

**VIABILIDAD EN APROVECHAMIENTO DE LOS DESECHOS GENERADOS
EN UN RESTAURANTE DE LA SABANA DE BOGOTA**

JUAN ESTEBAN DAZA SUAREZ

**UNIVERSIDAD DE BOGOTA JORGE TADEO LOZANO
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTA D.C., COLOMBIA**

2019

**VIABILIDAD EN APROVECHAMIENTO DE LOS DESECHOS GENERADOS
EN UN RESTAURANTE DE LA SABANA DE BOGOTA**

JUAN ESTEBAN DAZA SUAREZ

**Trabajo de formación para la investigación presentado para optar al título
de INGENIERO QUÍMICO**

IQ-PhD, Franz Edwin López Suarez

**UNIVERSIDAD DE BOGOTA JORGE TADEO LOZANO
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTA D.C., COLOMBIA
2019**

DEDICATORIA

Este proyecto de investigación quiero dedicarlo a mi familia y a mi madre en especial por el apoyo emocional incondicional en la realización del proyecto, además de ser quienes siempre brindaron en mí, fuerzas para culminar esta etapa de mi vida, que me llena de orgullo y satisfacción personal, todo en busca de un mejor futuro, sobrepasando con esfuerzo los obstáculos presentados en el camino, para la obtención del Título de Ingeniero Químico.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradezco a Dios y a mis padres por el apoyo incondicional que siempre me brindaron y los esfuerzos económicos realizados durante mi formación profesional, de la misma manera agradezco a la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano y a todos los maestros que se encargaron de hacer parte de mi proceso formativo, transmitiéndome siempre sus conocimientos y experiencia para mi formación ética y profesional de manera integral. Por último, agradezco al IQ-PhD, Franz Edwin López Suarez por la dirección del presente proyecto de grado.

**VIABILIDAD EN APROVECHAMIENTO DE LOS DESECHOS GENERADOS
EN UN RESTAURANTE DE LA SABANA DE BOGOTA**

**VIABILITY ON USE OF WASTE GENERATED IN A RESTAURANT OF THE
SAVANNAH OF BOGOTÁ**

Juan Esteban Daza Suarez¹,

Juane.dazas@utadeo.edu.co

Ingeniería Química

Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería, Universidad de Bogotá Jorge
Tadeo Lozano,

RESUMEN

La biomasa de tipo lignocelulósica, en los últimos años ha tomado una importancia relevante en el estudio de su aprovechamiento como fuente renovable, gracias a la amplia aplicación de la lignina, celulosa y hemicelulosa. En este proyecto se busca estudiar la viabilidad de los residuos lignocelulósicos producidos en un restaurante ubicado en el municipio de Sopó Cundinamarca con el objetivo de estudiar posibles soluciones al tratamiento de residuos generados en el municipio, usándolos para generación de productos de valor agregado y aportar a la economía de sopó, evaluando la cantidad y tipo de residuos generados durante 3 meses en donde se encuentra en cantidad considerable residuos de limón Tahití, mandarina arrayana y piña Golden, obteniendo principalmente un total de biomasa de 5393 kg de piña, siendo este el desecho generado en mayor cantidad, por lo tanto se encamina el presente proyecto y análisis fisicoquímico, en los desechos de piña en general, es decir

sin una previa separación, consiguiendo de esta manera una mezcla remanente constituida por corona, cascara, pulpa y corazón de la piña, los cuales son los que se generan en mayor cantidad. Se determino una composición físico-química a través del método descrito por “Laboratory Analytical Procedure (LAP)” Technical Report, NREL/TP-510-42620, NREL/TP- 510-42619, NREL/TP-510-42618, norma ASTM Standard D1104 [211] y un procedimiento modificado de (Crapton and Maynard), obteniendo 13% lignina, 19% celulosa, 21% de hemicelulosa, 46% en material extractivo y un 1% de cenizas, de lo cual se plantean 5 procesos para el aprovechamiento de la celulosa y hemicelulosa, así como su diagrama de flujo de proceso y su análisis conceptual de viabilidad.

Palabras clave: *Biomasa, lignocelulósico, piña, caracterización, viabilidad, aprovechamiento, planta piloto, biorrefinería, valor agregado.*

ABSTRACT

Lignocellulosic biomass, in recent years has taken on a significant importance in the study of its use as a renewable source, thanks to the wide application of lignin, cellulose and hemicellulose. This project seeks to study the feasibility of lignocellulosic residues produced in a restaurant located in the municipality of Sopó Cundinamarca, with the aim of studying possible solutions to the treatment of waste generated in the municipality, using them to generate value-added products and contribute to the economy of sopó, evaluating the amount and type of waste generated during 3 months where there is a considerable amount of Tahiti lemon, arrayana mandarin and Golden pineapple residues, obtaining mainly a total of 5393 kg of pineapple biomass, this being the waste generated

in greater quantity, therefore the present project and physicochemical analysis is routed, in waste pineapples in general, that is, without prior separation, thus obtaining a remaining mixture consisting of crown, shell, pulp and heart, Which are the ones that are generated in the greatest quantity. A physical-chemical composition is determined through the method described by "Laboratory Analytical Procedure (LAP)" Technical Report, NREL/TP-510-42620, NREL/TP-510-42619, NREL/TP-510-42618, ASTM Standard D1104 [211] and a modified procedure (Crpton and Maynard), obtaining 13% lignin, 19% cellulose, 21% hemicellulose, 46% in extractive material and 1% ash, of which processes for the use of cellulose and hemicellulose, as well as their process flowchart flow and its conceptual fea analysis.

Key words: *Biomass, lignocellulosic, pineapple, characterization, viability, use, pilot plant, biorefinery, added value.*

1. INTRODUCCIÓN

En Colombia se encuentra un gran potencial en la producción de biomasa lignocelulósica, convirtiéndose en un tema de interés en los últimos años, debido a su amplia capacidad de aprovechamiento para la obtención de biocombustibles y productos de valor agregado(Piñeros Castro, 2014). Actualmente los desperdicios agroindustriales de todo tipo se están enfrentando a la ausencia de conciencia ambiental en cuanto a su correcto manejo, además de la falta de competencia tecnológica y recursos económicos suficientes para su acertada utilización (Saval, Ingeniería, & Universitaria, 2012).Con este proyecto de grado se busca evaluar la cantidad y tipo de desechos generados, planteando modelos para el aprovechamiento de los residuos lignocelulósicos producidos en un

restaurante ubicado en Sopó Cundinamarca, proponiendo soluciones para cada componente y su provecho, teniendo en cuenta sus constituyentes básicos estructurales para un subsiguiente beneficio y manufactura de productos de valor agregado, donde los residuos a estudiar presentan en estructura principalmente constituida por celulosa, hemicelulosa y lignina, siendo la celulosa conformada por monómeros de glucosa aportando dureza y rigidez a la estructura vegetal, la cual se encuentra recubierta por el entrelazamiento de lignina y hemicelulosa, este último comprendiendo una composición amorfa por monosacáridos de D-xilosa, L-arabinosa, D-galactosa, entre otros, con abundancia predominante de D-xilosa(Miguel & Caballero, 2014).

Tomando como primera medida un estudio de las materias desechadas durante un periodo de 3 meses, donde resulta conveniente el análisis propio de los residuos de piña debido a la cantidad producida, proponiendo un material de estudio sin una previa separación, para proceder al pretratamiento y caracterización de un conjunto de biomasa constituido por corona, cascara y un 5 % aproximado de pulpa, utilizando métodos tomados de “Laboratory Analytical Procedure (LAP)” Technical Report, NREL/TP-510-42620, NREL/TP- 510-42619, NREL/TP-510-42618, norma ASTM Standard D1104 [211] y un procedimiento modificado de (Crapton and Maynard) para concretar una composición fisicoquímica del material elegido en cuestión. Todo ello sabiendo que actualmente la ciencia alrededor de la biomasa lignocelulósica se ha convertido en uno de los temas clave dentro del desarrollo sostenible, en contraste con los recursos de origen fósil(Cortes, 2011), y convirtiéndose en una responsabilidad científica para esta generación, por eso se encamino este proyecto hacia la producción de materiales base o intermedios como el furfural, el ácido láctico y el xilitol, usados para la obtención de otros subproductos, ya que por ejemplo el furfural tiene buen potencial y una genera atracción debido a que ayuda en la viabilidad de generar productos como herbicidas, desinfectantes, bactericidas y biopolímeros entre otros, con suministros relativamente abundante. La industria química, demanda furfural como un

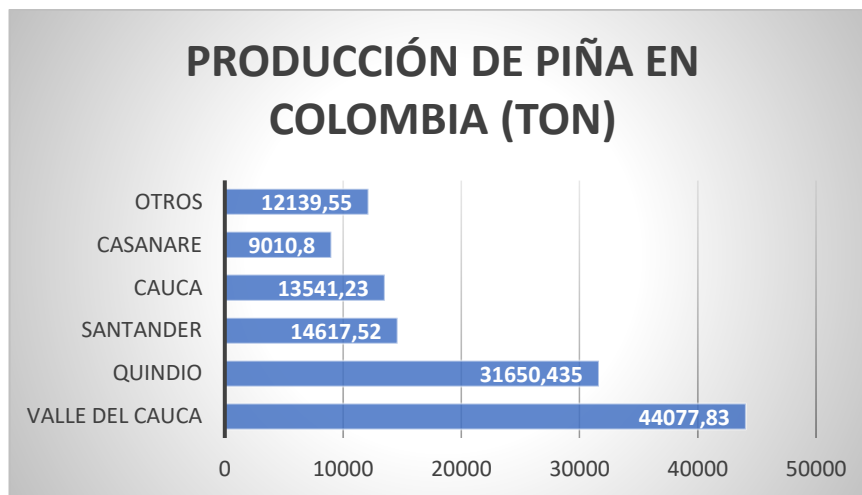
producto intermedio y es obtenida básicamente por hidrólisis ácida, descomponiendo los polisacáridos lignocelulósicos (Corporation & Services, 2006), de la misma manera el ácido láctico es usado en industria alimenticia y no alimenticia, directamente como acidulante y también como intermedio, en la producción de lacas o plastificantes, además de ser catalizador en la manufactura de resinas fenólicas (Semprum, 1985).

Por su parte el xilitol, pentitol que es extraído a partir de la xilosa encontrada en los xilanos de hemicelulosa, tiene claras ventajas comparadas con las de la sacarosa, y hasta dos veces más contenido calórico que el sorbitol (Solenzal, Rios, Martinez, Bueno, & santana, 2005), haciendo que sea un producto totalmente competente en el mercado, además de aportar al desarrollo sostenible, que es, a lo que finalmente se busca acercar en este proyecto de grado.

1.1. Biomasa de piña en Colombia

En cuanto a la producción de piña en Colombia, en el historial de cifras de la encuesta nacional agropecuaria se presentaron datos de alrededor de 8 hectáreas para cultivo de piña, donde la mitad representa área de edad productiva para la fruta, extrayendo un total de 125150 toneladas de piña. Presentando los volúmenes por departamento de la siguiente manera, Evidenciado al valle del cauca como el mayor productor con un 35 % del total de cultivo (DANE-ENA, 2016).

