

**CARACTERIZACION DE LOS RESIDUOS DE CULTIVOS AGRICOLAS DE  
AGUACATE, ARRACACHA, FRIJOL, GUAYABA Y PIÑA PRODUCIDOS EN  
SANTANDER, COLOMBIA.**

**ARNOLD URIEL SOLANO HERNANDEZ**

**CLAUDIO ANTONIO MENDOZA JAIMES**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA  
BUCARAMANGA**

**2014**

**CARACTERIZACION DE LOS RESIDUOS DE CULTIVOS AGRICOLAS DE  
AGUACATE, ARRACACHA, FRIJOL, GUAYABA Y PIÑA PRODUCIDOS EN  
SANTANDER, COLOMBIA.**

**ARNOLD URIEL SOLANO HERNANDEZ**

**CLAUDIO ANTONIO MENDOZA JAIMES**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de  
ingeniero químico**

**Director:**

**Humberto Escalante Hernández**

**Ing. Químico Ph.D**

**Co-director:**

**María Paola Maradei García**

**Ing. Químico Ph.D**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA  
BUCARAMANGA**

**2014**

## **AGRADECIMIENTOS**

Expresamos nuestros más sinceros agradecimientos a los profesores Humberto Escalante Hernández y María Paola Maradei García por su apoyo, confianza, orientación y enseñanzas.

A la profesora Nathalia Bedoya por ayudarnos compartiendo sus conocimientos, por su apoyo y colaboración.

A la profesora Debora Nabarlatz por sus sugerencias y colaboración.

A los técnicos del laboratorio de procesos Wilson Carreño y Eduardo Carreño por su colaboración, por compartir sus conocimientos y por apoyarnos con el manejo de los equipos.

Al técnico de laboratorios de Investigación Don Guillermo, por su apoyo y colaboración, durante las pruebas que realizamos para terminar este trabajo.

Al ingeniero Reynel de la Vega por su apoyo y colaboración con el préstamo de los equipos del laboratorio.

A los miembros del laboratorio CEIAM quienes atendieron nuestras solicitudes e inquietudes con la mejor disposición.

A todos aquellos que hicieron posible concluir esta experiencia.

## **DEDICATORIA**

Deseo dedicar este trabajo y todo el proceso de estudios universitarios a mis padres y familiares quienes me han brindado su apoyo incondicional a través de estos años.

A cada uno de los profesores que dieron parte de su tiempo para compartir sus conocimientos.

Y a todos aquellos amigos y compañeros que me han acompañado y apoyado durante este proceso.

Arnold Uriel Solano Hernández

## DEDICATORIA

En este punto de mi vida se debe a muchas experiencias y trabajos que he tenido que recorrer y las experiencias que he ganado. Mi abuelo José Agustín jaimes Luna una de las personas que siempre confió en mí y siempre lo llevo en mi pensamiento para no rendirme, siempre estaré intentando llenarlo de orgullo aunque no esté a mi lado. Mis padres Claudio Antonio Mendoza Chaparro y María Olida Jaimes Monsalve compañeros de viaje y grandes maestros de toda mi vida me han dado el mejor de los regalos que he podido tener en toda mi vida la bendición del conocimiento y el apoyo en todo lo que he realizado. Catalina Medrano Barco y su familia, por ser ese apoyo incondicional en estos momentos que ha podido darme la fuerza que me ha podido faltar para superar pruebas que tal vez sin ella me hubiera quedado, gracias por ser esa amiga, compañera y esposa que has podido ser.

Para mis maestros que me inspiraron para amar esta carrera y me dieron sus consejos, Rosa Claudia mi profesora de química sin sus consejos y su gran soporte, a pesar de ser mi profesora la considera una gran amiga. El profesor Humberto Escalante mi profesor de Termodinámica que siempre me dio lecciones en sus salones y e hizo querer aún más esta carrera gracias a sus parciales que fueron legendarios y que mantengo en recuerdo con aprecio, y darme la oportunidad de poder trabajar con él en lo que es mi proyecto de grado. Al profesor Ancizar Florez porque me enseñó que se puede confiar en alguien solo por su dedicación y conocimiento.

Mis grandes amigos Oscar Poblador, Arnold Solano, Víctor Alfonso, Erika Sanchez, mi hermano Andres Rossi, Diana Catherine, Leo Torres, Nathaly Montoya, Jackson Parra Martinez que me ayudo a picar toda esa fruta, Rolando Andres Acosta, Jorge Erick, Juan Carlos Guerrero “el chato”, Cesar Torres, Jossimar Navarro, Stephan, Sergio Armando Arenas, Uylfren Caballero “homero”, David Leandro “el tortugo”, que me acompañaron en mi camino gracias por brindarme un espacio en su vida y brindarnos algo tan bueno como lo es su amistad y apoyo. Y a todas las personas que he compartido momentos y risas en mi vida Universitaria les agradezco.

Claudio Antonio Mendoza Jaimes

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCION .....	18
1. MARCO TEORICO .....	20
1.1 BIOMASA RESIDUAL.....	20
1.1.2 PROCESOS PARA LA TRANSFORMACION DE BIOMASA.....	21
1.2 CARACTERIZACION BIOMASA.....	21
1.2.1 ANALISIS ULTIMO O ELEMENTAL.....	21
1.2.2 ANALISIS PROXIMO.....	21
1.2.3 ANALISIS ESTRUCTURAL.....	22
1.2.4 FACTOR DE RESIDUO.....	23
1.2.5 PODER CALORIFICO.....	23
1.2.6 POTENCIAL ENERGETICO.....	23
2. METODOLOGIA.....	25
2.1 RECOPIACION DE INFORMACION Y SELECCIÓN DE CULTIVOS.....	25
2.2 MUESTREO.....	26
2.3 CLASIFICACION DE RESIDUOS.....	27
2.4 CARACTERIZACION FISICOQUIMICA.....	27
2.5 DETERMINACION DEL POTENCIAL ENERGETICO.....	27
3. RESULTADOS.....	28
3.1 CLASIFICACION, FACTOR DE RESIDUO Y OFERTA ANUAL DE BIOMASA RESIDUAL.....	28
3.2 CARACTERIZACION FISICOQUIMICA DE LA BIOMASA RESIDUAL.....	29
3.3 HUMEDAD DE CULTIVOS TRANSITORIOS Y ANUALES.....	31
3.4 MATERIAL VOLÁTIL Y CARBONO FIJO DE CULTIVOS TRANSITORIOS Y ANUALES.....	31
3.5 CENIZAS DE CULTIVOS TRANSITORIOS Y ANUALES.....	32
3.6 CARBONO, HIDRÓGENO Y OXÍGENO DE CULTIVOS TRANSITORIOS Y ANUALES .....	32
3.7 RELACIÓN C/N DE CULTIVOS TRANSITORIOS Y ANUALES.....	33

3.8 AZUFRE DE CULTIVOS TRANSITORIOS Y ANUALES.....	33
3.9 CELULOSA, HEMICELULOSA Y LIGNINA DE CULTIVOS TRANSITORIOS Y ANUALES.....	34
3.10 HUMEDAD DE CULTIVOS PERMANENTES.....	37
3.11 MATERIAL VOLÁTIL Y CARBONO FIJO DE CULTIVOS PERMANENTES.....	37
3.12 CENIZAS DE CULTIVOS PERMANENTES.....	38
3.13 CARBONO, HIDRÓGENO Y OXÍGENO DE CULTIVOS PERMANENTES.....	38
3.14 RELACIÓN C/N DE CULTIVOS PERMANENTES.....	39
3.15 AZUFRE DE CULTIVOS PERMANENTES.....	39
3.16 CELULOSA, HEMICELULOSA Y LIGNINA DE CULTIVOS PERMANENTES.....	39
3.17 POTENCIAL ENERGÉTICO.....	41
4. CONCLUSIONES.....	43
BIBLIOGRAFIA.....	44
ANEXOS.....	48

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
TABLA 1. CARACTERÍSTICAS DE LOS CULTIVOS Y BIOMASAS SELECCIONADOS.....	28
TABLA 2. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE CULTIVOS TRANSITORIOS Y ANUALES.....	30
TABLA 3. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE CULTIVOS PERMANENTES.....	35
TABLA 4. POTENCIAL ENERGÉTICO DE LOS RESIDUOS DE LOS CULTIVOS DE AGUACATE, ARRACACHA, GUAYABA, FRIJOL Y PIÑA.....	40
TABLA 5. ANÁLISIS Y TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN.....	47
TABLA 6. CONSOLIDADO ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LAS BIOMASAS RESIDUALES.....	52

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
FIGURA 1 METODOLOGÍA DESARROLLADA PARA CARACTERIZAR CADA BIOMASA.....	25
FIGURA 2. ANÁLISIS PRÓXIMO EN BASE SECA DE LOS RESIDUOS DE ARRACACHA Y FRIJOL.....	31
FIGURA 3. ANÁLISIS ÚLTIMO DE LOS RESIDUOS DE ARRACACHA Y FRIJOL.....	33
FIGURA 4. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LOS RESIDUOS DE ARRACACHA Y FRIJOL.....	34
FIGURA 5. ANÁLISIS PRÓXIMO EN BASE SECA DE LOS RESIDUOS DE AGUACATE, GUAYABA Y PIÑA.....	37
FIGURA 6 ANÁLISIS ÚLTIMO DE LOS RESIDUOS DE AGUACATE, GUAYABA Y PIÑA.....	38
FIGURA 7. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LOS RESIDUOS DE AGUACATE, GUAYABA Y PIÑA.....	39
FIGURA 8. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LOS APORTES DE CADA CULTIVO AL PE TOTAL.....	41
FIGURA 9. APORTE A LA OFERTA DE RESIDUO TOTAL DE LOS CULTIVOS DE AGUACATE, ARRACACHA, GUAYABA, FRIJOL Y PIÑA.....	42

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
ANEXO A MANUAL BOMBA CALORIMETRICA.....	48
ANEXO B PROTOCOLO DE MUESTREO .....	49
ANEXO C TECNICAS DE ANALISIS.....	50
ANEXO D CARACTERISTICAS BIOLOGICAS.....	54
ANEXO E CONSOLIDADO ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LAS BIOMASAS RESIDUALES .....	55
ANEXO F RESULTADOS DE ANALISIS PROPORCIONADOS POR EL CILIQ.	56

## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>CF</b>	<b>CARBONO FIJO</b>
<b>FR</b>	<b>FACTOR DE RESIDUO</b>
<b>ha</b>	<b>HECTAREA</b>
<b>MV</b>	<b>MATERIAL VOLATIL</b>
<b>PCI</b>	<b>PODER CALORIFICO INFERIOR</b>
<b>PCS</b>	<b>PODER CALORIFICO SUPERIOR</b>
<b>PE</b>	<b>POTENCIAL ENERGETICO</b>
<b>t</b>	<b>TONELADA</b>
<b>kt</b>	<b>KILOTONELADA</b>
<b>TJ</b>	<b>TERAJOULE</b>
<b>RAC</b>	<b>RESIDUO AGRICOLA DE COSECHA</b>
<b>RAI</b>	<b>RESIDUO AGRICOLA INDUSTRIAL</b>

## RESUMEN

**TITULO: CARACTERIZACION DE LOS RESIDUOS DE CULTIVOS AGRICOLAS DE AGUACATE, ARRACACHA, FRIJOL, GUAYABA Y PIÑA PRODUCIDOS EN SANTANDER, COLOMBIA.\***

**AUTORES:** Solano Hernández, Arnold Uriel

Mendoza Jaimes, Claudio Antonio\*\*

**PALABRAS CLAVES:** Biomasa residual, Caracterización fisicoquímica, Poder calorífico, Potencial Energético.

### **DESCRIPCION:**

La búsqueda y explotación de energía en la actualidad representa uno de los principales retos para el ser humano, debido a las problemáticas desarrolladas a causa del uso indiscriminado de combustibles fósiles. Bajo este contexto el presente trabajo de investigación determina y clasifica los diferentes residuos, las características fisicoquímicas y el potencial energético de las biomásas residuales provenientes de las etapas de cultivo, recolección de producto y la utilización en industria de los cultivos de aguacate, arracacha, guayaba, frijol y piña cultivados en el departamento de Santander, Colombia. Proporcionando información por medio de diferentes análisis de laboratorio, entre los realizados a estas muestras se encuentran el análisis próximo, análisis último y finalizando con un análisis estructural. Mostrando un análisis fisicoquímico de las diferentes masas residuales de los cultivos, que mostrarían de mejor manera las diferentes propiedades necesarias para un análisis en tecnologías vigentes o desarrollo de tecnologías. Con los datos obtenidos de los diferentes análisis se entregara un cálculo de potencial energético, por medio del PCI (Potencial Calorífico Inferior). Suficiente para determinar la utilidad de estos residuos como recursos para la investigación o aprovechamientos con diferentes métodos de energías alternativas ya sean termoquímicos o de transformación por medio de microorganismos.

---

\*Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de ingeniería Química. Director: PhD. Humberto

Escalante Hernández. Codirector: PhD. María Paola Maradei García.

## ABSTRACT

**TITLE: WASTE CHARACTERIZATION OF AGRICULTURAL CROPS OF AVOCADO PEAR, CELERIAC, GUAVA, BEAN AND PINE APPLE PRODUCED IN SANTANDER, COLOMBIA\***

**AUTHORS:** Solano Hernández, Arnold Uriel

Mendoza Jaimes, Claudio Antonio\*\*

**KEY WORDS:** Biomass wastes, physicochemical characterization, calorific value, energetic potential.

### **DESCRIPTION:**

The search for and exploitation of energy today represents one of the principal challenges for humans, because of the problems developed a result of the indiscriminate use of fossil fuels. Out within this framework the present research work determined and classifies the different wastes, physicochemical characteristics and the energy potential of the residual biomass coming from the stages of cultivation, harvesting and utilization of the product in industries from the avocado crops, arracacha crops, guava crops, bean crops and pineapple crops cultivated the Department of Santander, Colombia. To provide information through the different laboratory analysis carried out among with these samples, starting with the near analysis, elemental analysis and ending with a structural analysis found. To show a physicochemical analysis of the different crop residual masses, that they would show better the different properties that are required for a discussion in existing technologies or development of technologies. With the data obtained from of the different analyzes an estimation of energy potential it is handed by means the PCI (Lower Calorific Potential). Sufficient information to determine the usefulness of these wastes as resources for research or uses with different methods of alternative energy whether they be thermochemical or processing by microorganisms.

---

\*Thesis

\*\* Physicochemical Engineering Department. Chemical Engineering. Director: PhD. Humberto Escalante Hernández. Codirector: PhD. María Paola Maradei García.

## INTRODUCCION

La obtención y utilización de la energía han formado parte de las necesidades básicas del hombre. En la actualidad la gran mayoría de la energía utilizada proviene de fuentes no renovables (hidrocarburos), en el año 2005, el consumo mundial de energía alcanzó aproximadamente los 490,6 PJ, con una tasa de crecimiento promedio anual del consumo energético del 1,9% [Ministerio de Minas y Energía, 2007]. La alta demanda energética, los elevados precios de consumo y en especial, la grave problemática ambiental derivada del uso indiscriminado de combustibles fósiles, evidencian la necesidad de explotar nuevas fuentes de energía. Las energías eólicas, solar e hidráulica han sido fuentes utilizadas como vías alternativas. Sin embargo, las biomásas agrícolas empiezan a destacarse como fuentes alternativas de energía.

En México se propone la obtención de biocombustibles a partir de residuos agrícolas, como el bagazo de la caña de azúcar, el rastrojo del maíz y el aserrín de la madera, haciendo uso de enzimas que transforman los materiales lignocelulósicos [Universidad Autónoma del Estado de Morelos]. En Chile la biomasa es considerada energía renovable no convencional (ERNC) y se promueve “el uso de desechos agrícolas, animales o forestales para generar energía biomásica” [Corporación Regional de Desarrollo Productivo de Coquimbo]. En Brasil se evaluó el potencial energético de los residuos del sector avícola desarrollando un modelo que involucra la masa y el Poder Calorífico Inferior (PCI) del residuo [SORDI, *et al.*, 2000]. En Portugal, mediante un modelo que evalúa la cantidad de electricidad que se genera a partir de la masa total de residuo, el PCI del biogás, la eficiencia del biodigestor y la fracción de materia orgánica utilizada por bacterias para su desarrollo, se determinó la cantidad máxima de biogás que es posible obtener de varios efluentes agropecuarios [MATEUS. 2005]. En 2002, en Perak, Malasya, se expuso un análisis de la biomasa residual basado en sistemas de cogeneración en extractoras de aceite de palma [HUSAIN, *et al.*, 2003]. China, India, Filipinas, Sri Lanka y Tailandia han realizado estudios para

evaluar el PE de la biomasa residual agrícola del estiércol animal y de los residuos sólidos urbanos (RSOU) [BHATTACHARYA *et al.*, 2010].

La ley colombiana 697, de 2001, denomina fuentes energéticas no convencionales, a aquellas fuentes que se encuentran disponibles, pero que son empleadas de manera marginal y no se comercializan ampliamente. Por otra parte, el Plan Energético Nacional 2010-2050 promueve el desarrollo de energías no convencionales [Ministerio de Minas y Energía, 2010] y el Consejo Nacional de Política Económica y Social, a través del CONPES 3510 del 31 marzo de 2008, respalda las iniciativas para potencializar el desarrollo de los cultivos para la producción de biocombustibles [Departamento Nacional de Planeación, 2010].

En las últimas décadas en Colombia, la biomasa de origen agrícola se ha destacado como materia prima de interés. Esto como consecuencia de la diversidad de cultivos y oferta de biomasa residual. A nivel nacional, sobresale la producción de 924,62 kt/año de raquis de palma, con potencial energético (PE) de 6607,31 TJ/año de residuo; 1278,64 kt/año de rastrojo de maíz, con PE de 12573,18 TJ/año de residuo; 5789,67 kt/año de tamo de arroz, con PE de 20699,91 TJ/año [Escalante *et al.*, 2010].

Actualmente, el uso de biomasa residual como fuente energética solo representa el 12,8% del total de la demanda energética del país [Ministerio de Minas y Energía, 2010]; lo que conlleva a la necesidad de continuar la búsqueda de fuentes de biomasa residual, que ayuden a suplir una parte significativa de la demanda energética nacional. Para ello es indispensable conocer la oferta de biomasa residual, su ubicación y, sobre todo, contar con información referente a sus características fisicoquímicas y su potencial energético, con el fin de explorar alternativas tecnológicas para su aprovechamiento energético.

El departamento de Santander representa una de las economías más importantes del país reconocida por su actividad agrícola. La revista Evaluaciones Agropecuarias de Santander (EVA, 2010) estimó la producción de 8,06 kt de arracacha, 15 kt de aguacate, 33,4 kt de guayaba, 10,6 kt de frijol y 239,13 kt de piña para el año 2010. Por lo anterior, se evidencia que en Santander puede haber un alto potencial energético correspondiente a la biomasa agrícola y que no está

siendo aprovechado, lo que motiva el desarrollo del estudio para el aprovechamiento de estos residuos en fuentes alternas de energía. Este trabajo tiene como objetivo, cuantificar la oferta, las características fisicoquímicas y el potencial energético de los residuos generados en las actividades agrícolas e industriales correspondientes a los cultivos de aguacate, arracacha, guayaba, frijol y piña. Con la ayuda de agricultores de la región, se obtuvieron muestras de los residuos generados por cada cultivo, posteriormente se llevaron a cabo los análisis proximal, elemental y estructural para determinar las características fisicoquímicas, y por último se hizo uso de una bomba calorimétrica para determinar el PCS de cada biomasa.

