efluente de la planta extractora de aceite de Palma INOLMASA, distrito de Neshuya, región Ucayali*. Pucallpa, Perú: Univerisdad Nacional de Ucayali, Escuela de Postgrado.
- Carvalho, F., Duarte, L. C., & Gírio, F. M. (2008). Hemicellulose biorefineries: a review on biomass pretreatments. *J. Sci. Ind. India*, 67:849-864.
- Castaño, H. I. (2008). La yuca como alternativa para la producción de alcohol carburante. *Poltécnica*, 6, 25-38.
- Castells, X. E. (2012). *Residuos destinados a la fabricación de materiales aislantes: Reciclaje de residuos industriales*. Ediciones Díaz de Santos.
- Chacón, J. A. (2014). *Propuesta técnica para el incremento de procesamiento de caña de azúcar a 300 t/h del trapiche de un ingenio azucarero en el norte del Perú*. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Chandra, R. P., Chu, Q., Hu, J., Zhong, N., Lin, M., Lee, J., & Saddler, J. N. (2016). The influence of lignin on steam pretreatment and mechanical pulping of poplar to achieve high sugar recovery and ease of enzymatic hydrolysis. *Bioresource Technology*, 199, 135-141.
- Chávez Porras, A., & Rodríguez González, A. (2016). "Aprovechamiento de residuos orgánicos agrícolas y forestales en Iberoamérica". *Revista Academia y Virtualidad*, 9, (2), p-p.
- Christ, P. M., Gopinath, L. R., & Divya, D. (2014). *Renewable Sustainable Energy Rev.*, 34: 167-173.
- Chundawat, S. P., Beckhan, G. T., Himmel, M. E., & Dale, B. E. (2010). Deconstrucción de biomasa lignocelulósica a combustibles y productos químicos. *Annu. Rev. Chem. Biomol. Ing.*, 2(6):1-25.
- Cuberlo, A., Bárbara, G., & Valdes, A. (2002). *Generación de electricidad a partir de bagazo en Cuba*. Cuba: FAO.

- Da costa, V., Da silva, A. A., Marabezi, K., De souza, A. E., & Savastano, H. (2015). Bambo cellulosic pulp produced by the ethanol/water process for reinforcement applications. *Ciencia Florestal, Santa Maria*, 25(1):127-135.
- Delgado, C. E., & Uribe, D. A. (2017). *Determinación de la concentración de soda cáustica, tiempo de cocción y tamaño de partícula, en la obtención de pulpa para la fabricación de papel a partir de las hojas de caña de azúcar*. Lambayeque, Perú: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Facultad de ingeniería Química e Industrias Alimentarias, Escuela de Ingeniería Química.
- Dutra, E. D., Santos, F. A., Ribeiro, B., Alencar, A., Libanio, A., & Reis, S. (2017). Pretratamiento con peróxido de hidrógeno de biomasa lignocelulósica: estado y perspectivas. *Alkaline*.
- Erdmann, E., Ruiz, A., Martínez, L., Gutiérrez, J., Tarifa, J. P., & Enrique. (2012). Endulzamiento de gas natural con aminos. Simulación del proceso y análisis de sensibilidad paramétrico.
- Escobedo, J. R. (2011). *Diseño de un sistema de biofiltración para la eliminación de la fábrica "Lubascher y Krausse"*. Temuco: Universidad Católica de Temuco, Facultad de Ingeniería.
- Estévez, R. (2019). Datos sobre la contaminación que causa el plástico. 28 agosto, 2019. Página de Ambientum, eointeligencia. Ambientum.com. Intral e Infosald. Greental S.A. carretera de la coruña, KM 23.200, Edificio las rozas 23 28230. Las Rozas, Madrid .
- Fahmy, Y., Fahmy, T. Y., Mobarak, F., El-Skhawy, M., & Fadl, M. H. (2017). Agricultural Residues (Wastes) for Manufacture of Paper, Board, and Miscellaneous Products: Background Overview and Future Prospects. *International Journal of ChemTech Research*, 10(2), 424-448.
- Fernández, E. (2004). *Procedimiento para la purificación de biogás*. Habana, Cuba. 18 p: Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. Publicación CU 23003 AI. Oficina Cubana de la Propiedad Intelectual.
- Flores, A., & Limache, A. (2017). Platos ecológicos hechos de las hojas de 10 especies de frutales tropicales. *universidad nacional de ucayali*.
- Flórez, L. M., Gonzáles, A., & López, J. E. (2018). Evaluación de diferentes métodos para la extracción eficiente de hojas de hemicelulosa y puntas de caña de azúcar. *Revista DYNA*, 85(204):18-27.