Gráfico 1. Producción de piña en Colombia



Teniendo en cuenta lo anterior los residuos producidos en Colombia a partir de la piña se pueden encontrar dentro de distintos grupos o fuentes, como lo son las centrales de abastos, el sector agrícola, el sector urbano, dentro de los desechos de fruta mezclada lo cual en este proyecto se encuentra evidenciada en los siguientes numerales.

1.2. Potencial en generación de biomasa en Colombia

El país cuenta con industrias generadoras de cantidades de biomasa importantes, como lo es el sector palmero, teniendo como principal actividad la producción de aceite y almendra, que constituyen alrededor de un 21% y 5% respectivamente, el peso del fruto obtenido de la palma de aceite. Durante las etapas del proceso es posible encontrar generación de biomasa de hasta un 41 %en peso, también se tiene en cuenta una producción de alrededor de 75 t/ha de residuo seco, durante la renovación del cultivo, siendo la materia seca en hojas la mayor acumulación de biomasa producida por la palma (96%), con valores de 20 y 30 t/ha año. Además de ello la planta de beneficio de palma cuenta con subproductos generados como la fibra, la tusa y el cuesco, que tienen contenidos de holocelulosa cercanos al 50, 65 y 43% respectivamente(García, Cárdenas, & Yáñez, 2010)

En Colombia uno de los sectores de mayor importancia es el de la industria azucarera que gracias a las condiciones climáticas y ambientales precisas, se sitúa en el valle del cauca la mayor parte y que ha llegado a producir 24 millones de toneladas de caña de azúcar anuales, de donde se obtiene el bagazo remanente, constituyendo en un 30 % total de la caña molida. De esta cantidad de biomasa residual, un 85% se está usando en los propios ingenios para procesos de cogeneración de energía y el 15% restante se usa en producción de papel (Becerra quiroz, Buitrago coca, & Pinto baquero, 2016). Debido a que se tiene un gran porcentaje destinado a cogeneración, es preciso registrar el gran potencial de Colombia en el desarrollo de una industria cogeneradora, que con la expansión de la producción de alcohol carburante generara una gran disposición de bagazo de caña para cogeneración, y dicho incremento puede llegar a ser hasta de 5 veces más con respecto al disponible en 2014, además de ser un potencial para la generación biocombustibles(Asocaña, 2014)

1.3. Biomasa residual en Colombia

Básicamente en Colombia, se obtiene biomasa residual de 3 sectores en especial, agrícola, pecuario y orgánicos urbanos, donde cada uno tiene una subcategoría:

Tabla 1. Sectores generadores y tipos de biomasa residual.

SECTOR	PROCEDENCIA	RESIDUO
Agrícola	Residuos de cosechas	Palma de aceite, caña de azúcar, café, arroz, banano.

	Residuos agroindustriales	Bagazos, Cascara de frutas, vegetales, grasas y aceites vegetales
Pecuario	Estiércol porcino, bovino y avícola	NA
Urbano orgánico	Residuos de plaza de mercado y abastos.	Basura orgánica, aguas negras.

Para el aprovechamiento de biomasa residual en Colombia además de la creciente preocupación por el desarrollo tecnológico e investigativo para el aprovechamiento de biomasa en productos de valor agregado, se han adelantado estudios para la utilización del mismo en generación de energías no renovables, a pesar del menor contenido de cadenas de carbono-carbono, almacenadoras de energía, esta generación de energía, se han planteado por vías fermentativas, de combustión, gasificación, pirolisis termólisis entre otras, y se han obtenido potencialidades energéticas de 29 millones de toneladas al año de bagazo de caña, cascarilla de arroz, pulpa de café, palma de aceite y cebada entre algunas otras minoritarias, capacidades energéticas hasta de 12000MWh/año (Ministerio de Minas y Energía, 2010).

1.4. Acerca de biomasa lignocelulósica en Colombia

Biomasa residual en centrales de abasto

Los residuos generados en estas plazas están siendo llevadas directamente a los rellenos sanitarios, es decir, en el caso de Corabastos en Bogotá se están siendo desechadas 2100 toneladas de biomasa mensuales, con un 14%

constituido desecho de fruta y 50% en verduras(Victoria et al., 2017), lo que conlleva a pensar en un excelente potencial para estudios en aprovechamiento para obtención productos de valor agregado o energía.

Biomasa de fruta cítrica

Mundialmente alrededor de 48 millones de toneladas de cítricos son usados solo para extracción del zumo, obteniendo cascara y piel como residuos. Siendo aproximadamente 20 millones de toneladas de desechos de este tipo, en Colombia en la región del eje cafetero, se encuentra el mayor procesamiento de cítricos, con valor de 110.000 toneladas de naranja anuales, siendo la naranja el más producido en Colombia (Niño, Quijano, & Carvalho, 2012). Por lo tanto se obtiene una perspectiva hacia el posible aprovechamiento de estos materiales remanentes cítricos, para la obtención de subproductos como aceites esenciales, pectina o ácidos grasos(Londoño Londoño, Sierra, Álvarez, Duque, & Carvalho, 2012).

Biomasa de fruta mezclada

En la realización de estudios en la región de Antioquia acerca de los residuos generados de frutas mezcladas, se logro encontrar valores cerca a 160 toneladas de desechos diarios, que al igual que en las centrales de abastos, son llevados a rellenos sanitarios, sin importar costos de transporte o malos olores. Por lo tanto en un análisis realizado en la bibliografía fue posible plantear soluciones en aprovechamiento, concluyendo plantas de valorización con capacidades de producción de 375 toneladas mensuales usando estos residuos(Victoria et al., 2017), con actividades entre compostaje, valorización química, enzimática térmica y obtención de combustibles entre otros(Yepes, Johana, Naranjo, & Sánchez, 2008).

2. MATERIALES Y METODO

2.1. Cantidad y tipo de residuos generados

Dentro de la investigación se procedió tomar de los inventarios facilitados por el restaurante, la cantidad y tipos de residuos generados, dentro del cual se segmentó el estudio hacia el limón Tahití, la mandarina arrayana y la piña Golden debido a que son de tipo lignocelulósico y son los generados en mayor cantidad en el restaurante Isla morada sopó. De tal modo y haciendo seguimiento a dicho inventario durante tres meses, se encontró que el residuo de piña es el que más se genera, documentándola gráficamente para contextualizar de qué manera son desechados y como serían introducidos en mezcla a molienda para un aprovechamiento previo, y del mismo modo para la caracterización que se realizó, los criterios de esta selección son presentados en el numeral 3. Teniendo en cuenta que el proyecto se basa en estudiar el residuo en general, no se realiza separación alguna, de lo que se obtiene una mezcla para el pretratamiento y la caracterización del mismo, además de ser un factor importante en el ahorro de costos, al tomar los desechos tal cual como son entregados en la empresa y ser dirigidos de inmediato a su pretratamiento.



Figura 1. muestras de residuos de piña analizados en mezcla.

De igual manera se hizo el respectivo pesaje promedio de cada una de las partes implicadas como material de interés para aprovechamiento, de izquierda a derecha: (piña abierta, corazón, cabeza, corona).

Tabla 2. Pesos de residuo, por partes.

Muestra	pina abierta gr	Corazón gr	Cabeza gr	Corona gr
1	1344	65	125	343
2	1389	67	103	340
3	1324	62	162	262
4	1336	67	136	233
Media	1348.5	65.25	131.5	294.5
Desviación estándar relativa	1.8231%	3.1361%	16.1541%	16.3385%

Luego de esta valoración de cada parte de el residuo generado de toman las cantidades unitarias en inventario mensual en el restaurante, siendo:

Tabla 3. Cantidad de unidades de piña utilizadas, mes.

Semana	Mes 1	Mes 2	Mes 3
1	208	144	32
2	184	136	192
3	200	192	429
4	96	176	938 (evento)
Total, mes (unidades)	688	648	1591

De las unidades obtenidas en cada mes, se obtienen los siguientes valores de desechos tomando en cuenta los pesos de cada parte del desecho.

$$\text{cantidad de desechos generados (kg)} = \frac{(\sum \text{peso promedio de cada parte desechada}) * \text{unidades}}{1000} \quad (1)$$

Tabla 4. Cantidad de desechos de piña generados por mes.

Mes	Cantidad desecho
1	1267 kg
2	1194 kg
3	2931 kg

Teniendo en cuenta estos datos de producción mensual presentados anteriormente, se da la selección del residuo de estudio.

2.2. Caracterización Físicoquímica

La caracterización del residuo elegido se realiza bajo condiciones específicas, usando la metodología de “Laboratory Analytical Procedure (LAP)” Technical Report, NREL/TP-510-42620, NREL/TP- 510-42619, NREL/TP-510-42618, norma ASTM Standard D1104 [211] y un procedimiento modificado de (Crapton and Maynard). Inicialmente se realiza una adaptación del porcentaje de humedad encontrada en la muestra tratándola con un método de secado por convección en un horno a 40°C hasta encontrar una humedad menor al 10%, siendo este óptimo para la caracterización, al tener la humedad optima se determina un tamaño de partícula conveniente descrita en la metodología citada. Al realizar el acondicionamiento de las muestras se comienza por la determinación de extraíbles por método soxhlet, lo que permite obtener muestras libres de componentes no estructurales y minoritarios que puedan inferir en los siguientes procedimientos, luego de ello, se realizan la determinación de lignina, hemicelulosa y celulosa, descritos a continuación y de manera detallada en **(anexo1)**.

2.3. Metodología de determinación fisicoquímica empleada

2.3.1. Determinación de extractivos

Para la determinación de extractivos básicamente lo que se realiza es una exposición de la biomasa previamente secada y molida, a una extracción con agua y etanol, por método soxhlet, hasta retirar la mayor cantidad de minerales y elementos no estructurales lignocelulósicos que puedan intervenir en los siguientes procedimientos de análisis.

2.3.2. Determinación de lignina

Luego de realizar la anterior extracción, se obtiene una cantidad de biomasa adecuada sin componentes que intervengan, para realizar una cuantificación de la lignina insoluble por medio de una reacción de hidrolisis acida con H_2SO_4 en autoclave a $121^\circ C$ y 15 psi de presión, realizando la solubilización de los demás componentes y poder filtrar y secar, para obtener una diferencia de pesos que es finalmente la cantidad de lignina contenida en la materia analizada.

2.3.3. Determinación de holocelulosa

La determinación de holocelulosa se realiza gravimétricamente después de determinar la cantidad de lignina presente, haciendo reaccionar una porción de biomasa libre de extractivos en agua, con clorito de sodio y acido acético, esto a una temperatura en baño termostatódo de $70^\circ C$, y cada hora, durante 6 horas ir añadiendo acido acético y clorito de sodio a la reacción, para luego dejar en calentamiento durante las 24 horas siguientes, procurando mantener un control de la temperatura constante. Luego de ello realizar una filtración al vacío lavando la materia con acetona y después secar la fracción sólida obtenida. Esta reacción causa la modificación química de la lignina a productos solubles para obtener

una fracción sólida compuesta de celulosa y hemicelulosa, llamada holocelulosa y determinada por la diferencia de peso.