## **1. MARCO TEORICO**

### **1.1 BIOMASA RESIDUAL**

Se define biomasa, toda sustancia orgánica renovable de origen animal o vegetal. Esta contiene energía solar almacenada en los enlaces químicos de sus moléculas, que pueden liberarse en forma de energía química al romper los enlaces carbono-hidrógeno-oxígeno mediante procesos biológicos o termoquímicos. Los residuos provenientes de transformaciones de materia orgánica tales como, residuos de cosechas, podas o frutos de descarte, lodos de los sistemas de tratamiento de aguas residuales y residuos orgánicos de plazas de mercado reciben el nombre de Biomasa Residual (BR) [MCKENDRY P. 2002]. El poder calorífico de los residuos lignocelulósicos de biomasa oscila entre 3000 – 3500 kcal/kg [Secretaría de Energía de Argentina].

De la biomasa generada en el proceso de cultivo y recolección de productos orgánicos se diferencian dos tipos de residuos conocidos como: RAC (Residuo Agrícola proveniente de las cosechas) y RAI (Residuo Agrícola proveniente del procesamiento industrial de los productos agrícolas). La oferta disponible de estas biomásas depende tanto de la cantidad de producto principal cosechado, como del área cosechada.

**1.1.2 Procesos para la transformación de biomasa:** La selección y aprovechamiento energético de los residuos dependen de las propiedades fisicoquímicas, bioquímicas y energéticas, por lo cual se hace necesaria la caracterización de la biomasa. Existen tecnologías destinadas al aprovechamiento energético a partir de biomasa como:

- **Procesos termoquímicos:** La combustión y la pirólisis son claros ejemplos de este tipo de procesos, buscan degradar térmicamente la biomasa para convertirla en calor y de esta forma aprovechar la energía contenida. Los sistemas van desde simples hornos y calderas hasta equipos para combustión de lecho fluidizado [ESCALANTE *et al.*, 2010].
- **Procesos bioquímicos:** En este tipo de procesos se hace uso de la acción metabólica de microorganismos para producir combustibles líquidos y gaseosos. Se destacan las transformaciones anaeróbicas y las fermentaciones alcohólicas. La digestión anaerobia genera una corriente de gas combustible conocido como biogás. [ESCALANTE *et al.*, 2010].

## **1.2 CARACTERIZACION DE LA BIOMASA**

La biomasa, al ser un recurso orgánico, está compuesta por polímeros como la celulosa y la lignina (a nivel atómico, por carbono, oxígeno, nitrógeno entre otros). Para determinar su utilidad, se hace necesario conocer a fondo su estructura, porcentaje de humedad, cenizas y material volátil.

**1.2.1 Análisis último o elemental:** por medio de este es posible determinar el contenido en peso de los elementos carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N) y azufre (S), que constituyen el combustible [SPEIGHT, 2005]. El consolidado de este análisis se obtiene sumando los porcentajes de carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, azufre y ceniza.

**1.2.2 Análisis próximo:** permite conocer la humedad presente en la muestra; además del contenido de material volátil (MV), la cantidad de material sólido no combustible (cenizas) y el contenido de carbono fijo (CF), el cual se refiere a la cantidad de carbono disponible en una muestra libre de humedad, MV y cenizas

[NOGUÉS *et al.*, 2010]. El consolidado de este análisis se obtiene al sumar los contenidos de MV, CF, ceniza y humedad.

**1.2.3 Análisis estructural:** La biomasa está compuesta en su estructura alrededor del 85-90%p por holocelulosa y lignina, donde la holocelulosa a la vez se compone de celulosa y la hemicelulosa. La función de estos polímeros es mantener la integridad estructural de las células vegetales. Adicionalmente, la biomasa contiene extractivos orgánicos y minerales inorgánicos [NAIK *et al.*, 2010; PASANGULAPATI *et al.*, 2012]. El consolidado de este análisis se obtiene al sumar los contenidos de compuestos acuosos, compuestos orgánicos, holocelulosa, lignina y ceniza y es presentado en el anexo E.

La celulosa es un polisacárido lineal, el cual es la estructura principal de la pared celular vegetal. Normalmente esta en forma de hebras llamadas microfibrillas que suelen estar incrustadas en una matriz que contiene hemicelulosa y lignina y se descompone a altas temperaturas, formando cadenas de hidrocarburos ligeros [PASANGULAPATI *et al.*, 2012; NOGUÉS *et al.*, 2010].

La hemicelulosa es un polisacárido ramificado compuesto por diferentes monómeros de azúcar, tales como glucosa, xilosa, manosa, galactosa, arabinosa y ácidos urónicos. Debido a su ramificación, puede formar enlaces de hidrógeno con la celulosa y lignina [PASANGULAPATI *et al.*, 2012].

La lignina es una macromolécula fenólica con alto grado de reticulación entre las unidades de fenil-propano, este entrecruzamiento genera mayor estabilidad térmica. La concentración de lignina disminuye desde la capa exterior a la capa interior de la biomasa. Tiene función fijadora, proporcionando elasticidad y resistencia mecánica [AZADI *et al.*, 2013; PASANGULAPATI *et al.*, 2012].

Se debe destacar que la biodegradabilidad de la celulosa es mayor que la de la lignina, por lo general la conversión del carbono presente como celulosa en el material vegetal es superior que la de las plantas con una mayor proporción de lignina [MCKENDRY P. 2002]; siendo un factor determinante en el momento de seleccionar biomasa vegetal para procesos de transformación bioquímica. El problema asociado al tratamiento de biomasa residual con alto contenido de

lignina se debe a que es una molécula polimérica compleja, cuya ruptura selectiva, en moléculas más pequeñas que puedan utilizarse como biocombustible es difícil e impredecible con tecnologías desarrolladas hasta la fecha [NING YAN *et al.*, 2008].

**1.2.4 Factor de residuo (FR):** En el presente proyecto de grado se introduce el término factor de residuo, el cual hace referencia a la fracción entre la cantidad de residuo generado y la cantidad de producto principal total producido por hectárea [t residuo/t de producto principal]. A partir de los datos proporcionados por agricultores, fue posible calcular la cantidad de producto principal cosechada por hectárea en un periodo de un año y la cantidad de biomasa residual generada.

**1.2.5 Poder calorífico:** Se define como el calor entregado por un combustible que se oxida, produciendo dióxido de carbono y agua. Si al momento de la combustión se tiene en cuenta el calor de la condensación del vapor de agua formado se habla de Poder Calorífico Superior (PCS). Por otro lado si no se tiene en cuenta el calor de condensación del vapor de agua se refiere al Poder Calorífico Inferior (PCI), el cual es la energía aprovechable.

El PCS se determina mediante el uso de bomba calorimétrica. La determinación teórica del PCI, se realiza mediante el modelo propuesto por López y Llera 2010.

$$PCI_{bs} = PCS_{bs} - (9 * 2449 * H) \quad [1]$$

Donde  $H$  es la fracción másica de hidrógeno en la biomasa y el subíndice  $bs$  indica base seca. Los valores de PCS y PCI se encuentran expresados según el SI en kJ/kg.

**1.2.6 Potencial energético (PE):** El Potencial Energético es definido como la cantidad de energía química disponible en la biomasa, que puede ser transformada para su aprovechamiento. Se determina mediante un modelo

matemático el cual se encuentra en función de “la masa del residuo” y de “su contenido energético”. PCI [ORDUZ, 2011]

$$PE = Masa\ residuo * Contenido\ Energetico \quad [2]$$

La masa del residuo es una relación entre el área sembrada y el rendimiento del cultivo. El contenido energético es función del factor de residuo, el factor de humedad y el poder calórico inferior de cada residuo. De esta forma el potencial energético se estima utilizando el modelo matemático desarrollando por ESCALANTE (2010).

$$PE = \alpha * A * Rc * \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m Fr_{ki} * Fr_{ski} * PCI_{ki} \quad [3]$$

En donde

*PE*: Potencial Energético expresado en [TJ/año].

$\alpha$ : Factor de conversión de unidades [ $1 * 10^{-6}$ ].

*A*: Representa las hectáreas cultivadas en un año o un mes.

*Rc*: Es el rendimiento del cultivo definido como toneladas de producto principal dividido entre las hectáreas sembradas.

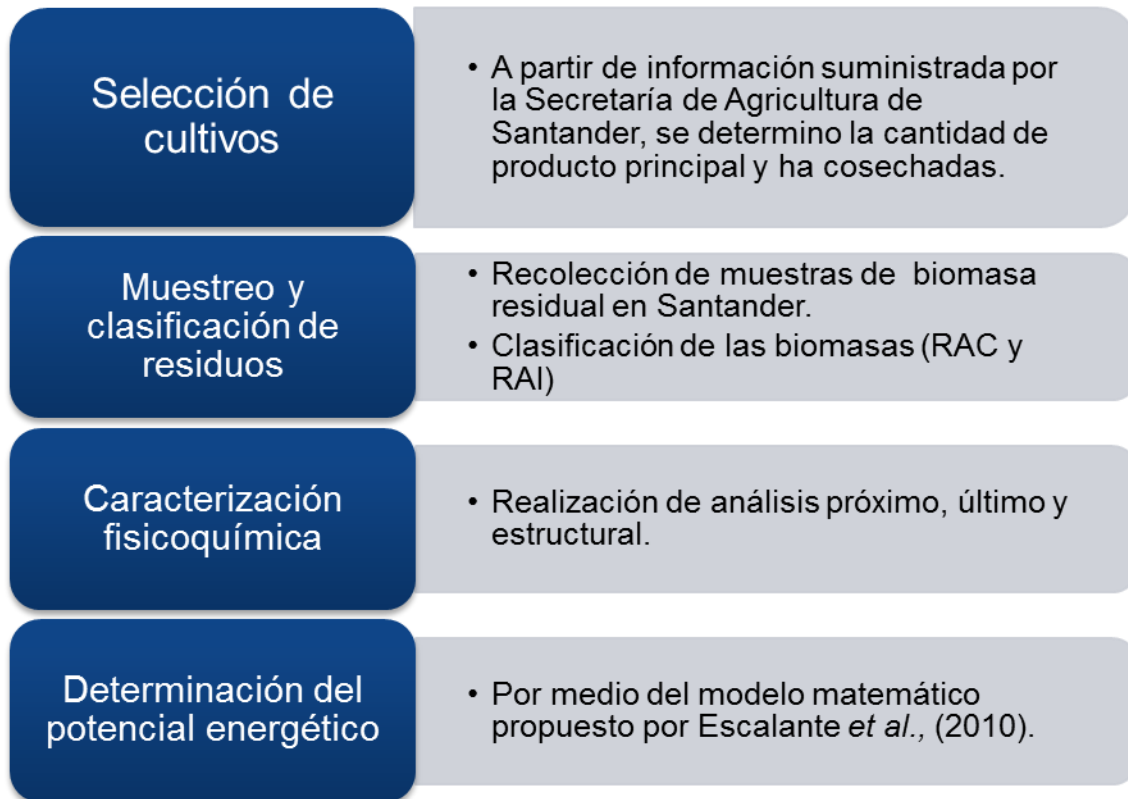
*Fr*: Es el factor de residuo el cual es una relación entre las toneladas de residuo y las toneladas de producto principal.

*Fr<sub>s</sub>*: Es la fracción de residuo seca y se define como [t de residuo/t de residuo húmedo].

*PCI*: Es el poder Calorífico Inferior en unidades de [kJ/kg].

## 2. Metodología:

El presente trabajo se desarrolló a partir de cinco etapas principales definidas como: recopilación de información, muestreo, clasificación, caracterización y determinación del potencial energético. La Figura 1, describe el proceso llevado a cabo para cada una de las muestras analizadas.



**Figura 1. Metodología desarrollada para caracterizar cada biomasa.**

### 2.1 Recopilación de información y selección de cultivos

Para la selección de los cultivos, se procedió a solicitar información a la Secretaría de Agricultura de Santander; entidad encargada de sistemas de información de bienes y servicios ambientales y de productos agropecuarios de la región, quienes poseen una base de datos departamental, municipio a municipio, respecto a los diferentes cultivos, las hectáreas cultivadas, la cantidad de producto principal

cosechado y el rendimiento. Se consultó la base de datos más actualizada correspondiente al año 2010. En la selección se tuvo en cuenta la cantidad de producto principal y el área cosechada. Fueron seleccionados un total de 24 cultivos (aguacate, arracacha, arroz, banano, cacao, café, caña de azúcar, caña panelera, cebolla junca, fique, frijol, guayaba, limón, maíz, mandarina, mora, naranja, palma de aceite, papa, papaya, plátano, piña, tomate y yuca), de los cuales 8 (arroz, banano, café, caña de azúcar, caña panelera, maíz, palma de aceite y plátano) fueron caracterizados en estudios anteriores [ESCALANTE *et al.*, 2010] y los restantes fueron divididos en tres grupos para su análisis. Bajo estos criterios se decidió realizar el estudio de las biomásas residuales de los cultivos de aguacate, arracacha, guayaba, frijol y piña.

- Área sembrada superior a 2000 ha/año criterio bajo el cual se seleccionaron los cultivos de aguacate, guayaba, frijol y piña.
- Rendimiento del cultivo (t/ha) mayor a 30, con este criterio se seleccionó el cultivo de arracacha.

## **2.2 Muestreo**

A partir de la base de datos, se seleccionaron plantaciones presentes en los municipios de Lebrija, Los Santos, Piedecuesta, Rionegro y Vélez. Se contactó al personal técnico encargado de dichas plantaciones y se visitaron las fincas. Una vez en la plantación se recolectó información acerca de la estructura del cultivo, la cantidad de cosechas producidas en un año, tipos de residuos que se obtienen de las podas y tipos de residuos industriales. Para la poda del cultivo de piña, se realizó el cálculo para un periodo de dos años; debido a las condiciones del cultivo. Posteriormente, se recolectaron 5 kg de muestra de los diferentes residuos, siguiendo el protocolo de muestreo (ver anexo B) establecido por el laboratorio de análisis fisicoquímico del Centro de Estudios e investigaciones Ambientales (CEIAM).

### **2.3 Clasificación de residuos**

A partir de la recolección de muestras y de la información suministrada por el personal técnico de las plantaciones, se clasificaron los diferentes residuos de los cultivos en 16 biomásas, de las cuales 10 corresponden a RAI y 6 a RAC.

### **2.4 Caracterización fisicoquímica**

Una parte de las muestras recolectadas fueron secadas a temperatura promedio de 60°C por un periodo de tres días y, posteriormente, su tamaño fue disminuido hasta granulometría de 2 mm haciendo uso de un molino de cuchillas del laboratorio de procesos de la Escuela de Ingeniería Química. Las muestras secas fueron destinadas a los análisis último y estructural llevados a cabo con la colaboración del CEIAM en Guatiguará. Por otro lado, las muestras húmedas, se utilizaron en el análisis próximo, realizado con la colaboración del Centro Integrado de Laboratorios de Ingeniería Química (CILIQ). En la Tabla 4. (Anexo C) se presentan las variables tenidas en cuenta y las técnicas utilizadas.

### **2.5 Determinación del potencial energético**

Mediante la Ecuación 3, en donde se ven involucrados el PCI y el FR, se determinó el PE de cada una de las biomásas. Haciendo uso de la bomba calorimétrica marca BTRS-MODELO 83 que se encuentra en el laboratorio de la planta de aceros de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales se determinó el PCS (Anexo A). Después de determinar el PCS de cada uno de los residuos se procedió a calcular el PCI, a partir del modelo propuesto por Lopez y Llera (Ecuación 1).

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Clasificación, factor de residuo y oferta anual de biomasa residual:

En la Tabla 1 se presentan para los cinco cultivos seleccionados, su producción, el tipo de biomasa residual, su oferta, el FR y los municipios donde se tomaron las muestras.

El FR se ve influenciado por la dinámica del cultivo, si es permanente o anual, la poda, cantidad de producto total y condiciones de cosecha: clima, prácticas agrícolas tecnificadas, producto rechazado por su mala condición y aprovechamiento a nivel industrial [VOIVONTAS *et al.*, 2001].

Las biomásas residuales provenientes de los cultivos de aguacate, arracacha, guayaba, frijol y piña presentan gran variabilidad, con valores que oscilan entre 0,02 y 49,63 t residuo/t producto principal. Se destaca la poda del frijol que presenta el valor más elevado (49,63), esto se debe a que el área cosechada es la más amplia entre los cinco cultivos, además la planta del frijol es desechada después de recolectar el producto. El FR, la oferta disponible y altos valores de PE indican que es posible obtener energía a partir de estas biomásas residuales.

**Tabla 1. Características de los cultivos y biomásas seleccionados.**

Municipio	Cultivo	Residuo	Tipo de Residuo	Área cosechada [ha]	Producto principal [kt/año]	Rendimiento [t/ha]	FR [t residuo/t producto principal ]	Oferta residuo [kt/año]
Rionegro	Aguacate	Descarte	RAI	2.360,50	15,00	6,35	0,04	0,60
		Cáscara	RAI				0,02	0,30
		Semilla	RAI				0,50	7,50
		Rama	RAC				0,04	0,60
		Poda	RAC				0,06	0,90

Municipio	Cultivo	Residuo	Tipo de Residuo	Área cosechada [ha]	Producto principal [kt/año]	Rendimiento [t/ha]	FR [t residuo/t producto principal ]	Oferta residuo [kt/año]
Los Santos	Arracacha	Descarte	RAC	262,00	8,06	31,78	0,20	1,62
		Poda	RAC				2,65	21,35
Vélez	Guayaba	Descarte	RAI	5.040,00	33,41	6,62	0,04	1,34
		Poda	RAI				0,07	2,31
Piedecuesta	Frijol	Descarte	RAI	8.557,70	11,26	1,31	0,02	0,23
		Cáscara	RAI				0,05	0,56
		Poda	RAC				49,63	558,87
Lebrija	Piña	Descarte	RAI	7.527,00	239,13	31,76	0,02	4,78
		Cáscara	RAI				0,13	31,09
		Corazón	RAI				0,10	23,91
		Poda	RAC				3,10	1481,54


**Continuación Tabla 1. Características de los cultivos y biomásas seleccionados.**

### **3.2 Caracterización fisicoquímica de la biomasa residual**

En las Tablas 2 y 3 se presentan los resultados de las pruebas correspondientes a la caracterización fisicoquímica de las biomásas residuales de los cultivos de aguacate, arracacha, guayaba, frijol y piña del departamento de Santander. El balance correspondiente al material lignocelulósico, comprende: compuestos acuosos, compuestos orgánicos, celulosa, hemicelulosa, lignina y cenizas.

