

**CARACTERIZACIÓN DE BIOMASA RESIDUAL AGRÍCOLA PARA LA
EVALUACIÓN DE SU USO COMO MATERIA PRIMA EN LA PRODUCCIÓN DE
OLIGOSACÁRIDOS**

JAVIER RONALDO SANABRIA CUCUNUVA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2016

**CARACTERIZACIÓN DE BIOMASA RESIDUAL AGRÍCOLA PARA LA
EVALUACIÓN DE SU USO COMO MATERIA PRIMA EN LA PRODUCCIÓN DE
OLIGOSACÁRIDOS**

JAVIER RONALDO SANABRIA CUCUNUVA

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero químico

Director

Ph. D. DEBORA ALCIDA NABARLATZ

Codirector

M. Sc. ROLANDO ACOSTA FERNANDEZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2016

DEDICATORIA

Como no dedicar este trabajo y este ciclo universitario a mi madre, padre y familiares que siempre estuvieron ahí para apoyarme en la carrera por alcanzar mis objetivos sin importar las circunstancias, para ellos es este trabajo.

A la profesora Débora y a Rolando por siempre estar dispuestos a apoyarme y por compartir sus conocimientos y trabajo conmigo. Asimismo a todos los profesores que estuvieron en este largo camino, sin ustedes nada de esto habría sido posible.

A todos mis amigos y compañeros que siempre estuvieron ahí para apoyarme de una u otra manera cuando lo necesité.

Javier Ronaldo Sanabria Cucunuvá

AGRADECIMENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la profesora Débora Nabarlatz y al Magister Rolando Acosta por su constante apoyo, orientación y sobretodo la confianza que depositaron en mí para llevar a cabo este proyecto.

A todas la personas del laboratorio del grupo de investigación INTERFASE que siempre me apoyaron en todo que necesité desde el primer día hasta el último que estuve allí.

A los técnicos del laboratorio de operaciones unitarias Eduardo y Wilson Carreño, los cuales siempre fueron muy diligentes y atentos con el préstamo de equipos, instrumentos y material de laboratorio necesarios para llevar a cabo la experimentación.

A los Ingenieros Guillermo Acero y Neyla Mantilla por su colaboración y ayuda en las pruebas finales para concretar este trabajo.

A todas las otras personas que directa o indirectamente influyeron de manera positiva para que este trabajo se llevara a cabo.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	13
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 Biomasa:.....	15
2.2 Lignina	15
2.3 Celulosa.....	16
2.4 Hemicelulosa:	17
2.4.1 Xilosa.....	18
2.4.2 Arabinosa.....	19
2.4.3 Grupos funcionales presentes en la hemicelulosa.	19
2.5 Extractivos orgánicos y acuosos	20
3. OBJETIVO PRINCIPAL	21
3.1 Objetivos específicos	21
4. METODOLOGÍA:	22
4.1 Selección de biomasas residuales agroindustriales	22
4.2 Recolección de biomasas	23
4.3 Acondicionamiento de las biomasas	23
4.4 Caracterización de Biomasas.....	23
4.5 Cuantificación de azúcares por HPLC.....	24
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
5.1 Biomasas seleccionadas para el análisis	25
5.2 Resultados caracterización de biomasas	27
5.2.1 Análisis de humedad y cenizas	27
5.2.2 Extractivos orgánicos y acuosos	28
5.2.3 Análisis holocelulosa, celulosa y lignina.....	30
5.3 Resultados cuantificación de azúcares por HPLC.....	32
5.4 Determinación del potencial de producción de oligosacáridos a partir de las biomasas seleccionadas:	36
6. CONCLUSIONES	38
BIBLIOGRAFIA.....	39
ANEXOS.....	46

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1. COMPOSICIÓN MATERIAL LIGNOCELULOSICO.....	16
FIGURA 2. DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA. .	22
FIGURA 3. RESULTADOS ANÁLISIS DE HUMEDAD Y CENIZAS.	28
FIGURA 4. RESULTADOS ANÁLISIS EXTRACTIVOS ACUOSOS Y ORGÁNICOS.....	29
FIGURA 5. RESULTADOS ANÁLISIS LIGNOCELULÓSICO.	30
FIGURA 6. RESULTADOS DEL ANÁLISIS LIGNOCELULÓSICO POR HPLC.	33
FIGURA 7. RESULTADOS HEMICELULOSA Y ALFACELULOSA POR HPLC....	34
FIGURA 8. POTENCIAL DE PRODUCCIÓN OLIGOSACÁRIDOS.....	36

LISTA DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1. ANÁLISIS LIGNOCELULÓSICO DE BIOMASAS RESIDUALES.....	19
TABLA 2. MÉTODOS DE DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS DE INTERÉS	24
TABLA 3. BIOMASAS SELECCIONADAS PARA EL ESTUDIO.	25

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. DISTRIBUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA EN EL DEPARTAMENTO DE SANTANDER.....	46
ANEXO B. GENERALIDADES DE LOS CULTIVOS SELECCIONADOS.....	48
ANEXO C. PROCEDENCIA DE BIOMASAS SELECCIONADAS.....	52
ANEXO D. MÉTODOS ANALÍTICOS.....	53
ANEXO E. CURVAS DE CALIBRACIÓN HPLC.....	53
ANEXO F. RESULTADOS CARACTERIZACIONES.	57
ANEXO G. ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN.....	68

RESUMEN

TÍTULO: CARACTERIZACIÓN DE BIOMASA RESIDUAL AGRÍCOLA PARA LA EVALUACIÓN DE SU USO COMO MATERIA PRIMA EN LA PRODUCCIÓN DE OLIGOSACÁRIDOS. *

AUTOR: JAVIER RONALDO SANABRIA CUCUNUVA. **

PALABRAS CLAVES: PREBIOTICOS, BIOMASA, HEMICELULOSA, OLIGOSACÁRIDOS.

DESCRIPCIÓN:

Los esfuerzos por mejorar la calidad de vida del ser humano son más intensos cada día, dado que de esta depende nuestra salud y bienestar. Actualmente se buscan formas de estimular la presencia y/o crecimiento de probióticos en nuestro cuerpo y se ha llegado a la conclusión que la mejor manera de lograrlo es mediante un continuo suministro de prebióticos, algunos de los cuales se obtienen a partir de fuentes ricas en azúcares que no podemos digerir como la xilosa y arabinosa entre otros. La biomasa residual agrícola representa una posible materia prima de dichos azúcares de valor agregado dado que en su estructura se puede encontrar y a su vez aislar o recuperar la hemicelulosa, que en otras palabras es un polímero constituido en su mayoría por varios tipos de azúcares, encontrando entre ellos los anteriormente mencionados, siendo de hecho, para algunos casos los más abundantes. Teniendo en cuenta que Colombia presenta un gran potencial de generación del tipo de biomasa en cuestión, se seleccionaron 10 residuos de carácter lignocelulósico, los cuales provienen de las principales actividades agrícolas en el departamento de Santander, con el objetivo de evaluar su posible uso como materia prima en la producción de oligosacáridos no digeribles (OND). Mediante distintos tipos de análisis fisicoquímicos se determinaron las características de interés para cada biomasa, teniendo como resultado que las cáscaras de café, raquis de palma y bagazo de caña son los residuos que representan, en principio, mayor potencial para ser utilizados como materia prima en la producción de OND a escala industrial.

* Trabajo de grado

** Facultad de ingenierías fisicoquímicas. Escuela de ingeniería química. Directora: Ph.D Débora A. Nabarlatz. Codirector: M. Sc. Rolando A. Acosta Fernández.

ABSTRACT

TITLE: CHARACTERIZATION OF AGRICULTURAL RESIDUAL BIOMASS, FOR EVALUATING THEIR USE AS RAW MATERIAL IN PRODUCTION OF OLIGOSACCHARIDES.*

AUTHOR: JAVIER RONALDO SANABRIA CUCUNUVA. **

KEYWORDS: PREBIOTICS, BIOMASS, HEMICELLULOSE, OLIGOSACCHARIDES.

DESCRIPTION:

Efforts to improve the quality of life of human beings are more intense every day; it is because of it depends on our health and wellbeing. Currently, ways to stimulate the presence and/or growing of probiotics in our body have been sought and the conclusion is that the best way to achieve it is through a constant supply of prebiotics which are obtained from rich sources of sugar that we cannot digest like the xylose and arabinose among others. Agricultural residual biomass represents a possible raw material of value-added sugars since in its structure we can find, isolate or recover the hemicellulose. In other words, it is a polymer constituted by different types of sugars finding including those mentioned above being in fact the most abundant. Having in mind that Colombia presents great potential of generation of this biomass ten residues of lignocellulosic were selected and those come from the main agricultural activities in the department of Santander with the purpose of evaluating its possible use as raw material in the production of oligosaccharides (OND). Through different types of physicochemical analysis the characteristics of interest of each biomass were determined having as a result that the shells of coffee, rachis of palm and the sugarcane bagasse are the residues that represent the greatest potential to be used as a raw material in the production of OND in an industrial scale.

* Bachelor thesis

** Facultad de ingenierías fisicoquímicas. Escuela de ingeniería química. Directora: Ph.D Débora A. Nabarlatz. Codirector: M. Sc. Rolando A. Acosta Fernández.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad los estudios relacionados con el mejoramiento de la salud y el bienestar del ser humano incluyen aspectos no solo curativos sino también preventivos, tanto así que actualmente se buscan formas de estimular el crecimiento o la presencia de bacterias beneficiosas presentes en nuestro tracto digestivo conocidas como probióticos entre las que se destacan los *Lactobacillus* y *Bifidobacterium* [PÉREZ-CONESA *et al.*, 2004], los cuales consumimos frecuentemente en ciertos alimentos o suplementos dietarios. La manera más apropiada de estimular la supervivencia, crecimiento y actividad probiótica es un suministro continuo de prebióticos dado que son compuestos que consumimos en algunos alimentos y nuestro organismo no los digiere o absorbe en el tracto gastrointestinal (No digeribles), pero que sí son metabolizados por los probióticos, convirtiéndolos así en su fuente de alimento y medio fundamental para cumplir su función beneficiosa sobre la salud humana [PÉREZ-CONESA *et al.*, 2004]. En conjunto los probióticos y prebióticos desempeñan un papel importante en funciones intestinales, digestivas y respiratorias además de contribuir significativamente a aliviar enfermedades infecciosas [FAO, 2006]. Los hidratos de carbono (algunos oligosacáridos y polisacáridos), ciertos péptidos y proteínas entre otros, son considerados como prebióticos [CRITTENDEN Y PLAYNE, 1996].

Los prebióticos más estudiados y utilizados en alimentos funcionales son los fructooligosacáridos (FOS) y galactooligosacáridos (GOS), los cuales estructuralmente son grupos de oligosacáridos no digeribles (OND) [DELZENNE Y ROBERTFROID, 1994], producidos a partir de fuentes vegetales ricas en fructosa (pulpas de fruta, melazas, etc.) y lactosa respectivamente [FAO, 1997]. Sin embargo, los FOS y GOS no son los únicos clasificados como oligosacáridos prebióticos, otros tales como los xilooligosacáridos (XOS) o los arabinooligosacáridos (AOS) han sido considerados dentro de esta definición puesto que pueden presentar las mismas o más propiedades prebióticas que la mayor parte de los OND ya establecidos [OTIENDO Y AHRING, 2012]

Los XOS presentan algunas ventajas frente a los FOS, tales como una mejor estabilidad frente a pH más bajos y propiedades organolépticas más aceptables, además de un sin número de beneficios para la salud humana aparte del aporte prebiótico, lo que los convierte en una mejor opción a la hora de ser parte de suplementos dietarios [OTIENDO Y AHRING, 2012].

Por otra parte, Colombia, un país en el cual el 36.2% de su territorio tiene potencial agropecuario [JUNGUITO, *et al.*, 2014] y donde la agroindustria nacional desaprovecha gran parte de los residuos generados en el proceso de beneficio del cultivo, se hace necesario buscar alternativas que permitan darle valor agregado a las biomásas residuales generadas en los diferentes procesos agroindustriales. En ese sentido los estudios relacionados tratan en su mayoría sobre la valorización energética y la obtención de biocombustibles como opciones de aprovechamiento, pero pocos hablan o se adentran en el potencial nutricional que tienen algunos polímeros presentes en este tipo de biomásas. Dado que el coste de fabricación de prebióticos actualmente es alto (22-50 USD/kg para los XOS) y con tendencia al alza por su alta demanda [OTIENDO Y AHRING, 2012], podría ser muy significativo para la industria farmacéutica y alimentaria encontrar en la biomasa residual una fuente eficiente y renovable de materia prima para su producción.

La biomasa residual lignocelulósica generada es en su gran mayoría cáscaras, ramas, bagazo, rastrojo etc. y está constituida en un 75-85% por 3 macromoléculas esenciales en su estructura que son la celulosa, hemicelulosa y lignina [SANCHEZ *et al.*, 2010], las cuales pese a su dificultosa degradación es posible descomponerlas en azúcares simples o monosacáridos mediante procesos físicos, químicos o biológicos. La celulosa y hemicelulosa [polisacáridos estructurales] están constituidas por pentosas y hexosas dentro de las cuales se destacan la glucosa (hexosa y monómero estructural de la celulosa), xilosa y arabinosa (pentosas estructurales de la hemicelulosa) [MARQUES, 2010].

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Con el objetivo de profundizar en la caracterización lignocelulósica de residuos agroindustriales y evaluar su potencial para la producción de OND, es necesario definir y analizar algunos conceptos fundamentales sobre la materia prima y su estructura química, los cuales se definen a continuación:

2.1 Biomasa:

La biomasa se define como la materia viva presente en una capa muy fina de la superficie terrestre (incluyendo mares y océanos) conocida como biosfera y constituye una pequeña parte de la masa total terrestre. Por otro lado los residuos que se generan en algún proceso de transformación natural o artificial de materia viva también constituyen la biomasa, llamada biomasa residual. [ESCALANTE *et al.*, 2010]. Ahora bien, los residuos generados en un proceso agrícola a escala industrial (cultivos, ganado, etc.) se denominan biomasa residual agroindustrial y se consideran como una fuente primaria de energía, pero en algunos casos también es útil como materia prima para la industria alimentaria y bioquímica gracias a su capacidad de renovación y abundancia.

La mayor parte de la biomasa lignocelulósica agroindustrial está constituida en un 75 a 85% por celulosa más otros dos componentes asociados entre sí que son la hemicelulosa y la lignina. Además contiene extractivos acuosos, extractivos orgánicos y cenizas. La celulosa y hemicelulosa son polisacáridos de interés dado que un análisis del contenido de sus monómeros estructurales que son; glucosa, xilosa y algunos grupos funcionales como la arabinosa, grupos acetilo y ácidos úronicos y ferúlicos [MONSALVE *et al.*, 2006 y NABARLATZ *et al.*, 2005] permite dar una estimación del potencial de las biomásas seleccionadas como materia prima para la producción de OND como los ya mencionados **XOS** y **AOS**. La composición general del material lignocelulosico se puede apreciar de forma más clara en la Figura 1.

2.2 Lignina

Es una sustancia que se caracteriza por ser un complejo aromático (no polímero) presente en las paredes celulares de las plantas (da la rigidez a los tallos y ramas)

y algunas especies del reino protista. La lignina está formada por la extracción irreversible del agua de los azúcares, creando compuestos aromáticos, además está fuertemente asociada con la hemicelulosa y es muy complejo analizar su concentración sin tener que separarlas. Es por ello que para un proceso de determinación de celulosa y/o hemicelulosa mediante extracción reactiva o cromatografía, es necesario aislarla para no alterar los resultados [MARQUES, 2010]. Mediante dichos procesos de despolimerización la lignina es aprovechada y es materia prima para la producción de dispersantes pesticidas, emulsificantes, resinas etc [CHÁVEZ Y DOMINE, 2013].