2.3.4. Determinación de celulosa y hemicelulosa

En este procedimiento se toma la materia de holocelulosa obtenida y se lleva a un sistema con retorno de vapor con un condensador donde se somete a la acción de ácido acético al 80% y ácido nítrico, con un calentamiento suave a 30°C durante 20 min, para después ser llevado a centrifugado con etanol. A la porción centrifugada se le realizan lavados con benceno caliente, alcohol caliente y éter, filtrando al vacío. Luego de obtener una porción sólida, se seca y se lleva a calcinación a 575°C durante 3 horas con rampa de calentamiento de 10 °C obteniendo el % de celulosa dado por el peso luego de la calcinación. Posteriormente es posible determinar la hemicelulosa por diferencia, siendo el % restante de holocelulosa sin celulosa.

2.3.5. Planteamiento metodológico de los diagramas PFD

Los diagramas de flujo de proceso en este proyecto cumplen un papel importante debido a que es donde se evidencia la propuesta más atractiva encontrada en la revisión bibliográfica por parte del autor, la cual metodológicamente se realizó, tomando a partir de la investigación los equipos y zonas de pretratamiento, reacción y separación más eficientes, combinándolas en un diagrama para cada caso o subproductos de interés estudiado.

3. RESULTADOS

3.1. Cantidad producida y tipo de residuos generados

Para el estudio de residuos lignocelulósicos en el restaurante, se encontraron que los materiales que generan mayor desperdicio y tienen una cantidad considerable mensualmente, para un posterior aprovechamiento son limón Tahití, mandarina arrayana y piña Golden, obtenido las cantidades presentadas en la tabla 3.

Tabla 5. Cantidad de desechos generados en 3 meses.

Mes1	Piña Golden kg	Limón Tahití kg	Mandarina Arrayana kg
1	383,29	32,1	39,75
2	339,06	19,61	15,9
3	368,55	30,31	2,65
5	176,90	24,96	26,5
Total	1267,81	107	84,8
Mes 2			
1	265,35	32,1	21,2
2	250,61	30,31	21,2
3	353,80	32,1	23,85
4	324,32	35,66	21,2
Total	1194,10	130,18	87,45
Mes 3			
1	58,96	28,53	26,5
2	353,80	36,55	21,2
3	790,53	42,8	31,8
4	681,81	28,53	30,47
5	1046,68	53,5	39,75
Total	2931,81	189,92	149,72
Total, trimestre	5393,72	427,10	321,97

Promedio mensual	1797.90	142	106.90
-------------------------	---------	-----	--------

Basados en los resultados presentados, se logra evidenciar una cantidad considerable de biomasa de piña que contiene corona, cascara y un 5% de pulpa incluyendo el corazón, he ahí la razón y justificación del porque se decide estudiar la piña en este proyecto y por consiguiente propios para el análisis fisicoquímico en pro de reconocer características de interés para el aprovechamiento de dicha biomasa de piña.

3.2. Caracterización fisicoquímica

Para la caracterización del material obtenido, se realiza un análisis de humedad inicial, contando con un 80%, por lo tanto, se realiza su respectivo acondicionamiento, aplicando un proceso de secado de la materia prima y una reducción de tamaño de muestra descrita en el procedimiento citado en la metodología. Se tienen 20 gramos de muestra los cuales fueron llevados a un 5.5% de humedad y se obtiene los siguientes resultados aproximados, como primera medida un porcentaje de extractivos totales, a través de agua y etanol de un 46 %, para lignina se obtuvo un 13% y respecto a la holocelulosa se tiene un 41 % (constituida por 19% de celulosa, 21 %hemicelulosa y 1% de cenizas) ello encontrado en tabla 12, lo cual es proveniente de los siguientes análisis y sus resultados.

3.2.1. Cantidad de extractivos

Tabla 6. Porcentaje de extractivos, solvente agua y etanol.

# Muestra (agua)	Resultado %	# Muestra (etanol)	Resultado %
1	44.42	1	51.18
2	44.02	2	49.90
3	40.74	3	48.33
Media	43.06	Media	49.80

RSD	3.828%	RSD	2.34%
Resultados media extractivos finales 46.07 %			

3.2.2. Cantidad de lignina presente.

Tabla 7. Porcentaje de lignina.

# Muestra	Equivalente en el 100% de materia
1	12.49
2	15.15
3	10.31
Media	12.65
RSD	15,63%

3.2.3. Cantidad de holocelulosa presente

Tabla 8. Porcentaje de holocelulosa

# Muestra	Resultado en el 100% de la materia
1	39.58
2	41.12
3	42.26
Media	40.98
RSD	8.617%

3.2.4. Cantidad de celulosa presente.

Tabla 9. Porcentaje de celulosa.

# Muestra	Resultado presente en la holocelulosa	Equivalente en el 100% de materia
1	52.20	20,66
2	41.75	17.11
3	44.70	18.31
Media	46.21	18,69
RSD	9.5581%	9.5581%

3.2.5. Cantidad de Hemicelulosa presente.

Tabla 10. Porcentaje de hemicelulosa.

# Muestra	Resultado presente en la holocelulosa	Equivalente en el 100% de materia
1	44.51	18.24
2	54.93	22.51
3	51.50	21.10
Media	50.31	20.61
RSD	8.617%	8.617%

3.2.6. Cantidad de cenizas

Tabla 11. Porcentaje de cenizas.

# Muestra	Resultado presente en la holocelulosa	Equivalente en el 100% de materia
1	3.28	1.34
2	3.31	1.35
3	3.79	1.41
Media	3.46	1,36
RSD	6.75%	6.75%

3.2.7. constituyentes básicos de la biomasa de piña

De acuerdo con el análisis fisicoquímico y los resultados presentados anteriormente, se consigue determinar las proporciones básicas y de interés finales de la biomasa residual disponible, todo ello contando con la ventaja de que, si bien es únicamente residuos de piña, se encuentran en una mezcla entre corona, pulpa, cascara y corazón de piña. Esto presentado en la siguiente tabla.

Tabla 12. Constituyentes básicos, mezcla de biomasa de piña.

Constituyente	Cantidad %
Celulosa	19
Hemicelulosa	21
Lignina	13
Cenizas	1
Extractivos	46

De acuerdo a los resultados de la caracterización fisicoquímica, se procede al planteamiento de una serie de procesos de aprovechamiento al residuo lignocelulósico seleccionado, para una evaluación y un diseño conceptual dando una finalidad concreta al residuo, teniendo en cuenta el concepto general de biorrefinería, siguiente.

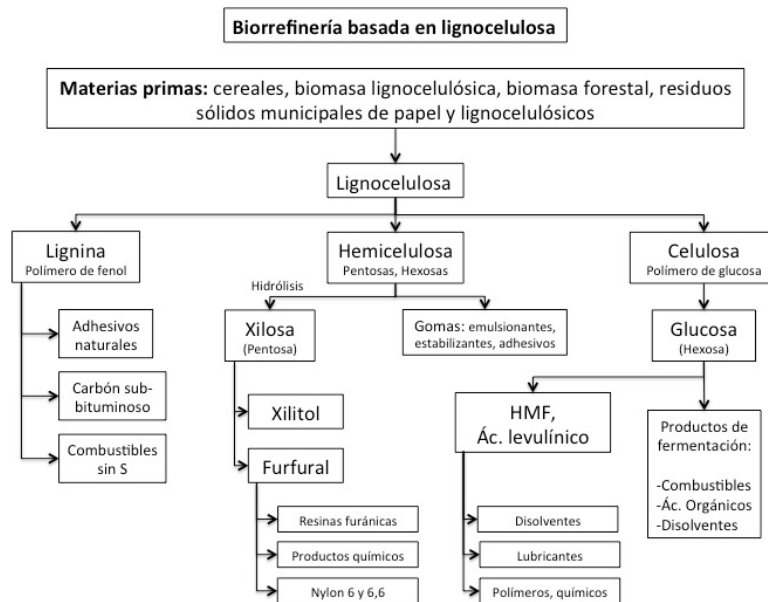


Figura 4. Biorrefinería a partir de material lignocelulósico (Kamm, R. Gruber, & Kamm, 2006)

3.3. Procesos para el aprovechamiento de celulosa y hemicelulosa

En la obtención de beneficios a través de la biomasa lignocelulósica, como en la mayoría de procedimientos de transformación de materia prima, se precisa inicialmente de un pretratamiento, en este caso considerando que lo que se desea es obtener la mayor cantidad de celulosa y hemicelulosa para su posterior procedimiento según sea el producto a conseguir, eliminando algunas barreras y otros constituyentes que no son de utilidad, siempre buscando mayores rendimientos y velocidades de reacción, evitando la producción de inhibidores y posibles degradaciones (Piñeros Castro, 2014).

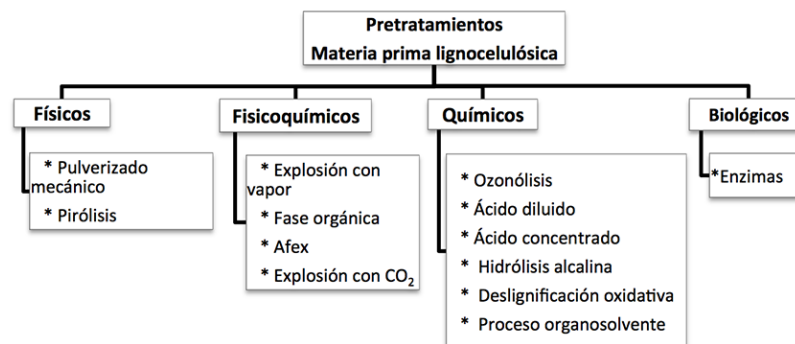


Figura 2. Tipos de pretratamiento para la biomasa lignocelulósica como materia prima (Piñeros Castro, 2014)

La variedad en pretratamientos para materia prima lignocelulósica es amplia, y entre ellos difieren básicamente en costos y rendimiento. Para efectos del estudio de procesos viables para la transformación de los desechos seleccionados y la ingeniería conceptual, se centra el estudio en pretratamientos ácidos, y biotecnología, ya que en cada uno de los procesos seleccionados se presentan diferentes rendimientos, pero lo que se intenta con cada procedimiento planteado es encontrar generar un equilibrio entre rendimiento, costos energéticos teniendo en cuenta temperatura y presión de operación, tiempos de residencia y condiciones optimas procesos enzimáticos, luego de la sacarificación, según sea el caso eligiendo de la literatura métodos convenientes considerando la cantidad de materia prima.

