



## **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**Síntesis y caracterización de briquetas de una mezcla de carbón de cáscara de macadamia, cáscaras del fruto de la palma africana y biomasa para la producción de biocoque metalúrgico**

**FERNANDO ANDRÉS RODRÍGUEZ BENAVIDES**

**Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, presentado ante el Instituto de Posgrado y Educación Continua de la ESPOCH, como requisito parcial para la obtención del grado de:**

**MAGÍSTER EN INGENIERÍA QUÍMICA APLICADA**

**RIOBAMBA – ECUADOR**


**Noviembre 2023**

## DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Fernando Andrés Rodríguez Benavides, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el **Trabajo de Titulación modalidad; Proyectos de Investigación y Desarrollo**, es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este proyecto de investigación de maestría, el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, noviembre, 2023



Fernando Andrés Rodríguez Benavides  
CI: 1316203692

**©2023, Fernando Andrés Rodríguez Benavides**

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



## ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

### CERTIFICACIÓN:

EL TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, titulado “Síntesis y caracterización de briquetas de una mezcla de carbón de cáscara de macadamia, cascaras del fruto de la palma africana y biomasa para la producción de biocoque metalúrgico.”, de responsabilidad de Fernando Andrés Rodríguez Benavides ha sido prolijamente revisado y se autoriza su presentación.

Dr. Galo Brian Montenegro Córdova; PhD.



Firmado electrónicamente por:  
GALO BRIAN  
MONTENEGRO CORDOVA

### PRESIDENTE

Ing. Néstor Alcívar Ulloa Auqui; Mag.



Firmado electrónicamente por:  
NESTOR ALCIVAR  
ULLOA AUQUI

### TUTOR

Ing. Marcelo Esteban Calispa Aguilar; Mtr.



Firmado electrónicamente por:  
MARCELO ESTEBAN  
CALISPA AGUILAR

### MIEMBRO

Ing. Danielita Fernanda Borja Mayorga; Mag.



Firmado electrónicamente por:  
DANIELITA FERNANDA  
BORJA MAYORGA

### MIEMBRO

Riobamba, noviembre, 2023

## **DEDICATORIA**

Este trabajo va dedicado a mi madre la cual ha sido el pilar para mi preparación, el sustento en mi necesidad y la luz en mi oscuridad.

**Fernando**

## AGRADECIMIENTO

En primer lugar, a Dios que siempre ha iluminado mi camino y me ha dado la fuerza necesaria para cumplir cada una de las metas propuestas, además de la bendición de tener a mi familia saludable.

A mi padre el cual se fue hace 10 años, pero nunca dejo de inspirar mi camino para seguir en constante preparación personal y académica.

A mis hermanos por su ayuda en momentos necesarios y fundamentales

A mi hermana que siempre ha sido apoyo para poder seguir preparándome

A los colegas, en especial mis tutores que han estado predispuestos con su tiempo y conocimiento para brindarme el apoyo necesario para llegar a la meta

A mis alumnos que me dan la oportunidad de mejorar cada día y poder darme cuenta que en la preparación está el éxito académico

A mi persona favorita que siempre estuvo acompañándome y apoyándome en cada paso de esta meta

Fernando

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	xiv
SUMMARY .....	xv
CAPÍTULO I.....	1
1.INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Planteamiento del problema .....	2
1.1.1 Situación problemática .....	2
1.2 Formulación del problema .....	3
1.3 Preguntas directrices o específicas de la investigación .....	3
1.4 Justificación de la investigación.....	4
1.5 Objetivos de la investigación .....	5
1.5.1. Objetivo general .....	5
1.5.2. Objetivos específicos.....	5
1.6 Hipótesis general.....	6
1.6.1 Hipótesis específicas .....	6
CAPÍTULO II .....	7
2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 Antecedentes del problema .....	7
2.2 Bases teóricas .....	8
2.2.1 Coque .....	8
2.2.2 Procesos que utilizan coque de petróleo.....	8
2.2.3 Coque verde y bicoque.....	9
2.2.3.1 Biocoque .....	10
2.2.4 Siderurgia y el coque.....	10
2.2.5 Tipos de coque de petróleo.....	11
2.2.5 El carbón .....	13
2.2.6 Carbonización .....	16
2.2.7 Carbón de biomasa .....	17
2.2.8 Biomasa.....	18
2.2.8.1 Tipos de biomasa.....	18
2.2.8.2 Palma africana .....	19
2.2.8.3 Macadamia .....	19
2.2.8.4 Carbón de macadamia .....	20
2.2.8.5 Taxonomía de la macadamia.....	21
2.2.8.6 Nuez de macadamia .....	21
2.2.8.7 Nuez de macadamia .....	22
2.2.9 Necesidades agroecológicas de la macadamia .....	22
2.2.9.1 Temperatura .....	22
2.2.9.2 Altitud .....	23
2.2.9.3 Precipitación.....	23
2.2.9.4 Suelo.....	23
2.2.9.5 Drenaje .....	23
2.2.9.6 Textura .....	24
2.2.9.7 Usos de la nuez de macadamia.....	24

2.2.10 Carbón vegetal .....	25
2.2.10.1 Madera.....	25
2.2.10.2 Producción de carbón aumenta la degradación forestal .....	26
2.2.11 Métodos para la elaboración de carbón vegetal .....	26
2.2.11.1 Método de fosa.....	26
2.2.11.2 Método de parvas .....	27
2.2.11.3 Método de hornos de ladrillos.....	27
2.3 Marco conceptual .....	28
2.4 Identificación de variables .....	29
2.5 Operacionalización de variables.....	30
2.6 Matriz de consistencia.....	32
CAPÍTULO III.....	34
3.METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN .....	34
3.1 Tipo y diseño de investigación.....	34
3.2 Métodos de investigación.....	34
3.3 Enfoque de la investigación .....	34
3.4 Alcance de la investigación.....	35
3.5 Diseño de la investigación.....	35
3.6 Población de estudio.....	37
3.7 Unidad de análisis .....	37
3.8 Muestreo.....	37
3.9 Tamaño de muestra .....	37
3.10 Técnicas de recolección de datos .....	38
3.11 Diseño experimental.....	39
3.11.1 Pre - tratamiento.....	39
3.11.2 Aglutinantes .....	39
3.11.2.1 Obtención de melaza .....	39
3.11.2.2 Obtención de almidón de yuca .....	39
3.11.3 Tratamiento muestras .....	40
3.11.4 Preparación de las muestras .....	41
3.11.5 Caracterización de las muestras .....	42
3.11.5.1 Determinación de la masa .....	42
3.11.5.2 Compresión mecánica .....	42
3.11.5.3 Microscopía Electrónica de Barrido (SEM-EDS).....	42
3.11.5.4 Termogravimetría y Calorimetría Diferencial de Barrido (TGA-DSC).....	43
3.11.5.6 Formulación .....	43
3.12 Socialización de la investigación .....	44
CAPÍTULO IV.....	45
4.RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	45
4.1 Análisis de los resultados .....	45
4.2 Resultados caracterización briquetas.....	45
4.2.2 Masa .....	45
4.2.3 Poder calorífico .....	47
4.2.4 Propiedades mecánicas.....	50
4.3 Costo de los insumos requeridos.....	59
4.4 Demanda de las briquetas obtenidas .....	60
4.5 Matriz de impacto ambiental.....	62
4.6 Socialización de resultados .....	63



CONCLUSIONES .....	64
RECOMENDACIONES .....	65
GLOSARIO	
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2 Características de un carbón coquizable optimo para la producción de coque siderúrgico.....	16
Tabla 2-2 Taxonomía de la macadamia .....	21
Tabla 1-3 Formulación de las briquetas .....	43
Tabla 2-3 Masa; 3 repeticiones .....	46
Tabla 1-4 Análisis estadístico de masa .....	46
Tabla 2-4 Resultados poder calorico .....	47
Tabla 3-4 Resultados de TGA .....	49
Tabla 4-4 Análisis estadístico .....	49
Tabla 5-4 Propiedades mecánicas .....	50
Tabla 6-4 Propiedades mecánicas 2 .....	51
Tabla 7-4 Resultados de la carga máxima del estudio de resistencia.....	55
Tabla 8-4 Análisis estadístico de carga máxima .....	55
Tabla 9-4 Resultado de máximo esfuerzo .....	56
Tabla 10-4 Análisis estadístico de resultados de máximo esfuerzo .....	56
Tabla 11-4 Resultados de máximo desplazamiento .....	57
Tabla 12-4 Análisis estadístico de máximo desplazamiento.....	57
Tabla 13-4 Costos de Inversion.....	60
Tabla 14-4 Valores Calóricos.....	61
Tabla 15-4 Matriz de impacto ambiental .....	63

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-4 Micrografía de barrido.....	59
---	----

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-2:</b> Micrografía de un coque esponja típico (Magnificación 100X), b) Micrografía de un coque esponja isotrópico (Magnificación 100X).....	11
<b>Figura 2-2:</b> Micrografía de un coque de petróleo en modo de electrones retro dispersados BSE. Variación granulométrica observada a 100X. ....	12
<b>Figura 3-2:</b> Clasificación de carbón en función de su rango, reservas mundiales y usos del carbón.....	14

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

- ANEXO A:** RESULTADO DE ANÁLISIS DE DSC-TGA
- ANEXO B:** ANÁLISIS BRIQUETAS SEM
- ANEXO C:** RESULTADOS ANÁLISIS RESISTENCIA MECÁNICA
- ANEXO D:** MÁQUINA DE ENSAYOS UNIVERSALES MARCA SHIMADZU MODELO UTM-600KN
- ANEXO E:** MÁQUINA DE ENSAYOS INSTRUMENTS Q-600
- ANEXO F:** TABLA ESTADISTICA
- ANEXO G:** HORNO DE SECADO DE BRIQUETAS
- ANEXO H:** MATERIA PRIMA TRITURADA
- ANEXO I:** BRIQUETAS RECIÉN SALIDAS DE LA BRIQUETEADORA
- ANEXO J:** MAQUINA HOMOGENEIZADORA
- ANEXO K:** MAQUINA BRIQUETEADORA
- ANEXO L:** BRIQUETAS EN PROCESO DE SECADO
- ANEXO M:** MEZCLA DE CASCARAS DE MACADAMIA EN PROCESO DE CARBONIZACIÓN
- ANEXO N:** PROCESO DE CARBONIZACIÓN DE LAS CASCARAS DE MACADAMIA EN HORNO METÁLICO
- ANEXO O:** CASCARAS DE MACADAMIA CARBONIZADAS
- ANEXO P:** CASCARAS DE PALMA CARBONIZADAS
- ANEXO Q:** VISITA A LA CARBONERA

## RESUMEN

El objetivo de este trabajo es sintetizar y caracterizar la reactividad de la biomasa que contiene las Briquetas para la producción de Biocoque metalúrgico, la biomasa utilizada es la macadamia (*Macadamia tetraphylla*) y palma africana (*Elaeis guineensis*) como materia prima de las briquetas, se realizaron nueve mezclas de diferente composición, donde solo variaba el porcentaje de cada materia prima para poder comprobar cual tendría una mejor eficacia en alto horno. La comprobación de la calidad se la realizo mediante análisis como Resistencia mecánica, Microscopía electrónica de barrido – Espectroscopía de energía dispersiva (SEM-EDS), Análisis termogravimétrico – Calorimetría diferencial de barrido (TGA-DSC) las cuales son determinantes para comprobar la efectividad del coque.

El método de investigación que se utilizará en el presente trabajo es específicamente analítico ya que está orientado a verificar las propiedades físicas y caloríficas iniciales tanto de la materia prima (residuos industriales), como el producto a obtenerse (biocoque metalúrgico)

Entre los análisis desarrollados como la compresión mecánica la briqueta 5 es la que presenta mayor esfuerzo mientras que la briqueta 7 es la de menor esfuerzo, por lo que el tratamiento y mezcla realizado a la briqueta 5 la hace más factible para ser usada en la industria siderúrgica mientras que la 7 podría presentar variables como resquebrajamientos

Luego de un análisis de los resultados se puede concluir que las materias primas como la la macadamia (*Macadamia tetraphylla*) y palma africana (*Elaeis guineensis*) pueden ser utilizadas para alto horno en forma de briquetas , a su vez El uso de Biocoque metalúrgico podría menorar las emanaciones de gases contaminantes hacia la atmosfera y así mismo se podría aprovechar un desecho agroindustrial que no se suele utilizar .

PALABRAS CLAVES: METALURGIA, BIO- COQUE, BIOMASA, AGROINDUSTRIAL, BRIQUETAS



0123-DBRA-UPT-IPEC-2023

## **SUMMARY**

The objective of this research is to synthesize and characterize the reactivity of the biomass contained in the Briquettes for the production of Metallurgical Bio-Coke, the biomass used in macadamia (*Macadamia tetraphylla*) and African palm (*Elaeis guineensis*) as raw material for the briquettes. Nine mixtures of different compositions were made, where only the percentage of each raw material varied in order to verify which would have better efficiency in the blast furnace.

A quality check process was carried out through analyzing such mechanical resistance, scanning electron microscopy-energy dispersive spectroscopy (SEM-EDS), thermogravimetric analysis-differential scanning calorimetry (TGA-DSC) which are decisive to verify the effectiveness of the coke. The research method used in this research is specifically analytical since it aims at verifying the initial physical and calorific properties of both the raw material (industrial waste) as well as the product to be obtained (metallurgical bio-coke).

Among the analyses developed such as the mechanical compression, briquette 5 is the one that presents the greatest effort and briquette 7 the one with the least effort, therefore treatment and mixing carried out on briquette 5 is more feasible to be used in the steel industry; while, number 7 could experience variables such as cracks. After the analysis of the results, it can be concluded that raw materials such as macadamia (*Macadamia tetraphylla*) and African palm (*Elaeis guineensis*) can be used in blast furnace in the form of briquettes. In turn, the use of metallurgical Bio-coke could potentially reduce the emissions of polluting gases into the atmosphere in order to take advantage of an agro-industrial waste that is not usually used.

**KEYWORDS: METALLURGY, BIO- COKE, BIOMASS, AGROINDUSTRIAL, BRIQUETTES.**

## CAPÍTULO I

### 1. INTRODUCCIÓN

Una posible solución para mitigar las emisiones del CO<sub>2</sub> en la industria siderúrgica es utilizar biomasa en mezclas de carbón (Wei et al., 2017). Esto daría lugar a la reducción simultánea de los costes de materiales y las emisiones de carbono neutro del proceso de carbonización (Beagle et al., 2018; Castro-Díaz et al., 2017; Montiano et al., 2014; Ng et al., 2011). Además, ampliaría la gama de materiales y tecnologías disponibles para hacer esta industria más respetuosa con el medio ambiente (Mousa et al., 2016). Además, las mezclas de carbón/biomasa producen menos emisiones de hidrocarburos poliaromáticos que el carbón (Florentino-Madiedo et al., 2018). El coque metalúrgico es un material esencial en el alto horno porque soporta la carga descendente, proporcionando una matriz permeable para que la escoria y el metal pasen a través de su camino hacia abajo y para que los gases calientes penetren en su camino hacia arriba, mientras generan el gas necesario para la reducción de los óxidos de hierro (NO<sub>x</sub>). Además, la reactividad del coque es un parámetro muy importante para determinar la calidad del coque debido a su influencia en un funcionamiento eficaz del alto horno.

La macadamia (*Macadamia tetraphylla*) y la palma africana (*Elaeis guineensis*) son dos de los cultivos más importantes en el cantón la Concordia y sus alrededores. La macadamia es valorada por su nuez rica en nutrientes, mas no por su cáscara, ésta siempre es vista como un desperdicio que cuyo volumen de generación es de 30 toneladas al año, al igual que la cáscara de coco de la palma africana (*Elaeis guineensis*) con residuos de aproximadamente 40 toneladas al año, esto sin contar con los desperdicios generados en zonas aledañas como en el cantón Quinindé. Grandes cantidades de cultivos producidos corresponden a la generación de residuos agrícolas y agroindustriales durante la cosecha y transformación de cultivos cosechados. Estos residuos a menudo están infrautilizados y potencialmente podrían ser aprovechados para la generación de energía y el desarrollo de productos como briquetas de carbón de una mezcla de estos residuos para la producción de coque metalúrgico.



## **1.1. Planteamiento del problema**

### ***1.1.1 Situación problemática***

En la actualidad el desarrollo de las industrias se ha incrementado de forma considerable, con esto la dependencia de los combustibles fósiles se ha hecho más evidente, es por eso que la necesidad de la búsqueda de nuevas fuentes de energía es cada vez más relevante con esto poder reducir la contaminación que se genera por la utilización de los mismos, además de que con el pasar de los años estos combustibles fósiles se vuelven más escasos.

La industria siderúrgica es de las que más necesita el uso de carbón mineral y varios derivados del mismo, con esto la contaminación generada ha sido evidente por años, de esta forma y con la preocupación de la contaminación ambiental y generación de gases contaminantes esta y otras industrias se plantean mejorar sus procesos añadiendo técnicas que vayan con la nueva era de cuidado al medio ambiente

El uso de carbón en la industria hace que sea limitada las materias primas que se pueden utilizar para el remplazo de la misma, así mismo tomando en cuenta que para las industrias es más importante el mejoramiento de la producción hace que sea un reto mayor la búsqueda de nuevas fuentes de energía para esta industria, pero se ha planteado que una fuente considerable es el carbón vegetal o el carbón que viene de materia orgánica.

El uso de distintas biomasa se ha presentado como solución para el remplazo del carbón a base de madera , y una opción para la realización de briquetas que tengan características que no tiene el carbón normal , acercándose así al rendimiento de carbón de alta calidad, así mismo el aprovechamiento de diferentes desechos agroindustriales que tienen un alto contenido energético se ha vuelto importante, ya que el desarrollo de distintas industrias como la palmicultora que generan un desecho agroindustrial como son las cascaras del coco de la palma y así también otro desecho son las cascaras de macadamia.

El desarrollo de briquetas con mejores características y rendimiento se presenta como una opción para la realización de biocoque metalúrgico en la industria siderúrgica , pero para esto las briquetas deben cumplir ciertas características necesarias para efectuar ese objetivo ya que en la

actualidad esta actividad en otros países se está recién experimentando , y con ello ha dejado ciertos estudios que sirven como base para la realización de este trabajo , y con ello se plantea la estrategia para mejorar los aspectos que han sido falencias en la utilización de otras materias primas .

## **1.2 Formulación del problema**

El análisis de la utilización de desechos agroindustriales de la palma africana (*Elaeis guineensis*) y macadamia (*Macadamia tetraphylla*) en combinación con una biomasa para la síntesis de briquetas de biocoque metalúrgico como una posible solución para mitigar las emisiones del CO<sub>2</sub> en la industria siderúrgica , que a nivel nacional no ha sido estudiado a profundidad , y en el ámbito internacional es un tema que se está desarrollando en la actualidad dentro del campo metalúrgico.

## **1.3 Preguntas directrices o específicas de la investigación**

¿Cuál es el poder calórico de las briquetas sintetizadas a partir de cascaras de macadamia (*Macadamia tetraphylla*) y cáscara de coco de la palma africana (*Elaeis guineensis*) ?

¿Cómo determinar la calidad de las briquetas de carbón obtenidas a partir de cascaras de macadamia (*Macadamia tetraphylla*) y coco de palma africana (*Elaeis guineensis*) para la producción de biocoque metalúrgico?

¿Cuál es la reactividad del biocoque metalúrgico obtenido a partir de briquetas de carbón obtenidas a partir de cascaras de macadamia (*Macadamia tetraphylla*) y coco de palma africana (*Elaeis guineensis*) ?

#### **1.4 Justificación de la investigación**

El uso excesivo de combustibles fósiles es una problemática en nuestros días por la generación de contaminantes a la atmosfera, los cuales aportan al calentamiento global y la acumulación de los gases efecto invernadero el cual en la actualidad se ve más reflejado por todos los efectos secundarios que hemos visto con el desarrollo de las industrias.