- Gabhane, J., William, S. P., Gadhe, A., Rath, R., Vaidya, A., & Wate, S. (2014). Pretreatment of banana agricultural waste for bioethanol production: individual and interactive effects of acid and alkali pretreatments with autoclaving, microwave heating and ultrasonication. *Waste Manag*, 34: 498–503.
- García, E., García, S., López, B., Sánchez, C., Espinoza, L., & Calderón, F. (2017). «Métodos para extraer celulosa de la paja de caña de azúcar,» . *Agroproductividad*, vol. X, nº 11, pp. 54-59.
- García, M. (2008). *Biorrefinerías: Situación Actual y Perspectivas de Futuro. Informe de Vigilancia Tecnológica*. Madrid, España: Fundación española para el Desarrollo de la Investigación en Genómica y Proteómica. Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas.
- Gómez, E. A., Ríos, L. A., & Peña, J. D. (2013). Efecto del pretratamiento de biomasa maderera en el rendimiento de etanol. *Revista Información Tecnológica*, 24(5):113-122.
- Gómez, F., Trejo, L., Velasco, J., & Lara, L. (2016). Herramientas moleculares para estudios ambientales de actividades agroindustriales. *Agroproductividad*, 9(8):3-9.
- González, A., Hernández, G., & Reyes, I. (2019). Pretratamiento alcalino de bagazo de caña para mejorar la producción de biometano. *Revista Centro Azúcar*, 46:79-88.
- González, D. (2013). Aprovechamiento de residuos agroindustriales para la producción de alimentos funcionales: una aproximación desde la nutrición animal. *Corporación Universitaria Lasallista*, Caldas, Antioquía.
- González, K. D., Daza, D., Caballero, P. A., & Martínez, C. (2016). Valuación de las propiedades físicas y químicas de residuos sólidos orgánicos a emplearse en la elaboración de papel. *Revista Luna Azul*, 43:499-517.
- Gosh, D. P. (2007). *The 2007 Tri-service Corrosion Conference*. Colorado, USA: Denver.
- Gould, J. M. (1985). Enhanced polysaccharide recovery from agricultural residues and perennial grasses treated with alkaline hydrogen peroxide. *Biotechnology and Bioengineering*, 27(6), 893–6.
- Guerrero, A. B., Aguado, P. L., Sánchez, J., & Curt, M. D. (2016). GIS-Based Assessment of Banana Residual Biomass Potential for Ethanol Production and Power Generation: A Case Study. *Waste Biomass Valor*, 7:405-415.
- Guerrero, A. B., Ballesteros, I., & Ballesteros, M. (2018). The potential of agricultural banana waste for bioethanol production. *Fuel*, 213:176-185.

- Gunaseelan, V. N. (1997). *Biomass Bioenergy*, 13: 83-114.
- Guo, M., Song, W., & Buhain, J. (2015). Bioenergy and biofuels: History, status, and perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42: 712-725.
- Gutiérrez, G., Mondaca, I., Meza, M., Félix, A., Balderas, J., & Gortáres, P. (2012). Biogás: una alternativa ecológica para la producción de energía. *Ideas CONCYTEG*, 7(85): 881-894.
- Hakeem, K. R., Jawaid, M., & Alothman, O. (2015). *Materiales potenciales basados en biomasa agrícola*. Cham (Suiza): Springer.
- Hashim, M. (2005). *Present status and problems in biomass utilization for electricity generation in Malaysia biomass*. Japon: Asia Workshop Tokyo.
- Hernández, A., Real, N., Delgado, M., Bautista, L., & Velasco, J. (2016). Residuos agroindustriales con potencial de compostaje. *Agroproductividad*, 9(8):10-17.
- Holm, J. B., Seadi, T., & Oleskowicz, P. (2009). *Bioresour. Technol*, 100: 5478-5484.
- Holtzapple, M. T. (2003). LIGNIN. En B. Caballero (Ed.), *Encyclopedia of Food. Sciences and Nutrition*, (Second Edition) (pp. 3535-3542).
- Horikawa, M. S., Rossi, M. L., Gimenes, M. L., Costa, C. M., Da Silva, M. G., & Braz, J. (2004). 21: 415-422: *Chem. Eng.*
- Huertas, J. G. (2010). *Filtración de H<sub>2</sub>S y CO<sub>2</sub> presentes en el biogás usado en plantas eléctricas de potencia*. Toluca, México: Centro de Investigación en Mecatrónica Automotriz (Informe final del proyecto MOPESA).
- ICIDCA. (1986). *Capítulo IV. Bagazo*. En: J. Valdéz Montero, ed. *La industria de los derivados de caña de azúcar*. La Habana, Cuba, p. 117: Instituto Cubano de investigación de los derivados de caña de azúcar, Editorial Científico-Técnica.
- Jaramillo, O. J., Gómez, M. A., & Fontalvo, J. (2012). Removal of ethanolic fermentation inhibitors using polydimethylsiloxane (PDMS) membranes by pervaporation. *Ion*, 25(1):51-59.
- Jenkins, J. L., & Haw, R. (2002). *Understanding gas treating fundamentals, Refining Gas Processing Petrochemicals*. Reprinted from PTQ (Petroleum Technology Quarterly) 2001-2 issue.
- Jiménez, E., Muñoz, F., Prieto, G., & Mendez, J. (2017). «Obtención de pulpa de celulosa a partir de residuos de *Ágave Salmiana*». *DYNA*, vol. 84, nº 200, pp. 253- 260.