Cada procedimiento propuesto por el autor de este proyecto de grado, encontrados en el siguiente ítem se basa en el siguiente procedimiento para obtención de los correspondientes azúcares que serán llevados a la etapa de reacción y purificación del producto de interés:

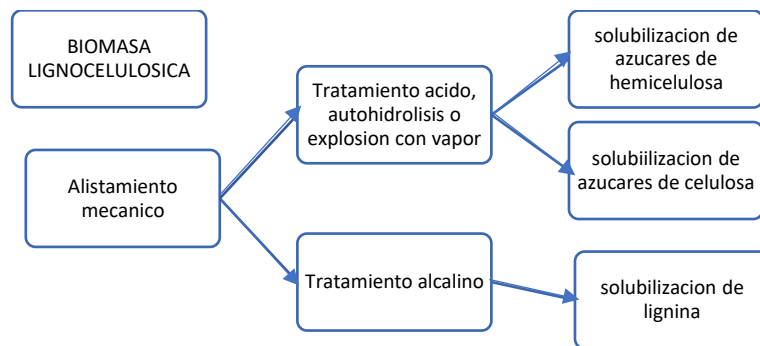
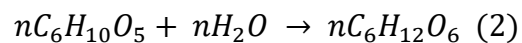


Figura 3. Vía de obtención de hemicelulosa y celulosa, para su posterior aprovechamiento

4. PROCESOS PROPUESTOS POR EL AUTOR

PRODUCCIÓN DE ETANOL DE SEGUNDA GENERACIÓN A PARTIR DE BIOMASA DE PIÑA

En la producción de etanol a partir de la biomasa lignocelulósica, se lleva el material a un proceso de alistamiento mecánico por molienda, para lograr una reducción de tamaño haciendo que el siguiente pretratamiento químico pueda acceder de una mejor manera a la materia prima, seguido de una termo hidrolisis de la hemicelulosa con agua a 90°C con presiones mayores a la saturación, durante un tiempo de 30 minutos, logrando eficiencias de xilosa dentro del 88 % y 98 % esto para el caso de llegar a realizar una fermentación con *Clostridium phytofermentans* para además de aprovechar también las xilosas. consecutivo a esto se da lugar a una etapa de hidrolisis acida, en la cual se rompe la celulosa en sus glucosas, con un catalizador de H₂SO₄ al 1 %, a condiciones de 215 °C durante un tiempo de 3 min y obteniendo una sacarificación de (C₆H₁₀O₅)_n del 50% al 70% de rendimiento(Ogawa Tetsuji, Sayama Mitsuru, 2008).



En la etapa siguiente al pretratamiento, se lleva el mosto obtenido con los azúcares ya expuestos, listos para un tratamiento enzimático, el cual se debe llevar a cabo con un pH de 4.8, siendo catalizada por *saccharomyces cerevisiae*, la cual actúa sobre los azúcares reductores de glucosa obtenidos, en un biorreactor a una temperatura de 28°C, teniendo en cuenta cambios de temperaturas normales de 6°C y que estas variaciones no superen los 35°C, causando estrés en las levaduras, todo ello luego de pasar por un filtro el cual remueve impurezas del mosto.(Gómez García, 2015), para el caso de querer aprovechar los rendimientos de xilosa obtenidos de la termo hidrolisis de hemicelulosa se realiza una fermentación con *Clostridium phytofermentans*.

Luego de la fermentación se realiza una destilación por tamices moleculares, donde se realiza la deshidratación del etanol, mediante tamices tipo 3Å, lo cual usa el tamaño de partícula medio del agua el cual es menor pasando y siendo absorbido por ellos, a la misma vez que no permite el paso del etanol separándolos de esta manera, este sistema usa una tecnología de dos lechos para la deshidratación, aumentando la vida media del equipo a varios años, al regenerar uno de los lechos por medio de un reciclo de una parte de etanol anhidro. Este método fue escogido frente a otros teniendo en cuenta el consumo energético teórico, encontrando para tamices moleculares, alrededor de 2 kg vapor/litro de etanol producido, a comparación de la destilación azeotrópica y extractiva que presentan un consumo energético de 4 kg vapor / litro de etanol, estimado. (Gómez García, 2015)

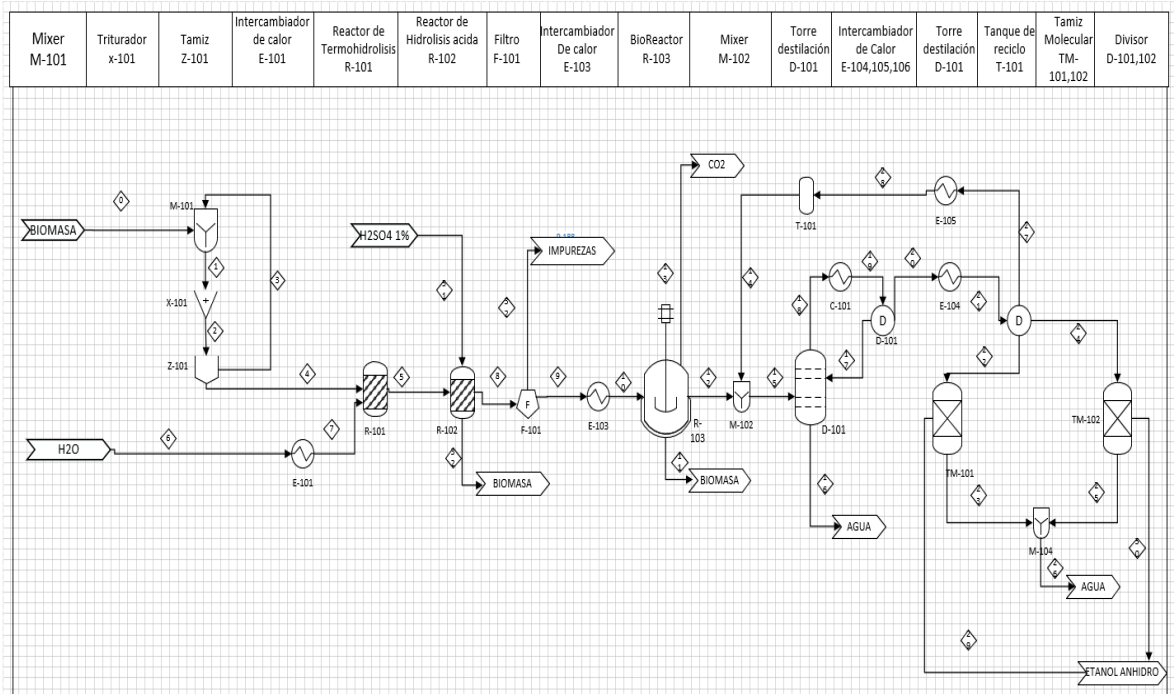


Figura 5. PFD propuesta, planta de producción de etanol a partir de biomasa. (Microsoft Visio 2016)

PRODUCCIÓN DE FURFURAL A PARTIR DE BIOMASA DE PIÑA (METODO NO CONVENCIONAL)

Para la producción de 2-furfuraldehido ($C_5H_4O_2$), el cual es un líquido incoloro que presenta un olor a almendras, se realiza únicamente a partir de la deshidratación de D-xilosa y arabinosa, encontradas en la hemicelulosa (Miguel & Caballero, 2014), el cual tiene aplicaciones en la industria de la agricultura para la fabricación de fungicidas, bactericidas, herbicidas e insecticidas, y en la manufactura de plásticos, resinas y fibras sintéticas (Corporation & Services, 2006). En este caso constituyente en la mezcla de biomasa lignocelulósica de Piña estudiada, con un 21% en base seca (ver tabla 2).

Inicialmente se toma la mezcla de residuos de piña y se someten a un proceso de secado hasta alcanzar una humedad cercana al 15 % adaptado del proceso de producción de furfural chino (Vanoy Villamil, 2015), luego de ello se transporta la biomasa a molienda donde se espera una un tamaño de partícula de 3 mm a 10 mm, logrando mayor área de contacto durante los siguientes pasos de pretratamiento donde por medio de una auto hidrolisis donde se busca una despolimerización de las hemicelulosas a través de un tratamiento con agua a temperaturas entre 150 – 230 °C, obteniéndose polímeros de interés como el

xilosano, oligómeros entre otros, gracias a la catálisis de iones hidronio del agua, para luego llevarlo a una dilución del 5% en peso de pentosanos de hemicelulosa, para ser cargados a una columna reactor de múltiples turbinas (MTC) desarrollado en la Universidad Tecnológica de Delft, desarrollado en el 2012.

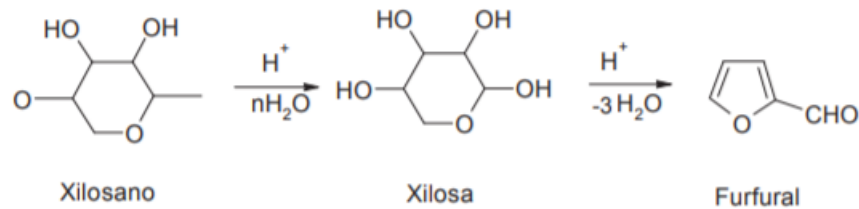


Figura 6. Mecanismo de reacción general, a partir de xilosanos de hemicelulosa(Molina, 2015).

Este equipo permite que se realice la hidrolisis acida de pentosanos de hemicelulosa, obtenidos de la previa procesamiento de la biomasa y la conversión de las xilasas en furfural, en una sola etapa, actuando como reactor continuo y una columna de destilación en un solo equipo, llevando el producto junto agua a fase vapor, obteniendo en solo una etapa rendimientos por encima del 83 % con una pureza mayor al 99%, operando el equipo a 200 °C, usando como catalizadores 0.18% en peso de HCL y NaCl 1.7 M, siendo las condiciones óptimas para operación a nivel planta piloto, con un bajo consumo de energía al realizar reacción y separación en un solo equipo, además de generar bajas formaciones de subproductos(Dashtban, 2012).