La industria Siderúrgica utiliza el carbón mineral y derivados de petróleo como materia prima para su producción lo cual hace que tengan buen rendimiento en su funcionamiento, pero al mismo tiempo la generación de contaminación es preocupante ya que es una de las industrias que más contaminación genera, es por eso que en varios países se pretende innovar con nuevas técnicas amigables con el ambiente.

Es importante tomar en consideración nuevas fuentes de energía las cuales su utilización supongan una menor generación de gases contaminantes , es por eso que tomando en cuenta distintas industrias se pudo notar que existen desechos agroindustriales que pueden cumplir con este objetivo y no son bien aprovechados entre ellos están las cascaras de coco de la palma africana (*Elaeis guineensis*) y las cascaras de macadamia, las cuales ya han sido estudiadas como fuentes de energía, pero aún no se ha enfocado totalmente en una industria .

Se llama biocoque a la sustitución parcial de carbón por carbón vegetal , este nuevo método en busca de una menor contaminación de la industria siderúrgica no está desarrollada en el Ecuador y tomando en cuenta que tenemos muchas materias primas se puede proponer la producción de briquetas que tengan las características necesarias para ser utilizadas en altos hornos después de su respectivo estudio y análisis, así se podría utilizar dos desechos agroindustriales ya la vez reducir la contaminación de una industria , además de dar un nuevo impulso económico a los productores de estas briquetas.

## **1.5 Objetivos de la investigación**

### ***1.5.1. Objetivo general***

Sintetizar y caracterizar la reactividad de la biomasa que contiene las Briquetas para la producción de Biocoque metalúrgico

### ***1.5.2. Objetivos específicos***

- Obtener el diseño de mezcla eficaz para la producción de biocoque metalúrgico
- Establecer una matriz de impacto ambiental para establecer la afectación de las cascaras de macadamia (*Macadamia tetraphylla*) y palma africana (*Elaeis guineensis*) como desechos agroindustriales.
- Determinar la reactividad del biocoque metalúrgico que garantice el eficaz funcionamiento del alto horno en las industrias siderúrgicas.
- Analizar el poder calórico de las briquetas con respecto a la antracita y briquetas importadas.

## 1.6 Hipótesis general

A través de la reutilización de los residuos de macadamia (*Macadamia tetraphylla*) y fruto de palma africana (*Elaeis guineensis*) y la utilización de biomasa, se podrá realizar el diseño de mezcla y sintetizar briquetas de carbón de estos residuos para la producción de biocoque metalúrgico. Las briquetas sintetizadas se caracterizarán por métodos analíticos instrumentales de: Resistencia mecánica, Microscopía electrónica de barrido – Espectroscopía de energía dispersiva (SEM-EDS), Análisis termogravimétrico – Calorimetría diferencial de barrido (TGA-DSC) Por estas técnicas de caracterización se analizará la reactividad del biocoque metalúrgico que es un parámetro muy importante para determinar la calidad del mismo debido a su influencia en el funcionamiento eficaz del alto horno en las industrias siderúrgicas.

### 1.6.1 Hipótesis específicas

- A través de la síntesis y caracterización de las briquetas se podrá obtener el diseño de mezcla eficaz para la producción de biocoque metalúrgico
- Con el desarrollo de una matriz de impacto ambiental se podrá establecer la afectación de las cascara de macadamia (*Macadamia tetraphylla*) y palma africana (*Elaeis guineensis*) como desechos agroindustriales.
- Con la síntesis y caracterización de las briquetas se podrá determinar la reactividad del biocoque metalúrgico que garantice el eficaz funcionamiento del alto horno en las industrias siderúrgicas.
- A través del análisis de las briquetas en los parámetros de poder calórico se podrá comparar las briquetas con respecto a la antracita y briquetas importadas.

## **CAPITULO II**

### **2. MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Antecedentes del problema**

La utilización de la madera como materia prima fomenta la desaparición de cobertura vegetal sumándose a otras actividades que también aportan a la destrucción de nuestros bosques, es por esto por lo que se deben buscar alternativas para apaciguar estos problemas y fomentar el uso de una nueva fuente de energía.

Este problema de deforestación por demanda de carbón vegetal se puede evitar si se realiza como materia prima una materia vegetal que no signifique la tala de un árbol sino más bien el aprovechamiento del fruto de uno, en este caso la macadamia (*M. tetraphylla*), que produce una nuez que es utilizada para la cocina, su cascara que se ve como un desperdicio el cual no se utiliza en la mayoría de las veces, presenta las características indicadas para utilizarla para la producción de carbón.

La industria siderúrgica en el Ecuador importa briquetas y antracitas de países vecinos, a falta de la producción de estos dentro del país, por lo cual se pretende insertar estas briquetas en el mercado nacional, haciendo una breve introducción de estas briquetas desarrolladas en esta investigación para su aplicación en la industria acerera, y así poder evitar los gastos de importación.

Este producto al ser nuevo y amigable con el ambiente puede revolucionar el uso de las briquetas ya que estas son realizadas con materias primas que no suponen un daño al ambiente, lo cual es preocupante en pleno siglo XXI

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Coque**

El coque de petróleo es un subproducto de la industria de refinación de petróleo, el cual tiene alto poder calorífico y bajo precio. Debido a las cantidades cada vez mayores de petróleos pesados procesados, la producción de coque ha ido en aumento. La alta disponibilidad del coque de petróleo tornó este residuo atractivo para el sector industrial, principalmente para el sector de generación de energía eléctrica (Wang, 2004)

Así, junto con el craqueamiento catalítico fluido, que convierte gasóleos en gases y gasolina, el coquizado retardado fue tomando forma y ganando cada vez más importancia en las refinerías (ANP, 2007)

Como el coque de petróleo es uno de los productos originarios del fondo del barril en el sistema de procesamiento de petróleo, este derivado tiene mayor o menor contenido de azufre en función del tipo de petróleo el cual se origina. Así se pueden tener coques con altos y bajos contenidos de azufre (Salvador, 2003)

### **2.2.2 Procesos que utilizan coque de petróleo**

1) coque combustible utilizado en la producción de cemento y en calderas de lecho fluidizado para la generación de vapor y energía eléctrica usando material calcáreo para la remoción de compuestos sulfurosos; 2) en caso de bajo contenido de azufre, el coque de petróleo puede tener uso metalúrgico en la forma de mezclas compuestas con coque y mineral, para alimentación de alto-horno; 3) sufriendo oxidación parcial, el coque de petróleo puede ser usado en procesos de gasificación, para aplicación en la producción de vapor de agua, generación de energía eléctrica y producción de cargas gaseosas para varias aplicaciones industriales. (VEGA, y otros, 2018)

El coque calcinado, a su vez, tiene diversas aplicaciones industriales: en la fabricación de ánodos en la industria de aluminio, en la producción de titanio a partir del óxido de titanio, en la producción de monóxido de carbono para la producción de materiales plásticos y en la utilización en procesos industriales que requieran bajos contenidos de azufre, como en la producción de aceros especiales y acero inoxidable. (VEGA, y otros, 2018)

## Aplicación del coque de petróleo en los procesos del sector siderúrgico

Dos rutas monopolizan la obtención del acero a nivel mundial:

a) Alto Horno – Convertidor de Oxígeno: utilizado en plantas con gran capacidad de producción. Usa como materia prima óxidos de hierro y carbón coquizado, obteniendo hierro primario o arrabio que luego se lleva al convertidor para obtener acero.

b) Reducción Directa y/o Chatarra – Horno Eléctrico: se usa en las minimills o miniplantas, sin embargo, está siendo empleada en algunas grandes plantas integradas. Usa como materia prima minerales de hierro que se reducen para obtener hierro esponja que luego se fundirá en el horno eléctrico. Adicionalmente en las últimas décadas, han surgiendo procesos de obtención de arrabio, de menor capacidad que el alto horno, que utilizan carbones no coquizables, en respuesta al agotamiento de los carbones coquizables, trayendo como consecuencia la disminución de las emanaciones producto de la obtención del coque metalúrgico. (VEGA, y otros, 2018)

Un ejemplo de esto es la tecnología de mini altos hornos, adoptados básicamente en Brasil, India y China. Se han adaptado tecnologías provenientes de los altos hornos grandes, mejorando así el desempeño ambiental y prolongando la campaña, dentro de un marco de mantener su atractivo de bajo costo de inversión y operación. Algunos de los mini altos hornos nuevos, como el de VSB en Brasil, tienen la posibilidad de cargar carbón vegetal o coque, según las circunstancias (Madías, 2007)

### ***2.2.3 Coque verde y bicoque***

El coque verde puede ser también utilizado directamente en lo alto-horno, proceso conocido como inyección de finos de carbón. En este proceso el coque verde, también utilizado como combustible, es mezclado con otros carbones, pulverizado e inyectado directamente en los altos-hornos. Las lanzas de inyección de carbón pulverizado generalmente se utilizan para inyectar carbón pulverizado como un sustituto del coque dentro de un alto horno. El carbón pulverizado es transportado neumáticamente a través de la lanza y arde en la punta de la lanza. La combustión del carbón pulverizado se ayuda mediante el suministro de oxígeno a la punta de la lanza (VEGA, y otros, 2018)



### *2.2.3.1 Biocoque*

El coque obtenido por la sustitución parcial de carbón por biomasa durante la producción de coque se ha denominado biocoque. Se ha sugerido que la adición de la biomasa se puede aumentar sin afectar la resistencia del biocoque y rendimiento aumenta el tamaño de las partículas de biomasa y su densidad a través de conformado por compresión (CASTRO-DÍAZ, 2017)

### *2.2.4 Siderurgia y el coque*

El acero continuará siendo la base del desarrollo económico en el mundo, al tiempo que la producción del mismo por la ruta del Horno Alto (HA) seguirá predominando frente a la obtención en acerías eléctricas a lo largo de las próximas décadas. Una de las materias primas requeridas para la producción de acero en el HA es el coque siderúrgico, siendo la calidad del mismo, en España y en varios países de la Unión Europea. (ALVAREZ, 2002)

En los últimos años la capacidad de producción de coque en Europa " ha experimentado una reducción del 47 %, pasando de 76 Mt en 1980, a una producción de 40 Mt en 1998, período durante el cual el número de coquerías disminuyó de 99 a 43. (ALVAREZ, 2002)

Como consecuencia de esta situación, las estructuras de organización de las empresas, la capacidad de las ingenierías y la elaboración con instituciones de Investigación y Desarrollo se han reducido considerablemente. Asimismo, el hecho de no haber construido nuevas plantas ha propiciado un paulatino envejecimiento de la infraestructura existente para la producción de coque de HA ' (ALVAREZ, 2002)

- Prologar la vida de las viejas baterías de coque mediante trabajos de reparación adecuados para poder llegar a los 40 años de vida útil, periodo que parecía inalcanzable en el pasado
- Edificar nuevas coquerías convencionales, con los últimos adelantos disponibles.
- Desarrollar sistemas de coquización alternativa (ALVAREZ, 2002)

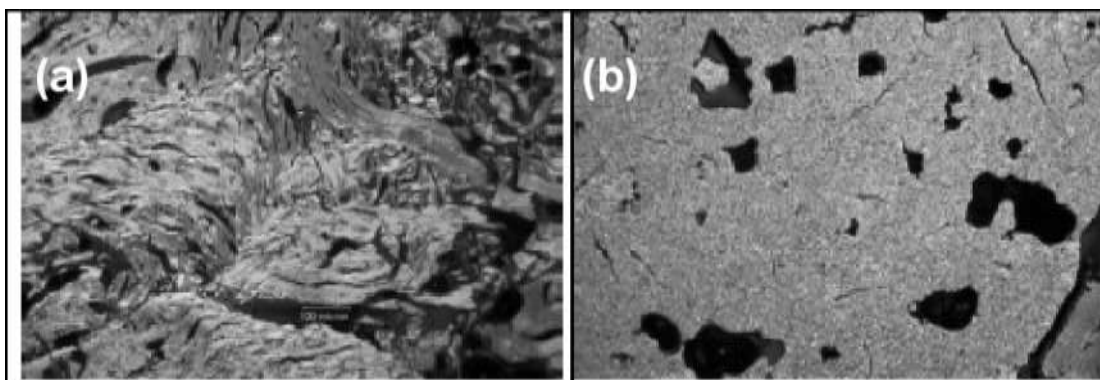
La ruta del Horno Alto continúa siendo hoy en día el proceso más utilizado para la obtención del acero, constituyendo un 70% de la producción mundial. El coque es un material indispensable para llevar a cabo la fabricación de acero por la ruta del Horno Alto, ya que participa en la reducción del mineral de hierro y actúa como combustible y soporte físico dentro del horno. (FLORENTINO MADIEDO, 2019.)

La industria siderometalúrgica es una de las mayores responsables de las emisiones industriales de  $\text{CO}_2$ , aportando un 6% de las emisiones antropogénicas globales debido al uso intensivo de carbón. La incorporación de materias primas sostenibles como la biomasa se ha establecido como una de las principales vías para reducir las emisiones de  $\text{CO}$ . (FLORENTINO MADIEDO, 2019.)

### 2.2.5 Tipos de coque de petróleo

Dependiendo del tipo de alimentación al proceso de coquización y de las reacciones que ocurran en el mismo, se obtendrán diferentes tipos de coque. De acuerdo a su forma física, el coque puede ser clasificado como esponja, panal (perdigón) y aguja, que son diferentes en apariencia y en algunas propiedades tales como el coeficiente de expansión térmica y la conductividad eléctrica. (Subero J., 2006)

El coque tipo esponja se produce por alimentación de residuos con alto contenido de resinas y asfáltenos. Las resinas son similares en estructura a los asfáltenos, pero contienen cantidades mayores de nitrógeno y azufre, y presenta un tamaño de poros relativamente pequeño sin interacciones entre sí (Figura 1. Se le denomina esponja por su apariencia, y es producido durante la destilación a vacío de crudos con concentración moderada de asfáltenos.



**Figura 1-2:** Micrografía de un coque esponja típico (Magnificación 100X), b)

**Fuente:** (Subero J., 2006)

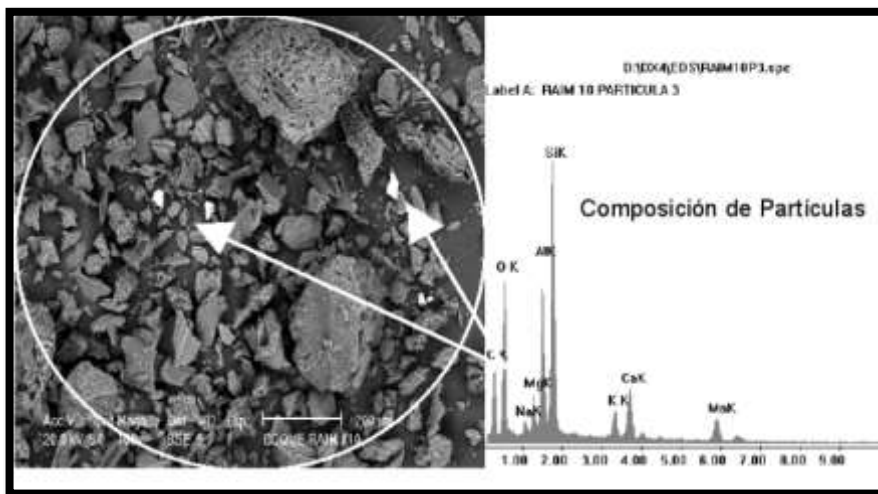
Según la estructura cristalina existen dos tipos de coque esponja, uno de estructura anisotrópica, que presenta diferencias internas en la estructura cristalina y por lo tanto condiciones físico-químicas distintas en los diferentes planos (No se tiene la misma

cristalinidad por lo tanto diferentes arreglos de acuerdo a su orientación) y otro de estructura isotrópica, que normalmente se usa en la industria del aluminio, por su orden cristalográfico y una porosidad mejor definida. (Paniagua Rodríguez, 2012)

La porosidad del coque de petróleo se clasifica de acuerdo al diámetro estructural del poro (ASTM, IUPAC) en tres tipos, cuyas características más importantes son las siguientes:

- Macroporos ( $15\mu\text{m}$ - $50\mu\text{m}$ ). Influyen en la permeabilidad y sus áreas superficiales son pequeñas.
- Microporos ( $0.5\mu\text{m}$ - $15\mu\text{m}$ ). Influyen en la reactividad del coque de petróleo calcinado.
- Submicroporos ( $<0,5\mu\text{m}$ ). No influyen en la reactividad del coque de petróleo calcinado, ya que sus coeficientes de difusión son demasiado pequeños para permitir cualquier reacción dentro de ellos.

La morfología de coques es heterogénea en tamaños de partícula, (Figura 1 ) y diferentes estructuras porosas caracterizan a las muestras de coque, en el segundo tipo (Figuras ) predomina la estructura lamelar y poco porosa. (Paniagua Rodríguez, 2012)



**Figura 2-2:** Micrografía de un coque de petróleo en modo de electrones retro dispersados BSE. Variación granulométrica observada a 100X.

**Fuente:** (Paniagua Rodríguez, 2012)

### 2.2.5 El carbón

El carbón es una roca sedimentaria de origen orgánico y color negro, está compuesta principalmente por carbono (C) y cantidades variables de otros elementos como hidrógeno (H), azufre (S), oxígeno (O) y nitrógeno (N). En la Figura 1.1. se muestra una estructura propuesta en la bibliografía para un carbón con la fórmula química  $C_{185}H_{147}O_{21}S_3N_3$ , que se corresponde con el siguiente análisis elemental: 78.1% C, 5.2% H, 11.8% O, 3.4% S, 1.5% N (Loison, 1989a.)

Los átomos de carbono se disponen principalmente en forma de bencenos que se unen entre sí por alguna de sus caras, aunque también se pueden encontrar formando anillos de 6 carbonos no aromáticos y heterociclos de 5 carbonos. Los núcleos de anillos condensados se juntan entre sí mediante puentes metileno (-CH<sub>2</sub>-). El oxígeno aparece en forma de diferentes grupos funcionales que están presentes de mayor a menor proporción según el siguiente orden:

éter (-O-)  $\geq$  alcohol (-OH) > carboxilo (-COOH) > carbonilo (-C=O) (Loison, 1989a.)

El azufre puede presentarse formando puentes tioéster (-S-) o heterociclos insaturados de cinco miembros (tiofeno). Los átomos de nitrógeno también constituyen unidades heterocíclicas de 5 o 6 miembros (pirrol y piridina). (Loison, 1989a.)

El carbón se formó por la acumulación y transformación de vegetales que crecían en zonas pantanosas, lagunares o marinas, principalmente durante el periodo Carbonífero (hace 359 a 299 millones de años). Los vegetales muertos quedaban cubiertos de agua en un ambiente pobre de oxígeno que impedía su putrefacción. (FLORENTINO MADIEDO, 2019.)

Con el tiempo nuevos sedimentos cubrían la capa de plantas muertas y, por la acción combinada de la presión y la temperatura, la materia orgánica se fue convirtiendo en carbón. A medida que aumenta la profundidad a la que se encuentra la capa de carbón, disminuye la humedad del material y aumenta su contenido en carbono. Al grado de evolución que la materia orgánica ha alcanzado a lo largo de este proceso de carbonificación se le denomina rango. (FLORENTINO MADIEDO, 2019.)

Se consideran carbones de alto rango aquellos que tienen un alto contenido en carbono y un bajo contenido en humedad. Según el grado de evolución alcanzado el carbón se puede clasificar en cuatro tipos, que se ordenan de menor a mayor rango como: lignito < sub-bituminoso < bituminoso < antracita. (FLORENTINO MADIEDO, 2019.)