- Jingura, R. M., & Matengaifa, R. (2008). The potential for energy production from crop residues in Zimbabwe. *Biomass and Bioenergy*, 32:1287–1292.
- Joaquim, A. P. (2009). Sisal organosolv pulp as reinforcement for cement based composites. *Materials Research*, 12:305-314.
- Jönsson, L., & Martín, C. (2016). Pretreatment of lignocellulose: formation of inhibitory by-products and strategies for minimizing their effects. *Bioresour. Technol.*, 199, 103–112.
- Kasper, E. R., Marangoni, C., Souza, O., & Sellin, N. (2013). Thermochemical characterization of banana leaves as a potential energy source. *Energy Conversion and Management*, 75: 603–608.
- Klemm, D., Heublein, B., Fink, H. P., & Col. (2005). Celulosa: fascinante biopolímero y materia prima sostenible. *Angew Chem Int Edit*, 44 (22): 3358–3393.
- Kohl, A., & Nielsen, N. (1997). *Gas Purification*. Houston, Texas: 5ed., 40-277. Gulf Publishing Company.
- Kucharska, K., Rybarczyk, P., Holowacz, I., & otros. (2018). Pretratamiento de materiales lignocelulósicos como sustratos para procesos de fermentación. *Moléculas*, 23 (11): 2937.
- Kumar, U., & Bandyopadhyay, M. (2006). Sorption of cadmium from aqueous solution using pretreated rice husk. *Bioresource Technology*, 97(1):104-109.
- Kumneadklang, S. O., Thong, S., & Larпкиattaworn, S. (2019). Caracterización de la fibra de celulosa aislada de la biomasa de la fronda de palma aceitera. *Mater Today Proc*, 17: 1995-2001.
- León, T. S., Dopíco, D., Triana, O., & Medina, M. (2013). Paja de la caña de azúcar. Sus usos en la actualidad. *Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar*, 47(2):13-22.
- López, A., Bolio, G. I., Veleza, L., Solórzano, M., Acosta, G., Hernández, M. M., . . . Córdova, S. (2016). Obtención de celulosa a partir de bagazo de caña de azúcar (*Saccharum spp.*). *Agroproductividad*, 9(7):41-45.
- Lora, J. (2008). Industrial commercial lingins: Sources, properties and applications En M. Naceur Belgacem, & A. Gandini (Edits.), *Monomers, Polymers and Composites from Renewable Resources*. *Elsevier*, 1:225-241.

- Luduena, L., Fasce, D., Álvarez, V. A., & otros. (2011). Nanocelulosa de la cáscara de arroz después de un tratamiento alcalino para eliminar la sílice. *Biorecursos*, 6 (2): 1440–1453.
- Lunsford, K. M., & Bullin, J. A. (1996). *Optimization of Amine Sweetening Units, Bryan Research and Engineering, Inc. Technical Papers. Proceedings of the 1996 AIChE Spring National Meeting*. New York, NY: American Institute of Chemical Engineers.
- Lynd, L. R., Cushman, J. H., Nichols, R. J., & Wyman, C. E. (1991). Etanol combustible de biomasa celulósica. *Science (Washington, DC, Estados Unidos)*, 251 (4999): 1318–1323.
- Maiorella, B. I. (1983). Ethanol industrial chemicals. *Fuels*, 861-914.
- Marchaim, U. (1992). *Biogas technology as an environmental solution to pollution*. Roma, Italy: Bull. FAO Agric. Services.
- Maryana, R., Ma'rifatun, D., Wheni, A., Satriyo, S. W., & Rizal, A. (2014). Alkaline pretreatment on sugarcane bagasse for bioethanol production. *Energy Procedia*, 47:250-254.
- Mattey, P., Robayo, R., Díaz, J., Delvasto, S., & Monzó, J. (2015). Aplicación de ceniza de cascarilla de arroz obtenida de un proceso agroindustrial para la fabricación de bloques en concreto no estructurales. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, 35(2):285-294.
- Montenegro, S., Ararat, M., & Betancur, J. (2015). Cachaza y carbonilla: residuos agroindustriales con potencial de fertilización biológica nitrogenada. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 6(1):84-90.
- Moreno, B. G. (14 de Octubre de 2009). *Biogás obtenido de la digestión anaerobia de diferentes residuos orgánicos: revisión de la principales tecnologías de purificación*. Obtenido de <http://www.ambienteaugm.ufscar.br/uploads/A2-026.pdf>
- Moreno, B., & Campanella, E. A. (2013). Simulacion del Proceso de Absorción Química con Soluciones de Aminas para la Purificación de Biogás. *Información Tecnológica*, 23(1): 25-32.
- Moreno, B., & Gropelly, E. (2010). Revisión de las principales tecnologías de purificación de biogás. *Cien. y Technol*, 10: 187-201.
- Moreno, B., Croquer, M. C., Gropelli, E., & Campanella, E. A. (2011). Comparación de diferentes soluciones de aminas para la purificación de biogás. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 15:97-103.