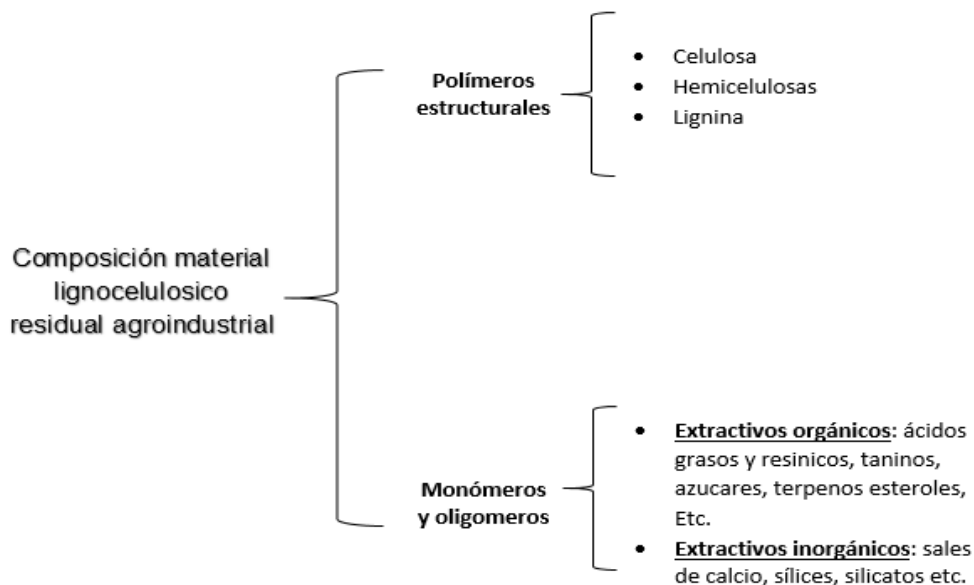


Figura 1. Composición material lignocelulósico

2.3 Celulosa

Es el principal componente de las paredes celulares de los árboles y otras plantas. Desde el punto de vista bioquímico, la celulosa $(C_6H_{10}O_5)_n$ con un valor mínimo de $n = 200$ [SEYMOUR Y CARRAHER, 1995], es un polímero natural, constituido por una larga cadena de carbohidratos polisacáridos. La estructura de la celulosa se forma exclusivamente por la unión de moléculas de β -glucosa (glucosa no digerible por el cuerpo humano) a través de enlaces β -1,4-glucosídico; tiene una

estructura lineal o fibrosa, en la que se establecen múltiples puentes de hidrógeno entre los grupos hidroxilo de las distintas cadenas de glucosa, haciéndolas muy resistentes e insolubles al agua. De esta manera, se conforman las fibras compactas que constituyen la pared celular de las células vegetales, dándoles así la rigidez necesaria [SEYMOUR Y CARRAHER, 1995, KLAGES, 1968]. La celulosa ha sido objeto de estudio gracias a su relativa abundancia en la biomasa (30-50%) pero debido a su rigidez cristalina exige pretratamientos más intensos para que pueda ser aprovechada en otros procesos, por ejemplo en producción de biocombustibles [OTIENDO Y AHRING, 2012]. Por otra parte, el **alfacelulosa** es la fracción de mayor peso molecular, se define como la celulosa no degradada o insoluble del material lignocelulosico luego de ser sometido a degradación química para determinar su concentración, esta definición es muy importante puesto que aporta información sobre la cantidad de glucosa contenida en la muestra dado que para la caracterización por HPLC se trabaja con el supuesto que es la única macromolécula que contiene este monosacárido en su estructura [MARQUES, 2010].

2.4 Hemicelulosa:

Son heteropolisacáridos constituidos en su mayoría por xilanos (polisacáridos más abundantes en las plantas después de la celulosa) [DEUTSCHMANN Y DEKKER, 2012] los cuales constituyen el 20 y el 30% del total de la biomasa generada de plantas dicotiledóneas (hierbas y maderas duras) y hasta el 50 % en el caso de las monocotiledóneas (cereales) [EBRINGEROVÁ *et al.*, 2005].

Las hemicelulosas forman parte de la pared celular de las plantas actuando como matriz de soporte para las microfibras de celulosa, debido a que su cristalinidad es mucho menor a la de la celulosa se pueden descomponer más fácilmente con soluciones alcalinas diluidas, puesto que las reacciones de oxidación y reducción afectan profundamente su estructura. Las hemicelulosas conforman aproximadamente una tercera parte de los carbohidratos contenidos en las partes maderosas de las plantas, donde su estructura química consiste en cadenas largas con una gran variedad de pentosas (dentro de las cuales se destacan la

xilosa, arabinosa) y grupos acetil [MARQUES, 2010 y BARROSO, 2010]. Las hemicelulosas se encuentran en frutas, tallos de plantas, algunas semillas y cáscaras de granos y no son digeribles al ser consumidas por el ser humano pero si pueden ser fermentadas por levaduras y bacterias presentes en el tracto gastrointestinal como las ya mencionadas *Lactobacillus* y *Bifidobacterium*. Por estas razones la hemicelulosa es la fracción que presenta el potencial adecuado para la producción de OND a partir de los monosacáridos que conforman su estructura.

Existen métodos indirectos que permiten determinar la composición de la biomasa lignocelulósica considerando sus componentes primarios (sin monómeros), mediante estos métodos analíticos es posible separar y cuantificar la holocelulosa y alfacelulosa.

La **holocelulosa** Es la cantidad total de carbohidratos poliméricos que hay en el material lignocelulósico es decir; es el nombre que recibe el conjunto de celulosa y hemicelulosa presentes en dicho material [GRIMM *et al.*, 2001],

2.4.1 Xilosa

Es un azúcar presente en distintos tipos de materias vegetales (madera, paja, etc.) y hace parte de la estructura polimérica de la hemicelulosa siendo de hecho el componente mayoritario en materiales lignocelulósicos puesto que conforma la cadena principal de los xilanos [JAIN *et al.*, 2015]. Asimismo es un monosacárido de valor agregado dado que junto con la arabinosa y glucosa hacen parte de los azúcares esenciales en la nutrición humana.

Además de su uso alimenticio, en medicina se utiliza para realizar pruebas de absorción intestinal, puesto que es un azúcar que se absorbe de forma incompleta en el intestino [RAMIREZ *et al.*, 2012]. La xilosa es el monómero más importante en la búsqueda de fuentes de obtención de **XOS** dado que estos valiosos oligómeros contienen entre dos y diez moléculas de este monosacárido [AZEVEDO *et al.*, 2013].

2.4.2 Arabinosa

Es un monosacárido de cinco carbonos con un grupo aldehído por lo que hace parte del grupo de las aldosas y dentro de éste al de las aldopentosas. De las dos formas D y L, el enantiómero ampliamente extendido en la naturaleza es la L-arabinosa que al igual que la xilosa es uno de los constituyentes principales de la hemicelulosa presente en materiales lignocelulósicos dado que es un grupo funcional muy común en los xilanos [LOEZA-CORTE *et. al*, 2007 y BARROSO, 2010], asimismo es el monómero estructural de los **AOS**.

Analizando lo anterior, los materiales lignocelulósicos con alto contenido de xilosa y arabinosa representan un potencial considerable para obtención de oligómeros de valor agregado como los **XOS** y **AOS** respectivamente.

2.4.3 Grupos funcionales presentes en la hemicelulosa.

Aparte de la arabinosa, en las hemicelulosas coexisten otros monómeros constituyentes como son; grupos acetyl, galactosa, manosa, glucosa y ácidos ferúlicos y úronicos y su concentración depende del tipo y variedad de planta o residuo a analizar [NABARLATZ *et al.*, 2005].

En la Tabla 1 se reportan los resultados obtenidos del análisis lignocelulósico por métodos de extracción reactiva realizados a algunas biomásas residuales agroindustriales que han sido estudiadas para la producción de oligosacáridos

Tabla 1. Análisis Lignocelulósico de biomásas residuales [% en base seca]

Biomasa lignocelulósica	Alfacelulosa [%p]	Hemicelulosa [%p]	Lignina [%p]	Referencia
Tallos de tabaco	40,4	20,0	20,7	AKPINAR <i>et al.</i> , 2009.
Paja de trigo	30,5	19,8	26,6	AKPINAR <i>et al.</i> , 2009.
Cascarilla de arroz	29,7	19,6	24,6	AKPINAR <i>et al.</i> , 2009.
Bagazo de caña de azúcar	40,0	30,0	15,0	KNOB, 2014.
Paja de cebada	40,0	20,9	20,0	AKPINAR <i>et al.</i> , 2009.
Raquis de palma de aceite	44,0	30,4	15,4	SABHA-HANIM <i>et al.</i> , 2011.
Cáscara de cacao	21,2	14,7	25,2	GOMEZ y PARRA, 2013.
Borra de café	30,2	19,6	17,5	URRIBARRI <i>et al.</i> , 2014.

2.5 Extractivos orgánicos y acuosos

Además de carbohidratos poliméricos (celulosa y hemicelulosas) y lignina, existen en los materiales lignocelulósicos componentes minoritarios que no influyen en la estructura morfológica de las células pero que tienen gran influencia en el procesamiento de estos materiales. Algunos de estos componentes protegen a la madera de los insectos y son responsables de su color, olor y gusto [MARQUES, 2010]. Atendiendo a su solubilidad se pueden dividir en compuestos extraíbles en solventes apolares u orgánicos y extraíbles en solventes apolares o inorgánicos.

Extractivos orgánicos (lipofílicos): Son aquellas sustancias que conforman el material lignocelulósico como ácidos grasos, resinas, taninos etc., que son solubles en solventes o mezclas de solventes orgánicos [para este estudio etanol – tolueno] y que es necesario retirarlos junto a los extractivos acuosos para hacer un buen análisis de celulosa, hemicelulosa y lignina presentes en la muestra [NOGUES, 2010].

Extractivos acuosos (hidrofílicos): Junto con las sustancias lipofílicas, conforman el material lignocelulósico y son sustancias como sales minerales, silicatos, sílice, sustancias pépticas colorantes y algunos azúcares que se retiran mediante un tratamiento con agua caliente [NOGUES *et al.*, 2010 Y MORALES, 2015].

3. OBJETIVO PRINCIPAL

Evaluar el potencial de diferentes biomasas residuales agroindustriales del departamento de Santander como fuentes renovables de oligosacáridos de valor agregado.

3.1 Objetivos específicos

- Seleccionar 10 biomasas residuales agroindustriales de carácter lignocelulósico con base en la relevancia en la agricultura del departamento de Santander, disponibilidad y hectáreas cultivadas.
- Caracterizar las biomasas seleccionadas mediante diferentes técnicas analíticas de separación y extracción, determinando la composición de las mismas.
- Analizar el potencial de las biomasas caracterizadas teniendo en cuenta criterios como su composición, disponibilidad y aplicación.

4. METODOLOGÍA:

La metodología que se siguió para el desarrollo de este estudio se muestra en el siguiente diagrama de bloques:

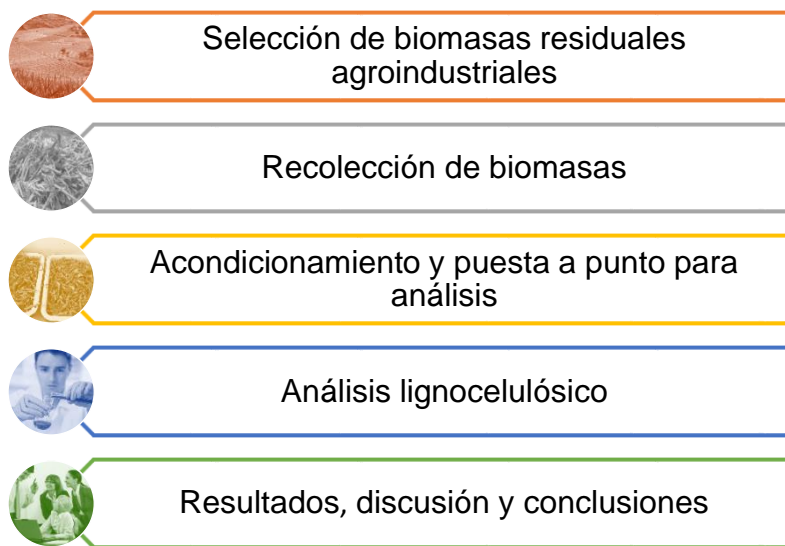


Figura 2. Diagrama de bloques de la metodología propuesta.

4.1 Selección de biomásas residuales agroindustriales

Las biomásas a estudiar fueron seleccionadas con base en la estructura agrícola del departamento de Santander, que incluye tanto cultivos permanentes como transitorios. Los criterios para seleccionar las biomásas fueron los siguientes:

1. Que el residuo sea de naturaleza lignocelulósica.
2. La cantidad de residuo generado debe ser significativa para que pueda ser tenido en cuenta en un posible uso a escala industrial, es decir que el cultivo a seleccionar sea significativo respecto a los demás en cuanto a producción y hectáreas cosechadas,
3. Que el acceso y/o recolección a este no sea tedioso ni costoso.

Adicional a esto se tuvo en cuenta que la utilización de una biomasa no afecte otro proceso de reutilización ya implementado

En el **ANEXO A** se muestra la distribución de la estructura agrícola de Santander para el año 2013 subdividida en cultivos permanentes (Figura A1) y transitorios

(Figura A2) con respecto a la producción total, así como la distribución porcentual de hectáreas cosechadas en el departamento (Figura A3).

Teniendo en cuenta que dichas distribuciones obedecen a los cultivos más significativos para el departamento y considerando la accesibilidad de los residuos de carácter lignocelulosico que se generan en los diferentes procesos de aprovechamiento de algunos cultivos, se presentan las biomásas seleccionadas para este estudio en la tabla 3 ubicada en la sección de resultados. Las generalidades de los cultivos y cadenas productivas de las cuales proceden las biomásas que hacen parte de este estudio se muestran en el **ANEXO B**.

4.2 Recolección de biomásas

Los residuos seleccionados se recolectaron en fincas y cultivos del departamento de Santander, plazas de mercados locales, e industrias en las cuales se generan algunos de los residuos lignocelulósicos que hacen parte de este estudio. Se reporta la procedencia de cada biomasa analizada en el **ANEXO C**.

4.3 Acondicionamiento de las biomásas

Luego de la selección y recolección de las muestras de biomasa se realizó su acondicionamiento para el análisis, triturándolas manualmente para luego llevarlas al molino de cuchillas del laboratorio de operaciones unitarias de la escuela de ingeniería química para tener muestras con una granulometría menor o igual a 0.5 mm, siguiendo los lineamientos protocolos de caracterización realizados.

4.4 Caracterización de Biomásas

El análisis realizado a las diferentes biomásas comprende la caracterización completa de las mismas basándose en las técnicas presentadas en la tabla 2:

Las especificaciones respecto a los métodos y equipos usados para realizar las caracterizaciones se encuentran especificados en el **ANEXO D**.

Tabla 2. Métodos de determinación de compuestos de interés

Compuesto	Método	Norma o referencia
Humedad y Cenizas	Termo-gravimétrico	ASTM D7582-10
Extractivos acuosos	Extracción Soxhlet con agua	ASTM D1110-56(77)
Extractivos orgánicos	Extracción Soxhlet con etanol – tolueno 2:1	ASTM D1110-56(77)
Holocelulosa	Extracción con NaClO ₂ y CH ₃ COOH	Evtuguin, 2003 y Marques, 2010
Alfacelulosa	Extracción con NaOH	ASTM D1103-60(77)
Lignina	Hidrólisis Ácida	ASTM D1106-56(2007)

4.5 Cuantificación de azúcares por HPLC

Por último y partiendo del hidrolizado obtenido de la degradación de carbohidratos poliméricos a azúcares simples en la determinación de lignina, se cuantificaron los monosacáridos de interés presentes en las biomásas mediante cromatografía líquida de alto rendimiento o HPLC, para así comparar con los resultados obtenidos mediante los métodos mostrados en la tabla 2. Los monosacáridos determinados fueron; glucosa [monómero constituyente de la alfacelulosa], xilosa, arabinosa y grupos acetil dado que para este trabajo se considera que el xilano y a su vez la hemicelulosa está constituida principalmente por estos 3 monómeros [NABARLATZ *et al*, 2005]. Los estándares utilizados de xilosa, arabinosa y glucosa tienen una pureza superior al 98% (Alfa Aesar®) y fueron proporcionados por la escuela de Química de la U.I.S, para la determinación de los grupos acetil se utilizó como estándar soluciones de ácido acético a diferentes concentraciones para generar su recta de calibración, considerando que mediante el grupo acetil del ácido acético es posible identificar los grupos acetil presentes en la hemicelulosa. Para tal fin se utilizó un cromatógrafo marca Shimadzu equipado con un detector de índice de refracción RID-10^a y una columna para análisis de carbohidratos en solución (Aminex HPX-87H) a 30°C utilizando una fase móvil con solución de ácido sulfúrico 0,005 M y un flujo de 0,5 mL/min [NABARLATZ *et al.*, 2007]. Las curvas de calibración calculadas para cada uno de los compuestos a identificar, se reportan en el **ANEXO E** y están basadas en la norma NREL/TP-510-42618.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Biomásas seleccionadas para el análisis

A partir de la distribución agrícola de los cultivos más significativos en el departamento de Santander, seleccionados tanto por su producción como por el área cosechada [dichas distribuciones se presentan en el **ANEXO A**] y teniendo en cuenta los criterios establecidos en la metodología de trabajo, se presentan las 10 biomásas seleccionadas en la tabla 3, las cuales se subdividen en residuos agrícolas de cosecha (RAC) y residuos agrícolas industriales (RAI) según lo establecido por [ESCALANTE *et al.*, 2010]. Las cifras presentadas corresponden al total nacional dado que no se encontraron fuentes confiables acerca de esta información a nivel departamental.