En la figura 1 se muestra la clasificación en función al rango

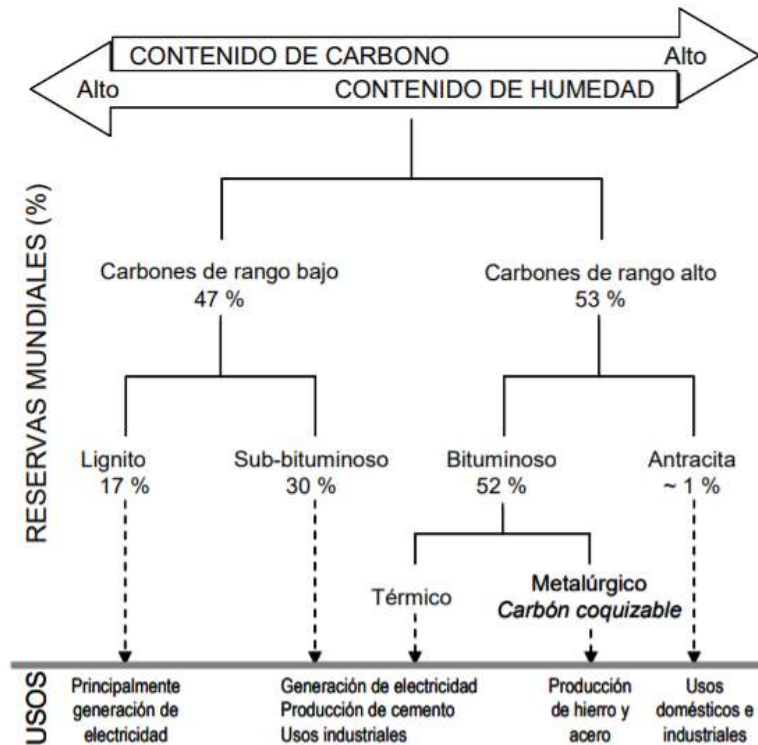


Figura 3-2 Clasificación de carbón en función de su rango, reservas mundiales y usos del carbón

Fuente: (FLORENTINO MADIEDO, 2019.)

De los diferentes tipos de carbón, sólo una parte de los carbones bituminosos son aptos para la elaboración de coque. Los carbones bituminosos se caracterizan por producir bitumen (alquitrán) y por atravesar un estado plástico durante el proceso de carbonización. Dentro de este grupo, a los carbones capaces de transformarse en coque de buena calidad se les denomina comúnmente carbones coquizables y se emplean en la producción de hierro y acero. (FLORENTINO MADIEDO, 2019.)

Para poder discernir qué carbones originan coque de buena calidad es necesario tener en cuenta una serie de parámetros:

**Materia volátil (MV):** es uno de los parámetros que definen el rango del carbón. Cuanto mayor sea la profundidad a la que se encuentra el carbón, en general, mayor rango y menor contenido en MV, ya que como consecuencia de la elevada temperatura y presión el carbón va perdiendo volátiles. Se consideran buenos carbones coquizables aquellos que presentan un contenido en MV entre 22-28%. (FLORENTINO MADIEDO, 2019.)

**Cenizas:** son el residuo resultante de la combustión del carbón y se componen de óxidos metálicos. El análisis de estos óxidos nos permite conocer el contenido de la materia mineral del carbón. La materia mineral, especialmente los metales alcalinos y alcalinotérreos (Na, K, Mg y Ca) se han relacionado con la reactividad del coque, puesto que catalizan la reacción de gasificación con  $\text{CO}_2$ . Además estas impurezas pueden generar grietas y puntos débiles en la matriz del coque, atacar al material refractario de los hornos y empeorar la calidad del acero resultante (Zhang, 2019)

**Presión de coquización:** es la generación de presión excesiva dentro del horno durante el proceso de coquización, que puede producir un deterioro importante de las paredes del mismo. Las limitaciones de presión dependen del horno que se utilice y de sus dimensiones. Se ha demostrado que se genera mayor presión en los hornos de menor tamaño, para el mismo carbón y la misma densidad de carga, lo que es atribuible a la diferente transmisión de calor en el interior del horno. El desarrollo de estas presiones está relacionado con el contenido en materia volátil y la fluidez que desarrolla el carbón, así como con las temperaturas a las cuales tiene lugar la evaporación de los volátiles y la fluidez máxima (Barriocanal, 1998)

**Fluidez:** el carbón coquizable pasa por una etapa plástica o fluida durante su carbonización. El cambio de estado, de sólido a líquido, permite una buena integración de todos los componentes, así como un mayor ordenamiento, la falta de fluidez puede generar fisuras y empeorar la calidad del coque final (Barriocanal, 1994)

**Azufre:** es una impureza que empeora la calidad del acero. Este elemento se encuentra formando estructuras estables que se conservan durante el proceso de carbonización, por lo que analizando el contenido en azufre del carbón es fácil saber si cumplirá la limitación exigida para el coque final. Cuanto más azufre tenga el coque más impurezas habrá que quitarle al acero resultante (Loison, 1989b.)

En resumen, para que un carbón pueda considerarse óptimo para la producción de coque siderúrgico debe tener los parámetros descritos previamente dentro de los rangos que se recogen en la Tabla 1 (Miyazu T., 1974)

Tabla 1-2 Características de un carbón coquizable óptimo para la producción de coque siderúrgico

Material Volátil (% bs)	22-28
Vitrina (%)	70-90
Liptinita (%)	5-15
Inertinita (%)	5-15
Reflectancia media de la vitrinita	1.1 – 1.3
Cenizas (% bs)	< 10
Azufre (%bs)	≤ 1
Fluidez Gieseler (ddpm)	200-1000
Presión de coquización (kPa) (depende del diseño)	≤7-15

Realizado por: Rodríguez Fernando, 2023

### 2.2.6 Carbonización

El proceso de carbonización consiste en someter a un material de naturaleza orgánica (carbón, biomasa) a un tratamiento térmico, en una atmósfera carente de oxígeno, con el propósito de obtener un producto sólido con un alto contenido en carbono, junto con subproductos líquidos y gaseosos. (FLORENTINO MADIEDO, 2019.)

Cuando se utiliza la carbonización a nivel industrial con el objetivo de obtener coque se le denomina proceso de coquización, y a los líquidos que se generan como subproducto se les conoce comúnmente con el nombre de alquitranes. Este proceso se lleva a cabo en las baterías de hornos de coque. (Projekt., 2019)

### **2.2.7 Carbón de biomasa**

El carbón de biomasa, o biocarbón, tiene a su más conocido representante en el carbón de leña. Sin embargo, casi cualquier material de origen vegetal puede convertirse en biocarbón, con un proceso similar al aplicado a la leña. La densidad energética del biocarbón es cerca del doble de la que tiene una biomasa densa, como la leña. El propósito principal de carbonizar una biomasa con propósitos energéticos es el de reducir los costos de manejo y transporte. Se pierde energía en el proceso, pero se hace más factible la utilización de la que queda. La carbonización tiene un beneficio adicional, que es evitar la emisión de humo, dado que el carbón produce esencialmente  $\text{CO}_2$  y  $\text{CO}$  al quemarse. (QUESADA-KIMSEY, 2012)

El biocarbón tiene usos industriales, y puede representar la solución a ciertos problemas de salud pública en muchos países, pero muchos de nosotros lo conocemos tan solo por los asados al aire libre con amigos y familiares. Existen otros usos que se le pueden dar a un biocarbón, sea que provenga de leña o de residuos agroindustriales. El biocarbón es un sustituto muy ventajoso de la biomasa en la cocina, ya que no emite humo. Con esta sustitución, se pueden reducir drásticamente las afecciones respiratorias de las personas que cocinan mediante la combustión de biomasa. Esto representa un tema importante de salud pública para una parte importante de la población humana mundial, e incluye a muchas personas en nuestro territorio. (QUESADA-KIMSEY, 2012)

El potencial del biocarbón como mejorador de suelos se redescubrió a partir de esfuerzos investigativos liderados por el maestro Wim Sombroek, padre de toda una corriente en la ciencia de suelos. En pocas palabras, Sombroek contribuyó a redescubrir que el biocarbón en el suelo actúa de manera casi milagrosa, haciendo que los suelos lleguen a multiplicar su productividad varias veces, y reduciendo la necesidad de insumos agrícolas, y por tanto los costos de producción (El biocarbón en los suelos, por lo que se sabe, perdura por siglos o milenios, con efectos positivos esencialmente permanentes. La evidencia está en suelos intervenidos por poblaciones humanas desaparecidas hace cientos o miles de años, suelos que conservan hoy características muy superiores a las de los suelos originales circundantes, no intervenidos. Las implicaciones de estos hechos son amplias y profundas, y son de gran interés investigativo en la actualidad. Briqueteador de biomasa por extrusión en caliente. Puede producir cerca de 100 kg de briquetas por hora. (QUESADA-KIMSEY, 2012)



### **2.2.8 Biomasa**

Es toda aquella materia orgánica de origen vegetal o animal que puede ser transformada en energía.

La energía que almacena la biomasa proviene del sol mediante la fotosíntesis, en donde las plantas absorben energía lumínica del sol, agua y dióxido de carbono acumulando en ellas sustancias orgánicas (energía) y liberando oxígeno durante el proceso. Posteriormente, los animales incorporan y convierten esta energía al alimentarse de las plantas, por lo que los productos de esta transformación, que se consideran residuos, también pueden ser utilizados como recurso energético. (Herguedas, 2013)

Esta es la fuente de energía renovable más antigua conocida por el ser humano, pues ha sido usada desde que nuestros ancestros descubrieron el secreto del fuego. (Fernández, 2003)

#### *2.2.8.1 Tipos de biomasa*

Hay varios tipos de biomasa que pueden ser empleados como fuentes de energías alternativas los cuales se describen a continuación (Cerd, 2012)

Biomasa sólida: aprovechamiento térmico o eléctrico de la materia orgánica de origen vegetal o animal (excluyendo aquellos usos que se definen en las siguientes categorías). Dependiendo del origen y composición de cada uno de los materiales y residuos utilizados, la biomasa sólida se divide en (Cerd, 2012):

- a) **Primaria:** formada por cultivos energéticos, que son cultivos de especies vegetales destinados específicamente a la producción de biomasa para uso energético. Entre las especies agrícolas para producción de biomasa lignocelulósica podemos citar el cardo, el sorgo, la brassica carinata o la colza etíope, entre otras. Entre las especies forestales leñosas se pueden citar, entre otras, el chopo, el sauce, el eucalipto o la paulownia. (Cerd, 2012)
  
- b) **Residual o secundaria:** residuos forestales (como los generados en operaciones de limpieza o poda), residuos agrícolas leñosos (como podas de olivos, viñedos y frutales), residuos agrícolas herbáceos (como la paja de cereales de invierno o el cañote del maíz), residuos de industrias forestales y agrícolas (astillas, cortezas, serrín, huesos de aceitunas, cáscaras de frutos secos, cascarilla de arroz etc.). (Cerd, 2012)

#### 2.2.8.2 *Palma africana*

El cultivo de la palma africana (*Elaeis guineensis*) en Ecuador se inició en la zona de La Concordia en la década de los años 50. Las plantaciones se fundaron con material de *Elaeis guineensis* Dura Deli. Posteriormente, en la Estación Experimental Santo Domingo del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), a través del Programa de Palma Africana, se mejoró el material y se obtuvo la segregación de plantas Pisíferas locales que sirvieron para la obtención del híbrido INIAPTenera, abasteciéndose con palmas madres (Duras) y padres (Pisíferas) locales. El INIAP posee más de 40 años ofreciendo el híbrido mejorado INIAP-Tenera destacado por su alto rendimiento (INIAP, 2013)

#### 2.2.8.3 *Macadamia*

Familia de unos 75 géneros y más de 1000 especies representados esencialmente en regiones tropicales del hemisferio sur, sobre todo en Australia y Sudáfrica. A esta familia también pertenecen los árboles ornamentales conocidos como “grevilias” (*Grevillea banksii*), bonitos árboles frondosos introducidos de Australia. Otras nueces comestibles pertenecientes a la familia Proteaceae son: Gevuín, nuez de Chile (*Gevuina avellana*), La nuez Helicia (*Helicia diversifolia*), La nuez rosa (*Hicksbeachia pinnatifolia*). Sin embargo, ninguna de estas ha alcanzado la importancia económica de la macadamia (Bermudez, 2016)

La macadamia (*Macadamia tetraphylla*) es originaria de la zona subtropical de Australia, al sudeste de Queensland, y de la zona norte de Nueva Gales del Sur; es considerado uno de los cultivos exóticos con gran futuro en Ecuador, a nivel de exportaciones y consumo local. Esta especie fue introducida en el país por primera vez en el año 1976 y sus cultivos se establecen en zonas cálido – húmedas; en la actualidad tiene una buena distribución y un crecimiento constante. Por su alto contenido de aceite mono insaturado, es un alimento de excelente calidad y valor nutritivo (Reyes, 2009)

#### 2.2.8.4 Carbón de macadamia

La cascara de macadamia (*Macadamia tetraphylla*) , puede ser usada para realizar carbón vegetal, ya que su alto contenido de aceite, la hace un combustible de alto rendimiento por su poder calorífico y el prolongado tiempo de combustión, si bien es cierto no se ha explotado mucho esta idea en nuestro país, pero el gran contenido de cultivos de macadamia, en el noreste del país , en las provincias de esmeraldas y santo domingo , hace que esta opción sea una buena idea para evitar pérdidas por desperdicios, ya que la nuez dentro de la cascara es el preciado fruto que los agricultores que se dedican a este oficio venden a muchos compradores, dejando la nuez a un lado sin darle ningún uso. (Reyes, 2009)

La combustión de las cascara de macadamia, sirve para la estufa, ya que esta no bota un mal olor ni tanta cantidad de humo, siendo así una forma de combustible amigable con el ambiente. (Guardado, 2010)

En algunos países se ha realizado investigaciones de diferentes formas de hacer carbón con la cascara de macadamia, un ejemplo es el proyecto de la "preparación de carbón activado de cáscara de nuez de macadamia (*Macadamia tetraphylla*) por activación química", en esta investigación se realizó la activación del carbón por un método químico de hidróxido de potasio y cloruro de zinc teniendo buenos resultados de muestras de carbón activado. (Montoya, 2010)

La explotación de la cascara de macadamia (*Macadamia tetraphylla*) no se ha desarrollado a su esplendor en el Ecuador, pero un pequeño grupo de personas del Cantón la concordia se dedica a realizar carbón y en ocasiones han usado la cascara de macadamia en combinación con madera, y dicho por ellos obtuvieron un carbón con un porcentaje mayor de energía calorífica.

### 2.2.8.5 Taxonomía de la macadamia

La macadamia, es una especie arbórea clasificada taxonómicamente de la siguiente manera (Enriquez, 1994.)

Tabla 2-2 Taxonomía de la macadamia

Clase	Angiospermae
Subclase	Dicotyledonae
Orden	Proteales
Familia	Proteaceae
Genero	Macadamia
Especie	Integrofilia y Tetraplylla

Fuente: (Enriquez, 1994.)

Familia de unos 75 géneros y más de 1000 especies representados esencialmente en regiones tropicales del hemisferio sur, sobre todo en Australia y Sudáfrica. A esta familia también pertenecen los árboles ornamentales conocidos como “grevilias” (*Grevillea banksii*), bonitos árboles frondosos introducidos de Australia. Otras nueces comestibles pertenecientes a la familia Proteaceae son: Gevuín, nuez de Chile (*Gevuina avellana*), La nuez Helicia (*Helicia diversifolia*), La nuez rosa (*Hicksbeachia pinnatifolia*). Sin embargo, ninguna de éstas ha alcanzado la importancia económica de la macadamia. (Quintas, 2011)

### 2.2.8.6 Nuez de macadamia

En la actualidad, Australia y Estados Unidos son los países más importantes como productores de macadamia de alta calidad, no sólo por ser una nuez con aroma y sabor deseables sino también porque es nutritiva, baja en colesterol, grasas saturadas y sodio. También se cultiva en Alemania, Japón, Brasil, Ecuador y Colombia, (Montoya, 2010).

En Ecuador esta especie fue introducida en 1976, pero fue en 1988 cuando se realizó la primera importación comercial de plantas de macadamia. A partir de ese momento la cultivan pequeños

productores y se destinan aproximadamente 700 hectáreas, de las cuales la mitad posee plantas en edad productiva. (Moreno., 2009)

El cultivo de macadamia en Ecuador es relativamente nuevo; las plantaciones productoras se encuentran en zonas subtropicales de la Costa y la Región Amazónica, como Quinindé, Santo Domingo de los Tsáchilas, Puerto Quito, Pedro Vicente Maldonado, Quevedo, La Maná, La Concordia, San Lorenzo, Francisco de Orellana (El Coca), Tena y Lago Agrio (Aulestia, 2010)

#### *2.2.8.7 Nuez de macadamia*

La macadamia es originaria de la zona subtropical de Australia, al sudeste de Queensland, y de la zona norte de Nueva Gales del Sur; es considerado uno de los cultivos exóticos con gran futuro en Ecuador, a nivel de exportaciones y consumo local. Esta especie fue introducida en el país por primera vez en el año 1976 y sus cultivos se establecen en zonas cálido – húmedas; en la actualidad tiene una buena distribución y un crecimiento constante. Por su alto contenido de aceite monoinsaturado, es un alimento de excelente calidad y valor nutritivo (Moreno., 2009)

El fruto de Macadamia denominado nuez es, desde el punto de vista botánico, un folículo que consiste en una sola cavidad que por lo general contiene una semilla o almendra comestible. Tiene forma más o menos esférica, de 2.5 a 5.0 cm. de diámetro, con un apéndice corto y duro. La nuez en cáscara tiene 3 cm. de diámetro en promedio; la nuez en concha 2.5 cm. y la almendra 1.5 cm.

La nuez de macadamia se ha utilizado desde su descubrimiento para la extracción de aceite, la cáscara se utiliza como abono orgánico y como combustible para grandes hornos, y la torta, que es el residuo de la extracción de aceite de macadamia, se ha utilizado como biomasa en la producción de energía (Montoya, 2010).

### *2.2.9 Necesidades agroecológicas de la macadamia*

#### *2.2.9.1 Temperatura*

La temperatura es la variable climática más determinante en el crecimiento y la productividad de la macadamia. La temperatura óptima es de 16 a 25°C; períodos prolongados de exposición a altas temperaturas pueden producir un estrés en el árbol que se observará en la coloración amarilla de los nuevos brotes de las hojas. Altas temperaturas mayores a 35°C en los períodos de floración pueden reducir la cosecha y causar un alto porcentaje de nueces inmaduras que se caerán durante

las primeras etapas de desarrollo. La fotosíntesis se inhibe a temperaturas menores a 3°C o mayores a 33°C (Quintas, 2011)

#### *2.2.9.2 Altitud*

Se puede cultivar los árboles de macadamia desde los 400 hasta los 1900 msnm. La altura sobre el nivel del mar tiene un efecto notable sobre la calidad y el volumen de producción. (Quintas, 2011)

#### *2.2.9.3 Precipitación*

Sin la existencia de sistemas de riego, la macadamia puede cultivarse en áreas con precipitaciones mínimas anuales de 1000 mm bien distribuidos a lo largo del año. El riego puede suplir las deficiencias de precipitación en algunas zonas; sin embargo, es difícil lograrlo al 100%. Es muy importante que los árboles jóvenes tengan humedad en el suelo en temporada de sequía, ya que esto ayudará a comenzar con su período de floración y fructificación en menor tiempo. Los períodos más críticos para las necesidades de riego son desde la floración hasta el desarrollo de la nuez y la formación de aceites en árboles maduros. Las altas temperaturas acompañadas de viento reducen la humedad ambiental provocando que en temporada de floración se reduzca la polinización; en este caso, se recomienda instalar definitivamente un sistema de riego. (Quintas, 2011)

#### *2.2.9.4 Suelo*

La macadamia se adapta a un amplio rango de suelos; sin embargo, el requerimiento básico de los árboles de macadamia es un suelo profundo, en promedio de 80 cm de profundidad, y bien drenado, además de un PH ligeramente ácido 6.5. (Quintas, 2011)

#### *2.2.9.5 Drenaje*

El drenaje es el factor más importante para el crecimiento de la macadamia y depende del tipo de suelo. El suelo no debe presentar ninguna obstrucción como piedras o capas de arcilla que eviten el movimiento del agua en el primer metro de profundidad, ya que las raíces de los árboles mueren en suelos saturados y que no permiten el movimiento adecuado del oxígeno. (Quintas, 2011)

#### *2.2.9.6 Textura*

La textura ideal del suelo para sembrar nuez de macadamia debe contener entre el 20 y el 30% de arcilla. Un alto contenido de materia orgánica favorece el crecimiento y desarrollo de los árboles. (Quintas, 2011)

#### *2.2.9.7 Usos de la nuez de macadamia*

Para (Reyes, 2009), la macadamia es reconocida a nivel mundial como la nuez más fina del mundo, por su buen sabor y alto valor nutritivo; es utilizada por el mercado gourmet en cualquier clase de comidas, ensaladas y en los cócteles; se las puede consumir de forma natural, asadas o saladas, según el gusto de las personas.