- Morero, B. (2014). *Purificación de biogás con tecnologías de producción limpias*. Santa Fe, Argentina: Universidad Nacional del Litoral, Facultad de Ingeniería Química, Tesis para la obtención del grado académico de Doctora en Tecnologías Químicas.
- Muñoz, D., Cuatin, M., & Pantoja, A. (2013). Potencial energético de residuos agroindustriales del departamento del Cauca, a partir del poder calorífico inferior. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(2): 56 -163.
- Naik, N., Dasu, V., Goud, V., & Rao, P. (2017). Biocatalysis and Agricultural Biotechnology Development of dilute sulfuric acid pretreatment method for the enhancement of xylose fermentability. *Biocatal. Agric. Biotechnol.*, 224–230 July.
- Ngoc, D., Mupondwa, E., Tabil, L., Li, X., & Castellanos, E. C. (2018). A Review on Techno-Economic Analysis and LifeCycle Assessment of Second Generation Bioethanol Production via Biochemical Processes. *CSBE/SCGAB*, Paper No. CSBE18-125:1-29.
- Niju, S., & Swathika, M. (2019). Deslignificación del bagazo de caña de azúcar mediante estrategias de pretratamiento para la producción de bioetanol. *Biocatáisis y biotecnología agrícola*, 20:1-6.
- Niño, L., Acosta, A., & Gelves, R. (2013). Evaluación de pretratamientos químicos para la hidrólisis enzimática de residuos lignocelulósicos de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 69, 1-7.
- Noyola, A., Morgan, J. M., & López, J. E. (2006). Treatment of biogas produced in anaerobic reactors for domestic wastewater: odor control and energy/resource recovery. *Rev. Environ Sci. Biotechnol*, 5: 93-114.
- Nuchitprasittichai, A., & Cremaschi, S. (2011). Optimization of CO<sub>2</sub> capture process with aqueous amines using response surface methodology. *Computers and Chemical Engineering*, 35: 1521-1531.
- Oliveira, L., Cordeiro, N., Evtuguin, D. V., Torres, I. C., & Silvestre, A. J. (2007). Chemical composition of different morphological parts from “Dwarf Cavendish” banana plant and their potential as a non-wood renewable source of natural products. *Industrial Crops and Products*, 26:163–172.
- Palma, D., Zavala, J., Cámara, J., Ruiz, E., & Salgado, S. (2016). Uso de residuos de la agroindustria de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.) para elaboración de abonos orgánicos. *Agroproductividad*, 9(7):29-34.

- Pantoja, A., Cuatin, M., & Muñoz, D. (2015). Efecto del pretratamiento químico y enzimático en la deslignificación de biomasa agroindustrial típica del cauca. *Rev Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustria* , Vol 13 No. 1 (45-53) Enero - Junio .
- Pardo, L., Menéndez, J., & Guirardo, M. (2011). Envases biodegradables: una necesidad de compromiso. *Publitec*.
- Poh, K., & Kong, H. (2002). Renewable energy in Malaysia: a policy analysis. *Energy for Sustainable Development*, 6(3):31 - 39.
- Porpatham, E., Ramesh, A., & Nagalingam, B. (2007). *Int. J. Hydrogen Energy*, 32: 2057-2065.
- Potucek, F., Gurung, B., & Hajkova, K. (2014). Soda pulping of rapeseed straw. *Cellulose Chemistry and Technology* , 48(7), 683-691.
- Purohit, P. (2009). Economic potential of biomass gasification projects under clean development mechanism in India. *Journal of Cleaner Production*, 17(2):181-193.
- Quesada, R., Salas, N., Arguedas, M., & Botero, R. (2007). Generación de energía eléctrica a partir de biogás. *Revis de la Universidad EARTH*, 3(2): 227-235.
- Rabelo, S. C., Amezquita, N. A., Andrade, R. R., Maciel, R., & Costa, A. C. (2011). Producción de etanol a partir de la hidrólisis enzimática de bagazo de caña de azúcar pretratado con cal y peróxido de hidrógeno alcalino. *Bioenergía de biomasa*, 35(7): 2600-2607.
- Ramírez, H., Salcedo, A. C., Briones, F., Lucero, F., Cárdenas, A., & Marcof, C. (2014). Rendimiento, caracterización morfológica y bromatológica de la punta de caña de azúcar en la Huasteca Potosina. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 48(4): 411-415.
- Rashed, M., Torii, S., Rahman, M. M., & Razaul, M. (2019). Physico-chemical elimination of unwanted CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S and H<sub>2</sub>O fractions from biometano. *Sustainable Energy & Fuels*, 19:166-172.
- Reales, J., Castaño, H., & Zapata, J. (2016). Evaluación de Tres Métodos de Pretratamiento Químico sobre la Deslignificación de Tallos de Yuca. *Revista de Información Tecnológica*, 27(3):11-22.
- Reales, J., Castaño, H., & Zapata, J. (2016). Evaluación de Tres Métodos de Pretratamiento Químico sobre la Deslignificación de Tallos de Yuca. *Revista Información Tecnológica*, 27(3):11-22.