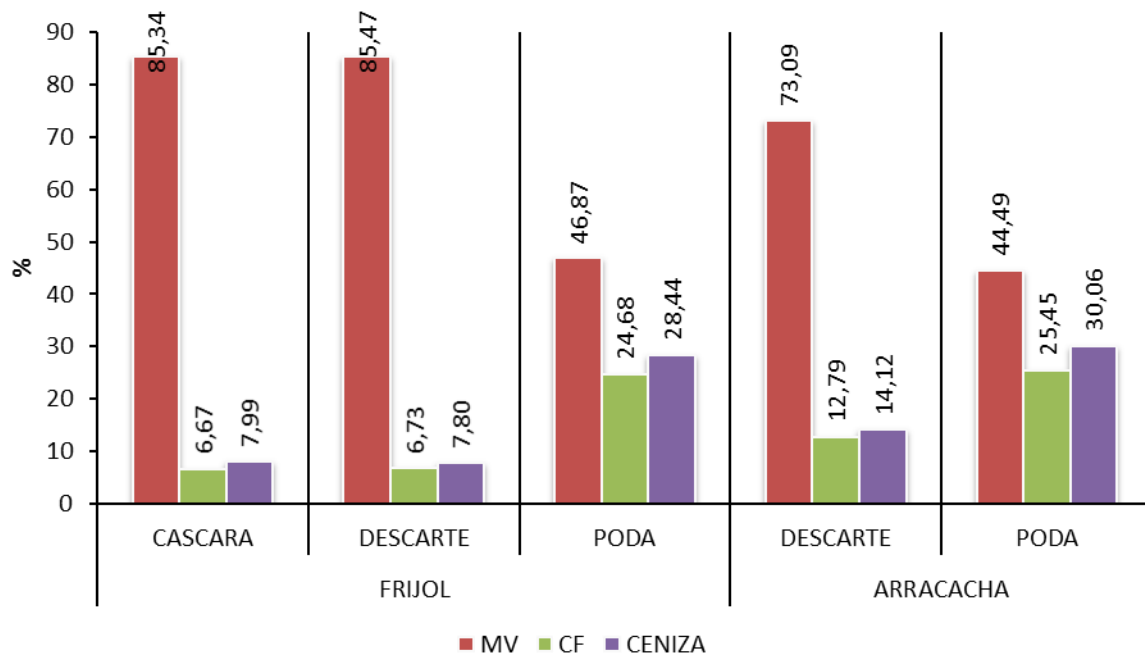
**Tabla 2. Caracterización fisicoquímica de cultivos transitorios y anuales.**

PARAMETRO	CULTIVO TRANSITORIO			CULTIVO ANUAL	
	FRIJOL			ARRACACHA	
	CASCARA	DESCARTE	PODA	DESCARTE	PODA
ANALISIS ELEMENTAL EN BASE SECA [%p]					
COT	62,05	64,5	62,75	83,55	65,68
HIDRÓGENO	7,13	7,41	7,21	9,6	7,55
OXÍGENO	25,88	20,12	18,93	1,87	15,44
NITRÓGENO	0,67	3,59	2,66	0,44	1,13
AZUFRE	0,02	0,08	0,13	0,09	0,08
ANALISIS PRÓXIMO [%p]					
MV	45,41	47,11	13,71	23,03	14,98
CF	3,55	3,71	7,22	4,03	8,57
CENIZAS	4,25	4,30	8,32	4,45	10,12
ANALISIS ESTRUCTURAL EN BASE SECA [%p]					
GRASA	0,66	2,57	1,51	1,87	0,83
PROTEINA	4,19	22,44	16,63	2,75	7,06
CELULOSA	43,79	36,83	31,39	22,39	20,14
HEMICELULOSA	19,87	12,69	21,03	5,27	7,88
LIGNINA	6,12	10,68	14,68	34,27	18,04
OTROS PARAMETROS [%p]					
MATERIA ORGANICA	106,98	111,2	108,7	144,05	113,24
RELACION C/N	92,61	17,96	23,59	189,88	58,12
HUMEDAD	51,83	51,25	83,72	76,11	83,59

PCI 	12562,87	13449,60	7829,28	6815,79	11165,53
---	----------	----------	---------	---------	----------

**3.3 Humedad de cultivos transitorios y anuales:** De los resultados obtenidos en el análisis próximo efectuado a las biomásas provenientes de los cultivos de arracacha y frijol, se destaca el alto contenido de humedad de cada uno de los residuos, alcanzando valores cercanos al 50% para la cáscara y el frijol de descarte. Si estos residuos fuesen a ser aprovechados mediante tecnologías de combustión o termoquímicas, requerirían de una etapa de secado para disminuir la humedad hasta porcentajes de por lo menos 10-20%. Esta etapa se hace necesaria ya que el alto contenido de humedad disminuye la eficiencia al usar parte del calor de la reacción para evaporar el agua contenida en la muestra. [PERMCHART *et al.*, 2004].

**Figura 2. Análisis próximo en base seca de los residuos de Arracacha y Frijol.**



**3.4 Material volátil y carbono fijo de cultivos transitorios y anuales:** Un alto porcentaje de material volátil (75-90%p) contenido en la biomasa, permite producir gas de síntesis debido a la baja temperatura de ignición y estabilidad en el procesos de gasificación [CHIANG *et al.*, 2012]. También permite evaluar la descomposición de la biomasa por acción de microorganismos [KOPSAHELIS *et*

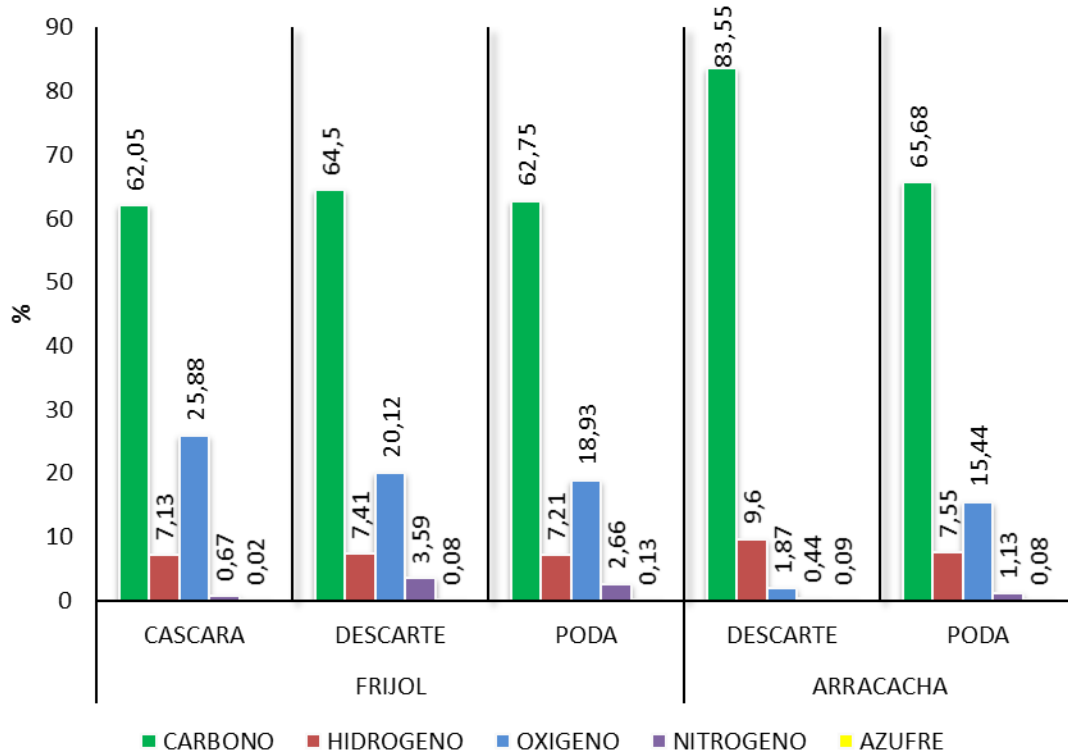
*al.*, 2007]. Los residuos de frijol y arracacha presentan contenidos bajos de material volátil y carbono fijo (Ver Figura 2), alcanzando promedios en base seca de 67,05%p y 15,26%p respectivamente, en comparación con los resultados reportados por otros autores para biomásas agrícolas [GOMEZ *et al.*, 2013].

**3.5 Cenizas de cultivos transitorios y anuales:** La Tabla 2, muestra los contenidos de cenizas, superiores al 4% en cada uno de los residuos y se destacan los residuos de la poda de frijol y arracacha los cuales alcanzan el 8,32 y 10,12% respectivamente. En procesos termoquímicos, las cenizas forman depósitos en las superficies de los equipos y aguas debajo de los reactores causando problemas de corrosión [VAMVUCA 2008] y por ende altos costos de mantenimiento. Por otra parte disminuir el contenido de cenizas en la muestra por medio de pre tratamientos requiere de tecnologías complejas y costosas [CASTELLS *et al.*, 2005]. Para procesos de pirólisis o gasificación se recomienda que las biomásas posean contenidos de ceniza del orden del 3%p [MEJIA *et al.*, 2013].

**3.6 Carbono, hidrógeno y oxígeno de cultivos transitorios y anuales:** En la Figura 3, se evidencia que los contenidos de carbono, hidrógeno y oxígeno son muy similares en los residuos de arracacha y frijol, excepto por el residuo formado por la arracacha de descarte, en la cual el contenido de carbono alcanza el 83,55. El carbono, hidrógeno y oxígeno tienen un efecto positivo sobre el poder calorífico de la biomasa lignocelulósica [SHENG *et al.*, 2005].

La relación C/O de los residuos restantes tiene un promedio de 3,28, lo cual se transfiere en un alto poder calorífico. Sin embargo, el poder calorífico de las biomásas de arracacha y el frijol se ven disminuidos por su alto contenido de humedad, por esta razón se destaca el frijol de descarte el cual, con una humedad del 51,25%p, es la más baja de las cinco muestras, alcanza un PCI de 13,45 MJ/Kg (ver Tabla 2).

Figura 3. Análisis último de los residuos de Arracacha y Frijol.



**3.7 Relación C/N de cultivos transitorios y anuales:** La relación C/N es comúnmente utilizada como indicador para el uso de la biomasa en la producción de metano, con un valor recomendado entre 20 y 30 por digestión anaerobia [HABIBA *et al.*, 2009]. De los resultados presentados anteriormente, la poda del cultivo de frijol tiene una relación C/N de 23,59 (ver Tabla 2). Esta característica junto con la humedad, hacen de este residuo una buena opción para la producción de metano por medio de digestión anaerobia. Los residuos restantes de los cultivos de arracacha y frijol presentan relaciones C/N que se alejan de los valores recomendados, por lo cual se pueden utilizar en otro tipo de proceso.

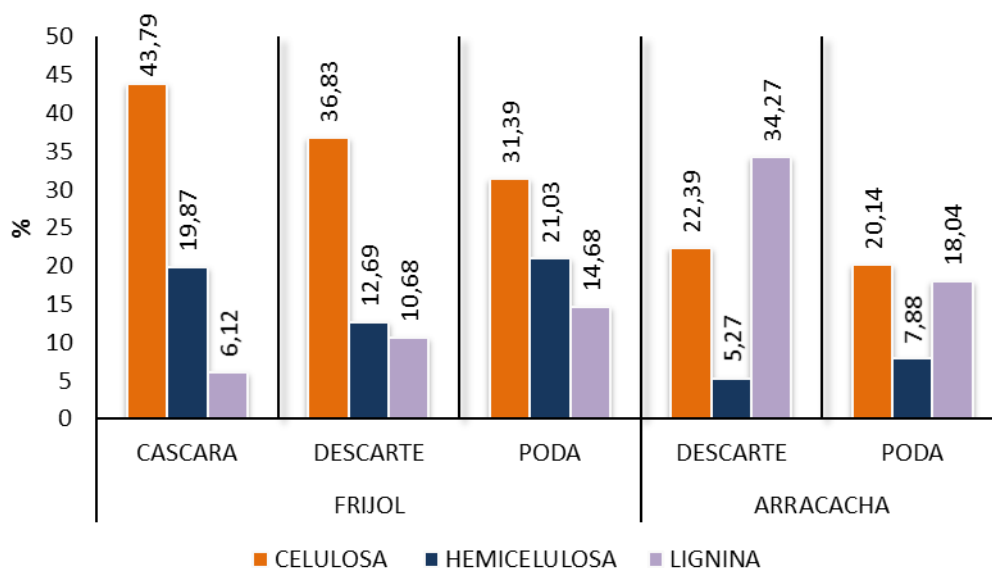
**3.8 Azufre de cultivos transitorios y anuales:** Los residuos de arracacha y frijol presentan contenidos de azufre inferiores al 1% lo cual representa una ventaja en el uso de este tipo de biomasa residual debido a las bajas emisiones de dióxido de azufre hacia el medio ambiente.

**3.9 Celulosa, hemicelulosa y lignina de cultivos transitorios y anuales:** En la Figura 4 se presentan los resultados del análisis estructural de los residuos de arracacha y frijol. Se evidencia que los residuos provenientes del cultivo de frijol presentan la misma tendencia con altas cantidades de celulosa y bajos porcentajes de lignina. Por su parte, los residuos provenientes del cultivo de arracacha presentan altos niveles de lignina en comparación con las cantidades de hemicelulosa, en donde se destaca la arracacha de descarte, la cual posee la mayor cantidad de lignina (34,27%p) de los cinco residuos.

Los residuos provenientes del cultivo de arracacha, mantienen un alto contenido de lignina. UZUN *et al.*, (2010), determinaron que es posible obtener bio-oil a partir de residuos que presenten contenidos de lignina superiores al 25%p.

El bajo contenido de lignina presente en los residuos de frijol (inferior al 15%p) hace que éstos se puedan considerar materia óptima para su aprovechamiento por medio de conversión bioquímica, donde la proporción de celulosa y lignina es de gran importancia [MCKENDRY P., 2002].

**Figura 4. Análisis estructural de los residuos de arracacha frijol.**



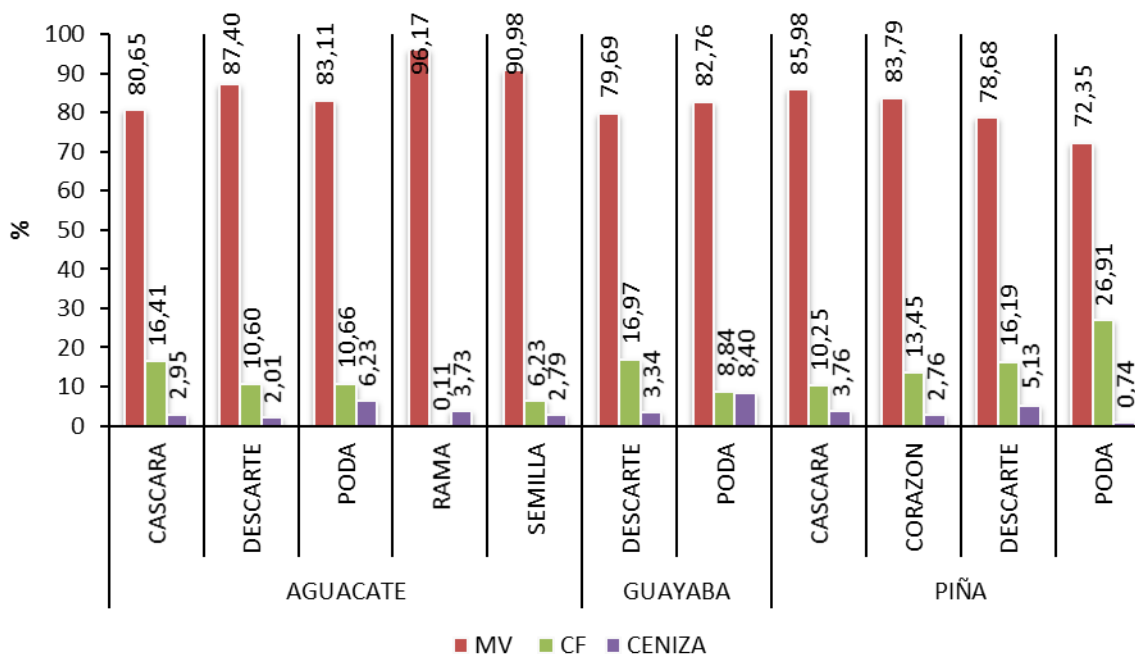
**Tabla 3. Caracterización fisicoquímica de cultivos permanentes**

PARAMETRO	CULTIVOS PERMANENTES										
	GUAYABA		AGUACATE					PIÑA			
	DESCARTE	PODA	CASCARA	DESCARTE	PODA	RAMA	SEMILLA	CASCARA	CORAZON	DESCARTE	PODA
ANALISIS ELEMENTAL EN BASE SECA [%p]											
COT	59,55	75,59	50,70	55,17	57,54	69,22	68,61	61,65	61,76	71,26	63,57
HIDRÓGENO	6,84	8,69	5,83	6,34	6,61	7,96	7,89	7,09	7,10	8,19	7,31
OXÍGENO	27,99	7,30	37,45	31,93	16,35	19,77	20,11	26,32	27,77	15,78	21,79
NITRÓGENO	0,87	1,64	0,90	1,18	1,45	0,41	0,58	0,80	0,53	0,90	1,33
AZUFRE	0,06	0,14	0,06	0,06	0,15	0,04	0,25	0,27	0,11	0,05	0,19
ANALISIS PRÓXIMO [%p]											
MV	17,66	47,86	16,96	25,24	40,39	81,80	32,26	23,98	13,96	15,50	12,72
CF	3,76	5,11	3,45	3,06	5,18	0,09	2,21	2,86	2,24	3,19	4,73
CENIZAS	0,74	4,86	0,62	0,58	3,03	3,17	0,99	1,05	0,46	1,01	0,13

PARAMETRO	CULTIVOS PERMANENTES										
	GUAYABA		AGUACATE					PIÑA			
	DESCARTE	PODA	CASCARA	DESCARTE	PODA	RAMA	SEMILLA	CASCARA	CORAZON	DESCARTE	PODA
ANALISIS ESTRUCTURAL EN BASE SECA [%p]											
GRASA	2,85	2,37	4,08	12,27	2,88	0,68	3,89	0,85	0,54	0,99	2,22
PROTEINA	5,44	10,25	5,63	7,38	9,06	2,56	3,63	5,00	3,31	5,63	8,31
CELULOSA	21,07	38,93	21,26	26,07	39,95	28,35	18,27	30,95	21,35	28,93	27,88
HEMICELULOSA	18,02	22,79	18,71	5,40	14,30	17,32	13,47	8,81	10,29	9,17	20,64
LIGNINA	17,22	4,52	28,63	36,60	20,03	27,34	7,14	7,49	7,63	32,92	13,03
OTROS PARAMETROS [%P]											
MATERIA ORGANICA	102,66	130,32	87,42	95,11	99,19	119,33	118,28	106,28	106,48	122,86	109,6
RELACION C/N	68,44	46,09	56,33	46,75	39,68	168,83	118,29	77,06	116,25	79,17	47,79
HUMEDAD	81,32	47,26	82,42	74,17	56,55	14,95	66,74	74,96	85,57	83,49	86,40
PCI[kJ/kg]	1311,21	17064,95	14647,17	14686,40	17355,84	18221,99	11901,47	12704,00	13589,11	10205,12	38059,02

**Continuación Tabla 3. Caracterización fisicoquímica de cultivos permanentes.**

**Figura 5. Análisis próximo en base seca de los residuos de Aguacate, Guayaba y Piña.**

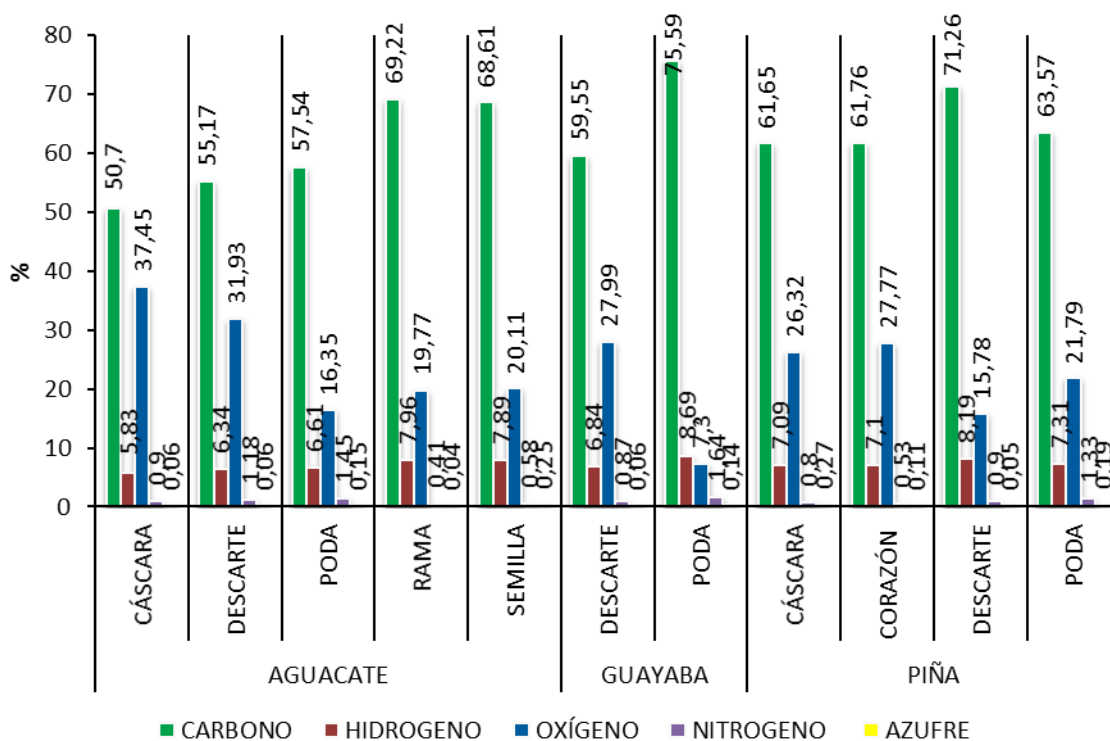


**3.10 Humedad de cultivos permanentes:** De los resultados obtenidos en el análisis próximo de los cultivos permanentes (Ver Tabla 5) se destacan la cáscara de aguacate, la guayaba de descarte, el corazón, el descarte y la poda de la piña, los cuales, tienen contenidos de humedad superiores al 80%p, esta característica los hace candidatos para procesos bioquímicos [GARCÍA *et al.*, 2011]. Los residuos restantes presentan contenidos de humedad inferiores al 80%p. De estos, la rama de aguacate presenta el contenido más bajo, de tan solo 14,95%p siendo un posible candidato como materia prima en procesos termoquímicos.