Tabla 3. Biomásas seleccionadas para el estudio.

Cultivo seleccionado	Cantidad producida [ton/año]	Residuo seleccionado	Tipo de residuo	Cantidad generada de residuo-base seca [ton/año]	Referencia
Café	779234,51	Cáscara	RAI	400000	SUAREZ, 2012
		Pergamino	RAI	99000	MONTILLA, 2008 y SUAREZ, 2012.
		Borra	RAI	28000	CECODES, 2009.
Caña panelera	1514878	Bagazo	RAI	5680790	ESCALANTE <i>et al.</i> , 2010.
Frijol	135162	Rastrojo	RAC	19513,25	ARIAS <i>et al.</i> , 2007
Palma de aceite	872117	Raquis	RAI	924618	ESCALANTE <i>et al.</i> , 2010, GONZALES, 2013 y MARTINEZ, 2013.
Tabaco rubio	17773	Tallos	RAI	56041,44	TUZZIN <i>et al.</i> , 2016.
Cacao	58764	Cáscara	RAI	45000	BAENA y GARCÍA, 2012, GOMEZ y CALDERON, 2007 y BARAZARTE <i>et al.</i> , 2008]
Aguacate	303355	Semilla	RAI	25925,55	PLAN DE NEGOCIOS DE AGUACATE, 2013.
Mango	200957	Semilla	RAI	32558,76	ALVARADO, 2012.

De los cultivos permanentes y transitorios más significativos para el departamento (ver Figuras A1, A2 y A3) se seleccionó; la caña panelera considerando que en su proceso de beneficio se generan grandes cantidades de bagazo (residuo lignocelulósico), además que este cultivo corresponde al 22% de la producción agrícola total del departamento y ocupa un primer lugar a nivel nacional en producción [MINCIT, 2013]. De igual manera se tuvo en cuenta la palma de aceite, la cual corresponde a un 12 % de la producción agrícola departamental, aparte de ser el cultivo con mayor área cosechada en Santander, ocupa el segundo lugar en producción a nivel nacional [MINCIT, 2013] y en su aprovechamiento se genera una cantidad considerable de residuo lignocelulósico (raquis). El cultivo de piña hubiese sido una buena opción puesto que Santander es el departamento número uno en producción de esta fruta a nivel nacional [MINCIT, 2013], sin embargo este cultivo carece de residuos lignocelulósicos en su proceso de cosecha y los residuos generados en el proceso de beneficio no son de fácil acceso dado que son residuos domésticos, convirtiéndolo en un cultivo de poco interés en este análisis. El cacao se seleccionó teniendo en cuenta que en el transcurso de su beneficio se generan grandes cantidades de cascara, además vale la pena resaltar que este cultivo ocupa el segundo lugar en área cosechada en el departamento y el primer lugar a nivel nacional en producción [MINCIT, 2013]. El cultivo de aguacate se seleccionó puesto que su semilla es un residuo de interés gracias a su carácter maderoso, además que los cultivos como la yuca, plátano, guayaba, naranja y limón los cuales se posicionan sobre el en cuanto a producción y área cosechada, no generan cantidades considerables de algún residuo lignocelulósico por tanto representan el mismo interés que el cultivo de piña. En cuanto al café, se seleccionó teniendo en cuenta que su cultivo es una práctica creciente en el departamento y la más representativa del país, además que en su proceso productivo se generan grandes cantidades de distintos residuos lignocelulósicos como la cáscara y el pergamino de café y al igual que con el cultivo de aguacate, los que se encuentran sobre él, tanto en producción como en área cosechada no generan cantidades significativas de residuos de interés.

En este estudio también se incluyó el frijol, pese a no ser uno de los cultivos más representativos del departamento en cuanto a producción y área cosechada, en el transcurso de su beneficio se generan residuos de interés como ramas, cascara etc. (rastrajo) que hacen a este cultivo muy interesante para el análisis, además que cultivos como la papa, tomate, cebolla, ahuyama, habichuela, melón y pimentón no generan cantidades considerables de residuos lignocelulósicos. El tabaco rubio se incluye en este estudio puesto que las biomásas que lo preceden en significancia productiva y área cosechada y que no son parte de esta selección (Figuras A2 y A3) no generan residuos de interés, hay que destacar que este cultivo se encuentra en crecimiento, pues está desplazando al tabaco negro a nivel comercial y sus residuos lignocelulósicos (tallos) además de ser generados en gran cantidad, presentan un gran potencial en la producción de oligosacáridos [AKPINAR *et al.*, 2009]. Se debe destacar que en este estudio se incluyó la borra de café y la semilla de mango puesto que son residuos de alto valor agregado relativo a los objetivos de este estudio [URRIBARRI *et al.*, 2014] además de contar con una alta capacidad de generación.

5.2 Resultados caracterización de biomásas

5.2.1 Análisis de humedad y cenizas

En la figura 3, se presentan los resultados obtenidos de los análisis de humedad y cenizas antes mencionados para las 10 biomásas seleccionadas. La cantidad determinada y la desviación estándar para todas las pruebas realizadas se presenta en el **ANEXO F**.

Las barras de error en las figuras que se muestran en esta sección corresponden a la desviación estándar de los resultados obtenidos en las caracterizaciones.

Como puede observarse. la humedad obtenida en las biomásas analizadas es relativamente baja (menor al 10%) para todos los casos excepto para la cáscara de cacao la cual contiene una humedad alrededor del 11%, lo anterior demuestra en primera estancia que todos los residuos analizados pueden ser utilizados para la generación de energía por combustión directa, pirólisis o gasificación en diferentes subprocesos de cosecha gracias a su bajo contenido de humedad en

caso de no ser implementado un medio de reutilización más eficiente [ESCALANTE *et al.*, 2010].

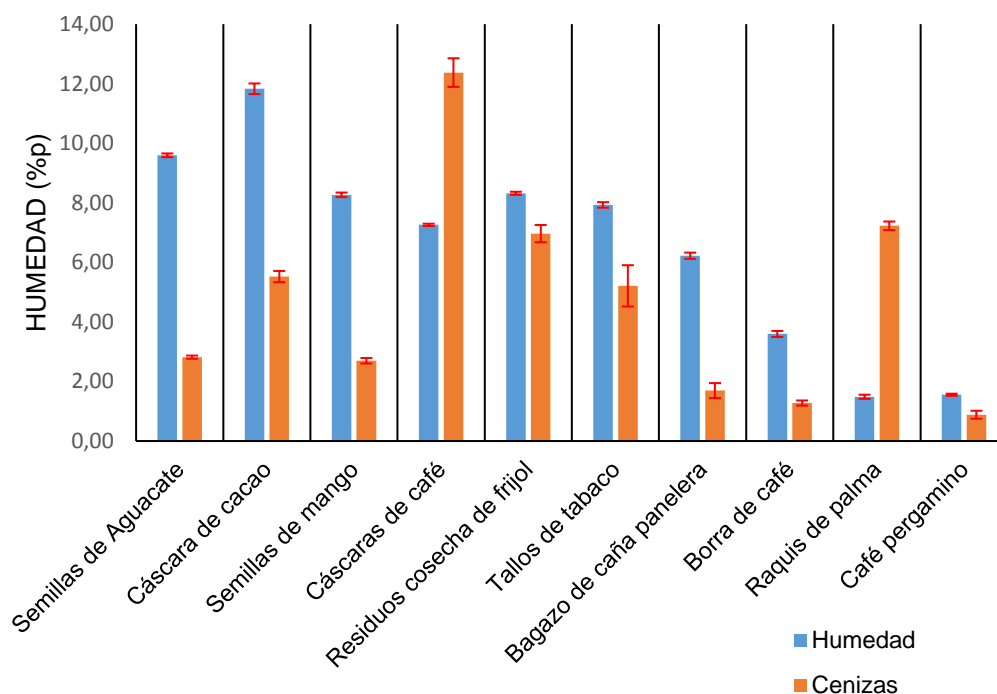


Figura 3. Resultados análisis de humedad y cenizas.

Con respecto a la concentración de cenizas obtenida en los diferentes residuos se debe destacar el hecho que todas las biomásas contienen un porcentaje de ceniza menor al 7% excepto la cáscara de café que presenta un resultado de 12%. Según la literatura el contenido de cenizas de la biomasa debe oscilar entre el 0.5 y el 5% en base seca para que sea aprovechable eficientemente en procesos de generación de energía por combustión [CASTELLS, 2012 y BARROSO, 2010] por lo que se hace inviable el uso de las cascaras de café y cacao, residuos de cosecha de frijol y tallos de tabaco para dichos procesos de aprovechamiento energético.

5.2.2 Extractivos orgánicos y acuosos

En la figura 4 se presentan los valores obtenidos para los extractos orgánicos y acuosos contenidos en las diferentes biomásas analizadas.

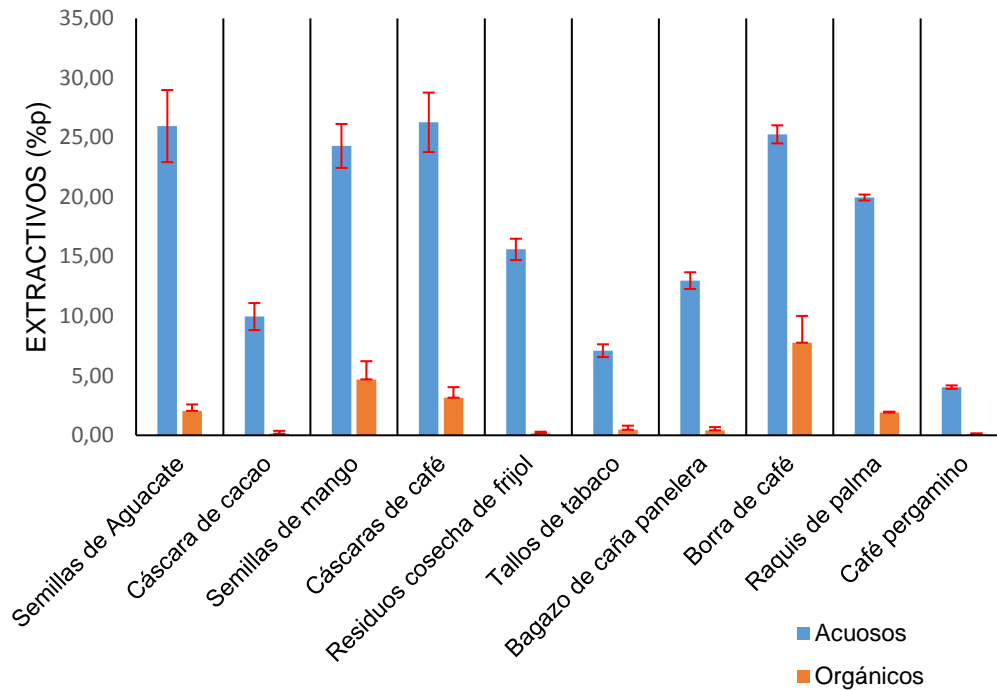


Figura 4. Resultados análisis extractivos acuosos y orgánicos.

Los porcentajes obtenidos son a simple vista más altos para los extractivos acuosos que para los orgánicos en todos los casos. Esto evidencia que los materiales lignocelulósicos analizados contienen un porcentaje más alto de extractivos acuosos (sales minerales, silicatos almidón entre otros) que de orgánicos como ácidos grasos, resinas taninos etc, esto se debe a la naturaleza de los residuos analizados los cuales son en su mayoría cáscaras, ramas y bagazo; de acuerdo con ABRIL y ABRIL, 2012, estos residuos no contienen una cantidad significativa de materia extractiva orgánica. Las cáscaras de café, semillas de mango, semillas de aguacate y borra de café presentaron los porcentajes de extractivos más altos tanto de orgánicos como de inorgánicos, dado que para el caso de las tres primeras, contienen trazas de pulpa o fruto los cuales son visibles en el momento de recolectar la biomasa, haciendo que aumenten los porcentajes de extractivos. La borra de café presentó un contenido de aproximadamente 8% de extractivos orgánicos, según URRIBARRI *et al.*, 2014, las borras contienen de 10 a 15%p de grasas y otros componentes orgánicos, lo

cual indica que el resultado no es muy alejado en relación con la literatura si se toma en cuenta que estos valores dependen de la variedad y uso del café.

5.2.3 Análisis holocelulosa, celulosa y lignina

Luego de la extracción de las sustancias minoritarias presentes en el material lignocelulósico, se continuó con la determinación de holocelulosa, alfacelulosa y lignina, de acuerdo a los protocolos y normas revisadas presentadas en la metodología y **ANEXO D**, obteniendo los resultados que se presentan en la figura 5.

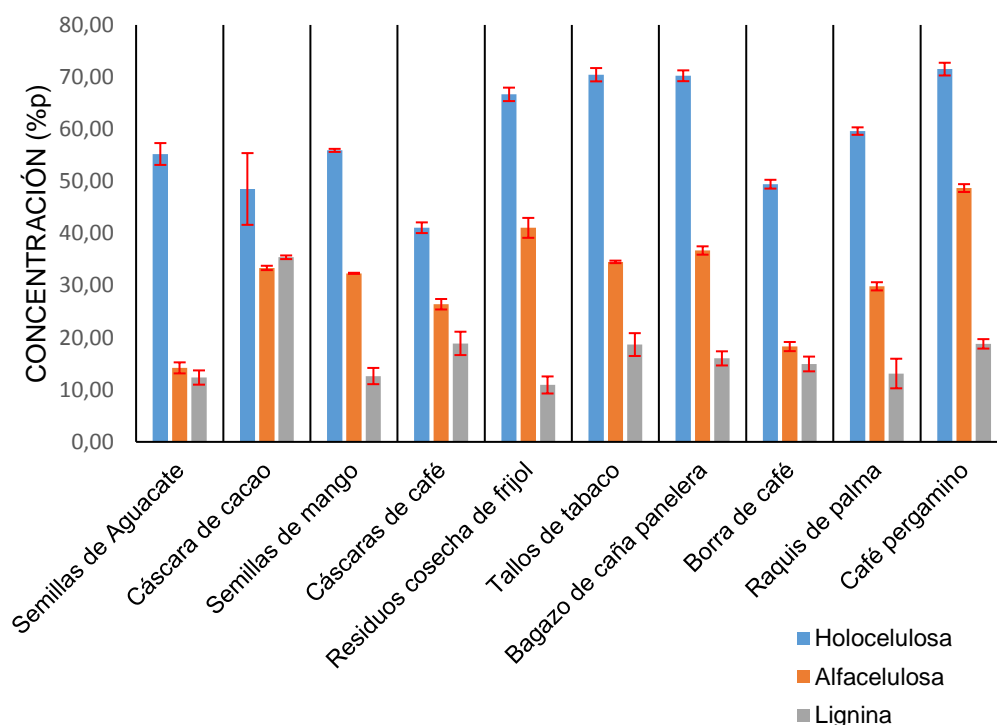


Figura 5. Resultados análisis lignocelulósico.