- Rosas, D., Ortiz, H., Herrera, J., & Leyva, O. (2016). Revalorización de algunos residuos agroindustriales y su potencial de aplicación a suelos agrícolas. *Agroproductividad*, 9(8):18-23.
- Ruiz, K. (2018). *Optimización del proceso etanosolv para la obtención de celulosa biomásica y valoración de diferentes rutas de acetilación del material*. México, Chihuahua: Centro de investigación en materiales avanzados, S.C, Posgrado.
- Ruzene, D. S., & Goncalves, A. R. (2003). Effect of dose of xylanase on bleachability of sugarcane bagasse ethanol/water pulps. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 105:769-774.
- Ruzene, D. S., & Goncalves, A. R. (2007). Ethanol/Water pulp enzymatic pretreatment: Chemical and FTIR-PCA analyses. *Chemical Papers*, 61:472-476.
- Saha, B. C., & Cotta, M. A. (2008). Lime pretreatment, enzymatic saccharification and fermentation of rice hulls to ethanol. *Biomass Bioenergy*, 32(10):971-977.
- Salazar, C. J. (2012). *Evaluación de la eliminación de CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S por endulzamiento del biogás usando soluciones acuosas de alcanolaminas*. Tacna-Peru: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohman-Tacna.
- Sánchez, A., Gutiérrez, A., Muñoz, J., & Rivera, C. (2010). Producción de bioetanol a partir de subproductos agroindustriales lignocelulósicos. *Revista Tumbaga*, 1(5):61-91.
- Santa, M., Ruiz, A., Cruz, G., & Jeoh, T. (2013). Assessing the feasibility of biofuel production from lignocellulosic banana waste in rural agricultural communities in Peru and Colombia. *BioEnergy Research*, 6(3):1000-1011.
- Saval, S. (2012). Aprovechamiento de residuos agroindustriales: pasado, presente y futuro. *Bio-Tecnología*, 16(2):14-16.
- Seung, W., Eun, C., Dae-Seok, L., Soo, L., Young, L., & Hyeun, B. (2015). Lignocellulose conversion for biofuel: a new pretreatment greatly improves downstream biocatalytic hydrolysis of various lignocellulosic materials. *Biotechnol Biofuels*, 8(288):3-11.
- Silverstein, R. A., Chen, Y., Sharma-Shivappa, R. R., Boyette, M. D., & Osborne, J. A. (2007). Comparison of chemical pretreatment methods for improving saccharification of cotton stalks. *Bioresour Technol*, 98(16):3000-3011.
- Sindhu, R., Kuttiraja, M., Binod, P., Janu, K., Sukumaran, R., & Pandey, A. (2011). Dilute acid pretreatment and enzymatic saccharification of sugarcane tops for bioethanol production. *Bioresour. Technol*, 102 (23), 10915–10921.

- Soriano Munarriz, R. M. (2018). *Evaluación de la eficiencia de la monoetanolamina en la reducción de CO<sub>2</sub> Y H<sub>2</sub>S En flujos de biogás a partir del efluente de la planta extractora de aceite de palma, "Industrias Oleaginosas Monte Alegre" S.A. (Indolmasa), Noviembre-2018*. Pucallpa: Universidad Nacional De Ucayali.
- Sridach, W. (2010). Pulping and paper properties of Palmyra palm fruit fibers. *Songklanakarin J. Sci. Technol*, 32 (2), 201-205.
- Studer, M. H., De Martini, J. D., Davis, M. F., Sykes, R. W., Davison, B., Keller, M., . . . Wyman, C. E. (2011). El contenido de lignina en variantes naturales de *Populus* afecta la liberación de azúcar. *Proc. Natl. Acad. Sci*, 108 (15), 6300-6305.
- Talha, Z., Ding, W., Mehryar, E., Hassan, M., & Bi, J. (2016). Alkaline pretreatment of sugarcane bagasse and filter mud. Codigested to improve biomethane production. *BioMed Research International*, 2016:1-10.
- Tippayawong, N., & Thanampongachart, P. (2010). Biogas quality upgrade by simultaneous removal of CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S in a packed column reactor. *Energy*, 35(12): 4531-5.
- Tong, X. C. (2019). *Introducción a materiales para sistemas energéticos avanzados*. Cham (Suiza): Springer.
- Torres, D., Morales, S. P., & Quintero, J. C. (2017). Evaluación de pretratamientos químicos sobre materiales lignocelulósicos. *Revista chilena de ingeniería*, 25(4):733-743.
- Torres, D., Morales, S. P., & Quintero, J. C. (2017). Evaluación de pretratamientos químicos sobre materiales lignocelulósicos. *Revista chilena de ingeniería*, 24(4): 733-743.
- Treybal, R. (1996). *Operaciones de transferencia de Masa*. 2ed. Mc Graw Hill, pp. 865.
- Vargas, A., & Pérez, L. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales para el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, ISSN 1900-4699. Vol. 14 (1).
- Vargas, Y. k., & Pérez, L. I. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales para el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 14(1): 59-72.
- Varnero, M. T., Carú, M., Galleguillos, K., & Achondo, P. (2012). Tecnologías disponibles para la purificación de biogás usado en la generación de energía eléctrica. *Información Tecnológica*, 23(2): 31-40.