**3.11 Material volátil y carbono fijo de cultivos permanentes:** De los residuos de aguacate, guayaba y piña sobresale el alto contenido de material volátil de la rama de aguacate (96,17%p en base seca), los residuos restantes presentan porcentajes de material volátil y carbono fijo promedio de 82,53%p y 13,65%p en base seca, respectivamente, los cuales se encuentra en el rango recomendado por CHIANG *et al.*, (2012) para producir gas de síntesis, debido a la baja temperatura de ignición,

**3.12 Cenizas de cultivos permanentes:** Los residuos de rama y poda de aguacate además de la poda de guayaba presentan los contenidos superiores al 3%p, si estos residuos fuesen aprovechados energéticamente mediante procesos termoquímicos, generarían problemas de corrosión en los equipos, por ende un alto costo de mantenimiento. Los porcentajes de cenizas presente en las otras biomásas son bastante bajos alcanzando un promedio de tan solo 0,7%p por lo cual no presentan graves problemas al ser aprovechados mediante tecnologías de combustión.

**Figura 6. Análisis último de los residuos de Aguacate, Guayaba y Piña.**

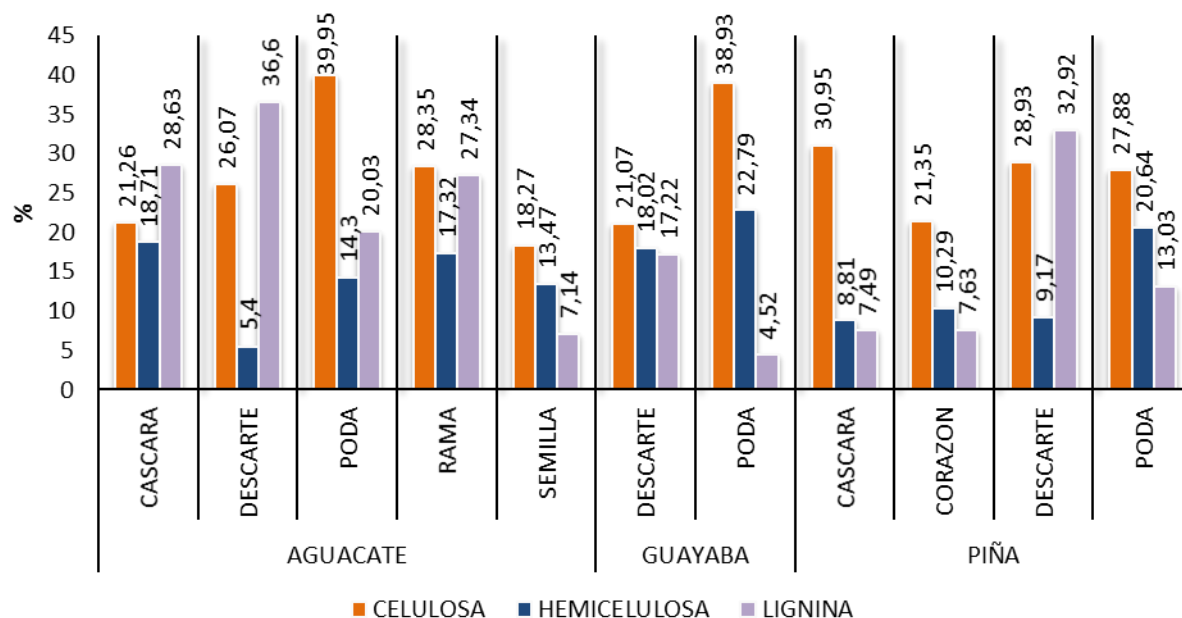


**3.13 Carbono, hidrógeno y oxígeno de cultivos permanentes:** En la Figura 6 se evidencia que los residuos de aguacate, guayaba y piña presentan altos contenidos de carbono y oxígeno. La poda de la guayaba se destaca por tener el mayor contenido de carbono (75,59%p), mientras que la cáscara del aguacate tiene el mayor porcentaje de oxígeno (37,45%p). Estas características, hacen que los residuos presenten valores considerables en el PCI (ver Tabla 3).

**3.14 Relación C/N de cultivos permanentes:** Los valores presentados por las biomásas residuales de los cultivos de aguacate, guayaba y piña para esta relación (ver Tabla 3) se alejan del rango recomendado para procesos de digestión anaerobia (20-30); por esta razón no sería recomendado su uso en este tipo de procesos.

**3.15 Azufre de cultivos permanentes:** Los contenidos de azufre presentados en la Figura 6, se encuentran por debajo del 1%p para cada una de las muestras estudiadas. Este atributo se transmitirá en bajas emisiones de dióxido de azufre en los procesos de aprovechamiento energético.

**3.16 Celulosa, hemicelulosa y lignina de cultivos permanentes:** En la Figura 7 se presentan los resultados obtenidos en el análisis estructural de los residuos de cultivos permanentes.



**Figura 7. Análisis estructural de los residuos de Aguacate, Guayaba y Piña.**

La semilla del aguacate, el descarte y la poda de la guayaba, la cáscara, el corazón y la poda de la piña, presentan bajos contenidos de lignina en

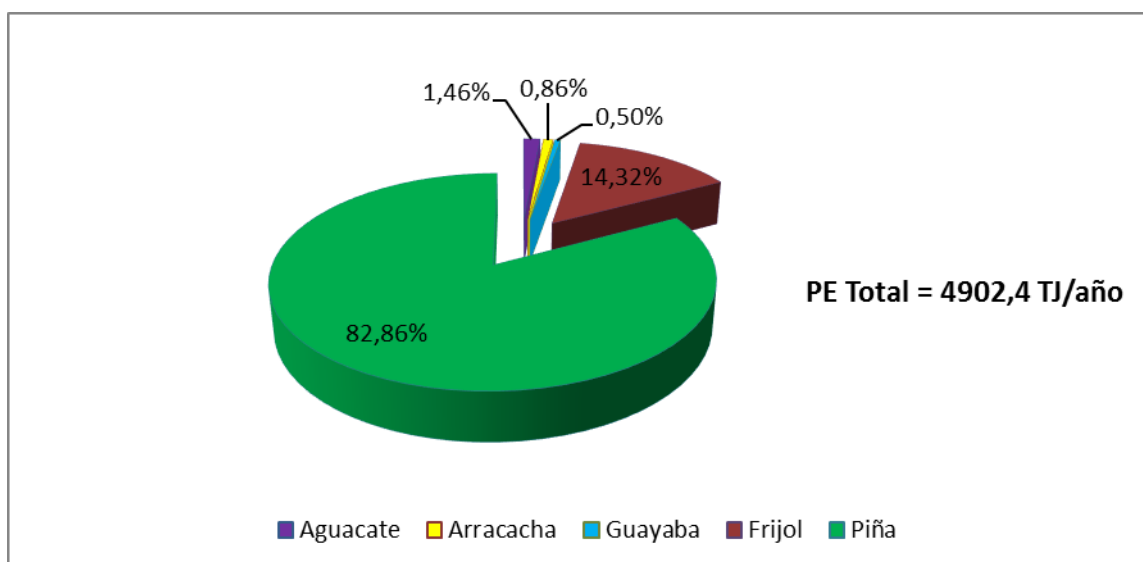
comparación, con su contenido de celulosa; esta característica los hace buen material para conversiones bioquímicas [MCENDRY P., 2002]. La cáscara, el descarte, la poda y la rama del aguacate junto al descarte de la piña poseen un alto contenido de lignina (alcanzando un promedio de 29.1%p), al ser comparados con los resultados del estudio de UZUN *et al.*, (2010), sugiere que pueden ser utilizadas en procesos de pirólisis para producción de bio-oil.

**Tabla 4. Potencial Energético de los residuos de los cultivos de Aguacate, Arracacha, Guayaba, Frijol y Piña.**

Cultivo	Residuo	Rendimiento [t/ha]	Oferta Residuo [kt/año]	PCI [kJ/kg]	PE Residuo [TJ/año]	PE Cultivo [TJ/año]
Aguacate	Cáscara	6,35	0,3	14647,17	0,75	71,79
	Descarte		0,6	14686,40	2,29	
	Poda		7,5	17355,84	55,93	
	Rama		0,6	18221,99	9,29	
	Semilla		0,9	11901,47	3,53	
Arracacha	Descarte	31,78	1,62	6815,79	2,72	42,14
	Poda		21,35	11165,53	39,42	
Guayaba	Descarte	6,62	1,34	13111,21	3,32	24,45
	Poda		2,31	17064,95	21,12	
Frijol	Cáscara	1,31	0,23	12562,87	1,35	702,02
	Descarte		0,56	13449,60	3,69	
	Poda		558,87	7829,28	696,97	
Piña	Cáscara	31,76	4,78	12704,00	15,18	4062,00
	Corazón		31,09	13589,11	59,12	
	Descarte		23,91	10205,12	39,03	
	Poda		1481,54	38059,02	3948,66	

**3.17Potencial Energético:** En la Tabla 4, se presenta para los residuos de los cinco cultivos, el rendimiento, la disponibilidad u oferta de biomasa, PCI y el PE. Estos se asemejan a otros estudios realizados en Colombia para biomásas residuales agrícolas por ORDUZ (2011), quien presentó valores de PCI dentro del rango de 13537,42 a 19374, 25 kJ/kg para biomásas residuales de arroz, caña de azúcar, caña de panela, café y palma de aceite.

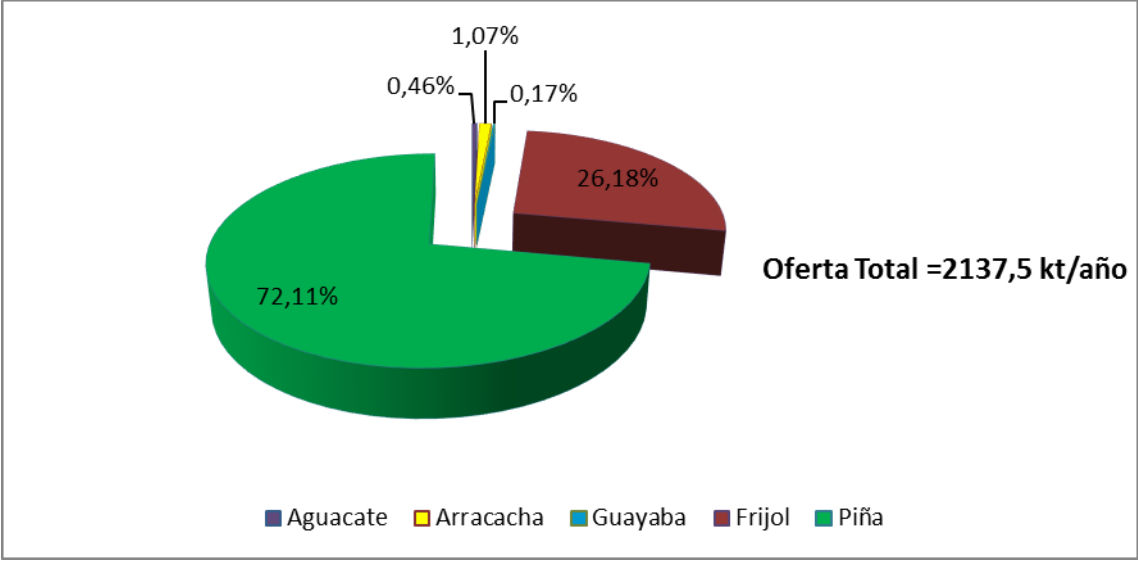
Se puede observar que el PE de los cinco cultivos presentan una amplia variabilidad, entre los cuales, se destaca el cultivo de piña, que alcanza los 4062,00 TJ/año, superior a los presentados por GOMEZ *et al.*, 2013, para los cultivos de cacao, fique, limón, mandarina, naranja y tomate.



**Figura 8. Distribución porcentual de los aportes de cada cultivo al PE total.**

A partir de las Figuras 8 y 9 es posible inferir que la oferta de las biomásas residuales de cada cultivo, incide directamente en el PE aportado por cada uno, por esta razón los cultivos de guayaba y arracacha, de los cuales se obtienen tan sólo dos tipos de residuo, aportan menos del 1% al PE total. Incluso cuando el PCI de la poda del frijol es uno de los más bajos (Ver Tabla 2), su aporte al PE total es mayor que la de todos los residuos de aguacate, arracacha y guayaba juntos. Esto se debe a que la oferta del residuo de la poda del frijol es mayor (Ver Tabla 6). También se debe destacar que el área cosechada influye directamente en la

cantidad de residuo generado, especialmente en los residuos de poda de cada cultivo, teniendo en algunos casos mayor incidencia que el rendimiento del cultivo (Ver Tabla 1).



**Figura 9. Aporte a la oferta de residuo total de los cultivos de Aguacate, Arracacha, Guayaba, Frijol y Piña.**

#### 4. CONCLUSIONES

Los cultivos de aguacate, arracacha, guayaba, frijol y piña, generan 16 biomásas residuales, de las cuales se destacan los residuos de poda de frijol y piña con ofertas de 588,87 y 1481,54 kt/año respectivamente.

Respecto al factor de residuo, se estructuró un método para su cálculo, el cual permitió identificar que las biomásas residuales de la poda de frijol y piña presentan los valores más altos, 49,63 y 3,10 t de residuo/t de producto principal respectivamente.

El análisis elemental demostró un bajo contenido de azufre en todas las biomásas residuales. Esta característica representa una ventaja, al ser aprovechados energéticamente mediante tecnologías termoquímicas, dado que, sus emisiones tendrían bajos niveles de dióxido de azufre.

El análisis estructural evidenció altos contenidos de lignina en las biomásas de arracacha (descarte), aguacate (descarte y rama) y piña (descarte). Estos residuos presentan poca degradabilidad, por lo cual, no es recomendable su aprovechamiento energético mediante la tecnología digestión anaerobia. Por el contrario las biomásas restantes (cáscara, semilla y poda de aguacate, poda de arracacha, descarte y poda de guayaba, cáscara, descarte y poda de frijol, cáscara, corazón y poda de piña), cuyos contenidos de lignina son bajos y además presentan altos grados de humedad, hacen de estos residuos excelentes fuentes para sustratos de los procesos bioquímicos. Por otra parte, se destaca el alto contenido de MV y CF de la rama de aguacate, característica que beneficia el aprovechamiento energético de este residuo mediante procesos de gasificación.

Los cinco cultivos estudiados, presentan un potencial energético total de 4902,4 TJ/año del cual el 82,86% es aportado por las biomásas residuales de la piña. A pesar de que biomásas como la poda de la guayaba presentan los valores más altos en cuanto al PCI (17064,95 kJ/kg), su aporte al potencial energético total es muy pequeño debido a la poca oferta de residuo disponible (2,31 kt/año).

## BIBLIOGRAFIA

AGUGLIARO M, ALCAYDE A, MONTOYA G, ZAPATA A, GIL C. *Scientific production of renewable energies worldwide: An overview*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2013; 18: 134–143.

AGUIAR L, MARQUEZ F, GONZALO A, SANCHEZ J. L, ARAUJO J. *Influence of temperature and particle size on the fired bed pyrolysis of orange peel residues*. *J. Anal. Appl. Pyrolysis*. 2008; 83: 124-130.

ARGENTINA. SECRETARIA DE ENERGÍA DE ARGENTINA. *Producción de energías renovables-biomasa*.

AZADI P, INDERWILDI O.R, FARNOOD R, KING D.A. *Liquid fuels, hydrogen and chemicals from lignin: A critical review*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2013; 21: 506-523.

BAKAR SIDIK D.A, NGADI N, SAIDINA AMIN N. A. *Optimization of lignin production from empty fruit bunch via liquefaction with ionic liquid*. *University Technology Malaysia. Bioresource Technology*. 2013; 153: 690–696.

BHATTACHARYA S, SALAM A, RUNQING H, SOMASHEKAR L, RACELIS D, RATHNASIRI P, YINGYUAD R. *An assessment of the potential for nonplantation biomass resources in selected Asian countries*. *Biomass and Bioenergy*. 2010; 67-177.

CASTELLS X.E., CADAVID C, CAMPOS P.E., FLOTATS R.X., GARCÍA M.J., GAYA F.J., JURADO G.L., CREMADES O.L., VELO G.E. *Tratamiento y Valorización energética de residuos*. Ediciones días de santos, España. 2005; pág.64.

CHIANG K, CHIEN K, LU C. *Characterization and comparison of biomass produced from various sources: Suggestions for selection of pretreatment technologies in biomass-to-energy*. *Applied Energy* 2012; 100: 164–171.

COLOMBIA. DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. *Plan nacional de desarrollo 2006-2010*.

CUIPING L, CHUANGZHIA W, HAITAO H. *Chemical elemental characteristics of biomass fuels in China*, *Biomass and Bioenergy*. 2004; 27: 119–130.

DEMIRBAS A. *Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals*. *Energy Convers Manage*. 2001; 42-78.

DEMIRBAS A. *Combustion characteristics of different biomass fuels*. *Progress in Energy and Combustion Science*. 2004; 30: 219-230.

DOMINGUEZ B, J, CIRIA P, ESTEBAN L.S, SÁNCHEZ D. *Evaluación de la biomasa potencial como recurso energético en la región de navarra (España)*, congreso GeoFocus, 2003.

ESCALANTE H, ORDUZ J, ZAPATA H, CARDONA M.C, DUARTE M. *Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia*. Ediciones UIS; 2010. pág.131-155.

FENGEL D, WEGENER G. *Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions*. New York: Walter de Gruyter. 1983.

GARCÍA R, PIZARRO C, LAVÍN A.G, BUENO J.L *Characterization of Spanish biomass wastes for energy use*. *Bioresource Technology*.2012; 103: 249-258.