De estos resultados, se destacan los tallos de tabaco, bagazo de caña y el pergamino de café como los residuos con mayor contenido de Holocelulosa (superior al 70%) seguidos por el rastrojo de frijol que también presentó un porcentaje alto (66%). Sin embargo, algunos de los residuos mencionados presentan un contenido alto de alfacelulosa, haciendo que la cantidad de hemicelulosa presente (correspondiente a la diferencia entre holocelulosa y

alfacelulosa) no sea algo destacable, como por ejemplo el pergamino de café. Los tallos de tabaco, el bagazo de caña, las semillas de aguacate y la borra de café presentaron las concentraciones de hemicelulosa más altas, siendo en primera estancia las más promisorias para la producción de oligosacáridos.

Al comparar con la literatura, existen diferencias con respecto a los resultados reportados en la tabla 1 puesto que; los tallos de tabaco presentaron contenidos de alfacelulosa (34,5%) y de hemicelulosa (35,5%) diferentes a los reportados por AKPINAR *et al.*, 2009. Estas diferencias pueden darse por la variedad de la biomasa analizada o por diferencias en las normas que se siguieron al momento de realizar la caracterización. Sin embargo, respecto a la cantidad de lignina los resultados fueron muy cercanos al no presentar una diferencia mayor al 3%. El raquis de palma presentó un contenido de celulosa de 30%, un 14% menos que lo determinado por SABHA-HANIM *et al.*, 2011 pero en cuanto al contenido de hemicelulosa y lignina los resultados obtenidos son similares al no distar en más de 1% para ambas variables. Con relación al bagazo de caña, se alcanzaron resultados para alfacelulosa de 36% y 34% para la hemicelulosa, resultados que se diferencian en un 6% y 4% respectivamente con lo reportado por KNOB *et al.*, 2014, la borra de café también presenta diferencias considerables respecto a lo establecido por URRIBARRI *et al.*, 2014, al diferir en más del 8% para la hemicelulosa, alfacelulosa y lignina.

En general los contenidos de alfacelulosa, lignina y hemicelulosa resultantes se encuentran entre los valores establecidos para las paredes celulares vegetales, las cuales contienen principalmente 20-50%p en alfacelulosa, 15-35%p de hemicelulosa, y 10-30%p de lignina (sobre una base en peso seco) [FARINAS, 2015]. No obstante la cáscara de cacao presenta un contenido de lignina muy superior al antes mencionado, el cual al ser comparado con GÓMEZ y PARRA, 2013 da cuenta de una diferencia de casi un 10% respecto a esta variable y una diferencia del 12 % respecto al alfacelulosa, sin embargo el resultado obtenido para la hemicelulosa es muy similar al presentado por la literatura mencionada al

diferenciarse en menos del 1%. Las semillas de aguacate reportan datos por fuera de los límites establecidos tanto para celulosa como para hemicelulosa.

Las anteriores discrepancias entre los resultados obtenidos y la literatura citada se pueden atribuir a las condiciones de maduración y biodegradabilidad de los residuos en cuestión, tipo de cultivo, características del suelo o porque el método o norma que se siguió en la determinación de holocelulosa, alfacelulosa o lignina puede tener un margen alto de error cuando cambian ciertas condiciones de caracterización como el tamaño de partícula [HURTER, 2001]. Es por esto que se realizó el análisis de las concentraciones de azúcares mediante HPLC para comprobar los resultados obtenidos por estos métodos y dar lugar a una estimación más confiable.

En el **ANEXO G** se presenta el análisis de composición o balance de masa para la caracterización realizada mediante técnicas gravimétricas y HPLC, el cual sirve para constatar que no hayan errores significativos en el análisis, pues el consolidado de los porcentajes obtenidos para las diferentes características analizadas tiene que ser muy cercano al 100%, según la composición de materiales lignocelulósicos mostrada en la figura 1.

5.3 Resultados cuantificación de azúcares por HPLC

Los resultados obtenidos en la cuantificación de xilosa, arabinosa, grupo acetil y glucosa se reportan en la Figura 6.

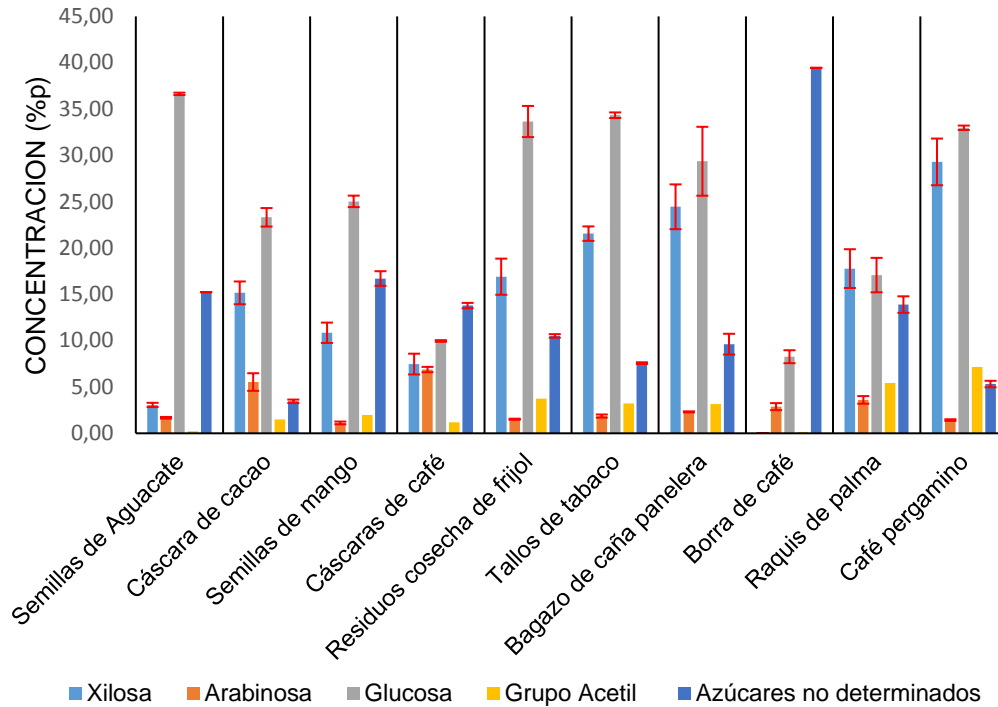


Figura 6. Resultados del análisis lignocelulósico por HPLC.

De los resultados obtenidos por HPLC se puede apreciar que la glucosa es el monosacárido que predomina en todas las biomásas, excepto para la borra de café y el raquis de palma. Esto se debe a que representa la totalidad de alfacelulosa o celulosa no degradada contenida en la biomasa, debido a la gran cantidad de glucosa que presentan residuos como semilla de aguacate, pergamino de café o los residuos de cosecha de frijol, pueden ser utilizados como materias primas en procesos de fermentación para generación de combustibles y/o energía [CEBALLOS y MONTTOYA, 2013]. En cuanto a la xilosa, los que tuvieron mayor contenido de este monosacárido fueron el café pergamino, el bagazo de caña y los tallos de tabaco, convirtiendo a estos residuos en potenciales materias primas en la obtención de **XOS**, mientras que las cáscaras de café, cáscaras de cacao y especialmente el raquis de palma son los que presentaron los valores más altos en cuanto a la cantidad de arabinosa contenida. Si además observamos la cantidad de residuo disponible, pueden ser biomásas promisorias respecto a la producción de **AOS**. Las concentraciones de grupos acetil fueron cuantificadas

para estimar la cantidad de hemicelulosa contenida en los residuos y poder comparar con los resultados obtenidos en la caracterización mediante métodos gravimétricos. La columna correspondiente a azúcares no determinados de la figura 6 representa la fracción de monosacáridos no identificados en el HPLC y su porcentaje se calculó con base en la suma de los componentes que si se determinaron como cenizas, extractivos acuosos, extractivos orgánicos y lignina.

La figura 7 muestra la cantidad de hemicelulosa y alfa-celulosa determinadas mediante HPLC.

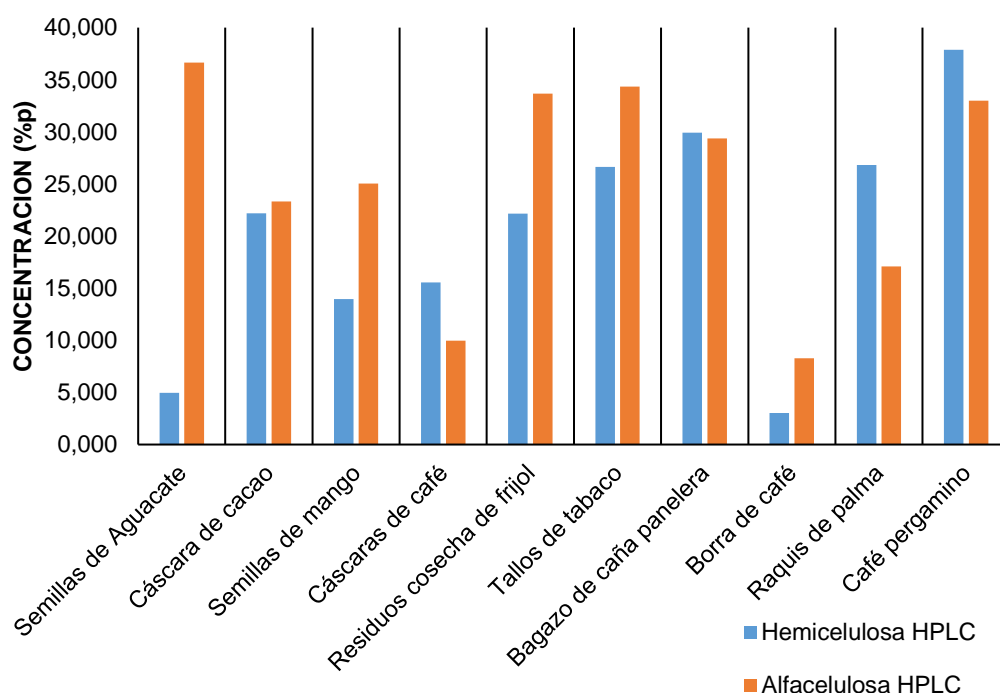


Figura 7. Resultados hemicelulosa y alfa-celulosa por HPLC.

Las diferencias son notables respecto a la literatura citada pues para los tallos de tabaco se obtuvieron resultados que al ser comparados con AKPINAR *et al.*, 2009, difieren en más del 6% tanto para la hemicelulosa como para el alfa-celulosa. Los resultados obtenidos para el bagazo de caña son similares en cuanto al contenido de hemicelulosa reportado por KNOB *et al.*, 2014 (30%) pero en la cantidad de alfa-celulosa hay una discrepancia del 10% menos que la reportada por dichos

autores. Las cascaras de cacao presentan un contenido similar de alfacelulosa al reportado por GÓMEZ y PARRA, 2012 (22%) pero respecto a la hemicelulosa se estimó una concentración de 22%, teniendo una diferencia de 6% sobre lo reportado en la tabla 1 para este residuo. El raquis de palma presenta marcadas diferencias con lo reportado por SABHA-HANIM *et al.*, 2011, dado que ellos establecen concentraciones de 44% y 15% para alfacelulosa y hemicelulosa respectivamente, para los resultados antes mencionados se tienen diferencias de 18% para la alfacelulosa y 13% para la hemicelulosa. Se debe tener en cuenta que los residuos analizados presentan diferencias en cuanto a tiempos de maduración y pretratamientos para la caracterización respecto a la literatura citada.

Comparando estos resultados con los estimados en la caracterización por métodos gravimétricos, solo se encuentran similitudes para la cantidad de hemicelulosa de las cascaras de cacao (15%) y para la alfacelulosa contenida en los tallos de tabaco (35%), todas las otras biomásas presentan diferencias sustanciales en cuanto a hemicelulosa y alfacelulosa (diferencias para todos los datos mayores a 8%). Dado que no se están caracterizando la totalidad de azúcares contenidos en las fracciones de hemicelulosa y alfacelulosa degradadas se presentan estas diferencias entre un método y otro, aunque también se pueden presentar por que la hemicelulosa forma con la lignina una compleja estructura molecular con uniones químicas que es imposible de aislar sin considerables modificaciones [CHÁVEZ y DOMINE, 2013], es por esto que en el proceso de determinación de holocelulosa, cuando la cantidad resultante es bastante alta para algunas biomásas, puede ser porque aún hay lignina presente en la muestra o si es bastante baja, puede ser que se perdiera parte de esta en el proceso de deslignificación, es decir que la concentración de holocelulosa, alfacelulosa y lignina no solo depende de la naturaleza del residuo sino también del método de extracción o aislamiento utilizado [HATFIELD y FUKUSHIMA, 2005].

En el caso de la borra de café es recomendable analizar su estructura de manera exhaustiva para encontrar alternativas de uso, que le permitan tener valor

agregado puesto que con los resultados obtenidos, no tiene un buen potencial para la producción de **XOS**, **AOS** o **FOS**.

5.4 Determinación del potencial de producción de oligosacáridos a partir de las biomásas seleccionadas:

Con los datos de la generación anual del residuo (Ver tabla 3) y los resultados obtenidos de la caracterización se cuantifico la cantidad potencial de monosacáridos de interés que pueden ser recuperados a partir de las biomásas analizadas para la producción de oligosacáridos. Dicho potencial corresponde al producto entre la cantidad de biomasa generada (en base seca) y el porcentaje en peso respectivo estimado para cada monosacárido. Los resultados se reportan en la figura 8, dicha figura se presenta en escala logarítmica puesto que las cantidades generadas de algunos residuos son muy grandes respecto a otros.

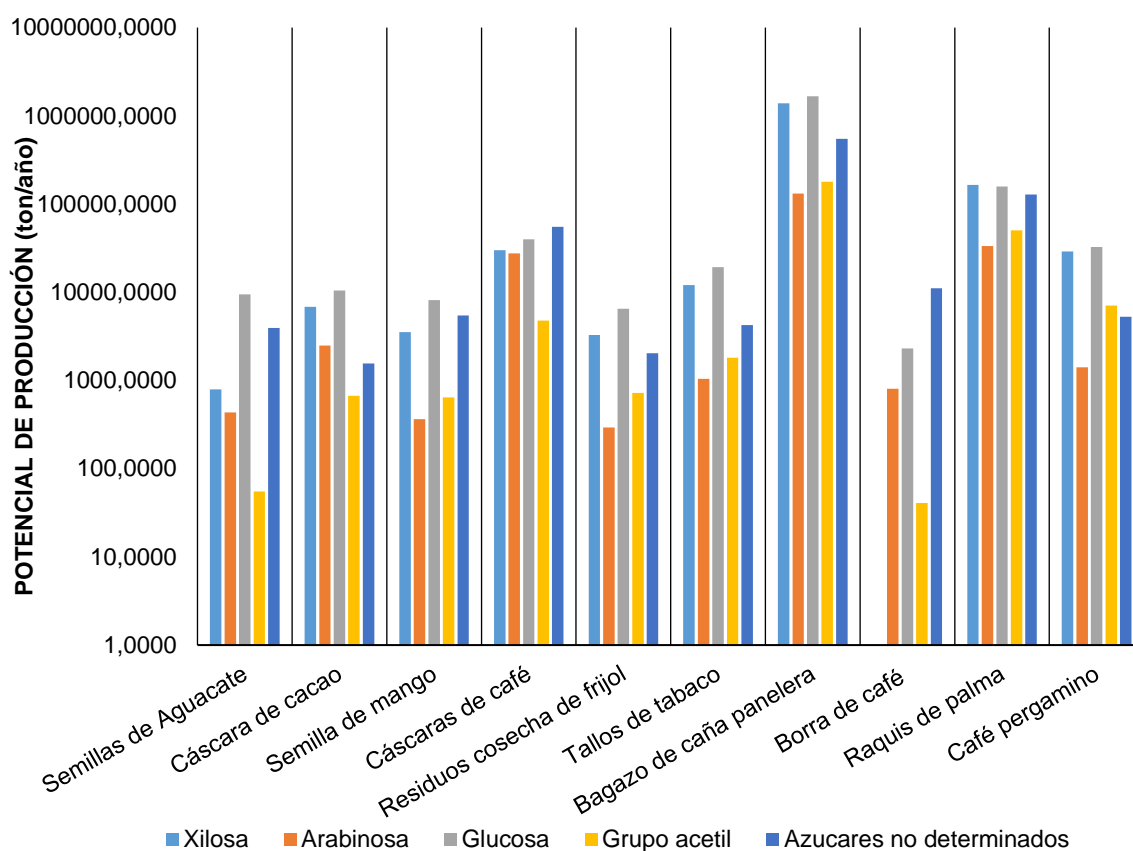


Figura 8. Potencial de producción oligosacáridos.