A nivel industrial y en confitería, se la utiliza en la elaboración de chocolates, galletas, pasteles, panecillos, helados o postres. El aceite de macadamia es considerado mejor que el aceite de oliva ya que posee un punto de ignición inferior para flamear y puede ser utilizado como aceite de cocina o de ensaladas. (Aulestia, 2010)

La cascara de macadamia , puede ser usada para realizar carbón vegetal, ya que su alto contenido de aceite, la hace un combustible de alto rendimiento por su poder calorífico y el prolongado tiempo de combustión, si bien es cierto no se ha explotado mucho esta idea en nuestro país, pero el gran contenido de cultivos de macadamia, en el noreste del país , en las provincias de esmeraldas y santo domingo , hace que esta opción sea una buena idea para evitar pérdidas por desperdicios, ya que la nuez dentro de la cascara es el preciado fruto que los agricultores que se dedican a este oficio venden a muchos compradores, dejando la nuez a un lado sin darle ningún uso . (Reyes, 2009)

La combustión de las cascara de macadamia, sirve para la estufa, ya que esta no bota un mal olor ni tanta cantidad de humo, siendo así una forma de combustible amigable con el ambiente (Guardado, 2010).

En algunos países se ha realizado investigaciones de diferentes formas de hacer carbón con la cascara de macadamia, un ejemplo es el proyecto de la "preparación de carbón activado de cáscara de nuez de macadamia por activación química", en esta investigación se realizó la activación del carbón por un método químico de hidróxido de potasio y cloruro de zinc teniendo buenos resultados de muestras de carbón activado (Montoya, 2010).

La explotación de la cascara de macadamia no se ha desarrollado a su esplendor en el Ecuador pero un pequeño grupo de personas del Cantón la concordia se dedica a realizar carbón y en ocasiones han usado la cascara de macadamia en combinación con madera, y dicho por ellos obtuvieron un carbón con un porcentaje mayor de energía calorífica. (Tapernoux, 2004)

### ***2.2.10 Carbón vegetal***

Carbón vegetal es el residuo sólido que queda cuando de "carbonizar" la madera, o se la "hidroliza", en condiciones controladas, en un espacio cerrado, como es el horno de carbón. El control se hace sobre la entrada del aire, durante el proceso de pirolisis o de carbonización, para que la madera no se quemara simplemente en cenizas, como sucede en un fuego convencional, sino que se descomponga químicamente para formar el carbón vegetal. (FAO, 1983)

Los hornos pueden ser tradicionales, mejorados o tecnificados con rendimientos de entre el 5% con alta emisión de GEIs a la atmósfera al 40% con baja emisión de GEIs y generando calor y electricidad como subproductos de la carbonización-. (FAO, 1983)

#### ***2.2.10.1 Madera***

La fase de la carbonización puede ser decisiva en la fabricación de carbón vegetal, si bien no se trata de la más costosa. A menos que se complete lo más eficientemente posible, puede crear un riesgo para la operación global de la producción de carbón, puesto que los bajos rendimientos en la carbonización repercuten a lo largo de toda la cadena de producción, en la forma de mayores costos y desperdicios de los recursos. (FAO, 1983)

Antes de que la carbonización ocurra, el agua en la madera tiene que ser totalmente eliminada como vapor. Se necesita una gran cantidad de energía para evaporar el agua, por lo que, si se usa lo más posible al sol para el presecado de la madera antes de la carbonización, se mejora mucho la eficiencia. El agua que queda en la madera que tiene que ser carbonizada, deberá ser evaporada o en la fosa o en el horno, y esta energía deberá proporcionarse quemando parte de la misma madera, que podría ser en vez transformada en carbón vegetal aprovechable (FAO, 1983)

El primer paso, en la carbonización en el horno, es secar la madera a 100° C, o menos, hasta un contenido cero de humedad se aumentan luego la temperatura de la madera secada al horno a alrededor de 280°C. Cuando la madera está seca y calentada a alrededor de 280°C, comienza espontáneamente a fraccionarse, produciendo carbón más vapor de agua, mañanas, ácido acético y compuestos químicos más complejos, fundamentalmente en la forma de alquitranes y gases no



condensables, que consisten principalmente en hidrógeno, monóxido y bióxido de carbono (FAO, 1983).

Se deja entrar aire en el horno o fosa de carbonización para que parte de la madera se quemé, y el nitrógeno de este aire estará también presente en el gas. Este proceso de fraccionamiento espontáneo o carbonización, continúa hasta que queda sólo el residuo carbonizado llamado carbón vegetal (FAO, 1983)

#### *2.2.10.2 producción de carbón aumenta la degradación forestal*

El impacto sobre la vegetación de la extracción de madera para energía bajo patrones de aprovechamiento tradicional ha sido un tema controversial desde finales de los 70's, cuando en el marco de la crisis energética mundial se publicaron algunos reportes que predecían el fin de los bosques como fuentes de leña y madera para carbón hacia el año 2000. (Eckholm, 1984)

Contrario a la leña para uso residencial, la producción de carbón vegetal en países en desarrollo ha sido señalada con mayor frecuencia como una causa directa de degradación forestal (Ahrends, 2010). Esto se debe básicamente a que la cosecha de madera para carbón vegetal a) se concentra en bosques (a diferencia de la leña que proviene frecuentemente de tierras no boscosas como pastizales y árboles fuera del bosque); b) se extrae en grandes cantidades y de manera simultánea; casi siempre con técnicas de tala rasa; y c) mientras que el consumo de leña a nivel global se ha estabilizado en las últimas dos décadas, el de carbón vegetal sigue en aumento porque se consume en centros urbanos y periurbanos de cuya población de menores ingresos está en crecimiento, más aún en los países en vías de desarrollo (Arnold, 2003)

A diferencia de la extracción de leña, la extracción de madera para producir carbón alrededor de centros urbanos representa una de las causas de degradación y deforestación de los bosques nativos (Arnold, 2003) , con la consecuente pérdida de los servicios ecosistémicos asociados: infiltración de agua, retención de suelos, captura de carbono, pérdida de biodiversidad, entre otros. El aprovechamiento de madera en forma no-renovable, el proceso de producción de carbón y su quema en dispositivos de uso final son fuentes de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEIs): CO<sub>2</sub> , CH<sub>4</sub> , CO e hidrocarburos no derivados del metano. (Pennise, 2001)

#### ***2.2.11 Métodos para la elaboración de carbón vegetal***

##### *2.2.11.1 Método de fosa*

Hay dos modos diversos de usar la barrera de tierra en la fabricación de carbón vegetal:

Una es la de excavar una fosa, rellenarla de madera y taparla con tierra excavada para aislar la cámara. (FAO, 1983)

La otra es de tapar un montículo o pila (parva) de madera sobre el suelo, con tierra. La tierra viene a formar la barrera aislante impermeable a los gases necesarios, detrás de la cual puede tener lugar la carbonización sin infiltraciones de aire, que haría quemar el carbón hasta reducirlo en cenizas. (FAO, 1983)

Para este método se necesita una capa de suelo profundo. Depósitos adecuados de suelo liviano pueden normalmente encontrarse a lo largo de los bancos de un arroyo. Pueden hacerse fosas muy grandes y un ciclo puede abarcar hasta tres meses para completarse. La inversión de capital es mínima; no se necesita nada más que una pala, un hacha y una caja de fósforos, pero es un método que desperdicia mucho los recursos ya que es muy difícil controlar la circulación de los gases en la fosa. Mucha madera se quema quedando en cenizas, porque le llega demasiado aire y otra parte queda sólo parcialmente carbonizada. (FAO, 1983)

#### *2.2.11.2 Método de parvas*

La alternativa a excavar una fosa es la de apilar la madera sobre el suelo y cubrir la parva con tierra. Este también es un método muy antiguo y se usa ampliamente en muchos países, encontrándose con muchas variaciones al método fundamental. La parva es también más práctica en zonas agrícolas, donde las fuentes de leña pueden hallarse dispersas, y es deseable hacer el carbón vegetal cerca de los pueblos u otros emplazamientos permanentes. (FAO, 1983)

El sitio de una parva puede ser usado repetidamente. La leña que será carbonizada en una parva puede también ser juntada sin apuro durante un lapso de meses, apilada en posición, haciendo que se seque bien antes de tapar y quemar. Ello va de acuerdo con la manera de vivir de un pequeño agricultor, quien puede juntar pedazos de madera, ramas y trazas y apilarlos con cuidado para formar el montón. Al cabo de algunos meses, según la estación, según los precios del carbón vegetal, etc., recubre el montón con tierra y quema el carbón. Genera de esta manera un pequeño ingreso en efectivo, sin tener necesidad de un gasto inicial en moneda. (FAO, 1983)

#### *2.2.11.3 Método de hornos de ladrillos*

Los hornos de ladrillos, construidos y operados correctamente, representan sin duda uno de los métodos más efectivos para la producción de carbón vegetal. En el curso de varias décadas de uso, estos hornos han demostrado ser una inversión de capital moderada, requerir poca mano de obra y poder dar rendimientos sorprendentemente buenos de carbón vegetal de calidad apta para todos sus usos industriales y domésticos (FAO, 1983)

Para tener éxito, el horno de ladrillo debe satisfacer una cantidad de requisitos importantes. Tiene que ser sencillo en su construcción, que las tensiones térmicas al calentarse y enfriarse, relativamente no lo afecten, y que sea suficientemente robusto para aguantar las tensiones mecánicas de la carga y descarga. Por un período de seis a diez años no se perjudican a causa de las lluvias o del clima. (FAO, 1983)

### 2.3 Marco conceptual

**Acopio:** Acopio es el proceso y el resultado de acopiar. Este verbo menciona el acto de acumular algo

**Briquetas:** Las briquetas o bloque sólido combustible son bio-combustibles para generar calor utilizados en estufas, chimeneas, salamandras, hornos y calderas.

Es un producto 100 % ecológico y renovable, catalogado como bio-energía sólida, que viene en forma cilíndrica o de ladrillo y sustituye a la leña con muchas ventajas.

El término "briqueta" es un término confuso porque puede estar fabricada con diversos materiales compactados. La materia prima de la briqueta puede ser biomasa forestal (procedente de aserraderos, fábricas de puertas, fábricas de muebles, fábricas de tableros de partículas, etc), biomasa residual industrial, biomasa residual urbana, carbón vegetal o simplemente una mezcla de todas ellas.

**Carbonera:** Pila de leña cubierta de arcilla y dispuesta a manera de horno para hacer carbón

**Contenido de cenizas:** las cenizas se expresan como el residuo que queda del carbón después de que pase por el proceso de combustión, se calcula tomando una muestra representativa de carbón de unos 5 gramos, tomamos el peso exacto inicial, lo calentamos en la mufla con una temperatura de 700oc - 800 oc luego se pesa hasta que entre muestra no varié más del 0.25%.

**Humedad superficial:** es la humedad más superficial que tiene el carbón se pierde con facilidad cuando se le seca al aire del medio ambiente del laboratorio

**Tiempo de ignición:** Esto se entiende como el tiempo que demora en hacer efecto una reacción que emite calor a una muestra representativa.

**Volátiles y carbón fino:** al momento de calentar la muestra de carbón en carencia de oxígeno, varios gases son expulsados, los cuales son llamados volátiles los cuales son vapores alquitranados y gases que no se pueden condensar.

## 2.4 Identificación de variables

### Variables Independientes:

- Proporción: diseño de mezcla
- Aglutinante
- Método de carbonización
- biomasa

### Variable Dependiente:

- Contenido de cenizas
- Volátiles y carbón fino
- Poder calórico
- Reactividad
- Eficiencia del alto horno

## 2.5 Operacionalización de variables

VARIABLE INDEPENDIENTE	CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	DEFINICIÓN DE LOS INDICADORES	CRITERIO DE MEDICIÓN	TÉCNICA	INSTRUMENTO	ESCALA
proporción A:B	Porcentaje de materia prima y aglutinante utilizado en las briquetas	Porcentajes mínimos y máximos De materiales	Eficiencia del carbón en la industria acerera  Contenido de carbono	Se define a la eficiencia como la comprobación de la calidad del producto	Continuo	Análisis elemental	Analizado elemental	90-98%
Aglutinante	Sirve para unir o adherir sustancias	Porcentajes de composición de la briqueta	Composición final de la briqueta	Se define como la caracterización de contenido final de la briqueta	Continuo	Análisis elemental	Análisis elemental	0-15%
Método de carbonización	Método por el cual se realiza el proceso de carbonización de las briquetas	Tiempos de carbonización	Rapidez del método y calidad de la briqueta	La calidad que tiene la briqueta depende de la calidad de carbonización	continuo			
Biomasa	Biomasa que se agregara además de las dos materias primas preliminares , estas son restos de madera como aserrín	Porcentaje de biomasa	Composición final de las briquetas	Se define como la caracterización de contenido final de la briqueta	Continuo	Análisis elemental		0-25%

VARIABLE DEPENDIENTE	CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	DEFINICIÓN DE LOS INDICADORES	CRITERIO DE MEDICIÓN	TÉCNICA	INSTRUMENTO	ESCALA
Contenido de cenizas	las cenizas se expresan como el residuo que queda del carbón después de que pase por el proceso de combustión	Porcentaje de cenizas	Residuo después de la producción	El desecho que quedan en los hornos donde usan las briquetas	0-10 cantidad	Análisis elemental	Análisis elemental	0-10 cantidad
Poder calórica	Es la temperatura que puede llegar a proporcionar una briqueta	Eficiencia en uso de la briqueta	Rangos de temperatura	Las temperaturas máximas que da la briqueta	300 – 500 grados Celsius	TGA/DSC	TGA	300 – 500 grados Celsius
Volátiles y carbón	al momento de calentar la muestra de carbón en carencia de oxígeno, varios gases son expulsados, los cuales son llamados volátiles los cuales son vapores alquitranados y gases que no se pueden condensar		Porcentaje de volátiles en horno	La cantidad e volátiles considerando rangos mínimos	0-100%	Análisis elemental	Análisis elemental	0-100%
Reactividad	Esto es determinante para comprobar la calidad del coque , ya que su reactividad es igual a la eficiencia	Reactividad de las briquetas	Nivel de reactividad de las briquetas	Como va a funcionar las briquetas en alto horno	0-100%	Análisis elemental	Análisis elemental	0-100%
Eficiencia en alto horno	Esta es la función de las briquetas dentro de un alto horno , determinado por parámetros ya establecidos en carbón usado en alto horno	Nivel de efectividad en alto horno	Porcentaje de los parámetros establecidos	Como funcionaria en alto horno	0-100%	Análisis elemental	Análisis elemental	0-100%

## 2.6 Matriz de consistencia

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
¿Cómo suplir la necesidad de briquetas en el mercado nacional, aprovechando los desechos agroindustriales?	Desarrollo de briquetas a partir de una matriz de cáscaras de macadamia y cáscaras de palma africana, para su utilización en la industria acerera	“Las briquetas obtenidas a partir de una matriz de cáscaras de macadamia y cáscaras de palma africana, sustituyen a las briquetas de antracita empleadas en las industrias acereras”	Variable independiente:  Proporción A:B  Aglutinante  Método de carbonización	Composición final de la briqueta  Porcentajes de composición de la briqueta  Eficiencia del carbón en la industria acerera	Análisis elemental  Análisis elemental  Análisis de calidad  Análisis elemental	Balanza  Gravimétrico  Balanza  Balanza  Balanza
ASPECTOS ESPECIFICOS						
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVO ESPECIFICO	HIPÓTESIS ESPECIFICA	Variable dependiente:	Contenido de carbono		
¿Como poder suplir la necesidad de briquetas en el mercado nacional, así evitar su importación?	-Comprobar eficiencia en la utilización de las briquetas en la industria acerera	¿A través de la síntesis y caracterización de las briquetas se podrá	Contenido de cenizas		Análisis elemental	TGA

		obtener el diseño de mezcla eficaz para la producción de biocoque metalúrgico?	Volátiles y carbón fino	Residuo después de la producción	Análisis de temperatura	
¿Cómo darle un uso a dos desechos industriales donde hay alta producción de ambas materias primas?	-Establecer una matriz de impacto ambiental para establecer la afectación de las cascara de macadamia y palma africana como desechos industriales .	¿El desarrollo de una matriz de impacto ambiental mostrara el nivel de impacto positivo tiene la utilización de estos desechos agroindustriales?	Poder calórica	Porcentaje de volátiles en horno		
¿De qué forma se puede dar un impacto positivo en la utilización de las briquetas comparada con otras en el mercado?	-la determinación de la reactividad de las briquetas puede garantizar otra fuente de energía para altos hornos	¿Con la síntesis y caracterización de las briquetas se podrá determinar la reactividad del biocoque metalúrgico que garantice el eficaz funcionamiento del alto horno en las industrias siderúrgicas??	Reactividad	Rangos de temperatura		
¿Como determinar que briqueta podría tener mayores niveles de temperatura?	-Analizar el poder calórico de las briquetas con respecto a la antracita y briquetas importadas.	¿El análisis del poder calórico de las briquetas con respecto a la antracita evidenciara que pueden usarse en la industria acerera?	Eficiencia del alto horno			



## **CAPÍTULO III**

### **3. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.1 Tipo y diseño de investigación**

El presente trabajo de investigación es de tipo exploratoria ya que formara una línea base a partir de información recolectada sobre la situación actual de la reutilización de los residuos agroindustriales, para la fabricación de biocoque y de las industrias siderúrgicas del Ecuador, su uso y que finalidad tienen actualmente estos residuos como materia prima para la síntesis de biocoque metalúrgico. Así mismo, esta investigación es de tipo experimental por utilizar técnicas analíticas instrumentales como, SEM-EDS y TGA/DSC para la caracterización de sus propiedades y su comportamiento como potencial fuente de carbono en las industrias siderúrgicas.

#### **3.2 Métodos de investigación**

El método de investigación que se utilizará en el presente trabajo es específicamente analítico ya que está orientado a verificar las propiedades caloríficas iniciales tanto de la materia prima (residuos industriales), como el producto a obtenerse (biocoque metalúrgico) en este trabajo, mediante técnicas analíticas instrumentales para analizar su comportamiento como potencial fuente de carbono en las industrias siderúrgicas de forma experimental.

#### **3.3 Enfoque de la investigación**

El enfoque de la investigación es cualitativo-cuantitativo, debido a que se realizaron mediciones de algunas variables mediante la utilización de técnicas analíticas instrumentales como la obtención de la resistencia mecánica del biocoque, TGA/DSC para el poder calorífico y micrografías de barrido por SEM/EDS.

### **3.4 Alcance de la investigación**

La investigación parte de analizar la situación actual, con relación a la problemática que existe en las industrias agroindustriales y siderúrgicas del Ecuador, las industrias agroindustriales especialmente las que producen toneladas de residuos de sus productos (cascaras de coco de palma y macadamia (*Macadamia tetraphylla*)) que ocasionan un impacto ambiental negativo. Por lo cual, con el presente trabajo de investigación se plantea la reutilización de estos desechos y convertirlos en una fuente de energía que serán utilizados en las industrias siderúrgicas.