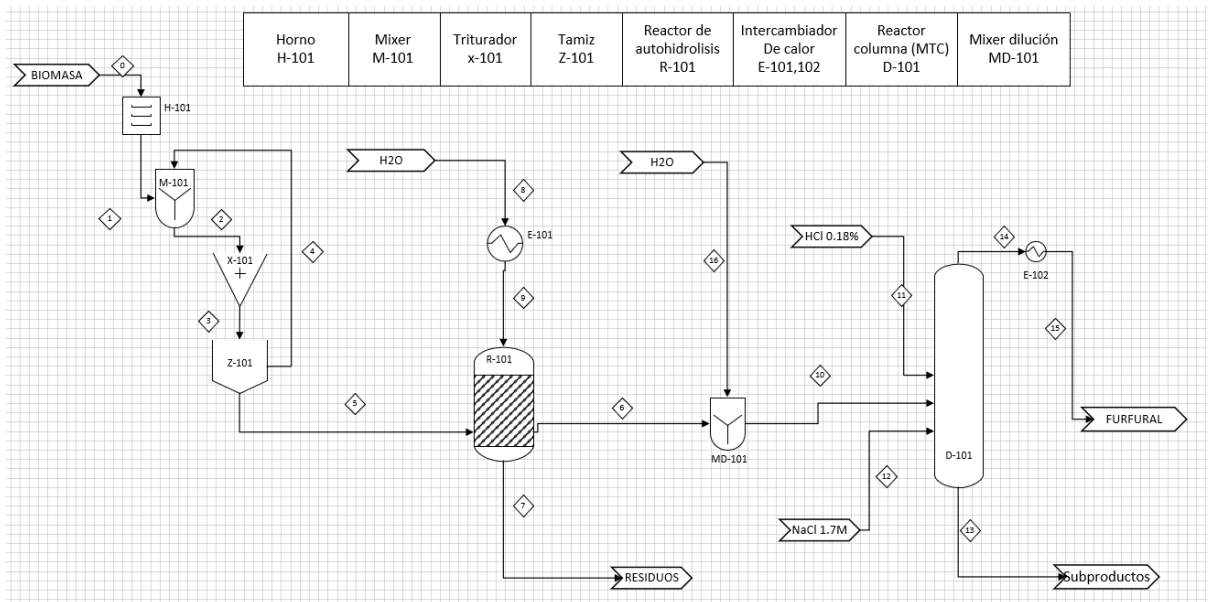


Figura 7. PFD propuesta, planta de producción de furfural por (MTC),
(Microsoft Visio 2016)

PRODUCCIÓN DE FURFURAL A PARTIR DE BIOMASA DE PIÑA (MÉTODO SUPRAYIELD)

En este procedimiento se realiza un tratamiento patentado por K.zeitsch (Zeitsch Deceased., Hanna Tepohl Legal Representative Karl J. (late of Kwa Zulu Natal, 2004). Como primera medida se toma la materia prima y se le realiza una hidrolisis de hemicelulosa o pretratamiento ácido con H_2SO_4 diluido continuo a $220^\circ C$ para luego llevar reactor de **SupraYield®** para realizar tratamiento digestivo con H_3PO_4 diluido a presión atmosférica, donde se realiza la ruptura del polímero de pentosa, obteniendo así xilasos de interés en una solución acuosa lo cual conforme al método se lleva a temperaturas dentro de 180 y $214^\circ C$, causando la separación del furfural de la mezcla, ya que el 2-furfuraldehído es insoluble y se trasmite a la fase vapor, siendo arrastrado para la siguiente etapa de destilación, etapa indiscutible en cualquier proceso de obtención de furfural (Vanoy Villamil, 2015).

Luego de la etapa de reacción, se procede a realizar la separación del agua-furfural, alimentando la mezcla a una torre de destilación azeotrópica a presión atmosférica, de lo cual se obtiene una corriente de vapor que se lleva a un decantador para realizar la separación de la fase acuosa siendo ella recirculada a la torre azeotrópica, y pasando la fase orgánica pesada con un 90% aproximado de furfural a una neutralización con NaOH, a fin de una siguiente deshidratación en una columna al vacío, siendo esta la etapa final de la producción del furfural anhidro (Vanoy Villamil, 2015)

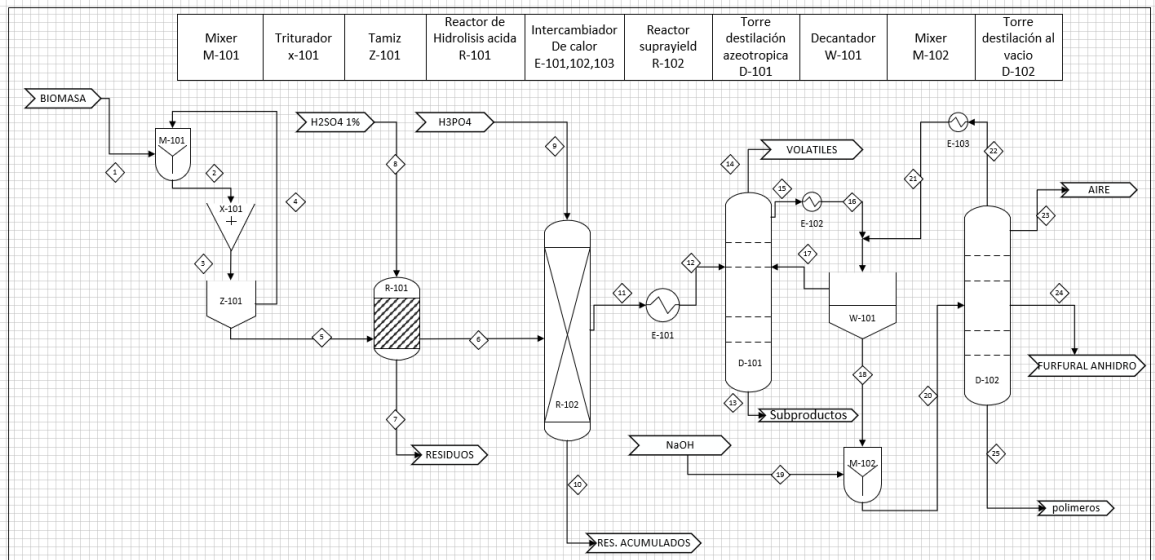


Figura 8. PFD propuesta, planta de producción de furfural a partir de biomasa de piña, método suprayield. (Microsoft Visio 2016)

PRODUCCION BIOTECNOLOGICA DE ACIDO LACTICO A PARTIR DE BIOMASA DE PIÑA

El ácido láctico o 2-hidroxi-propanoico es considerado un químico valioso, el cual posee dos enantiómeros, L(+) y D(-), este último es perjudicial para la salud al ser metabolizado y el L(+) es clasificado por la FDA como seguro para su uso en la industria alimentaria siendo actualmente producido un 90% por vía fermentativa(Vijayakumar, Thangavelu, & Rajendran, 2008).



FIGURA 9. Distribución isométrica L(+) y D(-) del ácido láctico(C. A. Garcia, Arrázola, & Durango, 2010).

Últimamente ha tenido un aumento en su demanda para la producción de ácido poli láctico cuya aplicación va desde materiales textiles y empaques hasta la biomedicina. La producción de ácido láctico por vía fermentativas tiene la ventaja de poder sintetizar L ó D ópticamente puros, dependiendo de su la cepa que se seleccione (Zabala, 2008). La producción industrial de este ácido hidroxicarboxílico comenzó en 1881 y se ha comprobado que la producción biotecnológica es superior a la química debido a su especificidad, sustratos de bajo costo y el bajo consumo de energía(Koutinas et al., 2014).

En la producción de ácido láctico a partir de recursos renovables a través de biotecnología se tienen en cuenta una serie de criterios por ejemplo la elección de el microorganismo y la biomasa, en este caso, el proceso se adecua a los residuos de piña, considerando su análisis composicional realizado en su estudio, determinando una ruta con inclusión de pretratamiento debido a que se tiene un material lignocelulósico para el cual es preciso aumentar su accesibilidad y aplicar la siguiente ruta general para una producción por vía fermentativa(Jackson, 2018).

Ya teniendo biomasa de piña obtenida de residuos, se procede a realizar un pretratamiento físico, en el cual se lleva a molienda para aplicar una reducción de tamaño aumentando el área superficial para el siguiente procedimiento de

pretratamiento ácido, en la molienda es posible usar molinos vibratorios para un tamaño final de 0.2- 2 milímetros o molinos de cuchillas y adquirir tamaños dentro de 3 a 6 milímetros (Sánchez & Cardona, 2005). Luego de este procedimiento físico se aplica una hidrólisis ácida con H₂SO₄ en rangos de 0.5 a 2 % y temperaturas de 160 a 220 °C y tiempos cortos de residencia según sea la cantidad de biomasa, solubilizando hemicelulosa y aumentando la digestibilidad de la celulosa para una hidrólisis enzimática con celulasas a 50°C, pH menor a 5 y alrededor de 60 horas en residencia, aplicando esto en paralelo para la celulosa sólida separada de la hemicelulosa hidrolizada, y posteriormente ejecutar una neutralización del pH (Jackson, 2018)(Pi & Lozano, 2016) con rendimientos por encima del 90% y bajo costo(Jackson, 2018). Las bacterias utilizadas para la manufactura de ácido láctico vía fermentativa según su género, especie y selectividad frente al tipo de isómero láctico es presentado a continuación con el fin de que puedan identificar y elegir el tipo de bacteria precisa para el isómero que se requiera fabricar.

Género y especie	Homofermentativa	Heterofermentativa	Configuración ácido láctico
<i>Lactobacillus</i>			
<i>L. delbrueckii</i>	+	-	D(-)
<i>L. lactis</i>	+	-	D(-)
<i>L. bulgaricus</i>	+	-	D(-)
<i>L. casei</i>	+	-	L(+)
<i>L. plantarum</i>	+	-	DL
<i>L. curvatus</i>	+	-	DL
<i>L. brevis</i>	-	+	DL
<i>L. fermentum</i>	-	+	DL
<i>Sporolactobacillus</i>			
<i>S. inulinus</i>	+	-	D(-)
<i>Streptococcus</i>			
<i>S. cremoris</i>	+	-	L(+)
<i>S. lactis</i>	+	-	L(+)
<i>Leuconostoc</i>			
<i>L. mesenteroides</i>	-	+	D(-)

Figura 10. Bacterias para la producción de ácido láctico (C. A. Garcia et al., 2010).

Siguiente a la fermentación se debe hacer la purificación del producto L (+), en este caso se plantea un proceso de separación que permite una pureza del 95%, con un sistema de producción constante optimizado, de nanofiltración, microfiltración como una serie de membranas en columna. Esta tecnología en los últimos años ha venido avanzando, ofreciendo una buena adaptabilidad al escalado del proceso, garantía de alta purificación y selectividad del producto, este proceso es ajustado al tanque de fermentación, lo que hace al método más completo aún(Ghaffar et al., 2014).