De la figura 8 se observa que las **cáscaras de café, bagazo de caña panelera y raquis de palma** son los residuos o materias primas que presentan mayor potencial de producción de oligosacáridos como **XOS** y **AOS** dado que tienen mayor cantidad de monosacáridos constituyentes (xilosa y arabinosa respectivamente) en ton/año. Estas 3 biomásas presentan además el mayor potencial de formación de **XOS** debido a su alto contenido de xilosa. Por otro lado los tallos de tabaco, las cáscaras de cacao y el pergamino de café presentan un potencial aceptable para formación de este oligosacárido, hecho que se debe destacar puesto que aunque la cantidad de residuo generado no es muy grande en comparación con la de los 3 residuos antes mencionados. Por otra parte la cascara de café y raquis de palma presentan un gran potencial de formación de **AOS** debido a su alto contenido de arabinosa.

Es importante mencionar que aunque otras biomásas como el pergamino de café y los tallos de tabaco, los cuales presentaron las concentraciones más altas de xilosa y que las cascara de cacao que reportaron concentraciones altas de arabinosa, no se destacaron dado que la cantidad de residuo generado predominó sobre la cantidad de monosacáridos que pudiesen presentar, siendo la cantidad de residuo generado el aspecto más influyente al momento de seleccionar los residuos con alto valor agregado.

Los resultados anteriores son de sumo interés, dado que en la actualidad se ha aumentado la utilización de prebióticos en alimentos y suplementos dietarios presentando además una doble utilidad para estas grandes industrias, puesto que además de aportar propiedades nutricionales confieren propiedades bifidogénicas y mejoran las condiciones organolépticas del vehículo o alimento en donde sean incluidos [MORALES-COELLER y VELEZ-RUIZ, 2013], por lo anterior encontrar posibles fuentes de prebióticos es una tarea fundamental para dichas industrias, pero encontrar posibles fuentes altamente renovables y de bajo costo como las cascara de café, raquis de palma y bagazo de caña representa una tarea aún más interesante no solo por el aprovechamiento del residuo sino por el alto valor agregado que toman.

6. CONCLUSIONES

- La cáscara de café, raquis de palma y en especial el bagazo de caña son los residuos agroindustriales que presentaron mayor potencial de formación de oligosacáridos, confirmando a Colombia como un país con un alto potencial de producción de OND a partir de residuos agroindustriales.
- La cantidad de residuo generado anualmente es el aspecto que tuvo mayor influencia sobre el potencial de producción de oligosacáridos para cada biomasa puesto que este se cuantificó en ton/año.
- Los tallos de tabaco, residuos de cosecha de frijol, cáscara de cacao y sobretodo el café pergamino presentaron concentraciones altas de xilosa (16-30%p), siendo bastante interesantes para un posible estudio de producción de oligosacáridos a pequeña o mediana escala.
- Las semillas de mango y aguacate presentaron valores bastante altos de glucosa respecto a otras biomásas analizadas, siendo muy útiles en estudios donde este monosacárido sea de suma importancia como por ejemplo en la producción de biocombustibles de segunda generación.
- Las cáscaras de café, de cacao, tallos de tabaco y los residuos de frijol contienen un porcentaje de cenizas que sobrepasa el 5% haciéndolos inviables para posibles procesos de aprovechamiento energético mediante combustión de combustión directa.

BIBLIOGRAFIA

ABRIL, D. Y ABRIL, A. Ethanol from lignocellulosic biomass. *Ciencia e Investigación Agraria*, 2009, 36[2]. p.177-190.

AKPINAR, O., ERDOGAN, K. & BOSTANCI, S. Production of xylooligosaccharides by controlled acid hydrolysis of lignocelulosic materials. *Carbohydr. Polym*, 2009. 44. p. 660-666.

ALVARADO, J. Situación actual y perspectivas de la cadena Productiva del Mango en Colombia. *Asohofrucol, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural*, 2012. p. 2-40.

ARIAS, J., RENGIFO, T. Y JARAMILLO, M. Manual Técnico: Buenas Prácticas Agrícolas [BPA] en la producción de frijol voluble. *Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria*, 2007. p. 29-48

AZEVEDO CARVALHO, A. F., DE OLIVA NETO, P., FERNANDES DA SILVA, D. & PASTORE, G. Xylo-oligosaccharides from lignocellulosic materials: Chemical structure, Health benefits and production by chemical and enzymatic hydrolysis. *Food Res. Int.* 51, 2013. p. 75-85.

BAENA, L. & GARCÍA, C. Obtención y caracterización de fibra dietaria a partir de cascarilla de las semillas tostadas de *Theobroma cacao L.* de una industria chocolatera colombiana [tesis de pregrado]. Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia, 2012. p. 15-25.

BARAZARTE, H., SANGRONIS, E. y UNAI, E. La cáscara de cacao (*Theobroma cacao L.*): una posible fuente comercial de pectinas. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 58[1], 2008. p. 64-70.

BARROSO, M. Pretratamiento de Biomasa Celulósica para la Obtención de Etanol en el Marco de una Biorrefinería [Tesis de grado]. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal. Madrid, España, 2010. p. 3-11.

CÁRDENAS-CORONEL, W., VÉLEZ-DE LA ROCHA, R., SILLER- CEPEDA, J., OSUNA-ENCISO, T., MUY-RANGEL, M. Y SANDUÑO-BARAJAS, J. [2012]. Cambios en la composición de almidón, pectinas y hemicelulosas durante la maduración de mango. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 18[1], 2012. p. 5-19.

CASTELLS X., Tratamiento y valorización energética de residuos. Edición Díaz de Santos S.A., 2012. p. 106-107.

CEBALLOS, A. y MONTOYA S. Evaluación química de la fibra en semilla, pulpa y cáscara de tres variedades de aguacate. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11[1], 2013. p.103-112.

CECODES. Cambiando el rumbo 2009: Casos de sostenibilidad en Colombia. [En línea]. Bogotá, Colombia. [Citado el 1 de Agosto de 2016]. Disponible en: <http://www.CECODES.org.co/descargas/casos_sostenibilidad/cambiandoelrumb o2009.pdf>.

CHÁVEZ, M. y DOMINE, M. Lignina, estructura y aplicaciones: Métodos de despolimerización para la obtención de derivados aromáticos de interés industrial. *Avances en Ciencias e Ingeniería*. 4[4], 2013. p. 15-46.

CRITTEDEN R. y PLAYNE M. Production, properties, and applications of food-grade oligosaccharides. *Trends Food Science & Technology*, 7[11], 1996. p. 353-361.

DELZENNE, N. y ROBERFROID, M. Physiological effects of non-digestible oligosaccharides. *LWT- Food Science and Technology*, 27[1], 1994. p. 1-6.

DEUTSCHMANN, R., y DEKKER, R. From plant biomass to bio-based chemicals. *Biotechnology Advances*, 30[6], 2012. p. 1627-1640.

EBRINGEROVA, A., HROMADKOVA, z. & HEINZE, T. HEMICELLULOSE. *Advances in Polymer. Scienci*. 2005. p. 186, 1-67

ESCALANTE, H., ORDUZ, J., ZAPATA, H., CARDONA, M. y DUARTE, M. Atlas del Potencial Energético de la biomasa Residual en Colombia. Ediciones UIS, 2010. p. 150-151.

EVTUGUIN, D. Characterization of an acetylated heteroxylan from *Eucalyptus globulus labill.* *Carbohydrate Research.* 338, 2010. p. 597-604.

FARINAS, C. Developments in solid-state fermentation for the production of biomass-degrading enzymes for the bioenergy sector. *Renewable & Sustainable Energy Reviews.* 52, 2015. p. 179-188.

GÓMEZ D, PARRA J. *Caracterización fisicoquímica de residuos agrícolas en Santander: "Cacao, Cítricos, Fique, Tomate"*. [Tesis de pregrado]. , Bucaramanga, Santander, Universidad Industrial de Santander, 2013. p. 25-28

GÓMEZ, L., CALDERÓN, W. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. *Alianza productiva de cacao en los municipios de Belalcazar y San José*, Departamento de Caldas, Colombia, 2007. 211.

GONZÁLES, J. Panorama de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia y en la Zona Norte del País: Situación actual, Retos y Perspectivas. *Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite, Fedepalma*, 2013. p. 3-47.

GRIMM, A., BONELLI, P. y CUKIERMAN, A. Degradación termica de mezclas de residuos plasticos y lignocelulosicos: caracterización cinética. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente.* 5, 2001. p. 25-30.

HATFIELD R.D. y FUKUSHIMA R.S. Can lignin be accurately measured?. *Crop Science*, 45, 2005. p. 832 – 839.

HURTER, W.R. Nonwood plant fiber uses in papermaking. HURTER Consult Incorporated. Extracted from "Agricultural Residues", Tappi. 1997. Non wood fibers short course notes, updated and expanded, 2001. p. 1-6.

JAIN, I., KUMAR, V., & SATYANARAYANA, T. Xylooligosaccharides: an economical prebiotic from agroresidues and their health benefits. *Indianan Journal of Experimental Biology.* 53[3], 2015. p. 131-142.

JUNGUITO, R., PERFETTI, J.J. & BECERRA, A. [En línea]. Desarrollo de la agricultura colombiana. FEDESARROLLO, Rep. N° 48, *Cent. Investig. Económica*

y soc. (La imprenta editores S.A., 2014). [Citado el 1 de Agosto de 2016]. Disponible En: <<http://hdl.handle.net/11445/51>>.

KLAGES, F. *Tratado de Química Orgánica* [Tomo III]. Zaragoza España: Editorial Reverté S.A., 1968. p. 320-322.

KNOB, A., FORTCAMP, D., PROLO, T., IZIDORO, S.C. & ALMEIDA J.M. Agro-residues as alternative or xylanase production by filamentous fungi. *Bioresources*. 9, 2014. p. 5738-5773.

LOEZA-CORTE, J., VERDE-CALVO, J., CRUZ-SOSA, F., VERNON-CARTER, E. y HUERTA- OCHOA, S. Producción de L-arabinosa a partir de la hidrólisis de la goma de mezquite por un extracto crudo con actividad α -L- arabinofuranosidasa de *Aspergillus niger*. *REVISTA MEXICANA DE INGENIERÍA QUÍMICA*. 6[3], 2007. p. 259-265.

MARQUES, G. *Valorización de diferentes cultivos lignocelulósicos para la fabricación de pasta de papel: Caracterización química, modificación estructural de sus constituyentes orgánicos durante los procesos de cocción y blanqueo y aplicaciones biotecnológicas* [Tesis Doctoral]. Universidad de Sevilla, Sevilla, España, 2010. p. 5-20.

MARTÍNEZ, G. Panorama de la agroindustria palmera-retos y oportunidades. *Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite, Fedepalma*, 2013. p. 4-66.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. *Agronet*. [Citado el 1 de Agosto de 2016] Disponible en: <www.agronet.gov.co>.

MINISTERIO DE COMERCIO, INDUSTRIA Y TURISMO, MINCIT. Departamento de Santander. *Oficina de Estudios Económicos*, 2013. p. 1-32.

MINISTERIO DE COMERCIO, INDUSTRIA Y TURISMO. *Perfil económico: Departamento de Santander*, 2011. p. 1-23.

MONSALVE, J., MEDINA, V. y RUIZ, A. Producción de etanol a partir de la cáscara de banano y de almidón de yuca. *Dyna*. 73[150], 2006. p. 21-27.

MONTILLA, J., ARCILA, J., ARISTIZÁBAL, M., MONTOYA, E., Puerta, G., OLIVEROS, C., y CADENA, G. Caracterización de algunas propiedades físicas y factores de conversión del café durante el proceso de beneficio húmedo tradicional. *Centro Nacional de Investigaciones de Café. Cenicafé*. 59[2], 2008. p.120-142.

MORALES, S. *Hidrólisis ácida de celulosa y biomasa lignocelulósica asistida con líquidos iónicos* [Tesis Doctoral]. Instituto de Catálisis y Petroleoquímica. Universidad Autónoma de Madrid. Madrid, España, 2015. p. 19-36.

MORALES-KOELLIKER, D. Y VÉLEZ-RUÍZ, J.F. [2013]. Prebióticos: su importancia en la salud humana y propiedades funcionales en tecnología de alimentos. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos, México*. 7[1], 2013. p. 12-24.

NABARLATZ, D., EBRINGEROVÁ, A., & MONTANÉ, D. Autohydrolysis of agricultural by-products for the production of xylo-oligosaccharides. *Carbohydr. Polym.* 69, 2007. p. 20-28.

NABARLATZ, D., FARRIOL, X. & MONTANÉ, D. Autohydrolysis of Almond Shells for the Production of Xylo-oligosaccharides: Product Characteristics and Reaction Kinetics. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 44[20], 2005. p. 7746-7755.

NOGUES, F., GARCIA, D. y REZEAU, A. Energía de la biomasa. *Prensa universitaria de Zaragoza*. 1, 2010. p. 44-45.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. Probióticos en los alimentos: Propiedades saludables y nutricionales y directrices para la evaluación. *ESTUDIO FAO ALIMENTACIÓN Y NUTRICIÓN*. 85, 2006. p. 1-52.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. Los carbohidratos en la nutrición humana. *ESTUDIO FAO ALIMENTACIÓN Y NUTRICIÓN*. 66, 1997. p. 86-90.

OTIENO, D., y AHRING, B. The potential for oligosaccharide production from the hemicellulose fraction of biomasses through pretreatment processes: xylooligosaccharides [XOS], arabinooligosaccharides [AOS] and mannoooligosaccharides [MOS]. *Carbohydrate Research*, 2012. p. 84-92.

PÉREZ-CONESA, D., LÓPEZ, G. y ROS, G. [2004]. Principales prebióticos y sus efectos en la alimentación humana. *Nutrición y Bromatología, Facultad de Veterinaria, Universidad de Murcia, Campus de Espinardo*. 20, 2004. p. 5-20.

PLAN DE NEGOCIOS DE AGUACATE. *Programa de Transformación Productiva, Asohofrucol*, 2013. p. 5-40.

RAMÍREZ, K., ROJAS, O., ALVARADO, P. Y VEGA, J. Obtención de xilosa a partir de desechos lignocelulósicos de la producción y proceso industrial de la piña [*Ananascomusus*]. *UNICIENCIA*. 26, 2012. p. 75-89.

SABHA-HANIM, S., NOOR, M. A. M. & ROSMA, A. Effect of autohydrolysis and enzymatic treatment on oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq) frond fibres for xylose and xylooligosaccharides production. *Bioresour. Technol.* 102, 2011. p. 1234-1239.

SÁNCHEZ, A., GUTIÉRREZ, A., MUÑOZ, J., y RIVERA, C. Producción de bioetanol a partir de subproductos agroindustriales lignocelulósicos. *REVISTATUMBAGA*. 1[5], 2010. p. 61-91.

SEYMOUR, R. CARRAHER, C. *Introducción a la química de los polímeros*. Barcelona España: Editorial Reverté S.A., 1995. p. 483-486.

SLUITER, A., HAMES, B., RUIZ, R., SCARLATA, C., SLUITER, J., TEMPLETON, D & CROCKER, D. Determination of structural carbohydrates and lignin in biomass. *NREL*, 2012. p. 4-13.