Así mismo las industrias siderúrgicas tienen una gran responsabilidad al momento de las emanaciones de gases contaminantes en su mayoría el CO<sub>2</sub>, fuentes de información comerciales como el periódico "El País" indica que las industrias siderúrgicas en Europa tienen un aporte del 6% de CO<sub>2</sub> esto en los últimos 20 años, a su vez en Ecuador según el Banco mundial en sus Indicadores de Desarrollo mundial (WDI), Ecuador aporta con unas 2.26 toneladas métricas per cápita de CO<sub>2</sub>, siendo las industrias siderúrgica una de las mayores responsables de esta emanación, ya que se utiliza coque, que al momento de su combustión tiene una mayor cantidad de emanación de CO<sub>2</sub>, por lo cual con el uso de bio-coque se puede reducir dichas emanaciones.

### **3.5 Diseño de la investigación**

El diseño que se utiliza es completamente al azar por lo que analizara si hay una hipótesis nula aduciendo que ninguno de los tratamientos muestre significancias entre ellos y dos una hipótesis alternativa dando a entender que hay una diferencia significativa en al menos unos de los tratamientos.

El diseño completamente al azar se lo utiliza cuando se tiene una variable de respuesta la cual se pretende medir, también hay un factor el cual va a ser estudiado en función a su comportamiento en la variable de respuesta, y por ultimo un factor de bloque que se encuentra en todas las unidades y no será estudiado.

En este caso la respuesta será los resultados cuantitativos de los análisis realizados, en cuanto al factor que se pretende estudiar son los porcentajes de materias primas en función a su respuesta,

y por último el factor de bloque que afecta, pero no será estudiado será el proceso de carbonización.

Para el diseño de las mezclas consistirá en desarrollar varias formulaciones con las materias primas disponibles a nivel de laboratorio para posteriormente efectuar la caracterización de las briquetas obtenidas y de acuerdo a los resultados seleccionar una que tenga mejor rendimiento.

La confección de las briquetas analizadas se la conformó a partir de una mezcla de carbón de cáscara de macadamia (*Macadamia tetraphylla*), cascaras del fruto de la palma africana (*Elaeis guineensis*) y biomasa en este caso restos de carbón de guayaca (*Tabebuia Chrysantha*).

El carbón proveniente de la cáscara de macadamia (*Macadamia tetraphylla*) fue tomado de los cultivos de la empresa Negainco. Las cascaras del fruto de la palma africana (*Elaeis guineensis*) fueron recolectadas de la extractora de aceite de palma africana Tisaysa ambas ubicadas en el Cantón "La Concordia", Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas. La biomasa consistió como madera reciclada la cual fue recolectada en una maderera ubicada en plan piloto perteneciente al cantón La Concordia.

Luego de esto se procedió a carbonizar las cascaras con ayuda de un horno metálico para asegurar un mejor proceso de carbonización, seguido con diferentes porcentajes de materias primas se procedió a mezclar y con ayuda de un aglutinante (melaza y almidón de yuca), y compactar las briquetas con ayuda de una briqueteadora (9BK System Briquette press), para al final ponerlas al fuego lento para asegurar su completa compactación y secado.

Se tomará en cuenta 9 tratamientos de briquetas, variando las materias primas previamente mencionadas con la misma cantidad de aglutinante para que el objeto de estudio sean las diferentes materias primas, tomando mayormente en cuenta la que provienen de desechos agroindustriales, a cada tratamiento se le realizarán 3 repeticiones.

### **3.6 Población de estudio**

La población a la cual está referida el presente trabajo de investigación lo constituye la población finita de 27 briquetas de biocoque metalúrgico que será sintetizado a partir de los residuos de cáscaras de coco de la palma africana (*Elaeis guineensis*), macadamia (*Macadamia tetraphylla*) y biomasa (*Tabebuia Chrysantha*). Cabe destacar que la fuente de información para obtener dicho número de briquetas se basa en el número de tratamientos (efectos de variación del contenido en porcentaje en masa de la materia prima, tiempo y temperatura de carbonización) y la repetibilidad de las muestras para obtener una incertidumbre aceptada.

### **3.7 Unidad de análisis**

La unidad de análisis son las briquetas en específico la materia prima que conforma cada briqueta ya que en función a la formulación (porcentaje de cada materia prima que la conforma), esta tendrá un rendimiento que diferencie de las demás unidades analizadas. las materias primas principalmente analizadas son la macadamia (*Macadamia tetraphylla*) y el coco de la palma africana (*Elaeis guineensis*).

### **3.8 Muestreo**

La selección de la muestra se realizará a partir de las briquetas sintetizadas esto se realizará totalmente al azar, previamente a esta selección de la muestra se escogió un grupo de las briquetas con mejor estado (esto para cada tratamiento), tomando en cuenta el resquebrajamiento que suelen sufrir, luego de esto se realiza la selección para cada unidad experimental que posteriormente será analizada.

### **3.9 Tamaño de muestra**

Para determinar el tamaño de la muestra se realizó la armonización de factores de presión, confianza y el más bajo costo posible, estimando que sea lo suficientemente preciso para la investigación.

$$n = \frac{z^2 * p * q * N}{e^2(N - 1) + z^2 * p * q}$$

Dónde:

Z= % de confiabilidad deseada para la media muestral (1.96 (tabla de distribución normal para el 95% de confiabilidad y 5% error))

e= error máximo permitido para la media muestral (5%)

N= tamaño de la población (27)

p= % de veces que se supone ocurre un efecto en la población (0,5)

q= es la no ocurrencia del efecto (1-p)

$$n = \frac{1,96^2 * 0,5 * 0,5 * 27}{0,05^2(27 - 1) + 1,96^2 * 0,5 * 0,5}$$

$$n = 26,2903$$

El tamaño de la muestra es de 26 briquetas.

### 3.10 Técnicas de recolección de datos

#### Ensayos experimentales:

Resistencia mecánica, Microscopía electrónica de barrido – Espectroscopía de energía dispersiva (SEM-EDS), Análisis termogravimétrico – Calorimetría diferencial de barrido (TGA-DSC) .

### **3.11 Diseño experimental**

#### **3.11.1 Pre - tratamiento**

Las muestras fueron llevadas a un proceso de secado durante 24 horas en un humidificador con la finalidad de retirar toda la humedad contenida en cada una de las cáscaras, posteriormente fueron sometidas a un proceso de carbonización para luego ser llevadas a la operación mecánica de trituración , al estar trituradas las materias primas son mezcladas y aglutinadas con ayuda de almidón de yuca y melaza está en el mismo porcentaje para todas las muestras el 20% , ya que el objeto de estudio serían las materias primas las cuales se ubicaron en diferentes porcentajes en función de sus propiedades previamente analizadas .

#### **3.11.2 Aglutinantes**

Los aglutinantes utilizados son la melaza y almidón de yuca los cuales son empleados con la finalidad de compactar las diferentes formulaciones realizadas de las briquetas.

Se eligió Bio aglutinante tomando en cuenta que el producto debe ser amigable con el ambiente, cabe resaltar que hay aglutinantes con un mejor rendimiento pero con una mucho mayor emanación de gases contaminantes uno de estos el alquitrán de hulla.

##### *3.11.2.1 Obtención de melaza*

La melaza es obtenida como un subproducto final en el proceso de producción de azúcar de caña. En la etapa final los cristales de azúcar son retenidos en la centrífuga y pueden ser lavados con agua si se desea. Las aguas madres que son separadas, se denominan melazas de primera. Estas son enviadas a un nuevo evaporador y de ahí a la centrífuga “B”, en donde se obtiene el azúcar y las melazas de segunda. Las melazas se someten a un proceso similar a los anteriores, obteniéndose en esta oportunidad azúcar de semilla y melazas finales. Las melazas finales es un producto sobrante en los ingenios el cuál es destinando como materia prima de otros procesos.

##### *3.11.2.2 Obtención de almidón de yuca*

Se lava y se retira la cáscara de la yuca con la finalidad de eliminar las impurezas adheridas, por lo general las pérdidas en él lavado son de 2 – 3 por ciento del peso de las raíces frescas.

Posteriormente se procede a rallar la yuca cuidadosamente liberando los gránulos de almidón que están contenidos en las células de las raíces de la yuca, cabe indicar que, si el rallado no es eficiente, no se logran separar totalmente los gránulos de almidón de las fibras; el rendimiento del proceso es bajo y se pierde mucho almidón en el afrecho desechado.

El siguiente paso es la extracción en donde se desarrolla la separación de la pulpa o material fibroso de la lechada de almidón. Luego esta es llevada a la operación de sedimentación en donde se separa los gránulos de almidón de su suspensión en agua.

Seguidamente se realiza el secado solar o artificial con el objetivo de retirar la humedad del almidón hasta un 12 – 13 por ciento. Finalmente se efectúa el acondicionamiento que comprende las etapas de molienda y tamizado.

### **3.11.3 Tratamiento muestras**

Una vez realizado el muestreo se procederá al tratamiento de la muestra para iniciar con los respectivos ensayos de laboratorio.

Los tratamientos correspondieron a distintas proporciones de cáscara macadamia (*Macadamia tetraphylla*), cáscara de fruta de palma, biomasa y como aglutinantes melaza y almidón de yuca los cuales fueron mezclados de la siguiente forma: T1 .... %, T2 .... %, T3 .... %, T4 .... %, etc.

En el caso de la tabla se propone como 3 series, siendo la primera el T1,T2YT3 , la serie 2 es el T4,T5Y T 6 y por último la serie 3 contiene el T7, T8,T9

Como se detalla a continuación en la tabla 3.1.

Tabla 1-3 Tratamiento de muestras

Denominación de la muestra	SERIE	% de BPA (100-x)	% de BM (y)	% de BG (z)	% de Aglutinante (w)
Muestras Tipo A: Briquetas compactadas con bio aglutinante natural de yuca y melaza	Serie 1	80	0	0	20 (50% melaza 50% B Y)
		60	0	20	20 (50% melaza 50% B Y)
		40	0	40	20 (50% melaza 50% B Y)
	Serie 2	70	10	0	20 (50% melaza 50% B Y)
		50	10	20	20 (50% melaza 50% B Y)
		30	10	40	20 (50% melaza 50% B Y)
	Serie 3	55	25	0	20 (50% melaza 50% B Y)
		35	25	20	20 (50% melaza 50% B Y)
		15	25	40	20 (50% melaza 50% B Y)

Realizado por: Rodriguez Fernando, 2023

### 3.11.4 Preparación de las muestras

Una vez obtenidas las materias primas carbonizadas son sometidas a un proceso de trituration por brillo de tal manera que se obtengan partículas finas, posteriormente los aglutinantes ya preparados son calentados a una temperatura de 80 ° C por un tiempo de 5 cinco minutos y son mezclados hasta obtener una masa pastosa, una vez obtenida esta masa se la agrega junto con las demás materias primas trituradas de acuerdo al porcentaje de cada tratamiento.

La compactación de la masa fue realizada en una briqueteadora mecánica (9BK System Briquette press) durante un periodo de cinco minutos. Las briquetas formadas, fueron enfriadas mediante ventilación forzada durante diez minutos y con un secado a fuego lento de 2 horas.



### ***3.11.5 Caracterización de las muestras***

Para efectuar la caracterización de las briquetas se realizarán los siguientes ensayos: Microscopía electrónica de barrido – Espectroscopía de energía dispersiva (SEM-EDS), Análisis termogravimétrico – Calorimetría diferencial de barrido (TGA-DSC).

#### ***3.11.5.1 Determinación de la masa***

La masa fue determinada a través de una balanza analítica con una precisión aproximadamente de  $10^{-3}$  g.

#### ***3.11.5.2 Compresión mecánica***

Se realizaron los ensayos de resistencia a la compresión mecánica utilizando una máquina de Ensayos Universales marca SHIMADZU modelo UTM-600KN (ver anexo D ), para las briquetas sintetizadas, con el fin de evaluar la fuerza de compresión de acuerdo con la norma ASTM C109/C109 M-16a.

#### ***3.11.5.3 Microscopía Electrónica de Barrido (SEM-EDS)***

La caracterización morfológica, el grado de homogenización y el contenido de carbón se puede diferenciar de la microestructura de cada briqueta por medio de microscopía electrónica de barrido (SEM), equipado con un espectrómetro de dispersión de energía (EDS) (ver anexo E). Las micrografías SEM-EDS fueron obtenidas utilizando un Microscopio Electrónico de Barrido equipado con un Espectrómetro de Energía Dispersiva, marca JEOL. Para el análisis de SEM-EDS se prepararon muestras en polvo con una granulometría menor a 30  $\mu\text{m}$ . Las muestras en polvo se adhirieron en una porta muestra de aluminio sobre un disco en forma de adhesivo, no se utilizó ningún tipo de recubrimiento metálico sobre las muestras para su análisis. Las condiciones de operaciones que se utilizaron en el equipo fueron: en alto vacío, una presión de 15 Pa, un voltaje de aceleración de 12,5 kV, con dos tamaños de spot para las imágenes de 2.5 y 3 y un tamaño de spot de 5 para el análisis de EDS.

### 3.11.5.4 Termogravimetría y Calorimetría Diferencial de Barrido (TGA-DSC)

El comportamiento térmico y el análisis de estabilidad térmica del producto final de todas las muestras sintetizadas se realizaron utilizando un equipo TA Instruments Q-600, Analizador Térmico Simultáneo STD, por medio de un análisis termogravimétrico y de calorimetría diferencial de barrido (TGA-DSC) simultáneo. Las muestras fueron tomadas en polvo para su preparación, se utilizó cantidades aproximadamente entre 8 a 10 mg para cada análisis. Se utilizaron crisoles de alúmina tanto para referencia como para las muestras. Las condiciones de operaciones del ensayo se realizaron con un intervalo de temperatura desde la temperatura ambiente hasta los 1000 °C, con una velocidad de calentamiento de 20 °C/min y una velocidad de flujo de nitrógeno de 100 mL/min. Los datos obtenidos fueron analizados e interpretados en el software Advantage TA Universal Analysis 4.5A.

### 3.11.5.6 Formulación

Para la formulación de las briquetas se emplearán cáscara de macadamia, cáscara de palma africana, biomasa, almidón de yuca y melaza como aglutinantes.

Tabla 1-3 Formulación de las briquetas

Denominación de la muestra	SERIE	% de BPA (100-x)	% de BM (y)	% de BG (z)	% de Aglutinante (w)
Muestras Tipo A: Briquetas compactadas con bio aglutinante natural de yuca y melaza	Serie 1	80	0	0	20 (50% melaza 50% B Y)
		60	0	20	20 (50% melaza 50% B Y)
		40	0	40	20 (50% melaza 50% B Y)
	Serie 2	70	10	0	20 (50% melaza 50% B Y)
		50	10	20	20 (50% melaza 50% B Y)
		30	10	40	20 (50% melaza 50% B Y)
	Serie 3	55	25	0	20 (50% melaza 50% B Y)
		35	25	20	20 (50% melaza 50% B Y)
		15	25	40	20 (50% melaza 50% B Y)

Realizado por: Rodríguez Fernando, 2023

### **3.12 Socialización de la investigación**

Una vez obtenido el producto, se convocó a una socialización con los habitantes de la zona de las parroquias de Plan Piloto y Monterrey con la finalidad de dar a conocer los resultados obtenidos y beneficios del proyecto para la comunidad.

## **CAPÍTULO IV**

### **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1 Análisis de los resultados**

Se realizó la carbonización con diferentes tipos de materia prima vegetal, usando tres tipos que sean de buena calidad para producción de carbón en este caso la cascara de macadamia (*Macadamia tetraphylla*), el coco de la palma africana (*Elaeis guineensis*) y biomasa proveniente de la madera de guayaca (*Tabebuia Chrysantha*), de esta forma obtendremos resultados de los análisis para analizar el rendimiento del biocoque metalúrgico en alto horno, las muestras se tomaran completamente al azar, para lo cual dichas muestras deben ser los más homogéneas posibles, luego serán llevadas al laboratorio para sus debidos análisis y al final presentar los resultados de las distintas muestras y obtener la comparación según su origen.

#### **4.2 Resultados caracterización briquetas**

Una vez elaboradas las briquetas están fueron llevadas hacia el laboratorio de ensayo metrológicos y de materiales de la Escuela Superior Politécnica de Litoral, en donde se hicieron las respectivas pruebas descritas en el capítulo anterior; Microscopía electrónica de barrido – Espectroscopía de energía dispersiva (SEM-EDS), Análisis termogravimétrico – Calorimetría diferencial de barrido (TGA-DSC).

##### **4.2.2 Masa**

Las masas obtenidas de cada una de las briquetas preparadas se detallan a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 2-3 Masa; 3 repeticiones

TRATAMIENTO	REPETICION 1	REPETICION 2	REPETICION 3
T1	8,484	8,5930	8,6190
T2	8,353	8,4320	8,4870
T3	8,595	8,4360	8,3110
T4	8,259	8,4910	8,5250
T5	8,259	8,4910	8,5250
T6	8,464	8,7970	7,6820
T7	8,125	8,0540	8,1980
T8	8,388	8,3783	8,0900
T9	8,304	8,4950	8,4480

Realizado por: Rodriguez Fernando, 2023

Tabla 1-4 Análisis estadístico de masa

F. V.	G. L.	S. C.	C. M.	F
<b>Tratamientos</b>	<b>8</b>	<b>0,37</b>	<b>0,04652777</b>	<b>1,628789</b>
<b>Error</b>	<b>18</b>	<b>0,51</b>	<b>0,02856586</b>	
<b>Total</b>	<b>26</b>	<b>0,89</b>		

Realizado por: Rodriguez Fernando, 2023

F de tabla 4.46

Cuando el f de la tabla 4.46 es mayor que el f calculado 1.628789 aceptamos hipótesis nula lo que quiere decir que ninguno de los tratamientos tuvo mayor significancia entre sí, esto se puede entender ya que es el parámetro de masa el cual prácticamente vendría a ser similar en todos los tratamientos.

Ya que la masa vendría a demostrar que la maquina briqueteadora tiene buena compactación con cada uno de los tratamientos, esto vendría a beneficiar el proceso ya que garantiza una mejor homogeneidad del Biocoque, produciendo así una mejor eficiencia en alto horno.

Se nota una pequeña minoría de masa en la briqueta del tratamiento 6 el cual tiene mayor cantidad de biomasa en este caso el carbón de guayaca, esto se puede explicar en el proceso de triturado

de las materias primas ya carbonizadas, ya que el carbón de guayaca triturado tenía partículas mucho más pequeñas y ligeras que las cascavas de macadamia trituradas y las cascavas del coco de la palma trituradas; ambas previamente habiendo pasado por el proceso de carbonización.

Con esto se podría deducir que, para la buena compactación de la mezcla de la briqueta, y que las partículas no deben ser demasiadas finas ni ligeras.