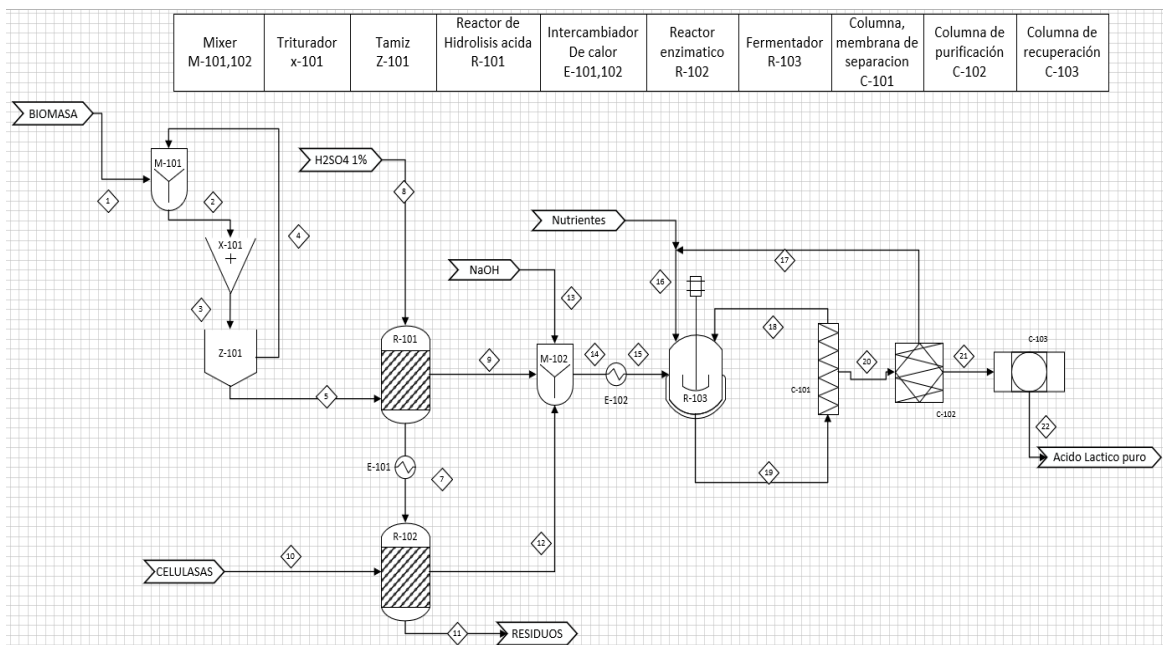


FIGURA 11. PFD propuesta, planta de producción de ácido láctico a partir de biomasa lignocelulósica (Microsoft Visio, 2016)

PRODUCCION DE XILITOL A PARTIR DE BIOMASA DE PIÑA

Tras la creciente acumulación de residuos y la carrera científica en el reconocimiento de nuevas tecnologías para el aprovechamiento de los mismos, se han planteado varios trabajos en base a la producción xilitol (Martínez et al., 2002), todo ello gracias al potencial de beneficio en productos de valor agregado que este edulcorante de fórmula molecular $C_5H_{12}O_5$ tiene en la industria farmacéutica, cosmética y alimenticia, además de esto se tiene en cuenta un crecimiento en la demanda debido a que cada vez se están consumiendo más productos que cuiden la salud del consumidor, como productos para diabéticos y artículos cosméticos con poder el poder humectante del xilitol, entre otros (Rosales, 2018). Como primera medida y común en los procesos de conversión de material lignocelulósico, se realiza una hidrólisis ácida, en este caso con H_2SO_4 diluido en un rango de 2 a 6 % en concentración, temperaturas de 160 - 230 °C y alrededor de 10 atm de presión. Obtenido el mosto de azúcares y en especial la xilosa comprendida en la hemicelulosa previamente hidrolizada, con una concentración aproximada de 75% w/w de $C_5H_{10}O_5$ y 25% restante en azúcares tales como arabinosa, glucosa y galactosa, se purifica dicho caldo azucarado por medio de un proceso biotecnológico debido a que la deshidrogenación catalítica, usada normalmente en la industria, resulta ser de alto costo por el uso de técnicas cromatográficas de separación y

purificación (Parajo, Dominguez, & Dominguez, 1998) Por lo tanto, es posible llevar en seguida el caldo a fermentación o realizar una desintoxicación de caldo para aumentar rendimientos para posterior producción de xilitol enzimáticamente, en este caso se plantea sin detoxificación usando *Candida Pelliculosa* a través de una oxidación-reducción a 35°C, 24 horas de reacción a un pH de 7.5 para una conversión del 90% documentada teóricamente (Nigam & Singh, 1995). Luego de la debida transformación biológica de la xilosa a xilitol, se procede a una etapa de absorción, mezclando con carbón activo en relación de 1g de carbón/60 g de caldo a temperatura ambiente con agitación magnética a 150 rpm, luego de ello se realiza una evaporación al vacío a 40 °C y posteriormente se genera una precipitación de impurezas con etanol a 3000 rpm de agitación a 4°C durante 1 hora, ulteriormente se separa por centrifugación a 4000 rpm, para así luego ser purificado al vacío obteniendo xilitol líquido, listo para una cristalización y distribución. Las condiciones, detalles y etapas opcionales se encuentran en la patente (Domínguez, Rivas Torres, Torre, Converti, & Parajó, 2008).

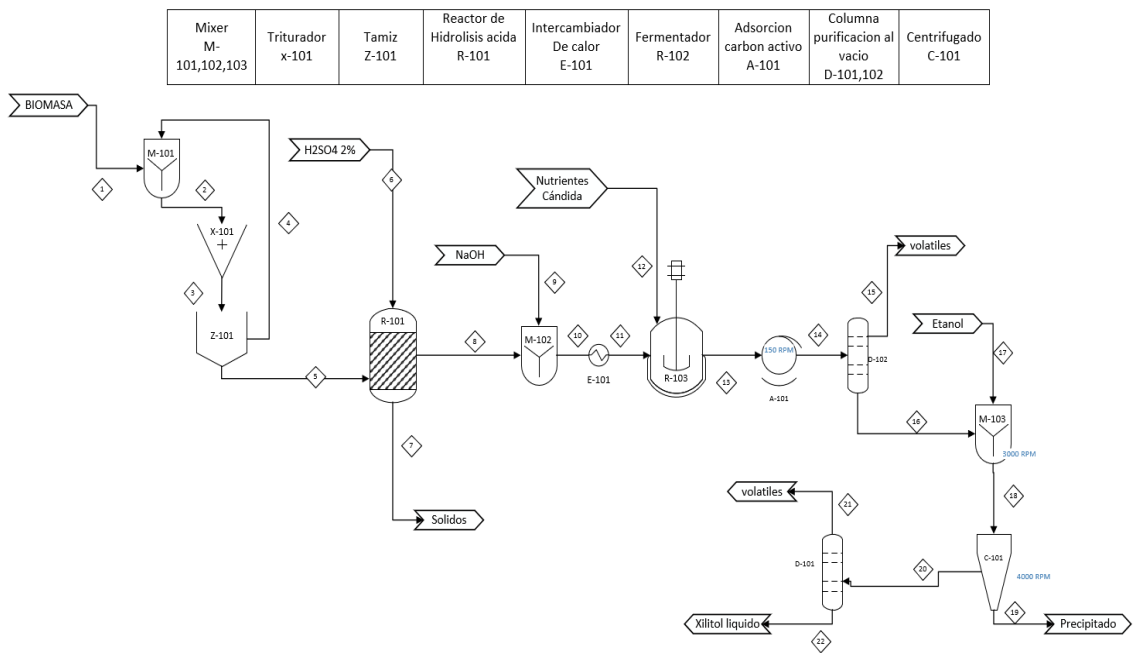


FIGURA 12. PFD propuesta, planta de producción de xitol a partir de biomasa lignocelulósica (Microsoft Visio, 2016).

5. ANALISIS TEORICO DE VIABILIDAD

Proceso	Rendimientos teóricos	Ventajas y desventajas	Costo en el mercado (Colombia)
Producción de bioetanol	sacarificación baja (50%-70%)	<ul style="list-style-type: none"> • Acido diluido • Bajo consumo de acido • Bajo tiempo de residencia • Posible degradación 	En Colombia, según fedebiocombustibles el etanol actualmente tiene un precio de \$ 1.968,03 Litro.
Producción de furfural (no convencional)	Producto > 83%	<ul style="list-style-type: none"> • Conversión y alta pureza en una sola etapa • Uso de reactivos catalizadores. • Baja formación de subproducto • Bajo consumo de energía 	Es posible encontrar en sitios web de empresas como MERK donde se comercializa furfural 99% a un precio de 120.92 USD 2.5 litros.
Producción de furfural (suprayield)	Producto 90% aproximadamente	<ul style="list-style-type: none"> • Hidrolisis diluida con bajo tiempo de residencia • Alto rendimiento 	
Producción de ácido láctico	Sacarificación > 90%	<ul style="list-style-type: none"> • Complejidad del método en cuanto a separación • Bajo tiempo de residencia • Alta selectividad • Alta eficiencia 	Para el caso del acido láctico los precios en el mercado varían según su pureza y uso final, es decir, que podemos encontrar desde soluciones de ácido láctico de 2.5kg a

		<ul style="list-style-type: none"> • El método de sacarificación tiene alto rendimiento 	255.16 USD, hasta 4.5 ML de estándar de referencia para industria farmacéutica (USP) a 458.18 USD, cabe resaltar que es relativo el costo que con lleva obtener un estándar (USP)
Producción de xilitol	Producto 90% aproximadamente	<ul style="list-style-type: none"> • Largos tiempos de residencia. • Alto rendimiento. • Posteriormente hay que realizar una cristalización. 	Por parte del xilitol, empresas como MERK, comercializan xilitol 99% a 164.19 USD 1 KG y como estándar secundario de farmacopea 67.67 USD 1 GRAMO.

Datos de costos de producto en el mercado(Merck, 2019)

6. ALTERNATIVAS DE MERCADO

Producción de Bioetanol	El bioetanol mundialmente ha tomado una gran fuerza en los últimos años, gracias a la búsqueda de reducción en el uso de combustibles fósiles, postulando al bioetanol como principal sucesor, y tomando Colombia un puesto en esa industria a través de su producción a partir de caña de azúcar recalando la importancia que tiene Colombia en cuanto a producción de azúcar, mundialmente, con 16.2 toneladas de azúcar / hectárea. Siendo la principal materia prima para la producción de alcohol carburante todo ello gracias a la ley 693 del 2001 la cual abrió estímulos de interés en el bioetanol y llegando en el 2012 a dar un crecimiento constante del 5% en la demanda del material carburante, y esperando que en los últimos años se genere un crecimiento mayor dada la resolución 40108 de 2018
--------------------------------	---

	<p>donde se estableció la mezcla del 10% de biocombustible con el Diesel fósil, este mercado se encuentra muy segmentado al sector azucarero gracias a sus condiciones agroclimáticas y teniendo en cuenta análisis de sostenibilidad que proyectan al bioetanol con un gran potencial para impulsar el crecimiento socioeconómico rural (Zorro & Pava, 2018).</p>
<p>Producción de furfural</p>	<p>En los últimos años los estudios se han centrado en la búsqueda de obtención de productos a partir de material renovable, de lo cual es posible postular al furfural, debido a que es reconocido como el mayor resultado del procesamiento de materia lignocelulósica (F. S. Garcia & Vergara, 2017) no solo por su rendimiento sino también porque posee propiedades especiales de selectividad siendo usado para la extracción y refinación libre de hidrocarburos aromáticos, como lo hace Texaco en el aceite lubricante (Hernández & Andrea, 2015), siendo esto sinónimo de potencial comercial en este sector. Además de ello, gracias a la versatilidad del producto seleccionado (furfural), resulta preciso destacar que alrededor de 65% del furfural de la industria, es usado como materia prima para la síntesis de alcohol furfurílico utilizado en la manufactura de resinas de fundición (Molina, 2015).</p>
<p>Producción de ácido láctico</p>	<p>En primera medida, se tienen indicios de crecimiento en la demanda del ácido láctico, debido a que además de estar afianzado en el sector alimenticio el cual está en crecimiento, se espera una mejora comercial en productos derivados del lactato como solventes y polímeros con bajo impacto ambiental (Andrés, Zuluaga, & Escobar, 2007), gracias al interés actual por la responsabilidad hacia el impacto ecológico. Además de ello se encuentra gran variedad de usos en la industria con propiedades conservantes, acidulantes y potenciador de sabor y a obtener a través del ácido poliláctico fibras y espumas, y siendo ambientalmente amigable (Cristina, Montes, Bolivariana, Cristina, & Montes, 2015)</p>
<p>Producción de xilitol</p>	<p>En el caso del xilitol cabe resaltar su importante aporte a la industria alimenticia, siendo de gran ayuda para la realización de productos con impacto positivo en la salud del consumidor, ya que es capaz de aportar propiedades</p>