SUAREZ, J. *Aprovechamiento de los residuos sólidos provenientes del beneficio del café, en el municipio de Betania Antioquia: Usos y aplicaciones* [Tesis de especialización]. Corporación Universitaria Lasallista, Caldas, Antioquia, 2012. p. 15-24

TUZZIN, G., GODINHO, M., DETTMER, A., y ZATTERA, A. Nanofibrillated cellulose from tobacco industry wastes. *Carbohydrate Polymers*, 2016. p. 69-77

URRIBARRÍ, A., ZABALA, A., SÁNCHEZ, J., ARENAS, E., CHANDLER, C., RINCÓN, M., GONZÁLES, E. y AIELLO, C. Evaluación del potencial de la borra de café como materia prima para la producción de biodisel. *MULTICIENCIAS*. 14[2], 2014. p. 129-139.

ANEXOS

ANEXO A. Distribución de la producción agrícola en el Departamento de Santander

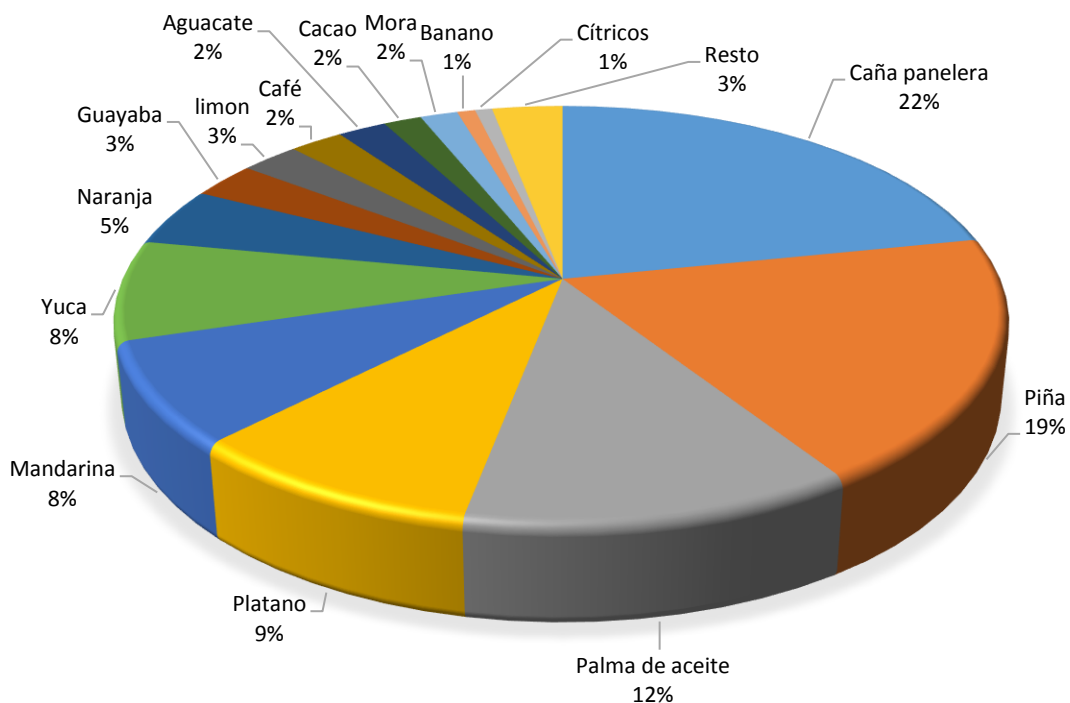


Figura A1. Distribución porcentual del total de la producción en cultivos permanentes en Santander.

Fuente: Ministerio de comercio, industria y turismo, 2013

Referencias:

MINISTERIO DE COMERCIO, INDUSTRIA Y TURISMO, MINCIT. Departamento de Santander. *Oficina de Estudios Económicos*, 2013. p. 1-32.

Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. *Perfil económico: Departamento de Santander*, 2011. p. 1-23.

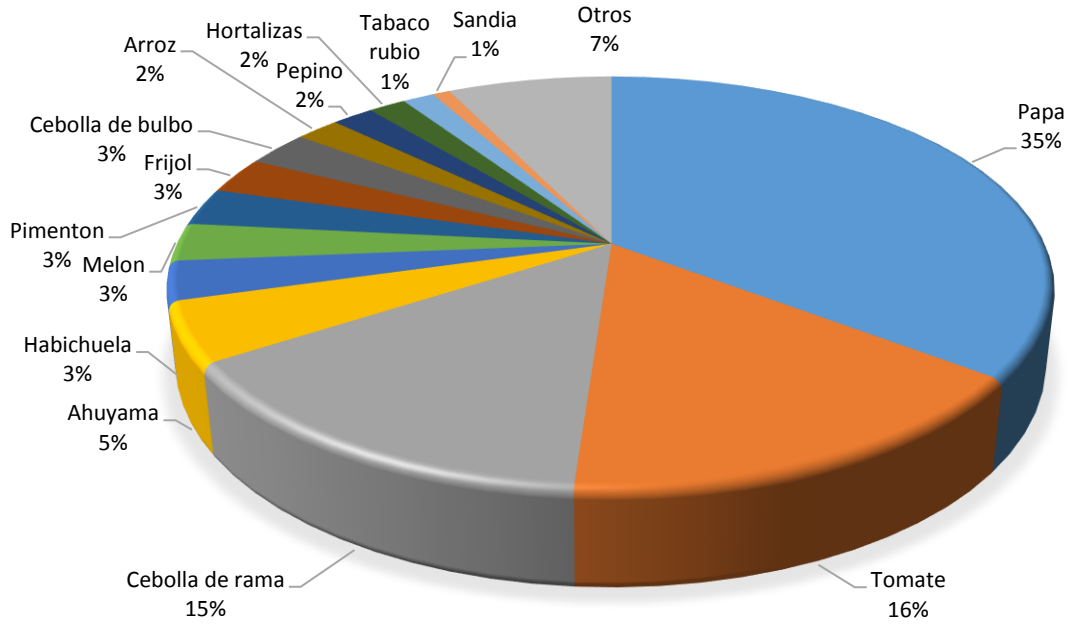


Figura A2. Distribución porcentual del total de la producción en cultivos transitorios en Santander.

Fuente: Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, 2013

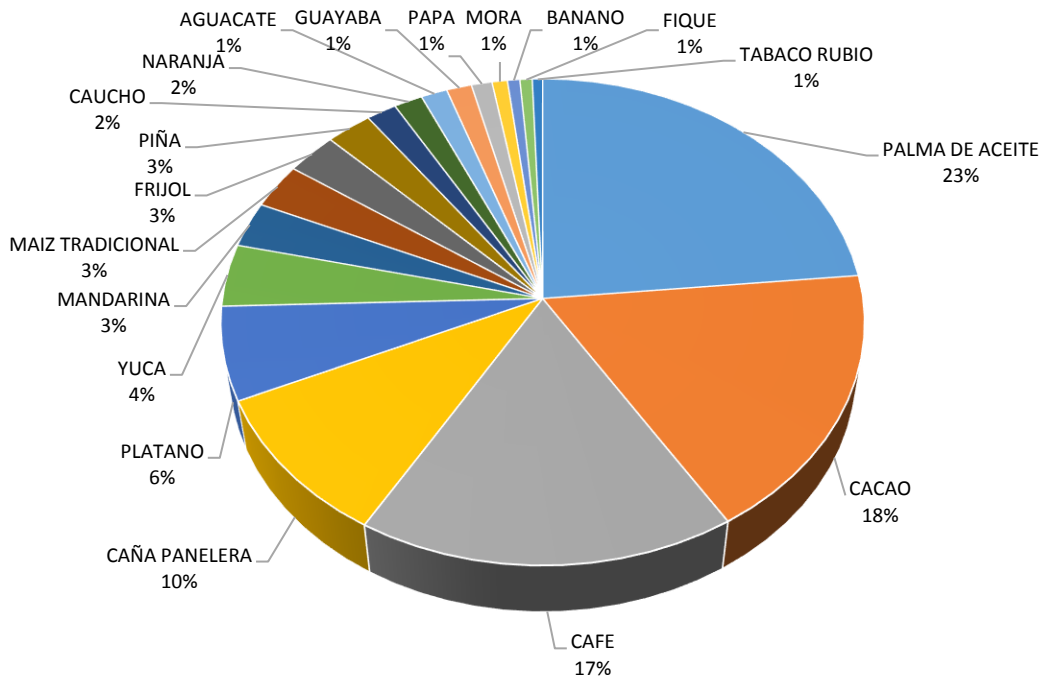


Figura A3. Distribución porcentual por cultivo del área cosechada en el departamento de Santander.

Fuente: Ministerio de agricultura, 2013

ANEXO B. Generalidades de los cultivos seleccionados.

Aguacate [<i>Persea Americana</i>]		
<p>Es un árbol de hoja perenne que puede llegar a tener casi 20 metros de altura, para su mayor sanidad y desarrollo radicular un suelo permeable y profundo, franco-arenoso, en lo posible sin presencia de calcáreos ni cloruros, la siembra se debe realizar en zonas ni inundables ni propensas al encharcamiento puesto que el exceso de humedad afecta negativamente la planta. Respecto al clima, se deben evitar climas helados ya que estos afectan la floración y si son muy intensos pueden llegar a afectar la planta.</p>		
Variedad	Papelillo	
origen	México y Guatemala	
Residuos generados en el proceso de beneficio	Residuo	Material lignocelulósico
	Semilla	✓
Tipo de cultivo	Permanente	



Tabla B1. Generalidades cultivo de aguacate.
Fuente: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural

Cacao [<i>Theobroma cacao</i>]		
<p>Árbol de tamaño mediano [5-8 m] aunque puede alcanzar alturas de hasta 20 m cuando crece libremente bajo sombra intensa. Los factores climáticos críticos para el desarrollo del cacao son la temperatura y la lluvia. A estos se le unen el viento y la luz o radiación solar. La humedad relativa también es importante ya que puede contribuir a la propagación de algunas enfermedades del fruto. Estas exigencias climáticas han hecho que el cultivo de cacao se concentre en las tierras bajas tropicales</p>		
Variedad	-	
Origen	Zona tropical americana	
Residuos generados en el proceso de beneficio	Residuo	Material lignocelulósico
	Cascara	✓
	Pulpa	X
Tipo de cultivo	Permanente	



Tabla B2. Generalidades cultivo de cacao.
Fuente: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural


Mango [<i>Mangifera indica</i> L.]			
El mango típico constituye un árbol de tamaño mediano, de 10-30 m de altura. Los mangos de tipo indio son monoembrionicos y de ellos derivan la mayoría de los cultivares comerciales y su peso varía desde 150 g hasta 2 kg. El mango es más susceptible a los fríos que el aguacate y resiste mejor los vientos que éste. El mango prospera muy bien en un clima donde las temperaturas sean entre 10 y 30 °C.			
Variedad	-		
Origen	Antigua India		
Residuos generados en el proceso de beneficio	Residuo		Material lignocelulósico
	Semilla		✓
Tipo de cultivo	Permanente		

Tabla B3. Generalidades cultivo de mango.
Fuente: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural


Café [<i>Coffea Arabica</i> L.]			
Se trata de un arbusto o árbol pequeño liso, de hojas lustrosas. Las hojas son relativamente pequeñas, pero varían en anchura, promediando de 12-15 cm de largo y más o menos 6 cm de ancho. El café se cultiva en lugares con una precipitación que varía desde los 750 mm anuales [7.500 m ³ /ha] hasta 3000 mm [30.000 m ³ /ha], el mejor café se produce en aquellas áreas que se encuentran en altitudes de 1200 a 1700 metros. Se puede decir que el cultivo requiere una lluvia [o riego] abundante y uniformemente distribuida desde comienzos de la floración hasta finales del verano para favorecer el desarrollo del fruto y de la madera			
Variedad	Arábica		
Origen	Etiopia		
Residuos generados en el proceso de beneficio	Residuo		Material lignocelulósico
	Cascara		✓
	Pulpa		X
	Mucilago		X
	Pergamino		✓
	Borra	✓	
Tipo de cultivo	Permanente		

Tabla B4. Generalidades cultivo de café.
Fuente: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural

Frijol [Phaseolus Vulgaris]		
<p>Es un cultivo anual, herbáceo y trepador de tallo pubescente o glabrescente con el tiempo. El cultivo necesita entre 300 a 400 mm de lluvia. La falta de agua durante las etapas de floración, formación y llenado de vainas afecta seriamente el rendimiento. El exceso de humedad afecta el desarrollo de la planta y favorece el ataque de gran número de enfermedades. Se debe evitar sembrar en suelos ácidos, con contenidos altos en manganeso y aluminio y bajos en elementos menores. El pH óptimo para frijol está comprendido entre 6,5 y 7,5 aunque es tolerante a pH entre 4,5 y 8,2.</p>		
Variedad	-	
Origen	Sur de Mexico y Guatemala	
Residuos generados en el proceso de beneficio	Residuo	Material lignocelulósico
	Rastrojo [Ramas, Cascaras, etc.]	✓
Tipo de cultivo	Transitorio	



Tabla B5. Generalidades cultivo de frijol.
Fuente: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural

Caña panelera [Saccharum officinarum L]		
<p>Es una planta cespitosa con tallos de hasta 5 ó 6 m x 2-5 cm, Las hojas de la planta de caña, son la fábrica donde las materias primas: agua, dióxido de carbono y nutrientes, se convierten en carbohidratos bajo la acción de la luz del sol. La caña de azúcar es un cultivo de clima cálido [tropical y sub-tropical] que requiere temperatura atmosférica alta, humedad atmosférica elevada y lluvias abundantes, sobre todo en la etapa de crecimiento. El cultivo tolera clima relativamente variado, encontrándose una exigencia diferente entre la fase de crecimiento y maduración. Se observa una interrupción de su crecimiento con temperatura fría y extremadamente alta y seca.</p>		
Variedad	-	
Origen	Sureste Asiático y nueva Guinea	
Residuos generados en el proceso de beneficio	Residuo	Material lignocelulósico
	Hojas	✓
	Bagazo	✓
Tipo de cultivo	Transitorio	



Tabla B6. Generalidades cultivo de Caña de azúcar.
Fuente: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural

Tabaco [<i>Nicotiana Tabacum</i>]		
<p>El tabaco es una planta dicotiledónea y vivaz, que rebrota al cortarse. La temperatura óptima del cultivo varía entre 18-28°C. Durante su fase de crecimiento en semillero, requieren temperaturas superiores a los 16°C, y desde el trasplante hasta la recolección se precisa un periodo libre de heladas de 90-100 días. El tabaco es muy sensible a la falta o exceso de humedad. Una humedad elevada en el terreno produce un desarrollo pobre y, en general, es preferible un déficit a un exceso de agua. El pH más apropiado es de neutro a ligeramente ácido, para los tabacos de hoja clara o rubio.</p>		
Variedad	Rubio	
Origen	Zona tropical del continente Americano	
Residuos generados en el proceso de beneficio	Residuo	Material lignocelulósico
	Tallos	✓
Tipo de cultivo	Transitorio	



Tabla B7. Generalidades cultivo de tabaco.
Fuente: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural

Palma Africana [<i>Elaeis guineensis</i>]		
<p>Es una palmera monoica con tronco erecto solitario que puede alcanzar más de 40 m de altura en estado natural. En cultivos industriales para la obtención de aceite su altura se limita a los 10-15 m. Sus frutos son drupas de forma ovoide, de 3-6 cm de largo y con un peso de 5-12 g aproximadamente. Están dispuestos en racimos con brácteas puntiagudas [raquis], son de color rojizo y alcanzan hasta los 4 cm de diámetro. Presentan una piel (exocarpio) lisa y brillante, una pulpa o tejido fibroso [mesocarpio] que contiene células con aceite, una nuez o semilla [endocarpio] compuesta por un cuesco lignificado y una almendra aceitosa o palmiste (endospermo).</p>		
Variedad	-	
Origen	Golfo de Guinea	
Residuos generados en el proceso de beneficio	Residuo	Material lignocelulósico
	Raquis	✓
	Fibra	X
	Cuesco	✓
Tipo de cultivo	Permanente	



Tabla B8. Generalidades cultivo de palma de aceite.
Fuente: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural

Referencia: MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. *Agronet*.
[Citado el 1 de Agosto de 2016] Disponible en: <www.agronet.gov.co>.