#### **4.2.3 Poder calorífico**

Se efectuó el ensayo de termogravimetría TGA y de calorimetría diferencial de barrido DSC (ver en anexos) para determinar el poder calorífico de la materia prima ensayada en donde se utilizó los estándares ASTM D5865-ASTM E1131-08 y se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 2-4 Resultados poder calórico

<b>ID de la muestra</b>	<b>Poder calorífico cp (MJ/Kg)</b>	<b>Desviación Estándar</b>
S1-A1	17,20	0,40
S1-A2	18,10	0,26
S1-A3	22,03	0,21
S2-A1	16,93	0,25
S2-A2	17,70	0,78
S2-A3	19,73	0,35
S3-A1	17,50	0,30
S3-A2	18,43	0,35
S3-A3	21,33	0,25
S1-B1	16,32	0,32
S1-B2	17,11	0,11
S1-B3	16,01	0,43
S2-B1	17,31	0,87
S2-B2	16,31	0,76
S2-B3	15,68	0,91
S3-B1	15,64	0,49
S3-B2	16,08	0,45
S3-B3	14,56	0,68

Realizado por: Rodriguez Fernando, 2023

La Tabla 7.1 muestra los resultados obtenidos de la caracterización térmica para la obtención del poder calorífico (cp) de las muestras sintetizadas de bicoque metalúrgico. Se observa que los valores mayormente representativos corresponden a las muestras que tienen mayor resistencia a la compresión, estas muestras son las siguientes: S1-A3 (22,03 MJ/kg), S2-A3 (19,73 MJ/kg) y S3-A3 (21,33 MJ/kg), esto también se puede atribuir a la composición de las briquetas como se puede observar en la Tabla 4 , que tienen como materia prima solo el coco de la palma africana 70% y macadamia 10 % , dando a entender que estas dos materias primas son confiables para producir bicoque metalúrgico.

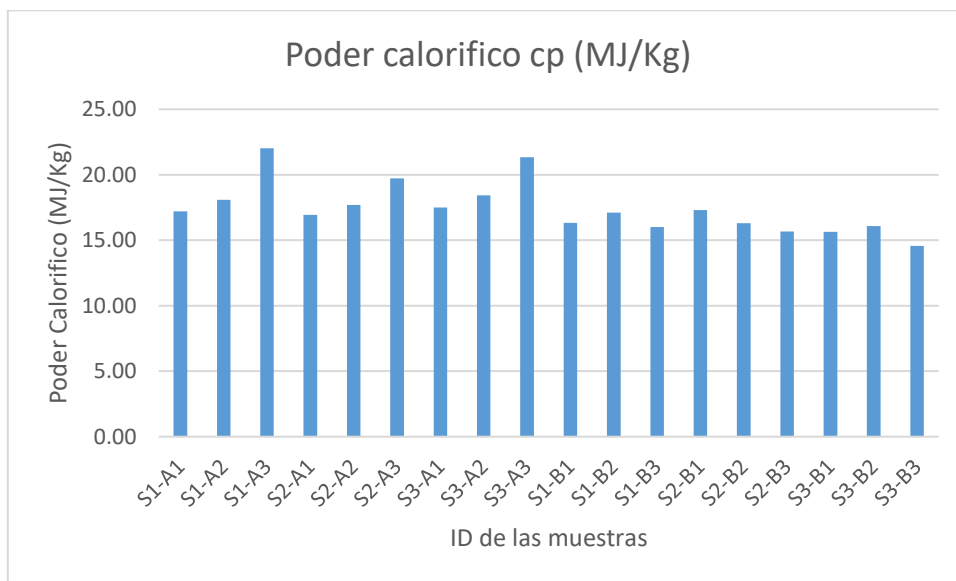


Gráfico 4.1 Poder calorífico briquetas

Realizado por: Rodriguez Fernando, 2023

De acuerdo a los resultados obtenidos podemos apreciar que las briquetas 3 tiene un mayor poder calorífico con respecto a las otras debido a las altas propiedades energéticas que aportan los materiales usados en esta mezcla.

Tabla 3-4 Resultados de TGA

	R1	R2	R3
T1	17,6	16,8	17,2
T2	18,2	18,3	17,8
T3	21,8	22,2	22,1
T4	17,2	16,9	16,7
T5	18	18,1	16,8
T6	20,1	19,7	19,4
T7	17,8	17,2	17,5
T8	18,4	18,1	18,8
T9	21,6	21	21,3

Realizado por: Rodriguez Fernando, 2023

Tabla 4-4 Análisis estadístico

<b>F. V.</b>	<b>G. L.</b>	<b>S. C.</b>	<b>C. M.</b>	<b>F</b>
<b>Tratamientos</b>	<b>8</b>	<b>81,85</b>	<b>10,2312037</b>	<b>2,323036</b>
<b>Error</b>	<b>18</b>	<b>79,28</b>	<b>4,40423868</b>	
<b>Total</b>	<b>26</b>	<b>2,57</b>		

Realizado por: Rodriguez Fernando, 2023

De acuerdo al análisis estadístico bajo el análisis del F calculado (2,323036), y el F tabulado que es de 4.46 , indicando que aceptamos hipótesis nula y rechazamos hipótesis alternativa , indicando que no hay diferencias significativas entre tratamientos , esto se puede explicar por qué todas las briquetas tienen alto rendimiento de poder calórico , para lo cual todas son usables para alto horno , pero de esta forma hay que resaltar el rendimiento de la briqueta del tratamiento 3 con un rendimiento máximo de 22.2 MJ/Kg ; que tiene 40 % de cascara de la palma africana y 40 % de biomasa en este caso carbón de guayaca y el 20 % restante viene a ser el aglutinante.

Así mismo la briqueta del tratamiento 9 con un rendimiento máximo de 21.6 MJ/Kg; que tiene 15 % de cascara de la palma africana , 25% de cascara de macadamia y 40 % de biomasa en este caso carbón de guayaca y el 20 % restante de aglutinante.

Se puede comprobar que la materia prima de la biomasa en este caso guayaca tiene buen rendimiento en cuanto a poder calórico en ambas briquetas, esto se puede entender por el



rendimiento calórico que da el carbón de guayaca por sí solo, que es catalogado como uno de los mejores carbones para estufa.

Así mismo la otra materia prima que iguala a la biomasa en porcentaje es el carbón de palma africana con un 40% de composición dentro de la briqueta, nos muestra también que esta materia prima tiene buen rendimiento de poder calórico, puede deberse a la procedencia de la materia prima ya que es bien sabido que el fruto de la palma africana es rico en aceite que tratan para proceder a refinarlo.

De esta forma podemos deducir que ambos tratamientos tendrían buen tratamiento en alto horno ya que se deben soportar temperatura por encima de los 1000 grados centígrados, así mismo el carbón de guayaca podría usarse como parcial ayuda para la producción de biocoque metalúrgico.

#### 4.2.4 Propiedades mecánicas

Se realizaron las mediciones de resistencia a la compresión de las muestras de biocoque metalúrgico, cada muestra se realizó tres replicas. Las muestras que son 9 tipos de briquetas con diferente porcentaje de materia prima y con el mismo porcentaje de bioaglutinante natural por lo cual estas propiedades mecánicas van a ser estudiadas en función de las materias primas, en este caso las cascaras de palma africana y las cascaras de macadamia.

Tabla 5-4 Propiedades mecánicas

<b>Muestras Tipo A</b>						
<b>ID de la muestra</b>	<b>% de BPA (100-x)</b>	<b>% de BM (y)</b>	<b>% de BG (z)</b>	<b>% de Aglutinante (w)</b>	<b>Max. Esfuerzo (MPa)</b>	<b>Desviación Estándar</b>
S1-A1	80	0	0	20	0,52	0,094
S1-A2	60	0	20	20	0,59	0,029
S1-A3	40	0	40	20	0,88	0,165
S2-A1	70	10	0	20	0,73	0,028
S2-A2	50	10	20	20	0,74	0,108
S2-A3	30	10	40	20	0,85	0,038
S3-A1	55	25	0	20	0,67	0,067
S3-A2	35	25	20	20	0,70	0,069
S3-A3	15	25	40	20	0,83	0,097

Realizado por: Rodriguez Fernando, 2023

Los resultados de la tabla 10 muestran la resistencia a la compresión en promedio del ensayo de 3 muestras de las briquetas sintetizadas de cada mezcla que se indican en la misma. Se observa que el máximo valor de esta propiedad medida, pertenece a los especímenes de las series: S1-A3. S2-A3 y S3-A3. Como se puede observar son las briquetas que se sintetizaron con un mayor porcentaje de biomasa de palma africana (*Elaeis guineensis*) (40 % de porcentaje en peso), más biomasa de guayacán (40 % de porcentaje en peso) y no contiene biomasa de macadamia (*Macadamia tetraphylla*), todas estas fueron sintetizadas con el 20 % de porcentaje en peso de bioaglutinante natural de yuca y melaza. Se puede apreciar que las medidas de compresión mecánica tienden a incrementar a medida que se aumenta las relaciones del porcentaje de biomasa, especialmente de palma africana (*Elaeis guineensis*) y guayacán y cuando se utiliza la biomasa de macadamia, tiende a disminuir levemente la resistencia a la compresión lo cual se observa en las muestras S2-A3 y S3-A3 que contienen 10 % 25 % en peso de esta biomasa respectivamente.

Tabla 6-4 Propiedades mecánicas 2

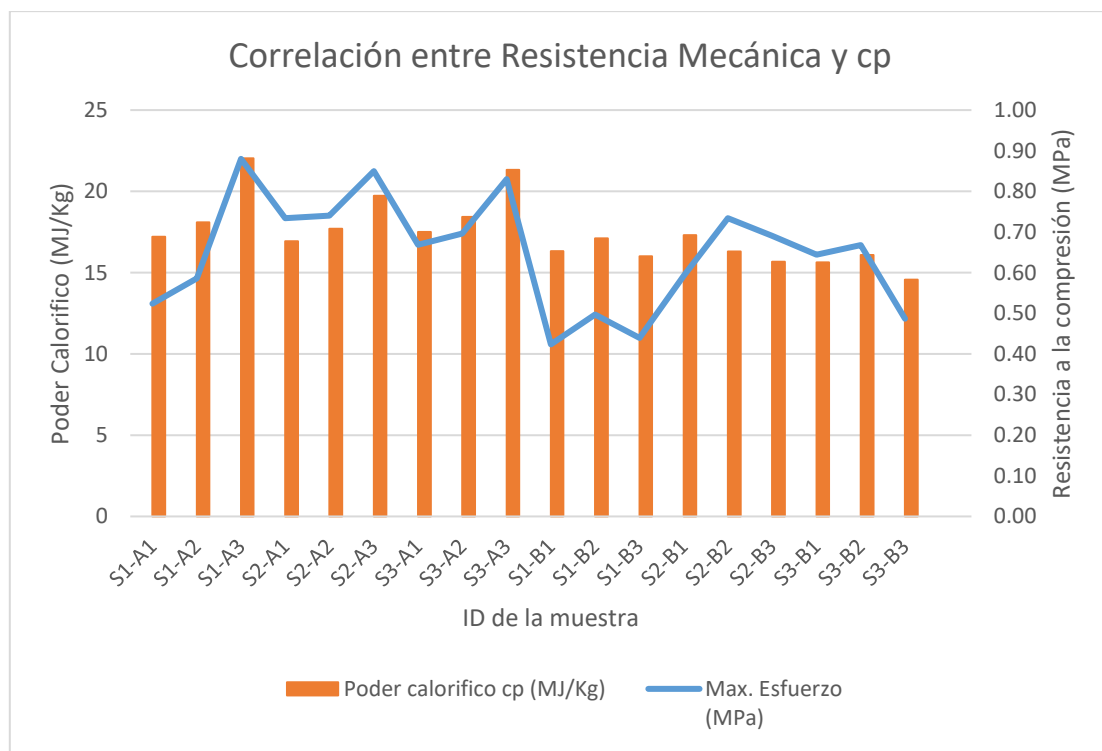
<b>Muestras Tipo B</b>						
<b>ID de la muestra</b>	<b>% de BPA (100-x)</b>	<b>% de BM (y)</b>	<b>% de BG (z)</b>	<b>% de Aglutinante (w)</b>	<b>Max. Esfuerzo (MPa)</b>	<b>Desviación Estandar</b>
S1-B1	80	0	0	20	0,42	0,094
S1-B2	60	0	20	20	0,50	0,054
S1-B3	40	0	40	20	0,44	0,029
S2-B1	70	10	0	20	0,59	0,165
S2-B2	50	10	20	20	0,73	0,028
S2-B3	30	10	40	20	0,69	0,038
S3-B1	55	25	0	20	0,64	0,038
S3-B2	35	25	20	20	0,67	0,061
S3-B3	15	25	40	20	0,49	0,030

Realizado por: Rodriguez Fernando, 2023

Los resultados de la tabla 11 muestran la resistencia a la compresión en promedio del ensayo de 3 muestras de las briquetas sintetizadas de cada mezcla que se indican en la misma. Estas briquetas fueron sintetizadas a diferencia de las anteriores con diferentes porcentajes de materias primas. Se observa que el máximo valor de esta propiedad medida (Max esfuerzo), pertenece a los especímenes de las series: S1-B2. S2-B2 y S3-B2. A diferencia de las muestras anteriores, estas son las briquetas que se sintetizaron con un mayor porcentaje de biomasa de palma africana (*Elaeis guineensis*) (60 % de porcentaje en peso), pero bajo contenido de biomasa de guayacán

(20 % de porcentaje en peso) y además tienen bajo contenido de biomasa de macadamia (*Macadamia tetraphylla*), todas estas fueron sintetizadas con el 20 % de porcentaje en peso de aglutinante de melaza y almidón de yuca . Se puede apreciar que las medidas de compresión mecánica tienden a incrementar a medida que se disminuye levemente las relaciones del porcentaje de biomasa, especialmente de palma africana (*Elaeis guineensis*) y se disminuye el porcentaje de biomasa de macadamia, lo cual tiene un efecto totalmente adverso a las muestras tipo A que se sintetizaron con diferentes porcentualidades y propiedades , especialmente en sus propiedades mecánicas. Asimismo, si se correlaciona el poder calorífico con la compresión mecánica se tiene el efecto que a mayor resistencia mecánica mayor será el poder calorífico de las briquetas (ver gráfico 4.2), esto se da debido a que las muestras se compactaron de manera total sin dejar porosidades al interior de las muestras.

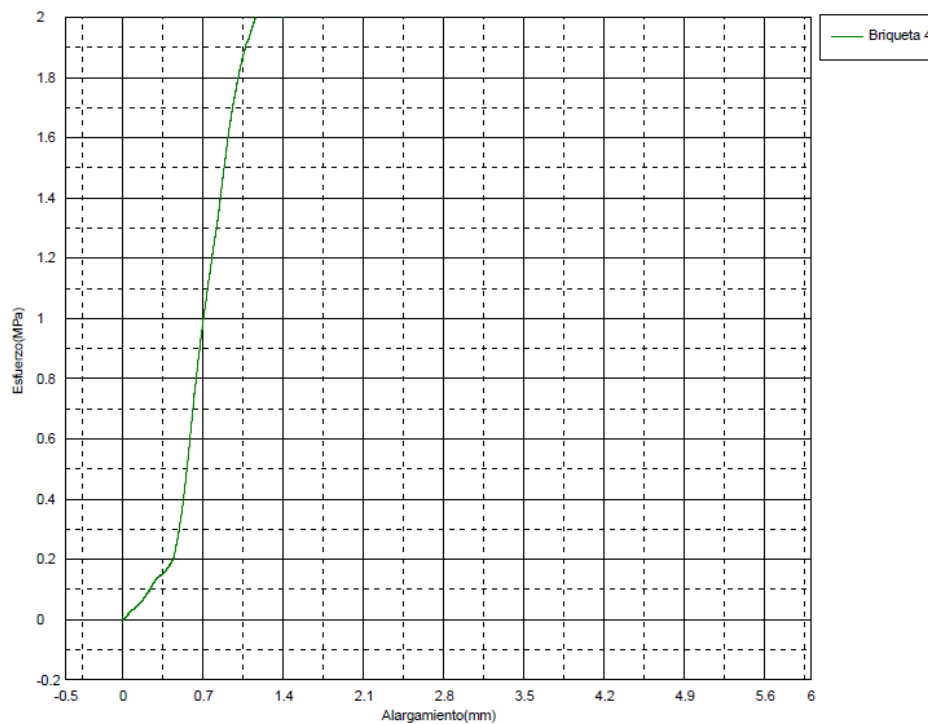
Gráfico 4.2 Compresión mecánica



Realizado por: Rodriguez Fernando, 2023

Esto nos indica que hay una correlación (directamente proporcional) entre las propiedades de compresión mecánica con la propiedad de poder calórico esto se puede explicar aduciendo que entre mejor estén unidas las partículas de las briquetas un mejor rendimiento tendrá, además se puede deducir que la materia prima con mejores capacidades mecánicas y calóricas vendría a ser la palma africana.

Imagen 4.1 Briqueta 4

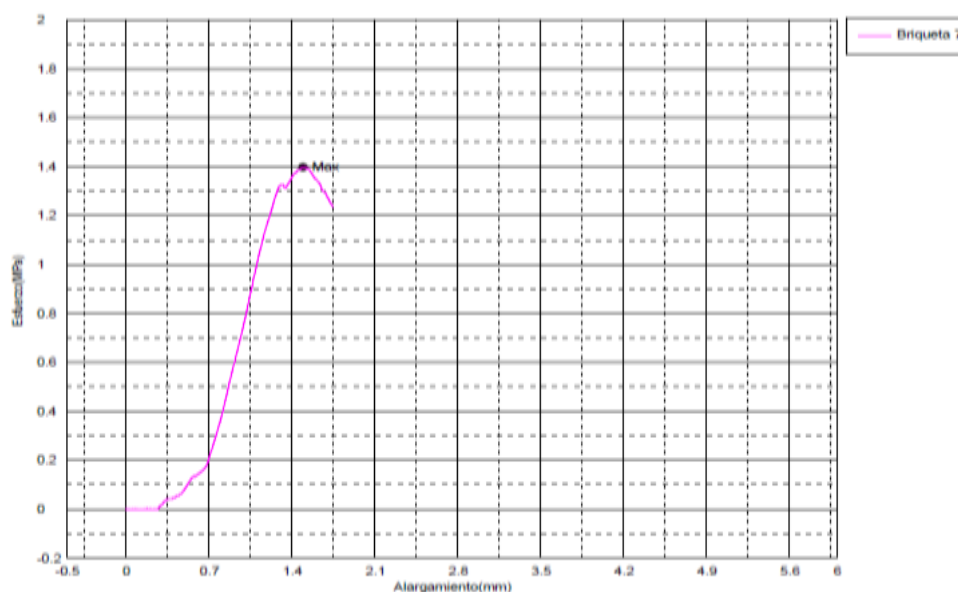


Realizado por: Rodriguez Fernando, 2023

Así mismo con la ayuda del análisis de los gráficos se puede ver el esfuerzo máximo que soporta una briqueta en relación con el alargamiento en mm que pueda sufrir la briqueta, por ejemplo el de la briqueta # 4 la cual tiene 70 % de cantidad de materia prima de cascaras de palma africana tiene un máximo esfuerzo de 0,71037Mpa con un desplazamiento de 1,915 mm, lo que también nos da a entender que la mejor materia prima para actividades de alto horno es la cascaras de la palma africana, así mismo también se debe resaltar que las mayoría de las briquetas tienen un esfuerzo máximo por encima de los 0,60 Mpa,

De igual forma hay que valorar que las cantidades de compresión mecánica de alto horno tiene cantidades arriba de los 40 Mpa, pero esto no quiere decir que los tratamientos no son adecuados ya que la capacidad de compresión aumenta en un grupo de briquetas, esto ayudaría a la propiedad de resistencia a la compresión mecánica.

Imagen 4.2 Briqueta 7



Realizado por: Rodriguez Fernando, 2023

Como podemos ver en los resultados obtenidos de esta prueba, la briqueta 4 es la que presenta mayor esfuerzo mientras que la briqueta 7 es la de menor, por lo que el tratamiento y mezcla realizado a la 4 la hace más factible para ser usada en la industria el cual tiene una cantidad de 70 % de materia prima de palma africana, dando una vez más la razón de que las briquetas que contengan esta materia prima, tendrían mejores capacidades calóricas y de resistencia.

En cuanto a la briqueta 7 aumenta la cantidad de macadamia hasta un 25 % y de palma africana se reduce a un 55% , esto podría establecer que las briquetas que tienen mayor cantidad de cascara de macadamia , iban a perder capacidades a la compresión mecánica .