GARCIA E.I, PARAMESWARAN P, KANG D.W, CANUL M, KRAJMALNIK R. *Anaerobic digestion and co-digestion processes of vegetable and fruit residues: Process and microbial ecology*. *Bioresource Technology*. 2011; 102: 9447-9455.

GÓMEZ D, PARRA J. *Caracterización fisicoquímica de residuos agrícolas en Santander: "cacao, cítricos, figue y tomate"*. (Trabajo de grado) Bucaramanga. Colombia, Universidad Industrial de Santander. 2013.

HABIBA L, HASSIB B, MOKTAR H. *Improvement of activated sludge stabilization and filterability during anaerobic digestion by fruit and vegetable waste addition*. *Bioresource Technology*. 2009; 100: 1555-1560.

HALADOVA D, PECEN J. *selection of optimal anaerobic digestion technology for family sized farm use- case study of southwest Madagascar*. *Agricultura tropical*. 2011; pág. 3.

HUSAIN, ZA. ZAINAL, M.Z. ABDULLAH. *Analysis of biomass-residue-base cogeneration system in palm oil mills*. *Biomass and Bioenergy* 24, 2003, 117-124.

IAKOVOU E, KARAGIANNIDIS A, VLACHOS D, TOKA A, MALAMAKIS A. *Waste biomass-to-energy supply chain management: A critical synthesis*. *Waste Management*.2010; 30: 1860–1870.

IGONI, A.H., AYOTAMUNO, M.J., EZE, C.L., OGAJI, S.O.T., PROBERT, S.D., *Designs of anaerobic digesters for producing biogas from municipal solid-waste*. *Appl. Energy*. 2008; 85: 430–438.

KHAN, A.A., DE JONG, W., JANSSENS, P.J., SPLIETHOFF, H. *Biomass combustion in fluidized bed boilers: potential problems and remedies*. *Fuel Process Technology*.2009; 90: 21–50.

KOPSAHELIS N, AGOURIDIS N, BEKATOROU A, KANELLAKI M. *Comparative study of spent grains and deligni Wed spent grains as yeast supports for alcohol production from molasses*. *BioresourceTechnology*.2007; 98: 1440–1447.

McKENDRY P. *Energy Production from Biomass (Part 1): Overview of biomass*. *Bioresource Technology*, 2002; 37-46.

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA, UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO Y ENERGÉTICA. *Plan Nacional de Energía 2010-2050*. Bogotá, Colombia.

NAIK S, GOUD V.V, ROUT P.K, JACOBSON K, DALAI A.K. *Characterization of Canadian biomass for alternative renewable biofuel*. *Renewable Energy*. 2010; 35: 1624-1631.

NING YAN, CHEN ZAO, DYSON P., WANG CHEN, LING-TAO LIU, YUAN KUO, *Selective degradation of wood lignin over noble-metal catalysts in two step process*, *ChemSusChem*, vol 1 pag. 626-629 (2008).

NOGUÉS F, GARCIA D, REZEAU A. *Energía de la Biomasa*. Zaragoza: *Prensas Universitarias de Zaragoza*, 2010.

ORDUZ J. *Modelo matemático para evaluar el potencial energético de la biomasa residual agrícola en Colombia* (Tesis maestría) Bucaramanga, Colombia *Universidad industrial de Santander*; 2011.

PATTIYA A. *Bio-oil production via fast pyrolysis of biomass residues from cassava plants in a fluidized-bed reactor*. *Bioresource Technology*. 2011; 102: 1959–1967.

PASANGULAPATI V, RAMACHANDRIYA K.D, KUMAR A, WILKINS R, JONES C.L, HUHNE R.L. *Effects of cellulose, hemicellulose and lignin on thermochemical conversion characteristics of the selected biomass*. *Bioresource Technology*. 2012; 114: 663-669.

PERMCHART W, KROUPRIANOV V. I. *Emission performance and combustion efficiency of a conical fluidized -bed combustor firing various biomasses*. *Technol*.2004; 92: 83–91.

QUINTERO M, CASTRO LI, ORTIZ C, GUZMÁN C, ESCALANTE H. *Enhancement of starting up anaerobic digestion of lignocellulosic substrate: fique's bagasse as an example*. *Bioresource Technology*. 2012; 108: 8-13.

ROJAS G, A., BARRAZA B, J. *caracterización morfológica del carbonizado de carbones pulverizados: determinación experimental*. *Universidad de Antioquia*. Medellín.2008: 42-58.

SAVITRI G, UBONWAN C, SUTHUM; JITTAWADEE. *Physical and chemical properties of Thai biomass fuels from agricultural residues*. Thailand bioresource technology.2008; 83: 79-82.

SECRETARIA DE AGRÍCULTURA Y DESARROLLO RURAL DE SANTANDER. *Evaluaciones agropecuarias municipales*. Editor. Gobernación de Santander; 2010.

SHEN J, ZHU S, LIU X, ZHANG H, TAN J. *The prediction of elemental composition of biomass based on proximate analysis*, Energy Conversion and Management 2010; 50: 983–987.

SORDI, ALEXANDRE., SOUSA, SAMUEL., OLIVEIRA, FRANCISCO. Distribuição geográfica do potencial energético dos Resíduos da avicultura de corte na região oeste do Paraná. Maringa. 27: 183-190, 2000.

SPEIGHT J. *Handbook of coal analysis*. New Jersey: Wiley Interscience, 2005; 41-67.

SUBERO, E. *Caracterización de los combustibles Sólidos*. Zaragoza: Escuela Universitaria Ingeniería Técnica Industrial., (2010).

SU-HEO H. , PARK J. H, YIM J, SOHN J, PARK J, KIM S, RYU C, JEON J, PARK Y. *Influence of operation variables on fast pyrolysis of miscanthus sinensisvar. purpurascens*. Bioresource Technology. 2010; 101; 3672-3677.

T. MATEUS. A Suinicultura e a fermentação Anaerobica o Potencial Energético do biogás a través de efluentes da agro-pecuaria. Portugal: Quercus Ambiente. Vol. 25, 1-9, 2005.

UZUN B.B, APAYDIN-VAROL E, ATES F, OZBAY N, PUTUN A.E. Synthetic fuel production from tea waste: Characterization of bio-oil and bio-char. Fuel. 2010; 89: 176-1.

VAMVUCA D, ZOROGRAFOS D, ALEVIZOS G. *Control methods for mitigating biomass ash-related problems in fluidized beds*. Bioresource Technology. 2008; 99:3534-3544.

VOIVONTAS D, ASSIMACOPOULOS D, KOUKIOS E, G. Assessment of biomass potential for power production: a GIS based method. Department of Chemical Engineering, National Technical University of Athens, Zografou Campus. Biomass and Bioenergy.2001; 20: 101-112.

**ANEXO A**  
**MANUAL BOMBA CALORIMETRICA**

$$PCS = \frac{tW + e_3}{m} \quad [4]$$

En donde:

*PCS*: Poder Calorífico Superior. [cal/g]

*t*: Δ Temperatura del agua en la bomba.

*e<sub>3</sub>*: Correlación en calorías para calor de combustión del alambre fusible utilizado en la prueba.  $e_3 = 2.3 * c_3$

*c<sub>3</sub>*: Cantidad en centímetros de alambre consumido.

*W*: 2402, energía equivalente del calorímetro. [cal/°C]

*m*: Cantidad en gramos de la muestra.

## **ANEXO B**

### **PROTOCOLO DE MUESTREO**

Inicialmente se inspeccionó la plantación y posteriormente se realizó la recolección de muestras utilizando el método de malla.

#### **MÉTODO DE MALLA**

1. Consistió en abordar un área extensa de la plantación subdividida en cuadros con distanciamiento equitativo; en cada cuadro se realizó toma de la muestra, agrupándola en un lugar adecuado y evitando su contaminación con el suelo.
2. Posteriormente se procedió a realizar una malla de menor tamaño e ir seleccionando de diferentes puntos otra cantidad de muestra, esta operación se repitió las veces necesarias hasta recolectar 1,5 kg de muestra.
1. Las muestras se colocaron en bolsas plásticas herméticas almacenándolas en cavas para su conservación durante el transporte al laboratorio.

## ANEXO C

### TECNICAS DE ANALISIS

ANALISIS	VARIABLE	TECNICA	NORMA	LABORATORIO
ANALISIS PROXIMO	Humedad	Análisis Termo gravimétrico	ASTM D7582-10	CILIQ
	MV			
	CF			
	Cenizas			
ANALISIS ULTIMO	Carbono	Colorimétrico	NMX-AA- 21-1984	CEIAM
	Hidrogeno	Colorimétrico	NMX-AA- 068-1986	
	Oxigeno	Gravimétrico	--	
	Nitrógeno	Kjeldahl	NTC 1556	
	Azufre	Turbidimetrica	--	

**Tabla 5. Análisis y Técnicas de caracterización**

<b>ANALISIS</b>	<b>VARIABLE</b>	<b>TECNICA</b>	<b>NORMA</b>	<b>LABORATORIO</b>
<b>ANALISIS ESTRUCTURAL</b>	Grasa	Extracción soxhlet	NTC 668	CEIAM
	Proteína	Kjeldahl	NTC 1556	CEIAM
	Extracción Acuosa	Extracción soxhlet	ASTM D1110-56(77)	10B(IQ)
	Extracción orgánica	Extracción Soxhlet	ASTM D1110-56(77)	10B(IQ)
	Holocelulosa	Cloración	ASTM D1104-56(78)	10B(IQ)
	Celulosa	Tratamiento alcalino	ASTM D1103-60(77)	10B(IQ)
	Lignina	Hidrolisis	ASTM D1106-96(2007)	10B(IQ)
<b>OTROS PARAMETROS</b>	Materia Orgánica	Colorimétrico	NMX-AA-21-1984	CEIAM
	Relación C/N	Gravimétrico	NMX-AA-067-1985	10B(IQ)
	Sólidos Volátiles Totales	Gravimétrico	APHA 2540-E	10B(IQ)
	PCI	Bomba calorimétrica	ASTM D5865	INGENIERIA METALURGICA

**Continuación Tabla 5. Análisis y Técnicas de caracterización**

## ANEXO D

### CARACTERISTICAS BIOLOGICAS

#### FICHA TECNICA: CULTIVO DE ARRACACHA

**Nombre Común:** Arracacha, apio criollo, racacha, virraca, zanahoria blanca o mandioquinha salsa  
**Nombre Científico:** Arracacia xanthorrhiza  
**Origen:** Originaria de los Andes

La planta de la arracacha tiene un tronco cilíndrico corto con numerosos brotes en la parte superior de donde parten las hojas de peciolo largo y sus flores son de color púrpura. Su parte comestible es la raíz que asemeja a una zanahoria engrosada, ésta puede ser de color blanco, amarillo o morado según la variedad. Esta raíz tuberosa reservante es apreciada no solo por su sabor sino también por su digestibilidad ya que contiene un almidón muy fino así como también un alto contenido de calcio y vitamina A (variedad amarilla). Los tallos jóvenes pueden ser consumidos en ensaladas y las hojas pueden ser utilizadas como forraje para ganado vacuno o porcino.



La arracacha se cultiva principalmente por su raíz reservante que es de sabor agradable y de fácil digestibilidad, ya que posee un almidón muy fino, alto contenido de calcio y vitamina A y niveles adecuados de niacina, ácido ascórbico y fósforo. Su principal inconveniente es su corta vida de almacenamiento y su vulnerabilidad a sufrir daños durante el transporte.

M. Hermann (1997). M. Hermann and J. Heller (eds). ed. Arracacha. (Arracacia xanthorrhiza Bancr.). 21. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy. pp. 75-172.

## FICHA TECNICA: CULTIVO DE AGUACATE

**Nombre Común:** aguacate, palta, cura, avocado o abacate

**Nombre Científico:** Persea americana

**Origen:** Originario de México y Guatemala

Es un árbol de hoja perenne que puede llegar a tener casi 20 m de altura, aunque su tamaño normal se queda en una decena de metros, con corteza gris-verdosa, longitudinalmente fisurada. Las hojas, alternas, con peciolo de 2-5cm y limbo generalmente glauco por el envés, estrechamente elípticos, ovados u obovados, de 8-20 por 5-12 cm, coriáceos, de color verde y escasamente pubescentes en la haz pero muy densamente por el envés que es de color marrón amarillento y donde resalta el nervio central; tiene base cuneiforme y ápice agudo, los márgenes enteros y más o menos ondulados.



El árbol del aguacate requiere para su mejor 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 no inundables ni propensas a encharcamientos puesto que el exceso de humedad le afecta negativamente. Con respecto al clima, se deben evitar zonas de heladas ya que estas afectan la floración y si son muy intensas pueden llegar a perjudicar a las plantas.

«Tracing the Geographic Origins of Major Avocado Cultivars». Journal of Heredity 1. 2008

## FICHA TECNICA: CULTIVO DE PIÑA

**Nombre Común:** la piña o el ananá

**Nombre Científico:** Ananas comosus

**Origen:** Originaria de algún lugar no especificado de Sudamérica, probablemente provenga del Cerrado, específicamente del Altiplano Goiasense. Los estudios de diversidad sugieren que se originaría entre Brasil, Paraguay y Argentina.



Es una planta vivaz, terrestre, aparentemente acaule, con una roseta basal de hojas rígidas, sésiles, lanceoladas, estrechamente imbricadas, con los márgenes dotados de espinas de puntas cortas, de 30 a 100 cm de largo; son ligeramente cóncavas, para conducir el agua de lluvia hacia la roseta.

El tallo, rojizo, se hace visible alrededor de los 2 años, creciendo longitudinalmente hasta alcanzar entre 1 y 1,5 m. De las axilas foliares aparecen pequeños retoños que los cultivadores cortan para la reproducción, aunque si se dejan pueden producir más frutos.

El ananá es un cultivo claramente tropical. Acepta cualquier tipo de suelo, siempre que cuente con buen drenaje; el anegamiento puede llevar a la podredumbre de las raíces. Es ligeramente acidófilo, prefiriendo un pH entre 5,5 y 6; exige buenas concentraciones de nitrógeno y potasio, algo de magnesio y cantidades limitadas de calcio y fósforo. No tolera las heladas ni las inundaciones, y requiere de altas temperaturas para fructificar, alrededor de los 24°; los excesos de calor, superando los 30°, perjudican la calidad del fruto al exacerbar el ciclo metabólico; el régimen de lluvias debe estar entre los 1.000 y 1.500 mm anuales.

CONABIO. 2009. Catálogo taxonómico de especies de México. 1. In Capital Nat. México. CONABIO, Mexico City.

## FICHA TECNICA: CULTIVO DE FRIJOL

**Nombre Común:** frijoles, balas, balines, porotos, caraotas.

**Nombre Científico:** *Phaseolus vulgaris*

**Origen:** El frijol común empezó a cultivarse hace aproximadamente 7000 años A.C. en el sur de México y Guatemala.

Son planta herbáceas anuales, erectas o trepadoras, de tallo pubescente o glabrescente cuando adultas. Las estipulas de las hojas trí-pinnadas son de forma lanceolada y de tamaño medio-centimétrico. Los foliolos son anchamente ovados o ovado-romboidal, los laterales, implantados oblicuamente, miden 4-15 por 2,5-10cm y son pubescentes con base redondeada o anchamente cuneada, de bordes enteros y ápice acuminado.

El frijol prospera en climas fríos y cálidos, tiene variedades trepadoras y enanas. Se cultiva en suelos no muy salinos, con índice medio de lluvias. Se cultiva en lugares donde el calor del sol llegue al tallo de la planta.

Aunque admite una amplia gama de suelos, los más indicados son los suelos ligeros, de textura silíceo-limosa, con buen drenaje y ricos en materia orgánica. En suelos fuertemente arcillosos, muy calizos y demasiado salinos vegeta deficientemente, siendo muy sensible a los encharcamientos, de forma que un riego excesivo puede ser suficiente para dañar el cultivo, quedando la planta de color pajizo y achaparrada. Los valores de pH óptimos oscilan entre 6 y 7,5, aunque en suelo enarenado se desarrolla bien con valores de hasta 8,5. Si el suelo es ligero y arenoso, se añade una cantidad abundante de turba húmeda, abono o estiércol maduro. Si el drenaje no es bueno se forma un cúmulo o montecito y se siembra en su parte superior. Si el suelo es muy ácido se agrega cal.



## Foodborne Pathogenic Microorganisms & Natural Toxins Handbook:Phytohaemagglutinin

## FICHA TECNICA: CULTIVO DE GUAYABA

**Nombre Común:** Guayaba

**Nombre Científico:** *Psidium Guajava*

**Origen:** Nativas del Caribe, América Central, América del Norte y el norte de América del Sur.

Es un pequeño árbol perenne que alcanza los 2-7 metros de altura con tronco erecto y ramificado de madera dura. La corteza, de color gris, se descama con frecuencia y presenta manchas. Las hojas son opuestas, sencillas, oblongas o elípticas de color verde claro. Las flores son blancas, grandes, de 2,5 cm de diámetro, axilares y olorosas, se encuentran solitarias o en pequeños racimos. El fruto es una baya de hasta 15 cm de diámetro con pulpa rosada y numerosas semillas.



Resistente a la sequía y al calor intenso, no resiste las heladas. Debe cultivarse protegido de los fríos intensos, poco exigente en suelos, aunque con fines productivos le convienen los suelos profundos y ricos con abonados periódicos, prefiere suelos ricos y bien drenados, con un pH entre 5 y 7. Riego frecuente y abono con nitrógeno reducido, requiere de una humedad constante de las partes profundas de las raíces, especialmente en la fase de floración; una sequía temporal provoca la caída de los brotes de flor. Soporta podas de formación rigurosas sin que se vea afectado el crecimiento de los frutos, ya que éstos se desarrollan sobre ramas de renuevo.