ANEXO C. Procedencia de Biomosas seleccionadas.

Tabla C1. Procedencia de las muestras de biomasa seleccionada en este estudio.

BIOMASA RESIDUAL	PROCEDENCIA
Semillas de aguacate	Plazas de mercado locales
Semilla de mango	Plaza de mercado - San Gil
Tallos de tabaco	Finca La Cañada - San Gil
Raquis de palma	Cultivo industrial - Rionegro
Residuos cosecha de frijol	Finca El Potrerito - San Gil
Bagazo de caña panelera	Finca El Potrerito - San Gil
Borra de café	Café Sello Rojo [Tradicional]
Cascaras de café	Finca Gibraltar - San gil
Café pergamino	Finca Gibraltar - San gil
Cascara de cacao	Finca Gibraltar - San gil

ANEXO D. Métodos Analíticos.

Tabla D1. Técnicas de análisis utilizadas.

ANALISIS	VARIABLE	TECNICA	NORMA O REFERENCIA	LABORATORIO
HUMEDAD Y CENIZAS	Humedad	Análisis termo gravimétrico	ASTM D7582-10	PTG- INTERFASE
	Cenizas			
ANALISIS LIGNOCELULÓSICO	Extractivos orgánicos	Extracción soxhlet	ASTM D1110-56(77)	
	Extractivos acuosos	Extracción soxhlet	ASTM D1110-56(77)	
	Holocelulosa	Extracción con NaClO ₂ y CH ₃ COOH	Evtuguin, 2003 y Marques, 2010	
	Alfacelulosa	Tratamiento alcalino	ASTM D1103-60(77)	
	Lignina	hidrolisis ácida	ASTM D1106-96(2007)	

Tabla D2. Especificaciones análisis HPLC.

ANALISIS	DESCRIPCION	NORMA	EQUIPO UTILIZADO	LABORATORIO
CROMATOGRAFIA LIQUIDA DE ALTO RENDIMIENTO (HPLC)	Se prepara una fase móvil con una concentración de 5 µL de ácido sulfúrico y se ajusta el equipo para su uso. El equipo consta de un desgasificador [1], una bomba de alta presión [2], un inyector [3], un detector [4] y un registrador [5].	NREL/TP-510-42618	<ol style="list-style-type: none"> 1. Prominence degasse DGU-20A3. 2. Prominence liquid chromatograph UTLC Shimadzu LC20AD. 3. Prominence autosampler shimadzu. SIL-20A HT 4. Refractive index detector: RID-10^a 5. Prominence column oven: CTO-20AC 	108 (I.Q.)

Referencia:

SLUITER, A., HAMES, B., RUIZ, R., SCARLATA, C., SLUITER, J., TEMPLETON, D & CROCKER, D. Determination of structural carbohydrates and lignin in biomass. *NREL*, 2012. p. 4-13.

ANEXO E. Curvas de calibración HPLC

Las curvas de calibración se obtuvieron analizando en HPLC soluciones a diferentes concentraciones del compuesto de interés siguiendo el reporte técnico NREL/TP-510-42618 emitido por el Laboratorio Nacional de Energías Renovables de U.S [Sluiter *et al.*, 2012].

CURVA DE CALIBRACIÓN DE LA GLUCOSA:

- Tiempo de retención [min]: 9,09

Tabla E1. Datos curva de calibración de la glucosa.

Concentración mg/mL	Área bajo el pico
0,1	14310
1	528082
4	1203689
8	2953100

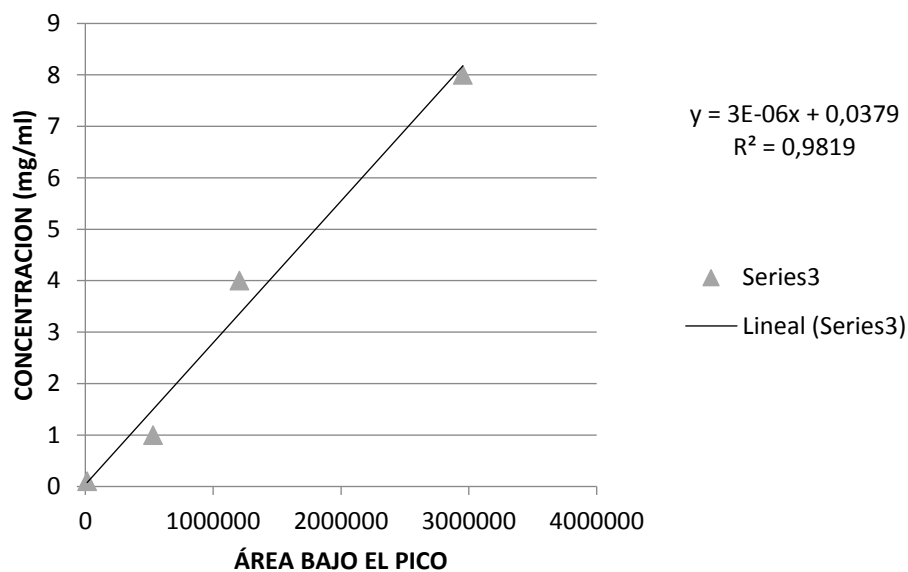


Figura E1. Recta de calibración para la glucosa.

CURVA DE CALIBRACIÓN DE LA XILOSA:

- Tiempo de retención [min]: 9,75

Tabla E2. Curva de calibración de la xilosa

Concentración mg/mL	Área bajo el pico
0,1	23238
1	479591
2	698861
4	1273105
8	2940756

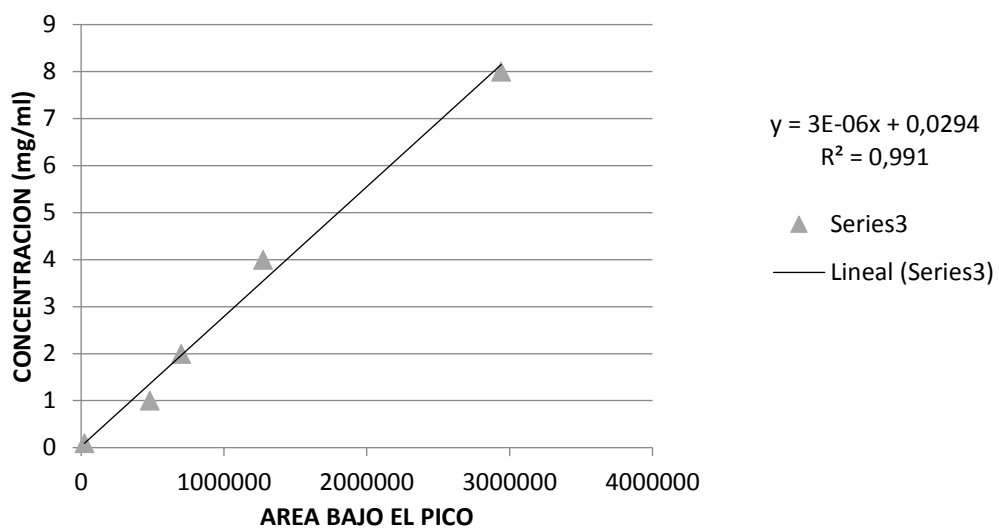


Figura E2. Recta de calibración para la xilosa.

CURVA DE CALIBRACIÓN DE LA ARABINOSA:

- Tiempo de retención [min]: 10,55

Tabla E3. Datos curva de calibración de la arabinosa

Concentración mg/mL	Área bajo el pico
0,2	87700
1	227202
4	1427622
8	2600094

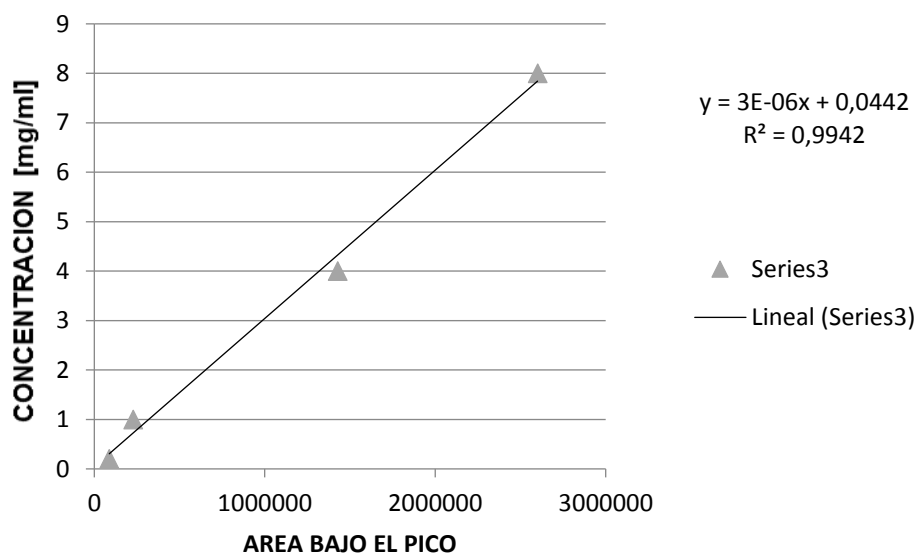


Figura E3. Recta de calibración para la arabinosa.

CURVA DE CALIBRACIÓN ÁCIDO ACÉTICO:

Tiempo de retención [min]: 14,8

Tabla E4. Datos curva de calibración ácido acético

Concentración mg/mL	Área bajo el pico
0,2	66439
1	206729
4	606549
8	1437539

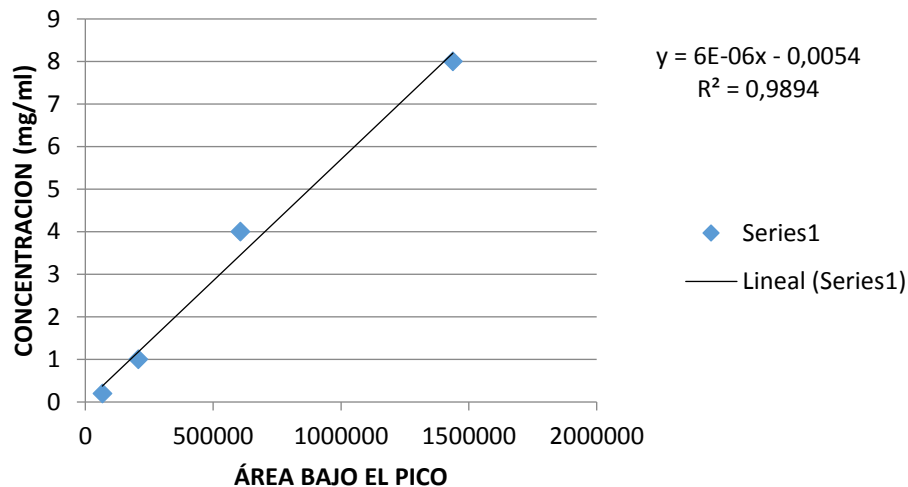


Figura E4. Recta de calibración ácido acético.

Referencia:

SLUITER, A., HAMES, B., RUIZ, R., SCARLATA, C., SLUITER, J., TEMPLETON, D & CROCKER, D. Determination of structural carbohydrates and lignin in biomass. *NREL*, 2012. p. 4-13.

ANEXO F. Resultados caracterizaciones.

A continuación se presentan los resultados obtenidos a lo largo de la caracterización, las pruebas se realizaron por triplicado:

Tabla F1. Lista de abreviaciones para las biomásas analizadas.

BIOMASA	ABREVIACIÓN
Semillas de aguacate	SA
Cáscara de cacao	CC
Semillas de mango	SM
Cáscaras de café	CCA
Residuos cosecha de frijol	RF
Tallos de Tabaco	TT
Bagazo de caña panelera	RC
Borra de café	CS
Raquis de palma	RP
Pergamino de café	CP

Tabla F2. Resultados análisis de humedad.

Muestra	Masa vaso [g]	Masa vaso + muestra [g]	Masa muestra [g]	Masa seca [g]	%p humedad	Desv. Estandar
SA1	49,9586	52,0249	2,0663	51,8272	9,57	0,06
SA2	50,7918	52,807	2,0152	52,6122	9,67	
SA3	51,438	53,4273	1,9893	53,2373	9,55	
Promedio:					9,60	
CC1	32,6776	34,5873	1,9097	34,3598	11,91	0,18
CC2	34,9191	36,8272	1,9081	36,5992	11,95	
CC3	32,3495	34,3489	1,9994	34,1165	11,62	
Promedio:					11,83	
SM1	49,9566	51,9546	1,998	51,7887	8,30	0,08
SM2	50,7895	52,9054	2,1159	52,7323	8,18	
SM3	51,4368	53,4657	2,0289	53,2969	8,32	
Promedio:					8,27	
CCA1	32,6853	34,6802	1,9949	34,535	7,28	0,04
CCA2	34,9179	36,9139	1,996	36,7685	7,28	
CCA3	32,35	34,3845	2,0345	34,2377	7,22	
Promedio:					7,26	
RF1	32,6847	34,6766	1,9919	34,512	8,26	0,05
RF2	34,9152	36,9372	2,022	36,7687	8,33	

RF3	32,3541	34,3618	2,0077	34,1939	8,36	
					Promedio:	8,32
TT1	49,9544	51,967	2,0126	51,8086	7,87	0,09
TT2	50,7907	52,7415	1,9508	52,5878	7,88	
TT3	51,439	53,4437	2,0047	53,2826	8,04	
					Promedio:	7,93
RC1	32,6792	34,7735	2,0943	34,6449	6,14	0,10
RC2	34,9158	36,9052	1,9894	36,7821	6,19	
RC3	32,3499	34,4682	2,1183	34,3339	6,34	
					Promedio:	6,22
CS1	32,348	34,3482	2,0002	34,2753	3,64	0,10
CS2	32,6791	34,6856	2,0065	34,6121	3,66	
CS3	46,8296	48,8304	2,0008	48,7608	3,48	
					Promedio:	3,60
RP1	51,4237	53,4894	2,0657	53,4578	1,53	0,07
RP2	31,1452	33,1936	2,0484	33,1624	1,52	
RP3	31,3416	33,3899	2,0483	33,3611	1,41	
					Promedio:	1,49
CP1	51,424	53,4646	2,0406	53,433	1,55	0,03
CP2	31,1466	33,1605	2,0139	33,1298	1,52	
CP3	31,3426	33,3776	2,035	33,3452	1,59	
					Promedio:	1,56

Tabla F3. Resultados análisis de cenizas.

Muestra	Masa crisol [g]	Masa crisol + muestra [g]	Masa muestra [g]	Masa sin humedad [g]	Masa final [g]	%p Cenizas	Desv. Estandar
SA1	19.5321	21.6283	2.0962	1.8951	19.5856	2.82	0.05
SA2	19.2644	21.2792	2.0148	1.8215	19.3166	2.87	
SA3	30.3391	32.3505	2.0114	1.8184	30.3893	2.76	
						Promedio:	2.82
CC1	19.5292	21.6134	2.0842	1.8377	19.6341	5.71	0.19
CC2	19.2657	21.478	2.2123	1.9506	19.3697	5.33	
CC3	30.3378	32.3932	2.0554	1.8123	30.438	5.53	
						Promedio:	5.52
SM1	19.5327	21.6051	2.0724	1.9011	19.5849	2.75	0.09
SM2	19.2661	21.3861	2.12	1.9447	19.3196	2.75	
SM3	30.3393	32.4189	2.0796	1.9077	30.3887	2.59	
						Promedio:	2.70
CCA1	19.523	21.6493	2.1263	1.9719	19.7833	13.20	0.48

CCA2	19.2624	21.3591	2.0967	1.9445	19.502	12.32	
CCA3	30.3362	32.3862	2.05	1.9012	30.5724	12.42	
Promedio:						12.37	
RF1	19.5346	21.6003	2.0657	1.8938	19.661	6.67	0.29
RF2	19.2661	21.2513	1.9852	1.8200	19.3981	7.25	
RF3	30.3384	32.3941	2.0557	1.8847	30.4697	6.97	
Promedio:						6.96	
TT1	19.538	21.548	2.01	1.8506	19.6202	4.44	0.69
TT2	19.2667	21.2997	2.033	1.8718	19.3679	5.41	
TT3	30.3423	32.345	2.0027	1.8439	30.449	5.79	
Promedio:						5.21	
RC1	19.5379	21.5537	2.0158	1.8904	19.5725	1.83	0.25
RC2	19.2689	21.2716	2.0027	1.8781	19.3036	1.85	
RC3	30.3434	32.367	2.0236	1.8977	30.37	1.40	
Promedio:						1.69	
CS1	19.5321	21.6306	2.0985	2.0230	19.5599	1.37	0.09
CS2	19.2668	21.3638	2.097	2.0216	19.2918	1.24	
CS3	30.3395	32.5315	2.192	2.1132	30.3652	1.22	
Promedio:						1.28	
RP1	19.5351	21.548	2.0129	1.9830	19.6797	7.29	0.15
RP2	24.0031	26.0271	2.024	1.9939	24.1492	7.33	
RP3	30.3416	32.3919	2.0503	2.0198	30.4842	7.06	
Promedio:						7.23	
CP1	19.5353	21.5439	2.0086	1.9636	19.5505	0.77	0.13
CP2	24.0043	26.0317	2.0274	1.9794	24.0209	0.84	
CP3	30.3421	32.3633	2.0212	1.9758	30.3625	1.03	
Promedio:						0.88	

Tabla F4. Resultados análisis de extractivos acuosos.