Tabla 7-4 Resultados de la carga máxima del estudio de resistencia

Max carga(Kn)			
	repeticion1	repeticion2	repeticion3
t1	4,72125	5,76	6,79313
t2	6,77156	6,14344	6,41531
t3	6,80719	4,56375	8,16375
t4	7,98	8,41969	7,81406
t5	8,02031	10,1278	10,0134
t6	8,44406	7,63219	7,84688
t7	6,55125	7,49438	8,00625
t8	7,47844	8,49469	6,9975
t9	5,64656	7,74656	6,31875

Realizado por: Rodriguez Fernando, 2023

Tabla 8-4 Análisis estadístico de carga máxima

F. V.	G. L.	S. C.	C. M.	F
<b>Tratamientos</b>	<b>8</b>	<b>29,40</b>	<b>3,67516711</b>	<b>5,280250</b>
<b>Error</b>	<b>18</b>	<b>12,53</b>	<b>0,69602147</b>	
<b>Total</b>	<b>26</b>	<b>16,87</b>		

Realizado por: Rodriguez Fernando, 2023

F de tabla 4.46

Cuando el F calculado es mayor que el F de tabla se rechaza hipótesis nula y se acepta hipótesis alternativa aduciendo que al menos uno de los tratamientos tiene significancia entre si , en este caso podemos ver que la briqueta del tratamiento numero 5 el cual tiene un 50 % de cascara de palma africana y el 4 que aumenta a un 70% , lo cual podría aducirse que esta materia prima puede darle mejor estabilidad y propiedad mecánica a la briqueta que se realice con la materia prima ya mencionada .

Tabla 9-4 Resultado de máximo esfuerzo

Max esfuerzo			
	repeticion1	repeticion2	repeticion3
t1	0,4292	0,52364	0,61756
t2	0,6156	0,55849	0,58321
t3	0,61884	0,41489	0,74216
t4	0,72545	0,76543	0,71037
t5	0,72912	0,92071	0,91031
t6	0,76764	0,69384	0,71335
t7	0,59557	0,68131	0,72784
t8	0,67986	0,77224	0,63614
t9	0,51332	0,70423	0,57443

Realizado por: Rodriguez Fernando, 2023

Tabla 10-4 Análisis estadístico de resultados de máximo esfuerzo

F. V.	G. L.	S. C.	C. M.	F
<b>Tratamientos</b>	<b>8</b>	<b>0,24</b>	<b>0,03037335</b>	<b>5,280212</b>
<b>Error</b>	<b>18</b>	<b>0,10</b>	<b>0,0057523</b>	
<b>Total</b>	<b>26</b>	<b>0,14</b>		

Realizado por: Rodriguez Fernando, 2023

F de tabla 4.46

En el análisis estadístico para el máximo esfuerzo la F calculada 5.280212 es mayor que la F de tabla, dando a entender que se rechaza la hipótesis nula y aceptando la hipótesis alternativa aduciendo que al menos un tratamiento tiene una significancia entre los demás tratamientos , si hacemos un análisis la briqueta 4 tendría un mayor carga ante la compresión , esto ayudaría a las capacidades de la briqueta para aguantar la temperatura y presión en alto horno , este tratamiento tiene un 70% de materia prima de cascara de macadamia y solo un 10 % de cascara de macadamia y con el 20% del aglutinante .

Tabla 11-4 Resultados de máximo desplazamiento

max despla(mm)			
	repeticion1	repeticion2	repeticion3
t1	2,290	1,376	1,954
t2	1,556	2,31	1,345
t3	1,498	2,09	1,566
t4	1,146	1,516	1,915
t5	2,584	1,716	1,698
t6	1,586	1,758	1,602
t7	1,661	1,458	1,31
t8	1,712	0,892	1,168
t9	2,592	1,856	2,062

Realizado por: Rodriguez Fernando, 2023

Así también se lo demuestra en la siguiente tabla.

Tabla 12-4 Análisis estadístico de máximo desplazamiento

<b>F. V.</b>	<b>G. L.</b>	<b>S. C.</b>	<b>C. M.</b>	<b>F</b>
<b>Tratamientos</b>	<b>8</b>	<b>1,86</b>	<b>0,2325019</b>	<b>5,119315</b>
<b>Error</b>	<b>18</b>	<b>0,82</b>	<b>0,0454166</b>	
<b>Total</b>	<b>26</b>	<b>2,68</b>		

Realizado por: Rodriguez Fernando, 2023

El análisis estadístico del máximo desplazamiento se puede deducir que por que el F calculado 5,119315 en la tabla 17, este siendo mayor al F de tabla 4,46, procedemos a rechazar hipótesis nula y se acepta hipótesis alternativa aduciendo que al menos uno de los tratamientos presenta significancia entre sí.

Una de las repeticiones que más índice de desplazamiento tuvo (1,91 mm) fue el del tratamiento numero 4 siendo este uno de los tratamientos que más tienen cantidad de carbón de palma africana con una materia prima que va hasta el 70 % y con un complementario de 10 % en cuanto al carbón de macadamia, y por último el 20 % restante tiene que ver con el valor del aglutinante el cual tiene un rango de 20%



El tratamiento 4 una vez más demuestra una cantidad considerable de desplazamiento cuando se ejerce presión, esto también tiene que ver con las propiedades termoplásticas que debe tener el coque o el carbón de alto horno, de esta manera se puede saber si un carbón puede soportar las altas temperaturas del alto horno sin perder su composición y con esto si aporte energético al proceso de acería.

Otros de los tratamientos que resalto su rendimiento es el del tratamiento numero 9 el cual en su composición tiene 15% de palma africana, 25 % de cascaras de macadamia, 40 % de biomasa en este caso el guayaca, de esta manera se establece una relación con la cantidad de materia prima con el rendimiento de la briqueta en cada uno de los tratamientos.

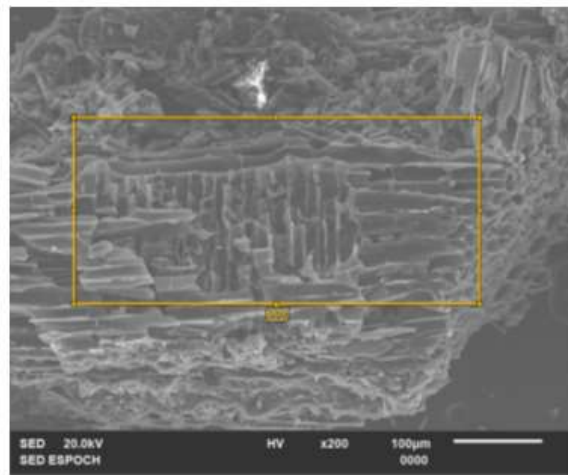
Las micrografías que se adjuntan en ANEXOS muestran los resultados del análisis inmediato mediante microscopia electrónica de barrido SEM-EDS, elemental y del poder calorífico obtenido mediante análisis termogravimétrico TGA/DSC aplicados al material carbonizado.

Los análisis de micrografía de barrido son de la siguiente manera;

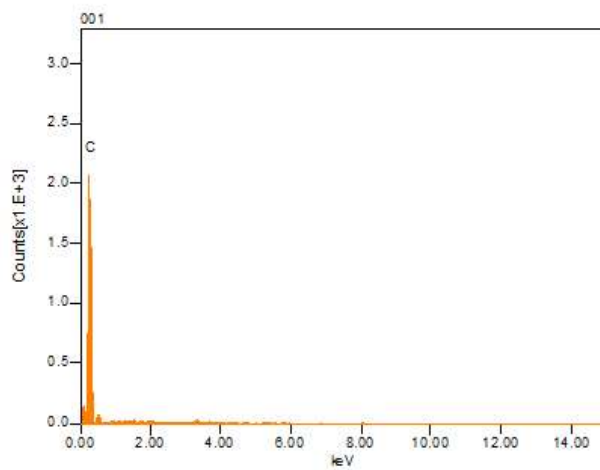
Como podemos observar en esta briqueta que corresponde al tratamiento 1; que consta con un porcentaje % 80 y complementa el 20 % de aglutinante.

Como podemos notar en ciertas partes de la micrografía se presentan estructuras parecidas a los panales de abeja esta condición se puede presentar porque son briquetas y su estructura se conforma por la adhesión de diferentes materias primas, esta condición en especifica disminuye el rendimiento en alto horno ya que puede generar resquebrajamiento en la briqueta y con ello una pérdida de masa y energía.

001



Volt: 20.00 kV  
 Mag: x 200  
 Date: 2022/02/22  
 Pixel: 1280 x 960



Acquisition Condition  
 Instrument: IT100LA  
 Volt: 20.00 kV  
 Current: ---  
 Process Time: T4  
 Live time: 120.00 sec.  
 Real Time: 120.84 sec.  
 DeadTime: 2.00 %  
 Count Rate: 304.00 CPS

Formula	mass%	Atom%	Sigma	Net	K ratio	Line
C	5.20	100.00	0.03	10139	0.0520018	K
Total	5.20	100.00				

Gráfico 1-4 Micrografía de barrido  
 Realizado por: Rodríguez Fernando, 2023

### 4.3 Costo de los insumos requeridos

Los cálculos usados en los costos de producción de las briquetas para las capacidades predefinidas: 4 kg/h, 40 kg/h, 400 kg/h y 3000 kg/h. Los insumos requeridos consisten en el costo de la materia prima (biomasa), el costo del aglutinante químico, del agua y el consumo de electricidad.

En cuanto a las materias primas se carbonizaron una tonelada de cáscaras de macadamia y una tonelada de cascaras de palma africana

Tabla 13-4 Costos de Inversion

Insumo	Costo
Materias primas (melaza, almidón de yuca, cascaras, Biomasa)	50\$
Carbonización (horno)	200\$
Proceso (realizar las briquetas)	200\$
Análisis de laboratorio y gastos imprevistos	1000\$
Total	1450\$

Realizado por: Rodriguez Fernando, 2023

#### 4.4 Demanda de las briquetas obtenidas

Este paso detalla las ecuaciones de cálculo aplicadas para determinar la demanda de energía en briquetas equivalentes. Note que los factores de conversión han tenido en cuenta la eficiencia energética alcanzada por el usuario final, por ejemplo, la estufa.

La Tabla 18 presenta los valores caloríficos y las suposiciones usadas en la eficiencia de las estufas para calcular la energía útil de las briquetas comparada con otros combustibles. Por ejemplo, la quema de las briquetas en un 50% tiene una eficiencia en la estufa de 7.7 MJ/kg de energía útil al usuario final (Tabla 4.5 - línea 1, columna 3). Comparar la energía útil de las briquetas con una estufa de madera combustible de baja eficiencia (Eficiencia del 20%), indica que el uso de la madera combustible rinde solo el 16% de la energía útil de la briqueta. Esto significa que se necesitan 6.11 kg de madera combustible para proporcionar energía útil igual a 1 kg de briqueta (Tabla 4.5 - línea 1, columna 4). Una evaluación similar para el carbón, el keroseno y el gas a baja presión, se presenta en la siguiente Tabla:

Tabla 14-4 Valores Calóricos

Detalle	Valor calorífico (CV)	Eficiencia estufa	Energía útil	Factor de conversión (CF)
	MJ/Kg			%
Briquetas	15,4	50	7,7	1
Madera combustible	6,3	20	1,3	6,11
Carbón	27	25	6,8	1,14
Keroseno	44	55	24,2	0,32
Gas a baja presión	49	60	29,4	0,26

Fuente: Young & Khennas, 2003

Como podemos notar en la tabla 19 son los derivados de los combustibles fósiles los que tienen mayor valor calórico como el keroseno con 44 MJ/Kg, de valor calórico siendo el que más tiene aporte en la tabla, así también establece al carbón de mina con un valor de 27 MJ/Kg de valor calórico y las briquetas importadas con un valor de 15,3 MJ/Kg de valor calórico, en este sentido para el uso de alto horno sería el carbón de mina el ideal por su aporte energético, pero este punto positivo se ve disminuido por la cantidad de contaminación generada en la combustión del carbón mineral.

También se puede analizar el valor calórico de las briquetas importadas, ya que estas son requeridas en el país para ciertos procesos industriales, pudiendo tomar en cuenta aquello una briqueta con un valor mayor de 15 MJ/Kg de valor calórico tendría un buen desempeño en alto horno.

Por otro lado hay que analizar los valores obtenidos en las briquetas que son objeto de este estudio siendo la briqueta del tratamiento número 3 el que mayor valor calórico obtuvo, en la segunda

repetición se obtuvo 22.2 MJ/Kg, con este valor podemos notar que el carbón del tratamiento 3 solo está 4.80 MJ/Kg de estar al rango del carbón mineral , esto sería positivo ya que se traduciría de que rendiría en el funcionamiento de alto horno .

También hay que resaltar que ningún tratamiento tiene valores bajo los 16.9 MJ/Kg, con esto podremos asegurar que tiene un mejor rendimiento que las briquetas importadas, también analizando las materias primas vemos que la madera por sí sola no genera más de 7 MJ/Kg y según este estudio ratifica que el proceso de carbonización aumenta las capacidades calóricas a la materia vegetal sometida a un proceso pirolítico.

Valoración de impactos ambientales

#### **4.5 Matriz de impacto ambiental**

La Matriz de Impacto Ambiental, es el método analítico, por el cual, se le puede asignar la importancia (I) a cada impacto ambiental posible de la ejecución de un Proyecto en todas y cada una de sus etapas. Dicha Metodología, pertenece a Vicente Conesa Fernandez-Vitora (1997).

En la matriz de impacto ambiental se valoran los impactos generados por una actividad que genere un grado de contaminación, en el caso de los desechos agroindustriales se lo valora como bajo impacto tomando en cuenta que la materia organica como las cascaras en su degradación no genera contaminación ambiental, al contrario esta ve aumentando los nutrientes que tiene la tierra donde descansa, en definitiva funviona vomo abono

El problema radica en la sobre acumulación en un lugar donde no se pueda aprovechar el aporte de nutrientes en el suelo, ni el aporte energético en su combustión. esto genera malestar entre las personas que se encuentran aledañas a los centros de acopio y también una contaminación visual de bajo impacto.

Tabla 15-4 Matriz de impacto ambiental

Impacto identificado	Afectación de impacto (alta, moderada, leve)	Medios utilizados	Solución factible
Sobre acumulación de las cascaras del fruto de la palma africana	Bajo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Acopio de cascaras</li> <li>- Para lastrar caminos y evitar levantamiento de material particulado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Realización de plan de carbonización de cascaras para su venta como recurso energético.</li> </ul>
Sobre acumulación de las cascaras de macadamia	Bajo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Acopio de cascaras</li> <li>Para lastrar caminos y evitar levantamiento de material particulado</li> </ul>	Realización de plan de carbonización de cascaras para su venta como recurso energético.

Realizado por: Rodriguez Fernando, 2023

Como se puede notar en la matriz de impacto ambiental, el impacto al ambiente es leve, pero el no aprovechamiento del recurso energético como son las cascaras provoca una sobre acumulación de la misma, es por eso que se propone que en cada centro de acopio puedan contar con centros de carbonización o una bitácora de manejo de desecho agroindustrial pudiendo así sacar el provecho máximo a un servicio ambiental

#### 4.6 Socialización de resultados

Se socializo los resultados con las industrias que nos facilitaron la materia prima, en el caso de la extractora tizaisa asistieron 10 trabajadores y un administrativo, y se pudo confirmar el interés de los administrativos por el aprovechamiento de este recurso energético , así mismo la población de plan piloto estaba interesada por generar el carbón para el consumo de estufas con las asistencia de 15 personas del barrio central .

## CONCLUSIONES

En base a los resultados y discusión se obtienen las siguientes conclusiones:

1. El uso de Biocoque metalúrgico podría menorar las emanaciones de gases contaminantes hacia la atmosfera y así mismo se podría aprovechar un desecho agroindustrial que no se suele utilizar
2. La desventaja del uso del carbón a base de estas materias primas es la facilidad de usar carbón vegetal a base de madera, ya que este en procesos piro líticos suele tener pequeños carbonos que tienen características de coque.
3. En la parte ambiental es una buena alternativa al momento de generar energía, debido a que la contaminación es menor, ya que es realizado de un desecho de la producción de nuez de macadamia (*Macadamia tetraphylla*) aprovechando su cáscara, y la cascara de palma africana (*Elaeis guineensis*), por lo que no se necesitara talar árboles y contribuiríamos a conservar los bosques de nuestro planeta
4. En los estudios de compresión mecánica la briqueta 4 es la que presenta mayor esfuerzo mientras que la briqueta 7 es la de menor, por lo que el tratamiento y mezcla realizado a la 4 la hace más factible para ser usada en la industria siderúrgica mientras que la 7 podría presentar variables.
5. Se mostro una correlación directamente proporcional de los resultados de compresión mecánica con los resultados de poder calórico, con esto podemos asumir que un buen proceso de compresión nos garantiza un mejor rendimiento.
6. El uso de estas materias primas en la industria siderúrgica podría suponer una revolución que puede menorar gastos de producción y además dejar de usar el carbón mineral el cual se debe importar de los países aledaños además que las reservas cada vez están más comprometidas.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda la elaboración y uso de carbón de macadamia y de cascaras del coco de la palma africana (*Elaeis guineensis*) debido a que es más eficiente energéticamente, posee mayor duración y en todas sus fases de elaboración y uso son amigables con el ambiente.
2. Las materias primas que fueron utilizadas son de fácil acceso, pero su tratamiento para que sean óptimas para el proceso de carbonización suele ser caro o complejo por lo tanto se recomienda establecer un procedimiento mecánico factible para que se menoren los gastos de inversión inicial, tal vez tomando en cuenta la práctica de carbonización con tanques metálicos.
3. El pre- tratamiento de las materias primas supone un rendimiento alto de las briquetas, por eso se debe tomar en cuenta antes de realizar cualquier tipo de briqueta que la cantidad de humedad en la materia prima orgánica utilizada tenga bajo contenido de humedad, lo que viene siendo un reto ya que la mayoría de materias primas tienen alto contenido de humedad.
4. Para determinar el funcionamiento eficaz en alto horno se necesitaría que las aserías tengan en sus industrias métodos donde se usa carbón vegetal dando así la oportunidad de determinar realmente la eficiencia en alto horno, esto tomando en cuenta la dificultad que se tiene para realizar este tipo de pruebas.
5. El estudio de estos dos recursos energéticos puede ser un punto de partida para una nueva generación de combustible amigable con el ambiente, y que su proceso de contaminación sea menor, es por eso que el tema puede seguir siendo desarrollado más aun tomando en cuenta que en Ecuador es un estudio pionero.



## GLOSARIO

**Arrabio:** hierro líquido al que acompañan otros elementos, en una proporción aproximada de: 4,5% de carbono, 0,5% de silicio, 0,05% de azufre y 0,5% de manganeso.

**Alto horno:** es la construcción para efectuar la fusión y la reducción de minerales de hierro, con vistas a elaborar la fundición.

**Carbonera:** Pila de leña cubierta de arcilla y dispuesta a manera de horno para hacer carbón

**Craqueo :** También llamado cracking es un proceso químico por el cual se quiebran las moléculas de un compuesto produciendo así compuestos más simples.

**Contenido de cenizas:** las cenizas se expresan como el residuo que queda del carbón después de que pase por el proceso de combustión, se calcula tomando una muestra representativa de carbón de unos 5 gramos, tomamos el peso exacto inicial, lo calentamos en la mufla con una temperatura de 700oc - 800 oc luego se pesa hasta que entre muestra no varié más del 0.25% .

**Coque:** es un combustible sólido formado por la destilación de carbón bituminoso calentado a temperaturas de 500 a 1100 °C sin contacto con el aire.

**Humedad superficial:** es la humedad más superficial que tiene el carbón se pierde con facilidad cuando se le seca al aire del medio ambiente del laboratorio

**Metalurgia:** Conjunto de técnicas para extraer los metales contenidos en los minerales y transformarlos

**Octanaje :** Escala que mide la capacidad antidetonante del combustible (como la gasolina) cuando se comprime dentro del cilindro de un motor

**Tiempo de ignición:** Esto se entiende como el tiempo que demora en hacer efecto una reacción que emite calor a una muestra representativa.