	<p>edulcorantes comparadas con las de la sacarosa, siendo protagonista en el desarrollo de alimentos para diabéticos, ya que no produce acumulación ni concentraciones altas en sangre, además de no generar caries, siendo preciso en la formulación de productos de higiene bucal. Por otro lado, en una serie de estudios se llegó a la conclusión de que el xilitol proporciona ventajas en la prevención de infecciones respiratorias y enfermedades como osteoporosis y otitis (Mussatto & Roberto, 2003).</p>
--	--

7. SOPORTE LEGAL GENERAL

Ley 1252 de 2008 Por medio de la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental, referentes a los desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones

Decreto 1609 de 2002 regulación para el transporte automotor de mercancías peligrosas por carretera.

Decreto 1079 de 2015 Decreto único para la reglamentación del sector de transporte.

Decreto 4741 del 2015 Decreto para la reglamentación parcial en prevención y manejo de residuos con un nivel de peligrosidad, generados.

Decreto 1496 de 2018 Implementación del sistema globalmente armonizado (SGA)

8. CONCLUSIONES

En el planteamiento inicial del proyecto se estudian los residuos generados en el restaurante islamorada, ubicado en el municipio de sopo, con el objetivo de encontrar el desecho en mayor cantidad a través de los inventarios proporcionados por el restaurante, durante un tiempo de 3 meses, encontrando 3 principales en cuanto a su cantidad; desechos de mandarina arrayana 391 kg, limón Tahití 427 kg y piña Golden con 5393 kg, siendo claramente la piña el remanente producido en mayor cantidad y por lo tanto el desecho escogido para la continuación del proyecto, análisis y planteamiento de procesos, teniendo en cuenta que se busca optimizar costos gracias a que no se realiza ningún tipo de separación, es decir la biomasa de piña que se estudia está constituida por una mezcla de corona, cascara, corazón y una pequeña parte de pulpa.

A partir del residuo seleccionado se realizó el análisis experimental fisicoquímico de toda la biomasa sin separación proveniente de la piña utilizada, obteniendo un resultado de material estructurado de interés de 19% celulosa y 21% hemicelulosa. De ello resulta ser atractivo el estudio para su aprovechamiento en productos de valor agregado.

Con los resultados de la caracterización del residuo, se proponen posibles soluciones de aprovechamiento industrial en biorrefinería y se propusieron procesos para la producción de bioetanol, furfural por dos vías distintas, ácido láctico y xilitol, donde se logran encontrar grandes posibilidades de aplicación en el mercado, tanto directamente como en materia prima para obtención de otros servicios, ya que son resultado intermedio y de ellos es posible fabricar una serie de subproductos de interés, como biopolímeros, fármacos, edulcorantes en alimentos, entre otros.

En el estudio para el planteamiento de procesos, se encuentra que es preciso estudiar con balances de materia la cantidad de residuos generados como un limitante, ya que mensualmente en promedio se están generando 1797 kg de material para aprovechamiento, por lo tanto para efectos del alcance del proyecto se tomarían los desechos con los rendimientos teóricos estudiados en cada punto en idealidad; para bioetanol del 70% máximo, furfural por encima del 83% por vía no convencional, 90% método suprayield previo a la deshidratación, ácido láctico sobre el 90% y xilitol con un 90% de rendimiento teórico.

Además del aprovechamiento que es posible aplicar a los desechos, con este proyecto se logro dejar la puerta abierta al estudio de alternativas para el manejo de los desechos generados en el municipio de sopó, los cuales son responsabilidad de la empresa de servicios públicos Emsersopó. Ya que dicha empresa solo realiza la recolección, con un aprovechamiento de los residuos se generaría una ayuda a la capacidad de recolección de la empresa y una contribución a la economía del municipio con la aplicación de los residuos estudiados para la fabricación de productos de valor agregado.

Con respecto a la viabilidad de los procesos propuestos en este proyecto, se llega a la conclusión que debido a que lo que se busca es un diseño netamente conceptual, los rendimientos en el momento juegan un papel protagonista en la elección, siendo el ácido láctico y xilitol las mejores opciones, ello sin tener en cuenta rendimientos energéticos detallados, costo de equipos, producción y mano de obra, dejándolo a una ingeniería básica y detallada.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A. Sluiter, B. Hames, R. Ruiz, C. S., & J. Sluiter, D. Templeton, and D. C. (2008). Determination of structural carbohydrates and lignin in biomass. *Laboratory Analytical Procedure (LAP) Technical Report NREL/TP-510-42618*.
- A. Sluiter, R. Ruiz, C. Scarlata, J. Sluiter, and, & Templeton, D. (2005). Determination of Extractives in biomass. *Determination of Extractives in Biomass NRTL/TP-510-42619*.
- Andrés, D., Zuluaga, S., & Escobar, V. V. (2007). Evaluación y simulación de la producción de ácido láctico con *Lactobacillus Casei* ATCC 7469.
- Asocaña. (2014). El Sector Azucarero Colombiano , más que azúcar , una fuente de energía renovable para el país, 1–7.
- Becerra quiroz, A. P., Buitrago coca, A. L., & Pinto baquero, P. (2016). Sostenibilidad del de caña de azúcar en el Valle.
- Corporation, D., & Services, T. (2006). *Furfural Chemicals and Biofuels from Agriculture*.
- Cortes, W. (2011). Lignocellulosic materials as source of biofuels and chemical. *Ciencia y Tecnología Aeronáutica*, 16, 41–46.
- Cristina, A., Montes, S., Bolivariana, U. P., Cristina, A., & Montes, S. (2015). EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE ÁCIDO LÁCTICO EMPLEANDO RESIDUO DE MORA Y SUERO DE LECHE EN SISTEMA DE LOTE, 1–51.
- DANE-ENA, (2016), Boletín mensual INSUMOS Y FACTORES ASOCIADOS A LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA
- Dashtban, M. (2012). *PRODUCTION OF FURFURAL: OVERVIEW AND CHALLENGES. J-FOR-JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY FOR FOREST PRODUCTS AND PROCESSES* (Vol. 2).
- Domínguez, J. M., Rivas Torres, B., Torre, P., Converti, A., & Parajó, J. C. (2008). Proceso para la purificación de xilitol contenido en medios fermentados obtenidos por bioconversión de hidrolizados de biomasa vegetal.

- García, C. A., Arrázola, G. S., & Durango, A. M. (2010). Biotecnológica Biotechnological Production of Lactic Acid. *Temas Agrarios*, 15(2), 9–26.
- García, F. S., & Vergara, J. (2017). agrícolas (Cascarilla de Arroz , Bagazo de Caña , Zuro de Maíz), 2(8), 570–585. <https://doi.org/10.23857/casedelpo.2017.2.8.agos.570-585>
- García, J. A., Cárdenas, M., & Yáñez, E. eduardo. (2010). Generación y uso de biomasa en plantas de beneficio de palma de aceite en Colombia, 31(2), 41–48.
- Ghaffar, T., Irshad, M., Anwar, Z., Aqil, T., Zulifqar, Z., Tariq, A., ... Ehsan, N. (2014). ScienceDirect Recent trends in lactic acid biotechnology : A brief review on production to purification. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 4–11. <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2014.03.002>
- Gómez García, F. (2015). Ingeniería de procesos de planta de fabricación de etanol con una capacidad de 20000 tm/año, 630.
- Hernández, M., & Andrea, M. (2015). Extracción de compuestos aromáticos con furfural en aceites lubricantes recuperados.
- Jackson, E. (2018). Tendencias de producción de ácido láctico a partir de recursos renovables.
- Kamm, B., R. Gruber, P., & Kamm, M. (2006). *Biorefineries-Industrial Processes and Products: Status Quo and Future Directions* (Vol. 1–2). <https://doi.org/10.1002/9783527619849>
- Koutinas, A., Vlysidis, A., Pleissner, D., Kopsahelis, N., Garcia, I. L., & Kookos, I. K. (2014). Valorization of industrial waste and by-product streams via fermentation for the production of chemicals and biopolymers.
- Londoño Londoño, J., Sierra, J., Álvarez, R., Duque, A. M. R., & Carvalho, C. P. P. (2012). Aprovechamiento de los subproductos cítricos, 343–367.

- Martinez, E. A., Villarreal, M. L. M., Almeida e Silva, J. B., Solenzal, A. I. N., Canilha, L., & Mussatto, S. I. (2002). Uso de diferentes materias primas para la producción biotecnológica de xilitol.
- Miguel, J., & Caballero, R. (2014). Valorización de biomasa mediante catálisis heterogénea: producción de biodiésel y furfural.
- Ministerio de Minas y Energía. (2010). *Atlas del potencial energetico de la biomasa residual en colombia*. (ministerio de minas y Energia, Ed.).
- Molina, M. J. C. (2015). "nuevos procesos catalíticos para la obtención de furfural."
- Mussatto, S., & Roberto, I. (2003). Xilitol - Una gran alternativa en el mercado de edulcorantes. *Industria de Alimentos*.
- Nigaml, L., & Singh, D. (1995). Processes for Fermentative Production of Xylitol - a Sugar Substitute, *30(0)*, 117–124.
- Niño, P. A., Quijano, M. J. E., & Carvalho, C. P. P. (2012). Situación actual de la cadena de cítricos en Colombia : limitantes y perspectivas.
- Ogawa Tetsuji, Sayama Mitsuru, Y. Y. (2008). *Bioetanol de caña de azúcar : energía para el desarrollo sostenible / coordinación BNDES y CGEE. – Rio de Janeiro : BNDES, 2008. Informe de investigación de Kyushu Pest (Vol. 54)*.
- Parajo, J. C., Dominguez, H., & Dominguez, J. M. (1998). BIOTECHNOLOGICAL PRODUCTION OF XYLITOL . PART 1 " INTEREST OF XYLITOL AND FUNDAMENTALS OF ITS BIOSYNTHESIS, 65.
- Pi, Y., & Lozano, J. T. (2016). *APROVECHAMIENTO DE BIOMASA LIGNOCELULÓSICA, ALGUNAS EXPERIENCIAS DE INVESTIGACIÓN EN COLOMBIA*.
- Piñeros Castro, Y. (2014). *Aprovechamiento de biomasa lignocelulósica, algunas*

experiencias de investigación en Colombia.