- Velásques, Y. C., & López, J. E. (2015). Tecnologías de producción de una planta de obtención de etanol a partir de residuos de cosecha (hojas y cogollo) de la caña de azúcar. *Colección Académica de Ciencias Estratégicas*, 2(1):67-65.
- Vergara, J. (2015). *Estudio comparativo del rendimiento de furfural a partir de diferentes residuos agrícolas (cascarilla de arroz, bagazo de caña, zuro de maíz)*. Guayaquil-Ecuador: Universidad de Guayaquil.
- Ververis, C., Georghiou, K., Christodoulakis, N., Santas, P., & Santas, R. (2004). Fiber dimensions, lignin and cellulose content of various plant materials and their suitability for paper production. *Industrial Crops and Products*, 19(3), 245-254.
- Viquez, J. (2010). Remoción del sulfuro de hidrógeno en el biogás. *ECAG Informa*, 53(1): 16-21.
- Vishtal, A., & Kraslawski, A. (2011). Challenges in industrial applications of technical lignins. *BioResources*, 6:3547-3568.
- WBA. (2018). *World Bioenergy Association*. Obtenido de Global Bioenergy Statistics: <https://worldbioenergy.org/>
- Weiland, P. (2010). Biogas production: current state and perspectives. *Appl. Microbiol. Biotechnol*, 85:849-860.
- Wyman, C. E. (1990). *Producción biológica de sustancias químicas a partir de materias primas renovables*. Washington, DC: Encuentro Nacional. Sociedad Química Estadounidense.
- Xu, Z., & Huang, F. (2014). Métodos de pretratamiento para la producción de bioetanol. *Apl Biochem Biotechnol*, 174(1):43-62.
- Xu, Z., & Huang, F. (2014). Pretreatment methods for bioethanol production. 174 (1), 43–62.
- Yanfeng, H., Yunzhi, P., Yanping, L., Xiujin, L., & Kuisheng, W. (2008). Physicochemical characterization of rice straw pretreated with sodium hydroxide in the solid state for enhancing biogas production. *Energy Fuels*, 22:2775-2781.
- Zhou, C., & Wang, Y. (2020). Avances recientes en la conversión de desechos de biomasa en materiales funcionales para aplicaciones de valor agregado. *Ciencia y tecnologías de materiales avanzados*, 21(1):787-804.

## **ANEXOS**



Figura 9. Bagazo de caña.



Figura 10. Cascarilla de arroz.



Figura 11. Cáscara de plátano.



Figura 12. Cáscara de yuca.



Figura 14. Tratamiento de bagazo de caña con NaOH.



Figura 13. Pulpa de bagazo de caña con NaOH



Figura 16. Medición de temperatura en agua destilada



Figura 15. Tratamiento de cascarilla de arroz con agua destilada.



Figura 18. Tratamiento de cáscara de plátano con etanol.



Figura 17. Pulpa de cáscara de plátano tratado con etanol.



Figura 20. Pulpa de cáscara de yuca tratado con sal de Mohr



Figura 19. Tratamiento de cáscara de yuca tratado con sal de Mohr



## Tablas

Tabla 13.

Prueba de ANOVA de la concentración de lignina con hidróxido de sodio, en cáscara de plátano, cascarilla de arroz, cáscara de yuca y bagazo de caña.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	124.176	3	41.392	738.701	.000
Dentro de grupos	.448	8	.056		
Total	124.624	11			

Tabla 14.

Prueba HSD Tukey de la concentración de lignina con hidróxido de sodio.

Pretratamiento con hidróxido de sodio al 10%	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
Lignina en cáscara de yuca	3	5.0200			
Lignina en cáscara de plátano	3		6.7600		
Lignina en cascarilla de arroz	3			10.4300	
Lignina en bagazo de caña	3				13.3067
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Tabla 15.

Prueba de ANOVA de la concentración de lignina con agua destilada, en cáscara de plátano, cascarilla de arroz, cáscara de yuca y bagazo de caña.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	476.448	3	158.816	100.050	.000
Dentro de grupos	12.699	8	1.587		
Total	489.146	11			

Tabla 16.  
Prueba HSD Tukey de la concentración de lignina con agua destilada.

Pretratamiento con agua destilada	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
Lignina en cáscara de yuca	3	4.4700		
Lignina en cáscara de plátano	3		14.3400	
Lignina en bagazo de caña	3			18.3267
Lignina en cascarilla de arroz	3			21.1000
Sig.		1.000	1.000	.102

Tabla 17.  
Prueba de ANOVA de la concentración de lignina con etanol, en cáscara de plátano, cascarilla de arroz, cáscara de yuca y bagazo de caña.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	215.849	3	71.950	739.145	.000
Dentro de grupos	.779	8	.097		
Total	216.627	11			

Tabla 18.  
Prueba HSD Tukey de la concentración de lignina con etanol.

Pretratamiento con etanol al 50%	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
Lignina en cáscara de yuca	3	6.4667		
Lignina en bagazo de caña	3		14.7300	
Lignina en cascarilla de arroz	3		15.3967	
Lignina en cáscara de plátano	3			17.6700
Sig.		1.000	.114	1.000

Tabla 19.

Prueba de ANOVA de la concentración de lignina con sal de Mohr, en cáscara de plátano, cascarilla de arroz, cáscara de yuca y bagazo de caña.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	2213.018	3	737.673	738.565	.000
Dentro de grupos	7.990	8	.999		
Total	2221.009	11			

Tabla 20.

Prueba HSD Tukey de la concentración de lignina con sal de Mohr.

Pretratamiento con sal de Mohr 25%	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
Lignina en cáscara de yuca	3	4.1100		
Lignina en cascarilla de arroz	3		25.7467	
Lignina en bagazo de caña	3			36.0700
Lignina en cáscara de plátano	3			38.5333
Sig.		1.000	1.000	.065

Tabla 21.