## Federal University of Uberlândia: Culture of Apple Guava

## ANEXO E

### CONSOLIDADO ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LAS BIOMASAS RESIDUALES

**Tabla 6. Consolidado análisis estructural de las biomasas residuales.**

Cultivo	Residuo	Ext. Acuosos	Ext. Orgánicos	Holocelulosa	lignina	ceniza	Total
Aguacate	Cáscara	12,12 ± 0,69	18,64 ± 0,14	39,97 ± 1,14	28,63 ± 0,30	0,62 ± 0,20	99,98 ± 0,49
	Descarte	17,13 ± 0,53	12,85 ± 0,58	31,47 ± 1,08	36,60 ± 0,18	0,58 ± 0,25	98,64 ± 0,52
	Poda	9,77 ± 0,43	15,08 ± 0,38	54,26 ± 0,80	20,03 ± 0,17	3,03 ± 0,15	102,17 ± 0,39
	Rama	21,67 ± 0,45	3,19 ± 1,11	45,67 ± 1,06	27,34 ± 1,45	3,17 ± 0,44	101,04 ± 0,90
	Semilla	50,72 ± 1,25	10,03 ± 0,43	31,74 ± 0,34	7,14 ± 0,16	0,99 ± 0,16	100,63 ± 0,47
Arracacha	Descarte	23,62 ± 0,29	14,63 ± 0,27	27,68 ± 1,01	34,27 ± 0,23	0,84 ± 0,14	101,03 ± 0,39
	Poda	30,27 ± 0,46	22,24 ± 1,36	28,03 ± 0,38	18,05 ± 1,11	1,41 ± 0,09	99,99 ± 0,68
Guayaba	Descarte	35,19 ± 0,27	5,63 ± 0,70	39,09 ± 0,64	17,22 ± 0,31	0,74 ± 0,39	97,88 ± 0,46
	Poda	22,50 ± 0,91	10,96 ± 0,19	61,73 ± 1,34	4,52 ± 0,47	4,86 ± 0,89	104,57 ± 0,76
Frijol	Cáscara	11,98 ± 0,18	11,79 ± 0,42	63,68 ± 0,68	6,12 ± 0,08	2,73 ± 0,30	99,45 ± 0,33
	Descarte	18,54 ± 0,73	19,20 ± 0,45	49,53 ± 0,32	10,69 ± 0,42	1,62 ± 0,00	99,58 ± 0,38
	Poda	29,99 ± 0,96	2,56 ± 0,08	52,42 ± 0,31	14,68 ± 0,83	2,56 ± 0,49	102,22 ± 0,53
Piña	Cáscara	7,53 ± 0,41	44,70 ± 0,42	39,77 ± 0,61	7,50 ± 0,36	1,05 ± 0,22	100,56 ± 0,40
	Corazón	52,25 ± 0,64	6,60 ± 0,20	31,64 ± 1,27	7,63 ± 0,46	0,46 ± 0,11	101,58 ± 0,54
	Descarte	8,35 ± 0,52	19,06 ± 0,09	38,12 ± 0,85	32,92 ± 1,61	1,01 ± 0,18	99,46 ± 0,65
	Poda	25,75 ± 0,22	11,38 ± 0,07	48,53 ± 0,34	13,03 ± 0,46	0,75 ± 0,13	99,45 ± 0,24

## **ANEXO F**

### **RESULTADOS DE ANALISIS PROPORCIONADOS POR EL CILIQ**

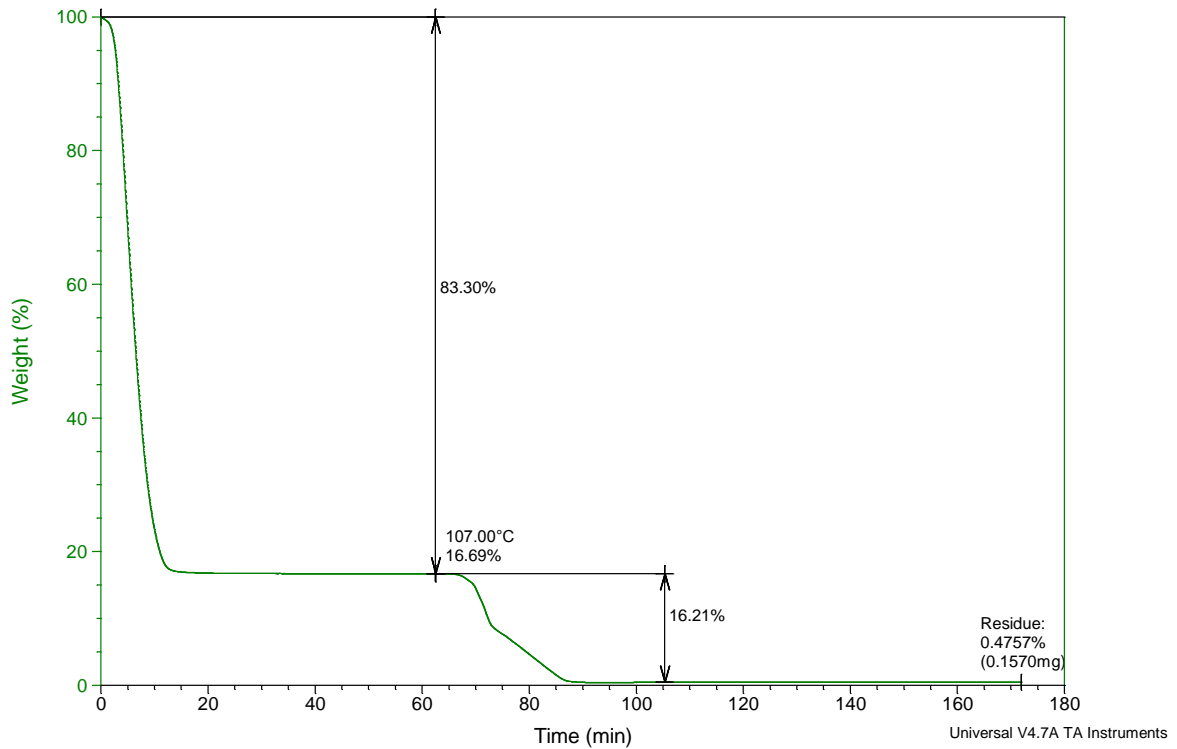
<b>CENTRO INTEGRADO DE LABORATORIOS DE INGENIERÍA QUÍMICA-CILIQ</b>	
<b>Fecha Recibido</b>	Junio de 2013
<b>Análisis</b>	<i>Análisis Próximo por duplicado:</i> Análisis termo-gravimétrico(TGA) Equipo: TA Instruments TGA 2050
<b>Material</b>	Biomasa residual
<b>Solicitante</b>	Dr. Humberto Escalante

### Muestra 1: Cáscara de aguacate

Sample: Cascara de aguacate  
Size: 33.0130 mg  
Method: Gilles 2Cmin

TGA

File: C:\...\Cascara de aguacate.001  
Operator: G.A.M.  
Run Date: 18-Jun-2013 09:55  
Instrument: 2050 TGA V5.1A



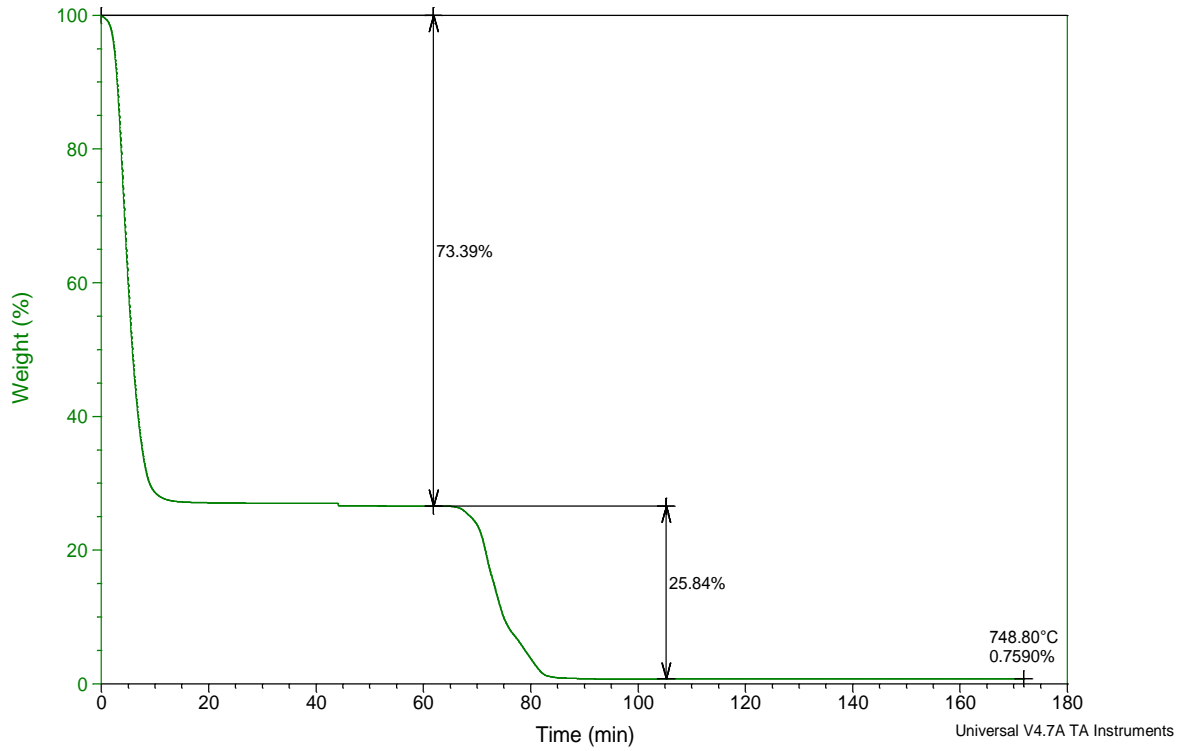
Análisis	Peso (mg)	% Humedad	% Volátiles	% Carbón fijo	% Cenizas
1	32,37	81,53	17,71	0,00	0,76
2	33,01	83,30	16,21	0,01	0,48
<b>Promedio</b>		82,42	16,96	0,01	0,62
<b>desviación estándar</b>		1,25	1,06	0,01	0,20

## Muestra 2: Aguacate de descarte

Sample: Aguacate de Descarte(R)  
 Size: 31.7910 mg  
 Method: Gilles 2Cmin

TGA

File: E:\...Aguacate de Descarte(R).001  
 Operator: G.A.M.  
 Run Date: 30-Nov-2006 00:24  
 Instrument: 2050 TGA V5.1A



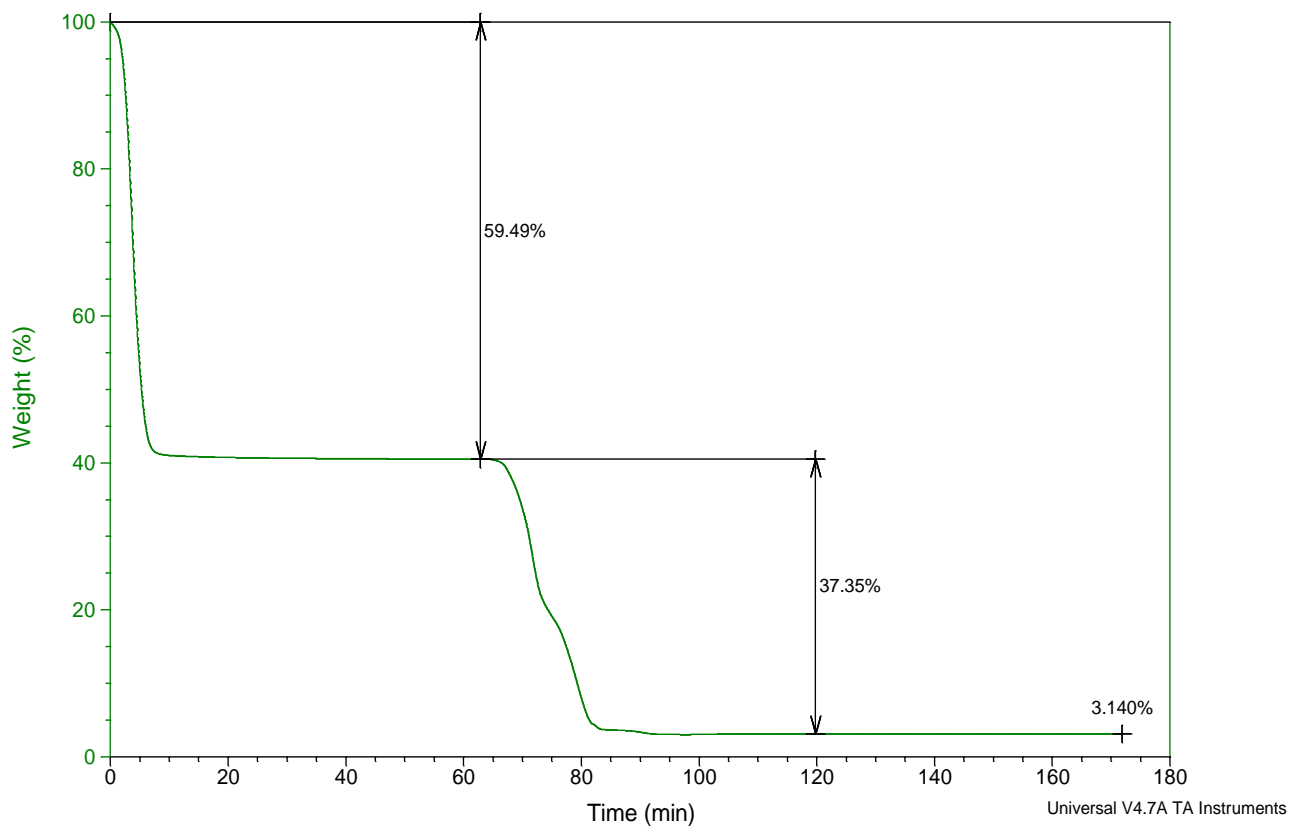
Análisis	Peso (mg)	% Humedad	% Volátiles	% Carbón fijo	% Cenizas
1	31,79	73,39	25,84	0,01	0,76
2	39,13	74,95	24,63	0,02	0,40
<b>Promedio</b>		74,17	25,24	0,02	0,58
<b>desviación estándar</b>		1,10	0,86	0,01	0,25

### Muestra 3: Poda de aguacate

Sample: Poda de aguacate(R)  
 Size: 16.5910 mg  
 Method: Gilles 2Cmin

TGA

File: E:\...\Poda de aguacate(R).001  
 Operator: G.A.M.  
 Run Date: 30-Nov-2006 05:45  
 Instrument: 2050 TGA V5.1A



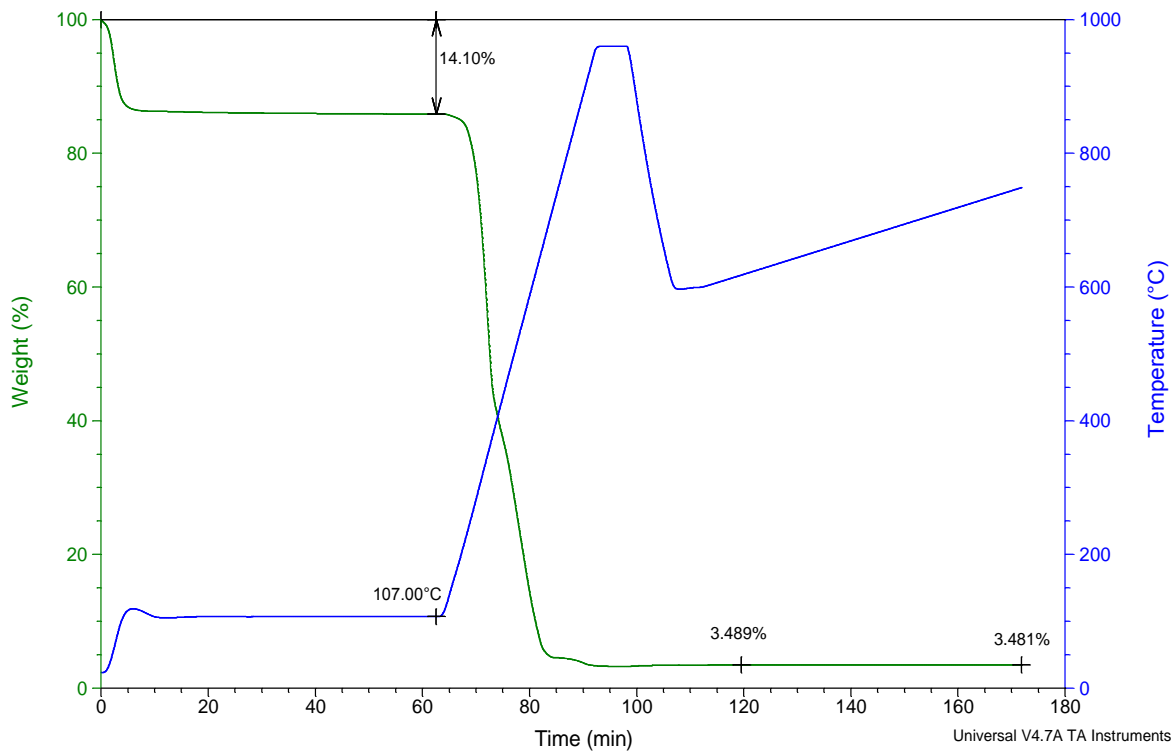
Análisis	Peso (mg)	% Humedad	% Volátiles	% Carbón fijo	% Cenizas
1	16,59	59,49	37,35	0,02	3,14
2	15,28	53,61	43,43	0,04	2,92
<b>Promedio</b>		56,55	40,39	0,03	3,03
<b>desviación estándar</b>		4,16	4,30	0,01	0,15

### Muestra 4: Rama de aguacate

Sample: Rama de aguacate  
 Size: 8.8450 mg  
 Method: Gilles 2Cmin

TGA

File: E:\...\Rama de aguacate.001  
 Operator: G.A.M.  
 Run Date: 30-Nov-2006 06:08  
 Instrument: 2050 TGA V5.1A



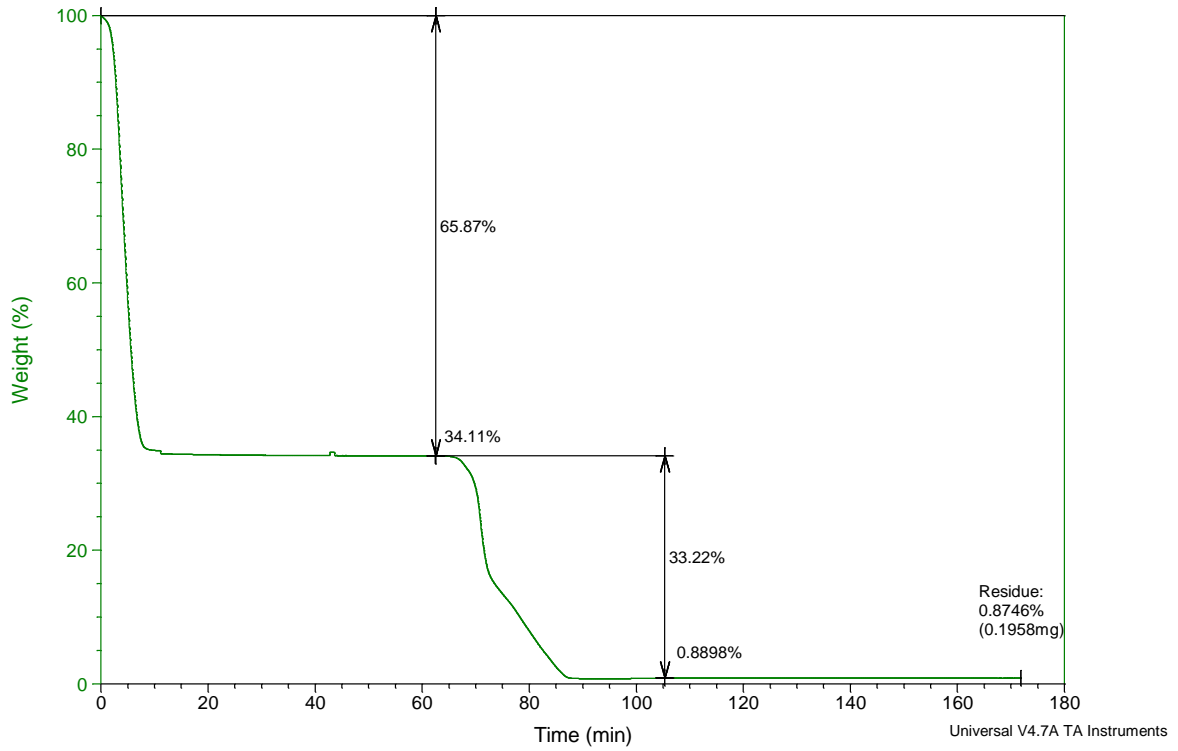
Análisis	Peso (mg)	% Humedad	% Volátiles	% Carbón fijo	% Cenizas
1	10,74	15,79	81,21	0,14	2,86
2	8,85	14,10	82,38	0,04	3,48
<b>Promedio</b>		14,95	81,80	0,09	3,17
<b>desviación estándar</b>		1,20	0,83	0,07	0,44

### Muestra 5: Semilla de aguacate

Sample: Pepa de aguacate  
 Size: 22.3890 mg  
 Method: Gilles 2Cmin

TGA

File: C:\...Pepa de aguacate.001  
 Operator: G.A.M.  
 Run Date: 19-Jun-2013 09:58  
 Instrument: 2050 TGA V5.1A