Muestra	P1 [g]	P2 [g]	P3 [g]	%p Extractivos acuosos	Desv. Estándar
SA1	1.4778	4.5167	4.8932	24.383	3.03
SA2	1.5237	4.6037	5.1389	21.472	
SA3	1.4355	14.2665	11.7743	27.531	
Promedio:				25.957	
CC1	1.4689	10.4300	10.9864	8.749	1.14
CC2	1.4455	8.6523	9.1464	10.996	
CC3	1.5499	10.3113	10.8139	10.157	
Promedio:				9.967	

SM1	1.4045	6.4767	6.4371	22.297	1.84
SM2	1.435	6.4585	6.2185	25.935	
SM3	1.4304	6.2801	6.1631	24.639	
Promedio:				24.290	
CCA1	1.4876	5.7519	5.7943	25.126	2.50
CCA2	1.5099	4.5926	4.8431	27.422	
CCA3	1.433	15.5585	13.5015	22.432	
Promedio:				26.274	
RF1	1.4588	4.7331	5.5023	14.569	0.90
RF2	1.4982	3.2760	4.2456	16.136	
RF3	1.4452	4.1559	4.9314	16.114	
Promedio:				15.606	
TT1	1.5043	3.6575	4.8915	7.389	0.54
TT2	1.4618	3.7445	4.9635	6.483	
TT3	1.4331	2.8390	4.0611	7.433	
Promedio:				7.102	
RC1	1.147	4.0063	4.6513	12.529	0.70
RC2	1.122	2.3461	3.1719	12.626	
RC3	1.5262	2.6528	3.8131	13.792	
Promedio:				12.982	
CS1	1.4419	4.2941	4.6855	24.463	0.76
CS2	1.4958	2.9442	3.6935	25.355	
CS3	1.4741	3.4942	4.0607	25.974	
Promedio:				25.264	
RP1	1.4405	9.2229	8.8466	19.698	0.25
RP2	1.3712	5.8364	6.0291	20.193	
RP3	1.4176	5.7348	6.0057	19.995	
Promedio:				19.962	
CP1	1.4542	5.2037	6.4458	4.076	0.15
CP2	1.4772	3.1386	4.4939	3.885	
CP3	1.391	3.6147	4.8549	4.172	
Promedio:				4.044	

Tabla F5. Resultados análisis de extractivos orgánicos.

Muestra	P1 [g]	P2 [g]	P3 [g]	%p Extractivos acuosos	Desv. Estándar
SA1	1.4051	6.770	8.0361	2.0561	0.54
SA2	1.4728	8.305	9.661	1.4099	
SA3	1.4233	7.681	9.0289	0.9855	
Promedio:				2.0561	
CC1	1.4822	6.711	8.1565	0.5501	0.24
CC2	1.4894	8.204	9.6828	0.1260	
CC3	1.474	8.218	9.6801	0.1446	
Promedio:				0.1353	
SM1	1.4576	4.889	6.07	5.6637	1.53
SM2	1.4905	4.358	5.55458	6.7405	
SM3	1.4193	4.360	5.6172	3.7224	
Promedio:				4.6931	
CCA1	1.4782	6.169	7.4627	2.9970	0.89
CCA2	1.4642	6.263	7.624	1.6444	
CCA3	1.4968	6.987	8.2518	3.3145	
Promedio:				3.1557	
RF1	1.4034	2.657	4.0542	0.2371	0.12
RF2	1.3928	3.353	4.7442	0.0388	
RF3	1.4156	3.907	5.3127	0.2636	
Promedio:				0.1798	
TT1	1.4597	3.288	4.7289	0.5808	0.35
TT2	1.4262	2.270	3.6948	0.0749	
TT3	1.4283	3.684	5.0849	0.7384	
Promedio:				0.4647	
RC1	1.4669	2.203	3.6586	0.5129	0.27
RC2	1.4242	2.744	4.1505	0.6269	
RC3	1.4317	2.400	3.8288	0.1083	
Promedio:				0.4161	
CS1	1.3588	2.975	3.9946	11.4047	2.25
CS2	1.4452	2.519	3.7479	8.5867	
CS3	1.437	2.183	3.4676	6.9599	
Promedio:				7.7733	
RP1	1.4702	5.546	6.9083	1.9438	0.08
RP2	1.4726	4.098	5.4963	1.8227	
RP3	1.3939	5.235	6.5258	1.9638	
Promedio:				1.9101	

CP1	1.4549	4.599	6.0463	0.1674	0.08
CP2	1.4582	3.983	5.4373	0.0929	
CP3	1.4729	2.698	4.1705	0.0111	
Promedio:				0.0905	

Tabla F6. Resultados análisis holocelulosa.

Muestra	P3 [g]	P2 [g]	%p Holocelulosa	Desv. Estándar
SA1	2.882	2.2832	57.4528	2.09
SA2	2.9402	2.1605	53.2891	
SA3	2.8925	2.1926	54.9727	
Promedio:			55.2382	
CC1	2.8955	1.5503	48.1400	6.88
CC2	2.8877	1.571	48.9138	
CC3	2.8779	1.9342	60.4286	
Promedio:			48.5269	
SM1	2.9748	2.3052	55.9152	0.29
SM2	2.8077	2.1879	56.2288	
SM3	2.8176	2.1729	55.6468	
Promedio:			55.9303	
CCA1	2.9046	1.67	41.0509	1.03
CCA2	2.923	1.755	42.8688	
CCA3	2.943	1.6955	41.1339	
Promedio:			41.0924	
RF1	2.0431	1.6703	68.8706	1.29
RF2	1.8782	1.4925	66.9424	
RF3	1.8962	1.495	66.4180	
Promedio:			66.6802	
TT1	2.4273	1.8279	69.6328	1.28
TT2	2.4479	1.9099	72.1442	
TT3	2.3777	1.8327	71.2720	
Promedio:			70.4524	
RC1	1.94	1.6127	72.0357	1.04
RC2	1.9297	1.5613	70.1121	
RC3	1.9446	1.5795	70.3859	
Promedio:			70.2490	
CS1	1.0435	0.7697	50.8412	0.85
CS2	1.0148	0.7242	49.1886	
CS3	0.9773	0.7047	49.7008	

Promedio:			49.4447	
RP1	2.9273	2.2437	60.1752	0.72
RP2	2.5178	1.8864	58.8210	
RP3	2.9459	2.2482	59.9152	
Promedio:			59.6371	
CP1	0.9558	0.7341	73.6320	1.22
CP2	0.9448	0.7039	71.4249	
CP3	0.9396	0.702	71.6263	
Promedio:			71.5256	

Tabla F7. Resultados análisis alfacelulosa.

Muestra	P1 [g]	P2 [g]	%p alfacelulosa	Desv. Estándar
SA1	1.5706	0.4211	14.8101	1.06
SA2	1.5515	0.3568	12.7032	
SA3	1.7999	0.4426	13.5832	
Promedio:			14.1967	
CC1	1.8011	1.2299	33.1371	0.41
CC2	1.7482	1.2196	33.8539	
CC3	1.1724	0.8005	33.1336	
Promedio:			33.3749	
SM1	1.9033	1.1034	32.4244	0.11
SM2	1.895	1.0916	32.2182	
SM3	1.8968	1.0979	32.3734	
Promedio:			32.3387	
CCA1	1.7475	1.1723	27.5666	1.00
CCA2	1.7351	1.093	25.8856	
CCA3	1.7701	1.1104	25.7777	
Promedio:			26.4099	
RF1	1.9221	1.2237	42.4518	1.91
RF2	1.715	1.0767	41.8627	
RF3	1.3454	0.7846	38.8860	
Promedio:			41.0668	
TT1	1.8864	0.9191	34.3261	0.24
TT2	1.8998	0.9299	34.4845	
TT3	1.713	0.8462	34.8026	
Promedio:			34.5377	
RC1	1.8818	0.9943	37.1179	0.80
RC2	1.8987	1.0067	37.2463	

RC3	1.4229	0.7252	35.8033	
Promedio:			36.7225	
CS1	0.5331	0.2039	18.9116	0.88
CS2	0.5401	0.193	17.6686	
CS3	-	-	-	
Promedio:			18.2901	
RP1	1.8998	0.9423	29.5800	0.78
RP2	1.8461	0.905	29.2355	
RP3	1.7593	0.9066	30.7321	
Promedio:			29.8492	
CP1	0.80111579	0.5518	49.2660	0.75
CP2	0.64461653	0.4312	47.8452	
CP3	0.97308356	0.6665	48.9904	
Promedio:			48.7006	

Tabla F8. Resultados análisis lignina.

Muestra	P1 [g]	P2 [g]	%p lignina	Desv. Estándar
SA1	0.3015	0.0553	13.3014	1.37
SA2	0.2903	0.0456	11.3914	
SA3	0.2914	0.0428	10.6516	
Promedio:			12.3464	
CC1	0.2906	0.1148	35.5189	0.35
CC2	0.3001	0.1179	35.3233	
CC3	0.3002	0.1202	36.0004	
Promedio:			35.4211	
SM1	0.3118	0.0555	12.8438	1.56
SM2	0.2927	0.0404	9.9594	
SM3	0.2999	0.0516	12.4151	
Promedio:			12.6294	
CCA1	0.2934	0.0873	21.2445	2.24
CCA2	0.2889	0.0747	18.6573	
CCA3	0.2885	0.0671	16.7823	
Promedio:			18.8947	
RF1	0.2987	0.0487	13.7348	1.64
RF2	0.2809	0.0358	10.7364	
RF3	0.3044	0.0401	11.0976	
Promedio:			10.9170	
TT1	0.2835	0.0612	20.1727	2.19

TT2	0.276	0.0507	17.1658	
TT3	0.2756	0.0632	21.4290	
Promedio:			18.6692	
RC1	0.3067	0.0592	16.7594	1.36
RC2	0.3003	0.0622	17.9840	
RC3	0.3018	0.0531	15.2766	
Promedio:			16.0180	
CS1	0.2838	0.0713	17.1431	1.42
CS2	0.2855	0.0599	14.3163	
CS3	0.2812	0.0642	15.5787	
Promedio:			14.9475	
RP1	0.3246	0.0747	18.0312	2.84
RP2	0.3095	0.0514	13.0123	
RP3	0.297	0.0501	13.2170	
Promedio:			13.1147	
CP1	0.3261	0.0691	20.3478	0.91
CP2	0.2952	0.0584	18.9970	
CP3	0.2899	0.0562	18.6156	
Promedio:			18.8063	

En la tabla F9 y G2 se muestran los resultados de la caracterización de monosacáridos por HPLC, la columna de total real HPLC representa el consolidado entre las concentraciones de cenizas, extractivos acuosos y orgánicos, lignina y los monosacáridos determinados por HPLC, asumiendo que todo el material lignocelulósico se cuantifico se calcula el porcentaje de azúcares no determinados.

	Xilosa [%p]	Desv. Est.	Arabinosa [%p]	Desv. Est.	Glucosa [%p]	Desv. Est.	Grupo acetil [%p]	Desv. Est.	Azúcares HPLC [%p]	TOTAL REAL HPLC [%p]	Azúcares no determinados [%p]
Semillas de Aguacate	3.064	0.23	1.676	0.09	36.638	0.13	0.213	0	42.041	84.767	15.233
Cáscara de cacao	15.160	1.23	5.535	0.95	23.314	1	1.494	0.19	48.682	96.548	3.452
Semillas de mango	10.852	1.1	1.120	0.15	25.034	0.62	1.978	0.79	40.853	83.291	16.709
Cáscaras de café	7.474	1.12	6.880	0.29	9.964	0.09	1.197	0.29	27.015	86.213	13.787
Residuos cosecha de frijol	16.904	1.95	1.518	0.06	33.653	1.68	3.745	0.19	59.511	89.488	10.512
Tallos de tabaco	21.553	0.78	1.864	0.17	34.335	0.3	3.226	0.09	62.227	92.425	7.575
Bagazo de caña panelera	24.451	2.42	2.313	0.055	29.363	3.72	3.143	1.12	65.464	90.379	9.621
Borra de café	0.000	0	2.879	0.38	8.267	0.7	0.146	0	12.372	60.552	39.448
Raquis de palma	17.778	2.09	3.605	0.41	17.076	1.86	5.431	0.89	48.251	86.104	13.896
Café pergamino	29.295	2.52	1.428	0.09	32.977	0.24	7.160	0.35	73.710	94.682	5.318

Tabla F9. Resultados caracterización por HPLC.

ANEXO G. Análisis de composición

La tabla G1 representa el consolidado de los resultados obtenidos en el laboratorio producto de la caracterización por métodos gravimétricos mientras que la tabla G2 presenta el consolidado de los resultados obtenidos para la caracterización por HPLC, se realizaron ambas tablas para verificar el cierre del balance de masa.

Tabla G1. Análisis de composición, caracterización por métodos gravimétricos.

BIOMASA RESIDUAL	%p[cenizas+organicos+inorganicos+Alfacelulosa+hemicelulosa+lignina] [Base seca]
Semillas de Aguacate	98.41
Cascara de cacao	99.57
Semilla de mango	100.24
Cascaras de café	101.79
Residuos cosecha de frijol	100.35
Tallos de tabaco	101.90
Bagazo de Caña panelera	101.36
Café gastado	98.71
Raquis de palma	101.85
Café pergamino	95.35

Tabla G2. Análisis de composición, Caracterización por HPLC.

	Cenizas [%p]	Acuosos [%p]	Orgánicos [%p]	Xilosa [%p]	Arabinosa [%p]	Glucosa [%p]	Grupo Acetil [%p]	TOTAL REAL HPLC [%p]	Azúcares no determinados [%p]
Semillas de Aguacate	2.817	25.957	2.056	3.064	1.676	36.638	0.213	84.767	15.233
Cáscara de cacao	5.523	9.967	0.135	15.160	5.535	23.314	1.494	96.548	3.452
Semillas de mango	2.695	24.290	4.693	10.852	1.120	25.034	1.978	83.291	16.709
Cáscaras de café	12.373	26.274	3.156	7.474	6.880	9.964	1.197	86.213	13.787
Residuos cosecha de frijol	6.965	15.606	0.180	16.904	1.518	33.653	3.745	89.488	10.512
Tallos de tabaco	5.212	7.102	0.465	21.553	1.864	34.335	3.226	92.425	7.575
Bagazo de caña panelera	1.693	12.982	0.416	24.451	2.313	29.363	3.143	90.379	9.621
Borra de café	1.276	25.264	7.773	0.000	2.879	8.267	0.146	60.552	39.448
Raquis de palma	7.226	19.962	1.910	17.778	3.605	17.076	5.431	86.104	13.896
Café pergamino	0.882	4.044	0.090	29.295	1.428	32.977	7.160	94.682	5.318