Prueba de ANOVA de la concentración de celulosa con hidróxido de sodio, en cáscara de plátano, cascarilla de arroz, cáscara de yuca y bagazo de caña.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	6423.709	3	2141.236	3993.850	.000
Dentro de grupos	4.289	8	.536		
Total	6427.998	11			

*Tabla 22.  
Prueba HSD Tukey de la concentración de celulosa con hidróxido de sodio.*

Pretratamiento con hidróxido de sodio al 10%	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
Celulosa en cáscara de yuca	3	20.4800			
Celulosa en bagazo de caña	3		46.3000		
Celulosa en cáscara de plátano	3			73.0000	
Celulosa en cascarilla de arroz	3				78.4667
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

*Tabla 23.  
Prueba de ANOVA de la concentración de celulosa con agua destilada, en cáscara de plátano, cascarilla de arroz, cáscara de yuca y bagazo de caña.*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	4193.195	3	1397.732	241.910	.000
Dentro de grupos	46.223	8	5.778		
Total	4239.419	11			

*Tabla 24.  
Prueba HSD Tukey de la concentración de celulosa con agua destilada.*

Pretratamiento con agua destilada	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
Celulosa en cáscara de yuca	3	18.3367			
Celulosa en bagazo de caña	3		45.8333		
Celulosa en cascarilla de arroz	3			57.5333	
Celulosa en cáscara de plátano	3				68.5667
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Tabla 25.

Prueba de ANOVA de la concentración de celulosa con etanol, en cáscara de plátano, cascarilla de arroz, cáscara de yuca y bagazo de caña.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	2305.412	3	768.471	3.872	.056
Dentro de grupos	1587.796	8	198.475		
Total	3893.208	11			

Tabla 26.

Prueba HSD Tukey de la concentración de celulosa con etanol.

Pretratamiento con etanol al 50%	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
Celulosa en cáscara de yuca	2	17.9550	
Celulosa en bagazo de caña	3	48.1333	48.1333
Celulosa en cáscara de plátano	4	52.4275	52.4275
Celulosa en cascarilla de arroz	3		59.9000
Sig.		.076	.758

Tabla 27.

Prueba de ANOVA de la concentración de celulosa con sal de Mohr, en cáscara de plátano, cascarilla de arroz, cáscara de yuca y bagazo de caña.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1840.499	3	613.500	674.645	.000
Dentro de grupos	7.275	8	.909		
Total	1847.774	11			

*Tabla 28.  
Prueba HSD Tukey de la concentración de celulosa con sal de Mohr.*

Pretratamiento con sal de Mohr 25%	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
Celulosa en bagazo de caña	3	23.4500			
Celulosa en cascarilla de arroz	3		39.9333		
Celulosa en cáscara de plátano	3			49.6333	
Celulosa en cáscara de yuca	3				56.4000
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

*Tabla 29.  
Prueba de ANOVA de la concentración de hemicelulosa con hidróxido de sodio, en cáscara de plátano, cascarilla de arroz, cáscara de yuca y bagazo de caña.*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	592.701	3	197.567	458.916	.000
Dentro de grupos	3.444	8	.431		
Total	596.145	11			

*Tabla 30.  
Prueba HSD Tukey de la concentración de hemicelulosa con hidróxido de sodio.*

Pretratamiento con hidróxido de sodio al 10%	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
Hemicelulosa en cáscara de plátano	3	4.2000			
Hemicelulosa en cascarilla de arroz	3		7.0000		
Hemicelulosa en cáscara de yuca	3			10.1233	
Hemicelulosa en bagazo de caña	3				22.6000
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Tabla 31.

Prueba de ANOVA de la concentración de hemicelulosa con agua destilada, en cáscara de plátano, cascarilla de arroz, cáscara de yuca y bagazo de caña.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	700.235	3	233.412	40.695	.000
Dentro de grupos	45.885	8	5.736		
Total	746.119	11			

Tabla 32.

Prueba HSD Tukey de la concentración de hemicelulosa con agua destilada.

Pretratamiento con agua destilada	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
Hemicelulosa en cáscara de yuca	3	9.7367	
Hemicelulosa en cascarilla de arroz	3	12.0333	
Hemicelulosa en cáscara de plátano	3	14.3000	
Hemicelulosa en bagazo de caña	3		29.2667
Sig.		.169	1.000

Tabla 33.

Prueba de ANOVA de la concentración de hemicelulosa con etanol, en cáscara de plátano, cascarilla de arroz, cáscara de yuca y bagazo de caña.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	657.936	3	219.312	149.358	.000
Dentro de grupos	11.747	8	1.468		
Total	669.683	11			

*Tabla 34.  
Prueba HSD Tukey de la concentración de hemicelulosa con etanol.*

Pretratamiento con etanol al 50%	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
Hemicelulosa en cáscara de yuca	3	11.4133		
Hemicelulosa en cáscara de plátano	3	14.1333		
Hemicelulosa en cascarilla de arroz	3		20.1000	
Hemicelulosa en bagazo de caña	3			30.7000
Sig.		.095	1.000	1.000

*Tabla 35.  
Prueba de ANOVA de la concentración de hemicelulosa con sal de Mohr, en  
cáscara de plátano, cascarilla de arroz, cáscara de yuca y bagazo de caña.*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	23.234	3	7.745	16.214	.001
Dentro de grupos	3.821	8	.478		
Total	27.055	11			