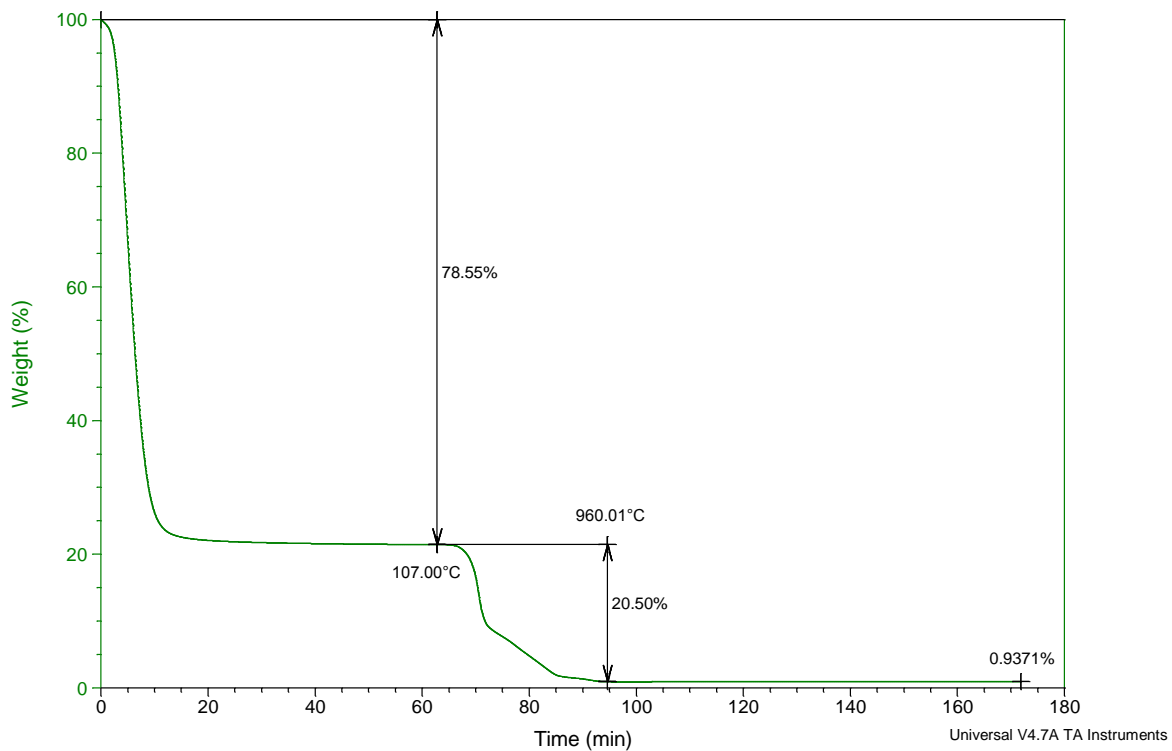
Análisis	Peso (mg)	% Humedad	% Volátiles	% Carbón fijo	% Cenizas
1	23,14	67,60	31,29	0,01	1,10
2	22,39	65,87	33,22	0,04	0,87
<b>Promedio</b>		66,74	32,26	0,02	0,99
<b>desviación estándar</b>		1,22	1,36	0,02	0,16

### Muestra 6: Arracacha de descarte

Sample: Arracacha Raiz y Descarte  
 Size: 38.8820 mg  
 Method: Gilles 2Cmin

TGA

File: G:\...Arracacha Raiz y Descarte.001  
 Operator: G.A.M.  
 Run Date: 13-Jun-2013 15:29  
 Instrument: 2050 TGA V5.1A



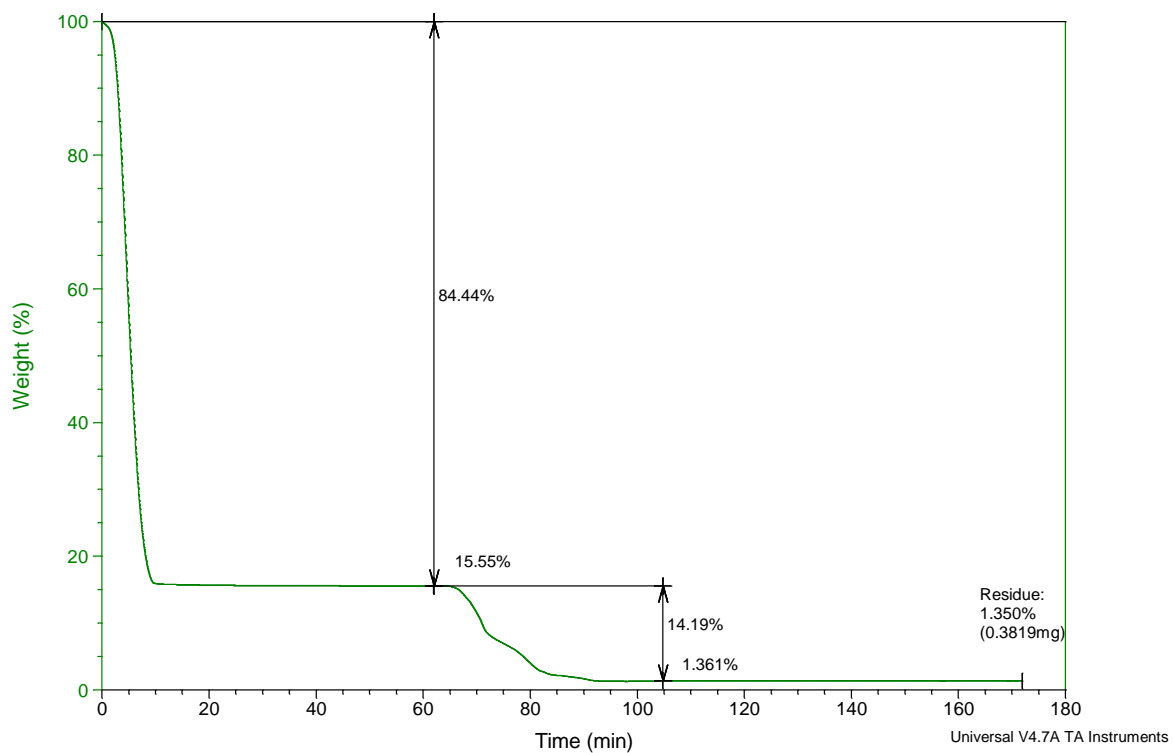
Análisis	Peso (mg)	% Humedad	% Volátiles	% Carbón fijo	% Cenizas
1	38,44	73,66	25,56	0,04	0,74
2	38,88	78,55	20,50	0,01	0,94
<b>Promedio</b>		76,11	23,03	0,02	0,84
<b>desviación estándar</b>		3,46	3,58	0,02	0,14

## Muestra 7: Poda de arracacha

Sample: Hojas y Tallos de Arracacha #2  
 Size: 28.2860 mg  
 Method: Gilles 2Cmin

TGA

File: C:\...\Hojas y Tallos de Arracacha #2.001  
 Operator: G.A.M.  
 Run Date: 13-Jun-2013 10:09  
 Instrument: 2050 TGA V5.1A



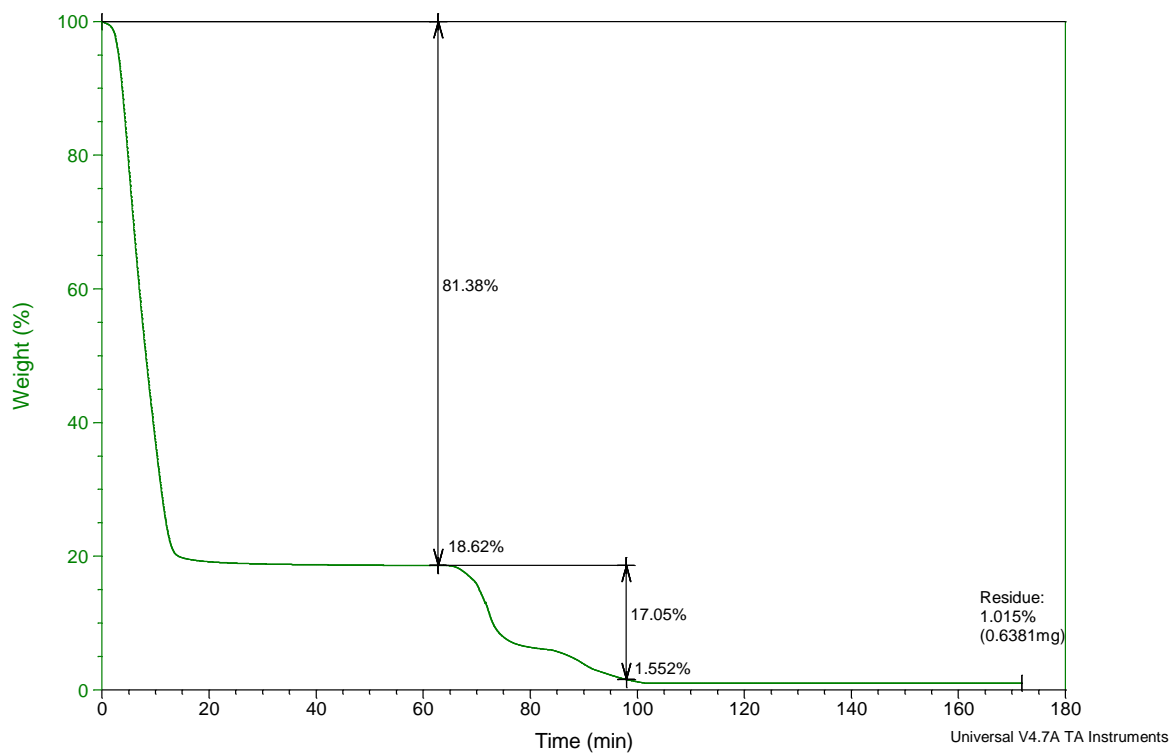
Análisis	Peso (mg)	% Humedad	% Volátiles	% Carbón fijo	% Cenizas
1	28,29	84,44	14,19	0,02	1,35
2	22,53	82,73	15,76	0,04	1,47
<b>Promedio</b>		83,59	14,98	0,03	1,41
<b>desviación estándar</b>		1,21	1,11	0,01	0,09

## Muestra 8: Guayaba descarte

Sample: Guayaba Descarte-(pepas-concha)  
 Size: 62.8630 mg  
 Method: Gilles 2Cmin

TGA

File: ...Guayaba Descarte-(pepas-concha).001  
 Operator: G.A.M.  
 Run Date: 05-Jun-2013 10:06  
 Instrument: 2050 TGA V5.1A



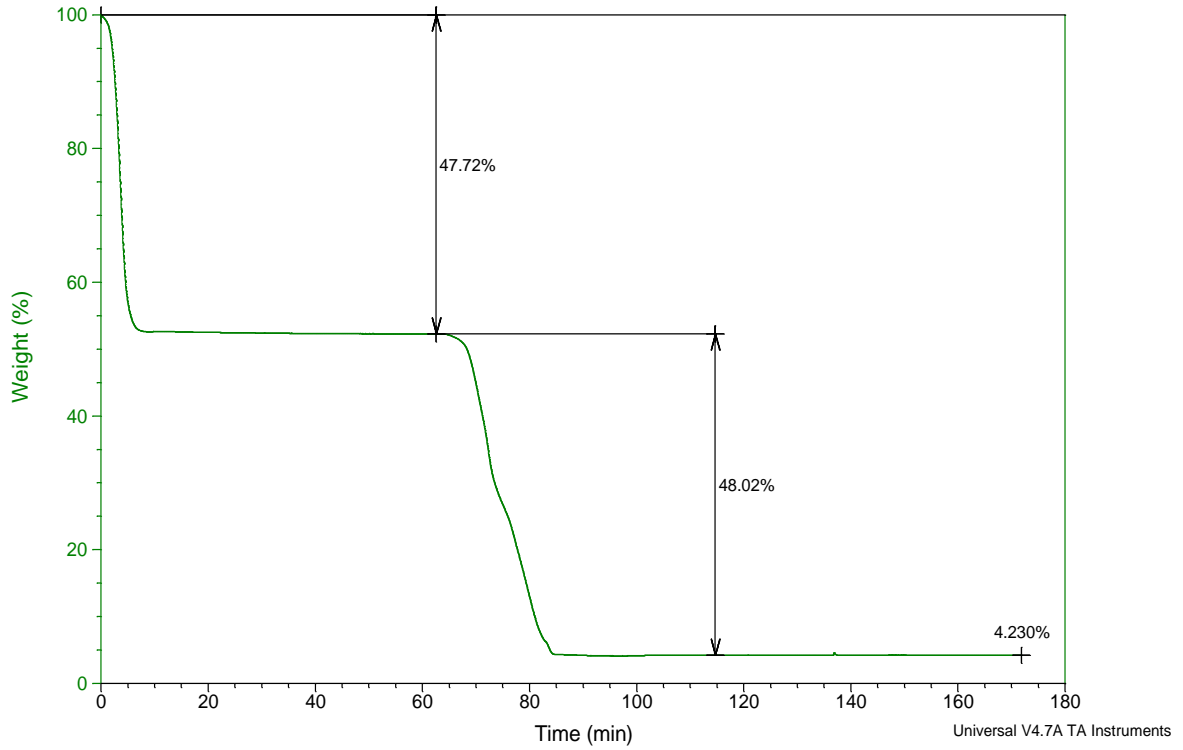
Análisis	Peso (mg)	% Humedad	% Volátiles	% Carbón fijo	% Cenizas
1	56,44	81,26	18,27	0,01	0,46
2	62,86	81,38	17,05	0,56	1,02
<b>Promedio</b>		81,32	17,66	0,28	0,74
<b>desviación estándar</b>		0,08	0,86	0,39	0,39

## Muestra 9: Poda de guayaba

Sample: Poda de Guayaba(R)  
 Size: 16.5860 mg  
 Method: Gilles 2Cmin

TGA

File: E:\...Poda de Guayaba(R).001  
 Operator: G.A.M.  
 Run Date: 30-Nov-2006 00:12  
 Instrument: 2050 TGA V5.1A



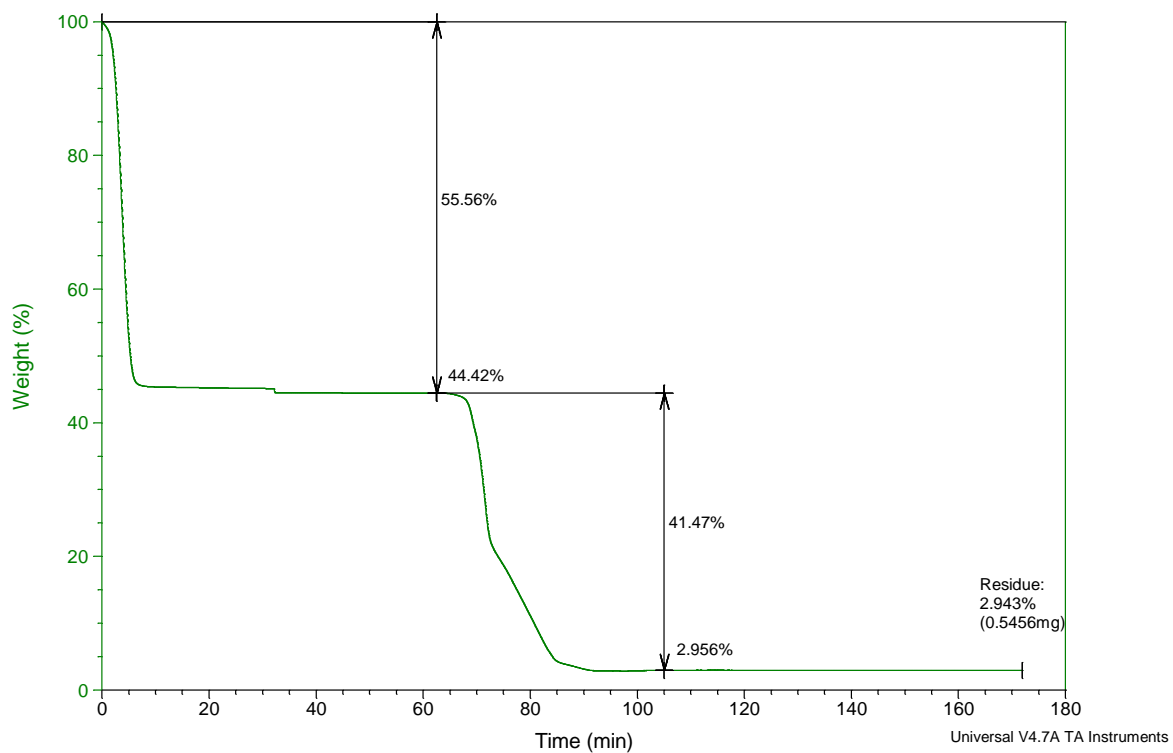
Análisis	Peso (mg)	% Humedad	% Volátiles	% Carbón fijo	% Cenizas
1	16,59	47,72	48,02	0,03	4,23
2	15,27	46,80	47,69	0,02	5,49
<b>Promedio</b>		47,26	47,86	0,03	4,86
<b>desviación estándar</b>		0,65	0,23	0,00	0,89

## Muestra 10: Cáscara de frijol

Sample: Cascara de Frijol  
 Size: 18.5370 mg  
 Method: Gilles 2Cmin

TGA

File: C:\...\Cascara de Frijol.001  
 Operator: G.A.M.  
 Run Date: 05-Jul-2013 10:06  
 Instrument: 2050 TGA V5.1A



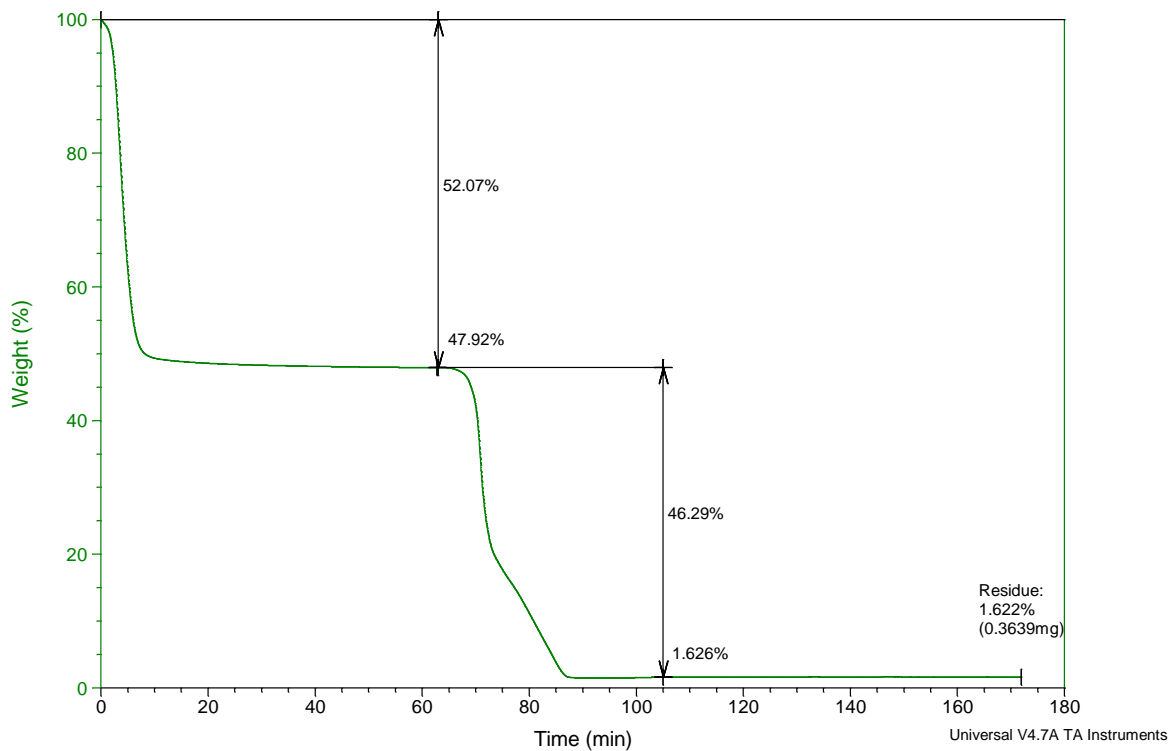
Análisis	Peso (mg)	% Humedad	% Volátiles	% Carbón fijo	% Cenizas
1	18,54	55,56	41,47	0,03	2,94
2	18,88	48,09	49,35	0,04	2,52
<b>Promedio</b>		51,83	45,41	0,04	2,73
<b>desviación estándar</b>		5,28	5,57	0,01	0,30