- Rosales, F. (2018). *EVALUACIÓN COMPARATIVA ENTRE XILITOL Y SORBITOL, COMO ALTERNATIVAS PARA LA DIVERSIFICACIÓN DE LA INDUSTRIA AZUCARERA.*
- Sánchez, O. J., & Cardona, C. A. (2005). Producción biotecnológica de alcohol carburante I: Obtención a partir de diferentes materias primas. *Interciencia*, 30(11), 22–47.
- Saval, S., Ingeniería, I. De, & Universitaria, C. (2012). Aprovechamiento de Residuos Agroindustriales : Pasado , Presente y Futuro, 16(2), 14–46.
- Semprum, F. A. D. (1985). ESTUDIO SOBRE LA PRODUCCION DE ACIDO LACTICO A PARTIR DE UN PROCESO DE FERMENTACION DE MELAZA.
- Solenzal, A. I. N., Rios, M. D. de los, Martinez, E. A., Bueno, M. G., & santana, E. M. (2005). Tecnología del Proceso de Obtención de Licores de Xilosa a partir de Bagazo de Caña, para la Producción Biotecnologica de Xilitol. *Brazilian Journal of Food Technology*, março, 57–64.
- Vanoy Villamil, M. N. (2015). Deshidratación catalítica de D-xilosa con sólidos ácidos para la producción de furfural, 1–35.
- Victoria, L., Gonzalez, P., Patricia, S., Gómez, M., Andrea, P., & Abad, G. (2017). Exploitation of agroindustrial waste in Colombia, 141–150.
- Vijayakumar, J., Thangavelu, V., & Rajendran, A. (2008). *Recent Trends in the Production, Purification and Application of Lactic Acid. Chemical & Biochemical Engineering Quarterly (cabeq@pbf.hr); Vol.22 No.2 (Vol. 22).*
- Yepes, S. M., Johana, L., Naranjo, M., & Sánchez, F. O. (2008). VALORIZACIÓN DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES – FRUTAS – EN MEDELLÍN Y EL SUR DEL VALLE DEL ABURRÁ, COLOMBIA, 61(1), 4422–4431.
- Zabala, M. A. (2008). DE MUCÍLAGO DE CAFÉ CON LACTOBACILLUS

BULGARICUS NRRL-B548 LACTIC ACID PRODUCTION BY FERMENTATION OF COFFEE MUCILAGE WITH LACTOBACILLUS BULGARICUS NRRL-B548, 147–153.

Zeitsch Deceased., Hanna Tepohl Legal Representative Karl J. (late of Kwa Zulu Natal, Z. (2004). Process for the manufacture of furfural.

Zorro, J. S. B., & Pava, C. A. (2018). Análisis sistémico de las externalidades del mercado de bioetanol, (1), 430–439.

ANEXO 1

METODOLOGÍA

Determinación de extractivos orgánicos solubles en agua

Para la determinación de extractivos solubles en agua se realiza el procedimiento bajo la norma NREL/TP- 510-42619. Se toma aproximadamente 3 g de biomasa de piña previamente molida y seca, con una humedad inferior al 10%, ubicando el material a extraer dentro de un capuchón hecho con papel filtro, verificando que la biomasa no se salga del mismo. Posteriormente se colocó en un extractor tipo soxhlet, se le ajustó una plancha de tal forma que se garantice el mayor intercambio de calor posible para así generar una ebullición vigorosa de 160 ml de agua, haciendo mínimo 4 sifones de extracción en el menor tiempo posible. Seguidamente se lleva el material sólido libre de extractivos al horno, a una temperatura de 60 °C por 12 horas, luego el material se lleva a un desecador durante 1 hora para posteriormente calcular el porcentaje de masa libre de extractivos solubles en agua. El agua que contiene los minerales y extractivos se llevan a rota evaporación a una presión de 760 mbar a 60 °C (algunas veces depende de las especificaciones del equipo) para generar la evaporación del solvente y determinar la cantidad de extractivos por diferencia de peso en el balón(A. Sluiter, R. Ruiz, C. Scarlata, J. Sluiter & Templeton, 2005).

Determinación de extractivos orgánicos solubles en etanol

Se realiza una determinación de extractivos orgánicos tomando etanol como solvente, esto se hizo bajo la norma NREL/TP- 510-42619. Para este procedimiento se toma el material libre de extractivos solubles en agua y se realiza un proceso de extracción por método soxhlet con 150 mL de etanol al 96% (v/v), se programa la plancha a una temperatura superior a la de ebullición del etanol con el objetivo de realizar una ebullición energética, para generar mínimo 4 sifones en el menor tiempo posible. Después de este tratamiento, se lleva el sólido libre de extractivos a un horno con una temperatura de 60°C por 12 horas, posterior a esto se pone el material en un desecador. El etanol utilizado en la extracción se traslada a un rota evaporador, a una presión de 72 mbar y 42 °C (algunas veces depende de las especificaciones del equipo) generando la recuperación del solvente y separándolo de los extractivos, lo que es determinado por la diferencia de pesos inicial y final del balón. (A. Sluiter, R. Ruiz, C. Scarlata, J. Sluiter & Templeton, 2005).

- Para el cálculo de los porcentajes de extractivos se debe tomar la muestra como masa libre de humedad.

$$\%total\ solidos = (100 - \%humedad\ de\ la\ muestra\ seca) \times muestra\ seca(1)$$

$$ODW = \frac{Muestra\ seca \times \%total\ de\ sólidos}{100} (2)$$

$$\%extractivos = \frac{Peso\ del\ balon\ mas\ extractivo - Peso\ balon}{ODW\ muestra}(3)$$

Determinación de lignina insoluble en ácido

Este procedimiento se realizó bajo la norma NREL/TP-510-42618. Se pesan 0,3 g de material libre de extractivos en un erlenmeyer, donde la masa debe contener una humedad menor al 10%, luego se agregan 3 mL de ácido sulfúrico al 72% (p/p), para luego llevar a calentamiento a 30°C durante 1 hora en agitación constante (se recomienda usar agitador magnético), posterior a esto se añaden

54 mL de agua destilada con el fin de que la concentración disminuya a un 4% (p/p), se tapa el erlenmeyer para ser llevado al autoclave durante 1 hora a 15 Psi y 121°C, luego de ello se realiza una filtración al vacío de la muestra y se lava con abundante agua. El sólido filtrado se seca en un horno a 90 °C durante 1 hora, teniendo especial cuidado y supervisión constante para evitar calcinación, para luego pesar y determinar el porcentaje de lignina presente en la muestra analizada (A. Sluiter, B. Hames, R. Ruiz & J. Sluiter, D. Templeton, 2008).

$$\%lignina = \frac{\text{Muestra lib extractivos con recipiente} - \text{Peso de recipiente}}{ODW} \times 100 \quad (4)$$

Determinación de Holocelulosa de sólidos libres de extractivos.

Se usó un método de cloración el cual se rige bajo la norma ASTM Standard D1104 [211]. Se toman 2,5 g de muestra libre de extractivos en un erlenmeyer, se mezclan con 80 ml de agua destilada, 0.5 ml de ácido acético glacial y se agrega un 1 g de clorito de sodio, para ser llevado a un baño termostatado a 70 °C durante 6 horas y cada hora se agrega 1 g de clorito de sodio y 0,5 mL de ácido acético glacial. Luego de cumplidas las 6 horas, se deja la muestra en el baño termostatado durante 24 horas a una temperatura de 70 °C para posteriormente ser filtrada al vacío, realizando lavados con acetona. Los sólidos obtenidos se secan a 60 °C durante 12 horas y después de estabilizar la temperatura en un desecador, determinar el porcentaje de holocelulosa en la muestra (Saka, 2012).

$$\%Holocelulosa = \frac{\text{Muestra lib extractivos con recipiente} - \text{Peso de recipiente}}{ODW} \times 100 \quad (5)$$

Determinación de celulosa y hemicelulosa

El método de determinación de celulosa es un procedimiento continuo al procedimiento anterior el cual se realiza bajo el procedimiento modificado de (*Crapton and Maynard*). Se toma 1 gr de la muestra obtenida en el procedimiento de obtención cuantitativa de holocelulosa y se realiza un montaje con un condensador para permitir el reflujo de vapor en el equipo, en el cual se adicionaron 15 ml de ácido acético al 80 % y 1 ml de ácido nítrico, junto con el material a analizar. El montaje se colocó en una plancha a 30 °C por 20 minutos, seguido de esto se transfiere la muestra a un tubo falcon de 50 mL con 20 mL de etanol al 96% v/v, para ser centrifugado a 60 rpm por 10 minutos. Posteriormente se lava el tubo con 25 mL de alcohol al 96 % v/v para así transferir la muestra a un crisol y luego realizar un filtrado al vacío lavando con benceno, éter etílico y etanol caliente (50° C), después se seca la muestra durante 8 horas a 60 ° C para precisar la cantidad de celulosa contenida en la biomasa analizada, seguidamente se calcina la muestra a 575 °C durante 3 horas con una rampa de calentamiento de 10 °C por minuto y por esta ruta determinar la cantidad de ceniza que se genera, además de establecer la porción de hemicelulosa presente en la muestra (J. S. Han and J. S. Rowell, 2008).

$$\%celulosa = \frac{\text{Muestra lib extractivos con recipiente} - \text{Peso de recipiente}}{ODW} \times 100 \quad (6)$$

$$\%Hemicelulosa = 100\% - (\%celulosa + \%cenizas) \quad (7)$$

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- A. Sluiter, B. Hames, R. Ruiz, C. S., & J. Sluiter, D. Templeton, and D. C. (2008). Determination of structural carbohydrates and lignin in biomass. *Laboratory Analytical Procedure (LAP) Technical Report NREL/TP-510-42618*.
- A. Sluiter, R. Ruiz, C. Scarlata, J. Sluiter, and, & Templeton, D. (2005). Determination of Extractives in biomass. *Determination of Extractives in Biomass NRTL/TP-510-42619*.
- J. S. Han and J. S. Rowell. (2008). "Chapter 5. Chemical Composition of Fibers,." *Agro-Based Resources*, 283, 83–134.
- Marsden, W. L., Gray, P. P., Nippard, G. J., & Quinlan, M. R. (2007). Evaluation of the DNS method for analysing lignocellulosic hydrolysates. *Journal of*

Chemical Technology and Biotechnology, 32(7–12), 1016–1022.
<https://doi.org/10.1002/jctb.5030320744>

Miller, G. L. (1959). Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar. *Analytical Chemistry*, 31(3), 426–428.
<https://doi.org/10.1021/ac60147a030>

Saka, H. R. and S. (2012). Holocellulose Determination in Biomass. *Green Energy Technol*, 108, 135–140.