*Tabla 36.  
Prueba HSD Tukey de la concentración de hemicelulosa con sal de Mohr.*

Pretratamiento con sal de Mohr 25%	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
Hemicelulosa en cáscara de plátano	3	11.2667	
Hemicelulosa en bagazo de caña	3	12.2300	
Hemicelulosa en cáscara de yuca	3		14.1333
Hemicelulosa en cascarilla de arroz	3		14.7000
Sig.		.380	.752



*Tabla 37.*  
*Correlación de Pearson, para entre la temperatura de cocción y el rendimiento con hidróxido de sodio.*

Correlación de Pearson		Rendimiento de pretratamiento con NaOH en plátano	Rendimiento de pretratamiento con NaOH en arroz	Rendimiento de pretratamiento con NaOH en bagazo	Rendimiento de pretratamiento con NaOH en yuca
Temperatura de pretratamiento con NaOH en plátano	Correlación Sig. (bilateral) N	.439 .711 3	.849 .354 3	.940 .222 3	-.979 .131 3
Temperatura de pretratamiento con NaOH en arroz	Correlación Sig. (bilateral) N	-.425 .721 3	-.857 .344 3	-.945 .212 3	.982 .121 3
Temperatura de pretratamiento con NaOH en bagazo	Correlación Sig. (bilateral) N	-.993 .074 3	.217 .861 3	.011 .993 3	.132 .916 3
Temperatura de pretratamiento con NaOH en yuca	Correlación Sig. (bilateral) N	-.105 .933 3	-.979 .132 3	-1,000** 0.000 3	.990 .091 3

\*\* . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral), \* . La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

Tabla 38.  
Correlación de Pearson, para entre la temperatura de cocción y el rendimiento con agua destilada.

Correlación de Pearson		Rendimiento de pretratamiento con H <sub>2</sub> O en plátano	Rendimiento de pretratamiento con H <sub>2</sub> O en arroz	Rendimiento de pretratamiento con H <sub>2</sub> O en bagazo	Rendimiento de pretratamiento con H <sub>2</sub> O en yuca
Temperatura de pretratamiento con H <sub>2</sub> O en plátano	Correlación Sig. (bilateral) N	-.615 .578 3	-.995 .066 3	-.693 .512 3	-.143 .909 3
Temperatura de pretratamiento con H <sub>2</sub> O en arroz	Correlación Sig. (bilateral) N	-.138 .912 3	-.809 .400 3	-.961 .179 3	-.619 .575 3
Temperatura de pretratamiento con H <sub>2</sub> O en bagazo	Correlación Sig. (bilateral) N	-.786 .424 3	-.990 .088 3	-.500 .667 3	.099 .937 3
Temperatura de pretratamiento con H <sub>2</sub> O en yuca	Correlación Sig. (bilateral) N	.981 .124 3	.541 .636 3	-.331 .786 3	-.819 .389 3

\*\* . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral), \* . La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

Tabla 39.  
Correlación de Pearson, para entre la temperatura de cocción y el rendimiento con etanol.

Correlación de Pearson		Rendimiento de pretratamiento con C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH en plátano	Rendimiento de pretratamiento con C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH en arroz	Rendimiento de pretratamiento con C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH en bagazo	Rendimiento de pretratamiento con C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH en yuca
Temperatura de pretratamiento con C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH en plátano	Correlación Sig. (bilateral) N	-.115 .927 3	-.523 .650 3	.997* .048 3	-1,000** .007 3
Temperatura de pretratamiento con C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH en arroz	Correlación Sig. (bilateral) N	-.940 .221 3	-.996 .056 3	.512 .658 3	-.437 .712 3
Temperatura de pretratamiento con C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH en bagazo	Correlación Sig. (bilateral) N	.500 .667 3	.818 .390 3	-.945 .212 3	.913 .267 3
Temperatura de pretratamiento con C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH en yuca	Correlación Sig. (bilateral) N	.988 .101 3	.962 .176 3	-.341 .778 3	.260 .833 3

\*\* . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral), \* . La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

Tabla 40.

Correlación de Pearson, para entre la temperatura de cocción y el rendimiento con sal de mohr.

Correlación de Pearson		Rendimiento de pretratamiento con sal de Mohr en plátano	Rendimiento de pretratamiento con sal de Mohr en arroz	Rendimiento de pretratamiento con sal de Mohr en bagazo	Rendimiento de pretratamiento con sal de Mohr en yuca
Temperatura de pretratamiento con sal de Mohr en plátano	Correlación Sig. (bilateral) N	-.884 .310 3	.930 .240 3	.690 .515 3	-.504 .663 3
Temperatura de pretratamiento con sal de Mohr en arroz	Correlación Sig. (bilateral) N	-.984 .114 3	.504 .663 3	.096 .939 3	-.930 .240 3
Temperatura de pretratamiento con sal de Mohr en bagazo	Correlación Sig. (bilateral) N	-.902 .284 3	.258 .834 3	-.171 .891 3	-.994 .070 3
Temperatura de pretratamiento con sal de Mohr en yuca	Correlación Sig. (bilateral) N	-.448 .704 3	.971 .154 3	.982 .121 3	.091 .942 3

\*\* . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral), \* . La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).