### Muestra 11: Frijol de descarte

Sample: Frijol de Descarte  
 Size: 22.4360 mg  
 Method: Gilles 2Cmin

TGA

File: C:\...Frijol de Descarte.001  
 Operator: G.A.M.  
 Run Date: 08-Jul-2013 16:26  
 Instrument: 2050 TGA V5.1A



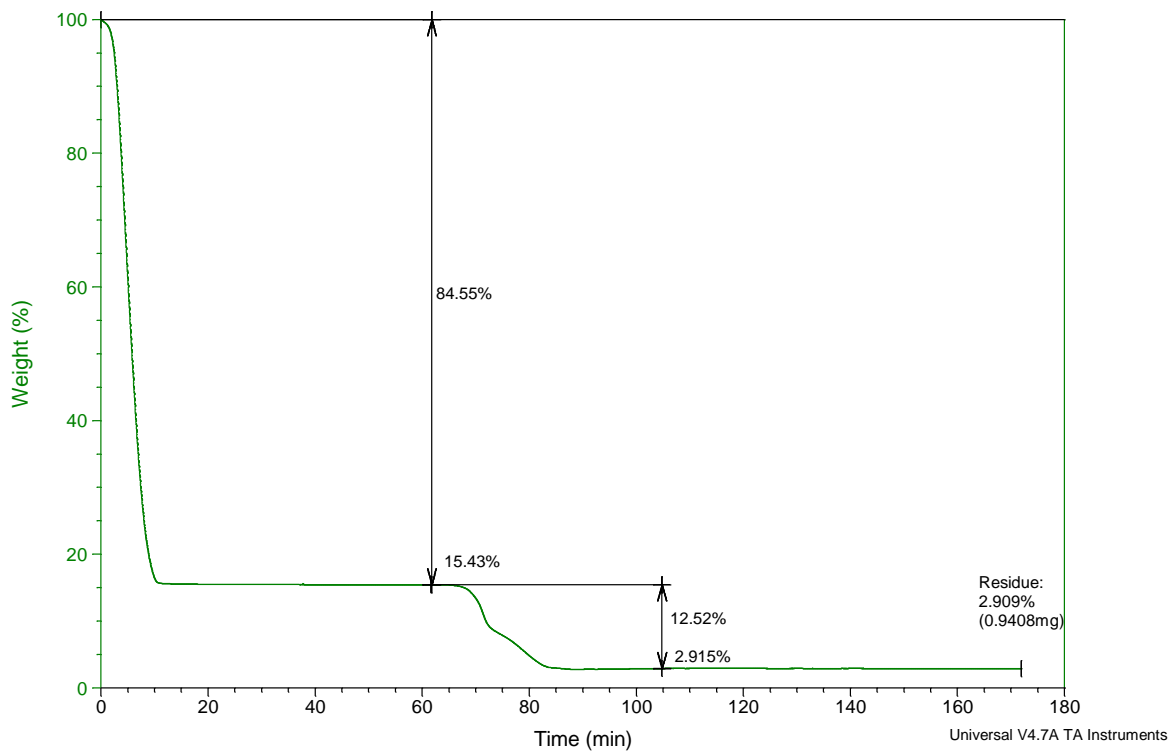
Análisis	Peso (mg)	% Humedad	% Volátiles	% Carbón fijo	% Cenizas
1	25,23	50,43	47,93	0,01	1,63
2	22,44	52,07	46,29	0,02	1,62
<b>Promedio</b>		51,25	47,11	0,02	1,62
<b>desviación estándar</b>		1,16	1,16	0,00	0,00

## Muestra 12: Poda de frijol

Sample: Poda de Frijol #2  
 Size: 32.3390 mg  
 Method: Gilles 2Cmin

TGA

File: C:\...\Poda de Frijol #2.001  
 Operator: G.A.M.  
 Run Date: 12-Jun-2013 10:11  
 Instrument: 2050 TGA V5.1A



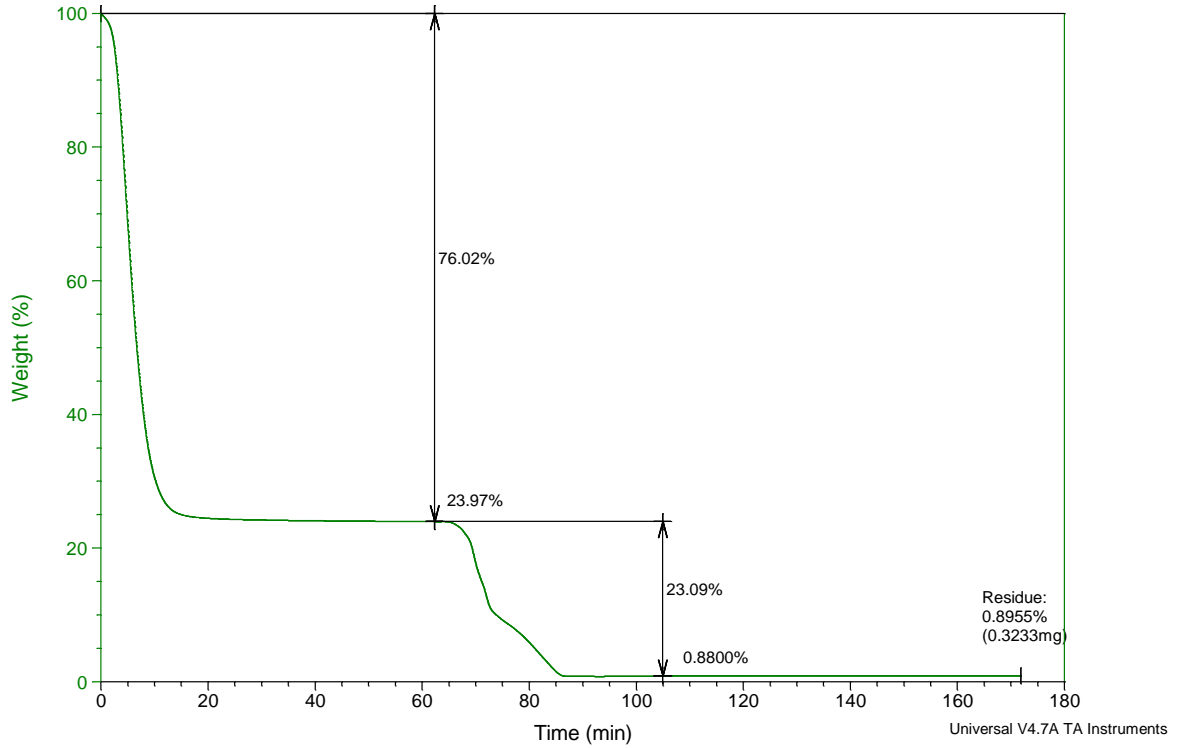
Análisis	Peso (mg)	% Humedad	% Volátiles	% Carbón fijo	% Cenizas
1	32,34	84,55	12,52	0,02	2,91
2	35,57	82,88	14,89	0,02	2,21
<b>Promedio</b>		83,72	13,71	0,02	2,56
<b>desviación estándar</b>		1,18	1,68	0,00	0,49

### Muestra 13: Cáscara de Piña

Sample: Cascara de Pi\_a#2  
 Size: 36.1040 mg  
 Method: Gilles 2Cmin

TGA

File: C:\...\Cascara de Piña#2.001  
 Operator: G.A.M.  
 Run Date: 04-Jul-2013 15:48  
 Instrument: 2050 TGA V5.1A



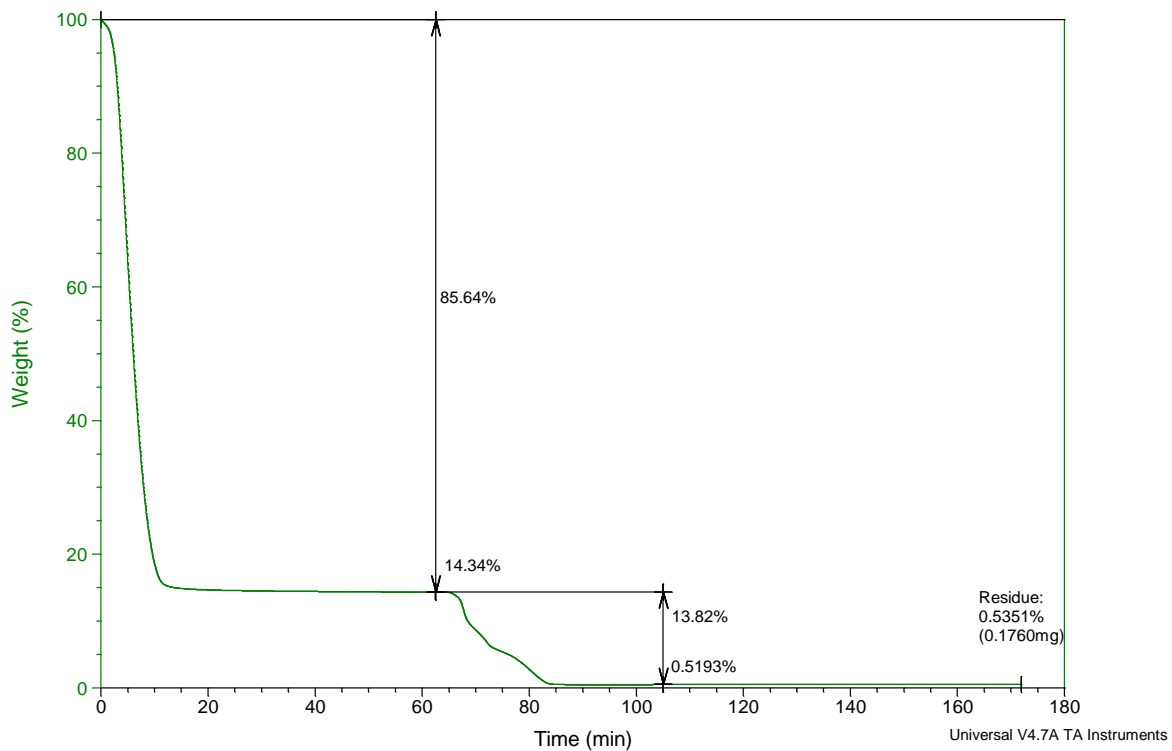
Análisis	Peso (mg)	% Humedad	% Volátiles	% Carbón fijo	% Cenizas
1	28,23	73,89	24,87	0,04	1,20
2	36,10	76,02	23,09	-0,01	0,90
<b>Promedio</b>		74,96	23,98	0,02	1,05
<b>desviación estándar</b>		1,51	1,26	0,03	0,22

### Muestra 14: Corazón de Piña

Sample: Corazon de pi\_a #1  
 Size: 32.8900 mg  
 Method: Gilles 2Cmin

TGA

File: C:\...\Corazon de piña #1.001  
 Operator: G.A.M.  
 Run Date: 09-Jul-2013 16:32  
 Instrument: 2050 TGA V5.1A



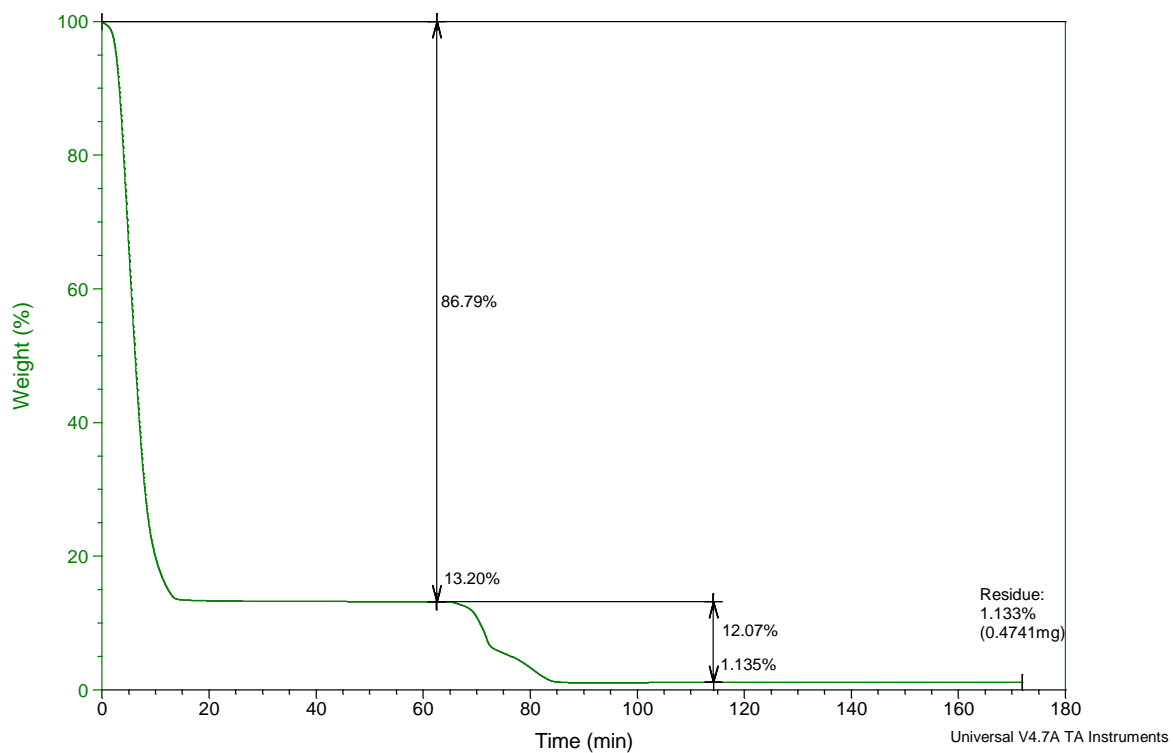
Análisis	Peso (mg)	% Humedad	% Volátiles	% Carbón fijo	% Cenizas
1	32,89	85,64	13,82	0,00	0,54
2	31,82	85,50	14,09	0,02	0,39
<b>Promedio</b>		85,57	13,96	0,01	0,46
<b>desviación estándar</b>		0,10	0,19	0,01	0,11

### Muestra 15: Piña de descarte

Sample: Pi\_a de Descarte #3  
 Size: 41.8510 mg  
 Method: Gilles 2Cmin

TGA

File: C:\...Piña de Descarte #3.001  
 Operator: G.A.M.  
 Run Date: 17-Jun-2013 15:52  
 Instrument: 2050 TGA V5.1A



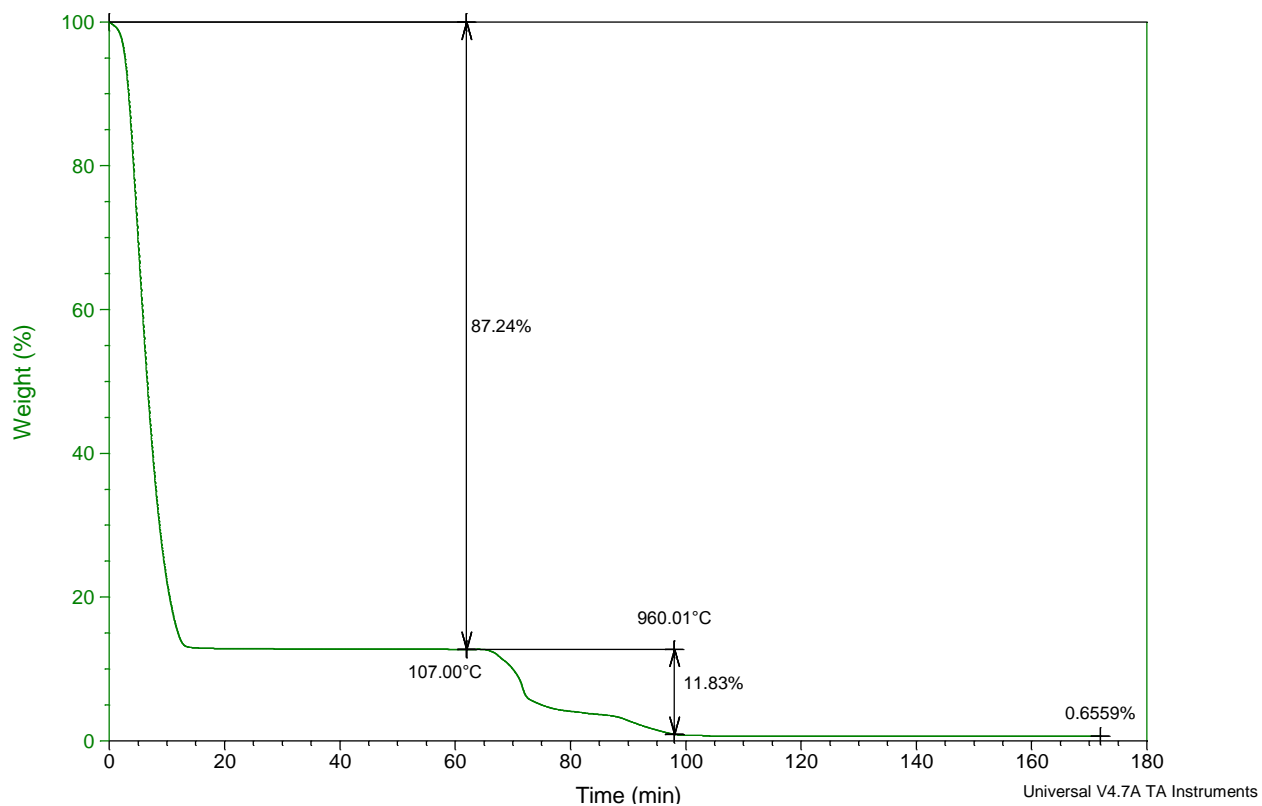
Análisis	Peso (mg)	% Humedad	% Volátiles	% Carbón fijo	% Cenizas
1	43,13	80,18	18,93	0,00	0,89
2	41,85	86,79	12,07	0,01	1,13
<b>Promedio</b>		83,49	15,50	0,01	1,01
<b>desviación estándar</b>		4,67	4,85	0,00	0,18

### Muestra 16: Poda de Piña

Sample: Corona de la Pi\_a #2  
 Size: 40.6040 mg  
 Method: Gilles 2Cmin

TGA

File: G:\...Corona de la Piña #2.001  
 Operator: G.A.M.  
 Run Date: 04-Jun-2013 15:56  
 Instrument: 2050 TGA V5.1A



Análisis	Peso (mg)	% Humedad	% Volátiles	% Carbón fijo	% Cenizas
1	27,30	85,55	13,60	0,01	0,84
2	40,60	87,24	11,83	0,27	0,66
<b>Promedio</b>		86,40	12,72	0,14	0,75
<b>desviación estándar</b>		1,20	1,25	0,19	0,13