**Volátiles y carbón fino:** al momento de calentar la muestra de carbón en carencia de oxígeno, varios gases son expulsados, los cuales son llamados volátiles los cuales son vapores alquitranados y gases que no se pueden condensar.

## BIBLIOGRAFÍA

**Aguilar. 2019.** *Estudio y selección de un fluido térmico para aplicaciones de energía solar de media temperatura con concentradores parabólicos.* 2019.

**ALVAREZ, R. 2002.** *Calidad del coque de Horno Alto en la Unión Europea.* s.l. : Revista de metalurgia, 2002. págs. 380-387. Vol. 38.

**ANP. 2007.** *Agência Nacional de Petróleo, Petróleo e Derivados, Refino de Petróleo e Processamento de Gás Natural, Esquemas de Produção.*, 2007.

**Barriocanal, C., Hanson, S., Patrick, J.W., Walker, A. 1994.** *The characterization of interfaces between textural components in metallurgical cokes.* *Fuel* 73: 1994. págs. 1842-1847.

**Barriocanal, C., Patrick, J.W., Walker, A. 1998.** *The laboratory identification of dangerously coking coals.* *Fuel* 77. 1998. págs. 881-884.

**Bermudez, Rodriguez. 2016.** *Evaluación de la calidad del carbon vegetal elaborado del subproducto de cascara de macadamia (Macadamia tetraphylla) producido en horno metalico de cuatro secciones en el Cantón La concordia , Sto Domingo, 2016.* La Concordia : Uleam, 2016.

**CASTRO-DÍAZ, M. 2017.** *Evaluación de hidrocarburos de pirólisis de lignina hidratada para producir biocoques después de la carbonización.* s.l. : Revista de pirólisis analítica y aplicada, 2017. págs. 742-751. Vol. 124.

**Cerd, E. 2012.** *Emilio Cerdá Tena.* 2012.

**Fernández, J. 2003.** . *De La Biomasa. Energías Renovables Para El Desarrollo, In De Juana, J.M.* 2003.

**FLORENTINO MADIEDO, Laura. 2019.** *Reducción del impacto ambiental del coque siderúrgico mediante briquetado de carbón, biomasa y ligante.* . 2019.

**García. 2012.** *Sistema HTF.* Madrid : 3, 2012.

**Guardado, M. 2010.** *evaluación de la calidad del carbon vegetal producido en hornos retorta y hornos metalicos portatiles en El\_Salvador.* s.l. : CEF, 2010.

**Herguedas, A. I. de L., Taranco, C. del P., Herguedas, A. I. de L., García, E. R., & 2, P. P. P. 2013.** *Biomasa, Biocombustibles Y Sostenibilidad.* *Transbioma.*, 2013. págs. 105–109.

**INIAP. 2013.** 2013.

**Loison, R., Foch, P., Boyer, A. 1989a.** - *Coal in general. En Coke.* s.l. : ButterworthHeinemann., 1989a. págs. 1-58.

—. **1989b.** *Coke quality criteria. En Coke.* s.l. : Butterworth-Heinemann., 1989b. págs. 158-200. .

**Madías, Jorge. 2007.** *Reparaciones integrales recientes y altos hornos nuevos.* . 2007.

**Miyazu T., Okuyama Y., Fukuyama T., Suzuki N., Mori T. 1974.** *The evaluation and design of blends using many kinds of coals for cokemaking. International Iron Steel Congress.* Düsseldorf, Alemania : s.n., 1974. pág. 1.2.2.1.

**Montoya, A., & Osorio, D. 2010.** *Evaluación Fisico-Química y microbiológica de la torta de macadamia (integrifolia y tetraphylla), para su potencial uso en la industria.* s.l. : Facultad de Tecnología, Universidad Técnica de Pereira., 2010.

**Paniagua Rodríguez, J. C. 2012.** [En línea] 2012.  
[http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB\\_UMICH/4825](http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/4825).

**Projekt., Hutni. 2019.** s.l. : Hutni Projekt., 2019.

**QUESADA-KIMSEY, Jaime. 2012.** *La carbonización de residuos biomásicos: una exploración con perspectivas emocionantes.* *Revista Tecnología en Marcha.* 2012. págs. 14-21. Vol. 25.

**Quintas, G. S. 2011.** *Manual tecnico para productores de nuez de macadamia.* s.l. : Macadamiamexico:, 2011.

**Reyes, Moreno. 2009.** *Proyecto para la industrialización de la macadamia y su influencia en el desarrollo de frutas no tradicionales en el Ecuador.* Guayaqui, Ecuador. : Escuela Superior Polotécnica del Litoral, 2009.

**Salvador, S., J.M. Commandré y B.R. Stanmore. 2003.** *Reaction rates for the oxidation of highly sulphurized petroleum cokes: the influence of thermogravimetric conditions and some coke properties .* 2003. págs. Fuel, 82, 715 - 720 .

**Subero J., Lyon L., Betancourt R. 2006.** [En línea] Julio de 2006.

**VEGA, Rubén, LEÓN, Martín y LARA, Patricia. 2018.** *Coque de petróleo como controlador de filtrado en fluidos de perforación base aceite. Enfoque UTE.* 2018. págs. 188-197. Vol. vol. 9no 2.

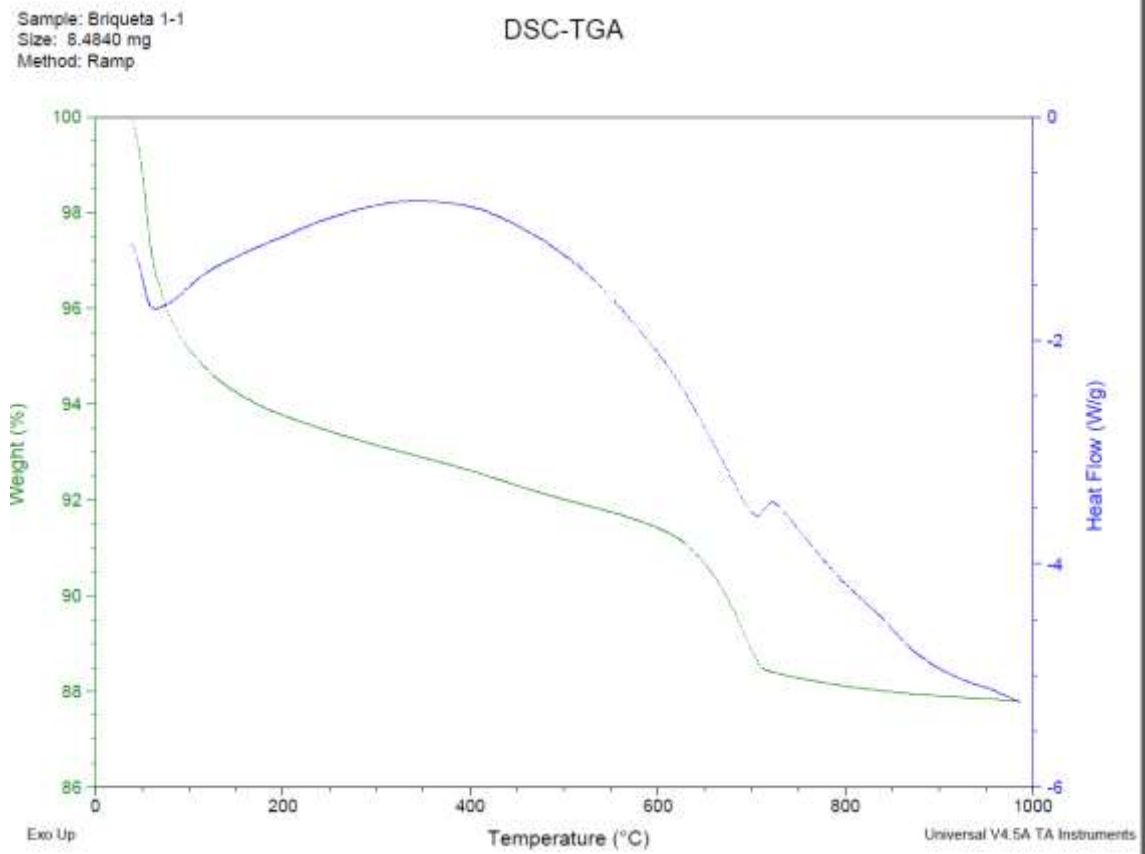
**Wang, J., E.J. Anthony y J.C. Abanades. 2004.** *Clean and efficient use of petroleum coke for combustion and power generation.* 2004. Fuel 83, 1341 - 1348.

**Wei, R., Zhang, L., Cang, D., Li, J., Li, X., & Xu, C. C. 2017.** *Current status and potential of biomass utilization in ferrous metallurgical industry.* *Renewable and Sustainable Energy.* 2017. págs. 511–524.

**Zhang, H., Bai, J., Li, W., Cheng, F. 2019.** *Comprehensive evaluation of inherent mineral composition and carbon structure parameters on CO<sub>2</sub> reactivity of metallurgical coke.* *Fuel* 235:. 2019. págs. 647-657.

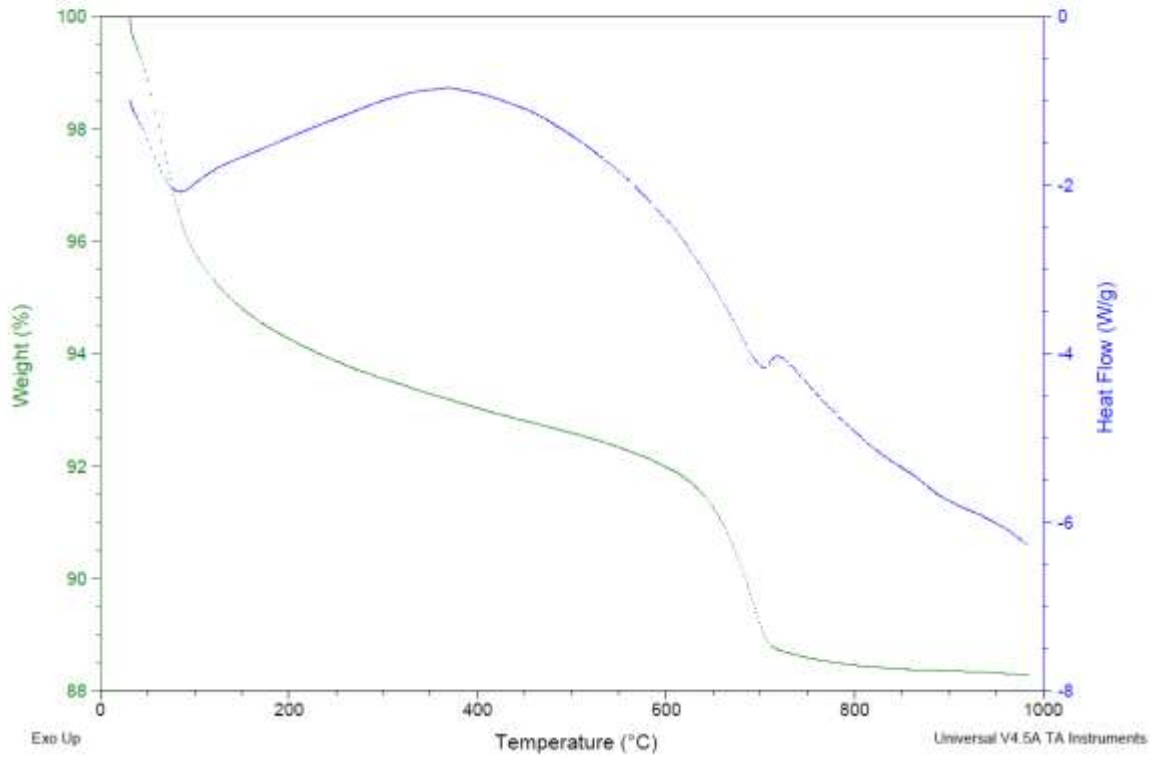
# ANEXOS

## A. RESULTADO DE ANÁLISIS DE DSC-TGA



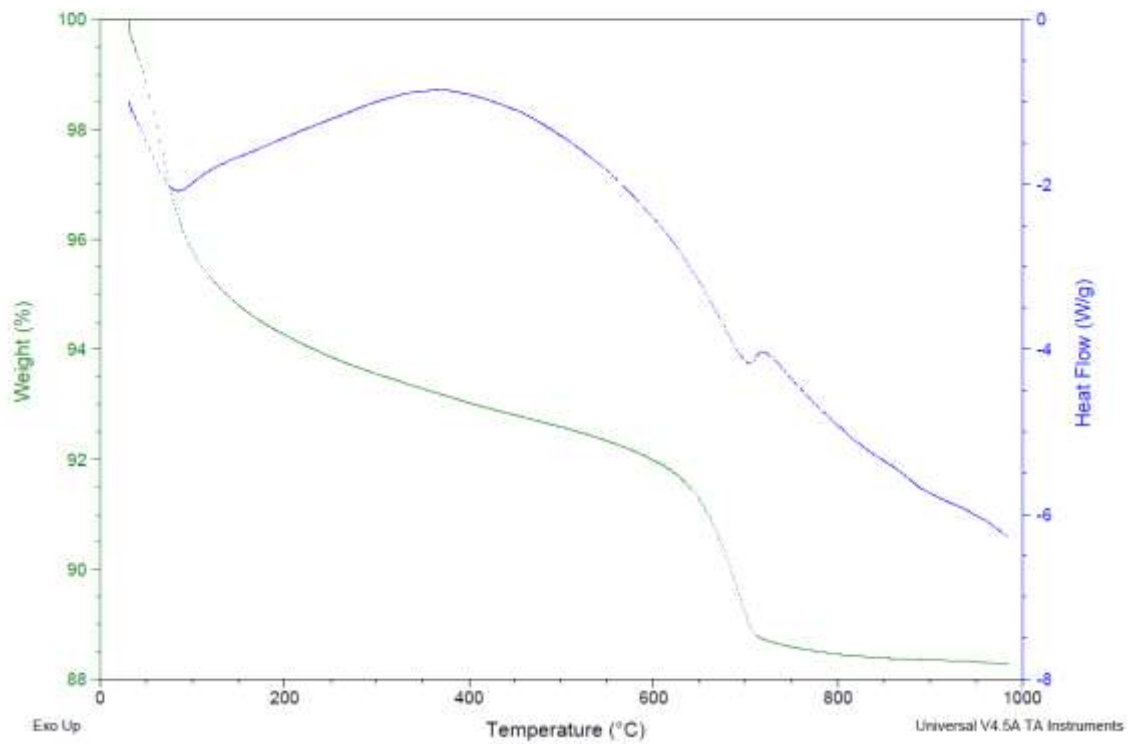
Sample: Briqueta 1-2  
Size: 8.5930 mg  
Method: Ramp

### DSC-TGA



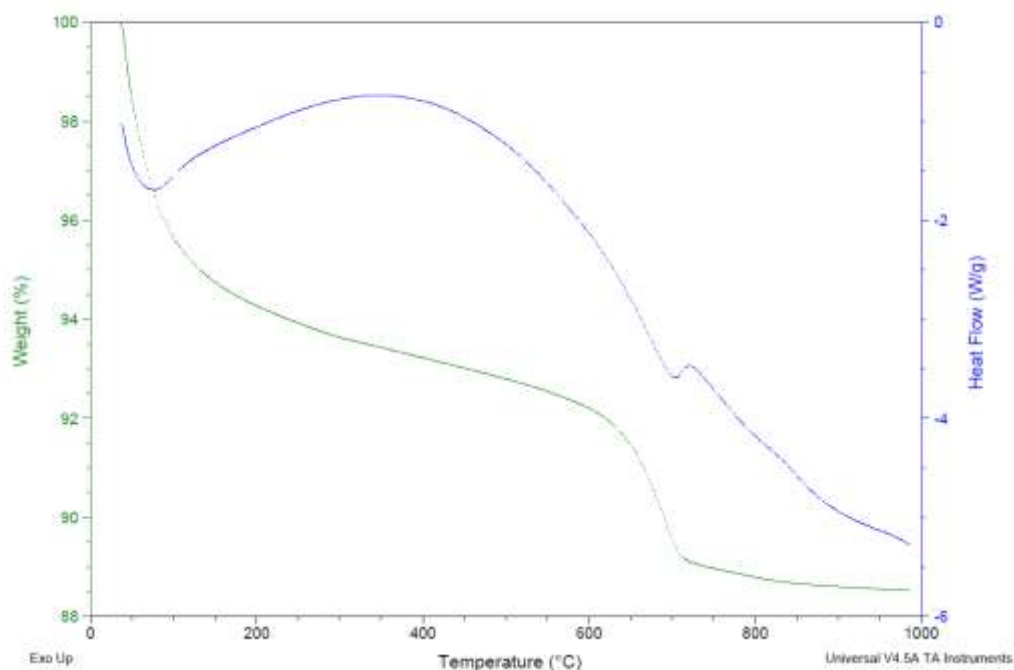
Sample: Briqueta 1-2  
Size: 8.5930 mg  
Method: Ramp

### DSC-TGA



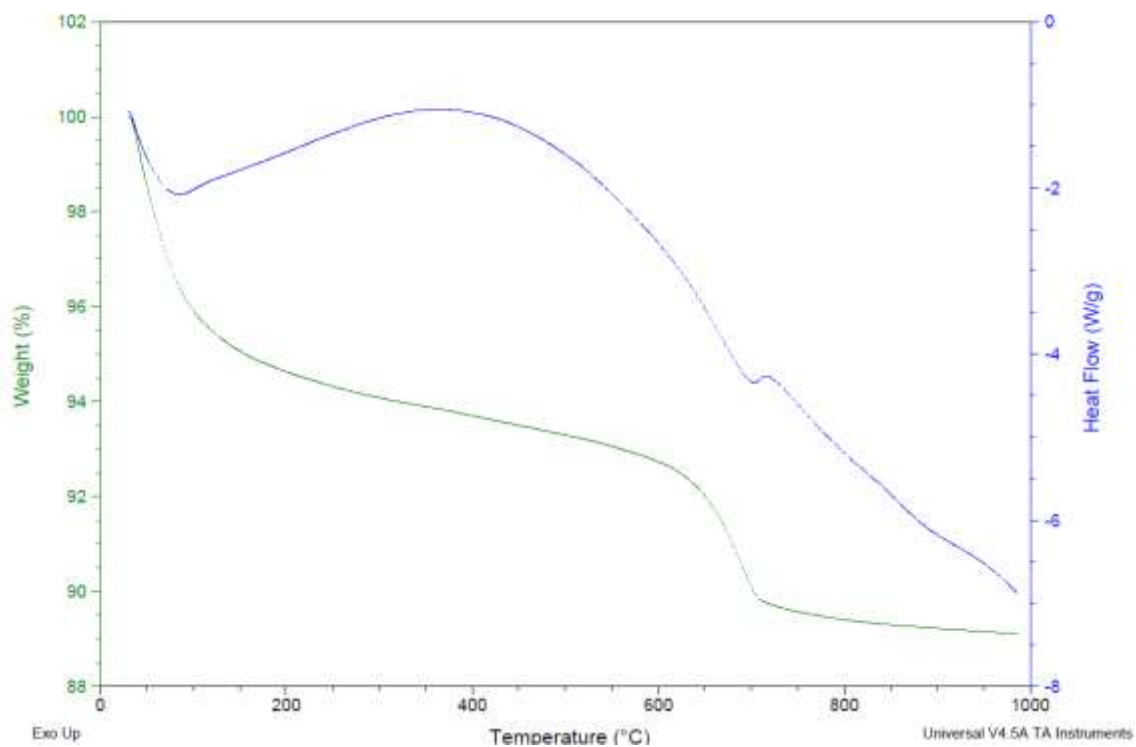
Sample: Briqueta 1-3  
Size: 8.6190 mg  
Method: Ramp

### DSC-TGA



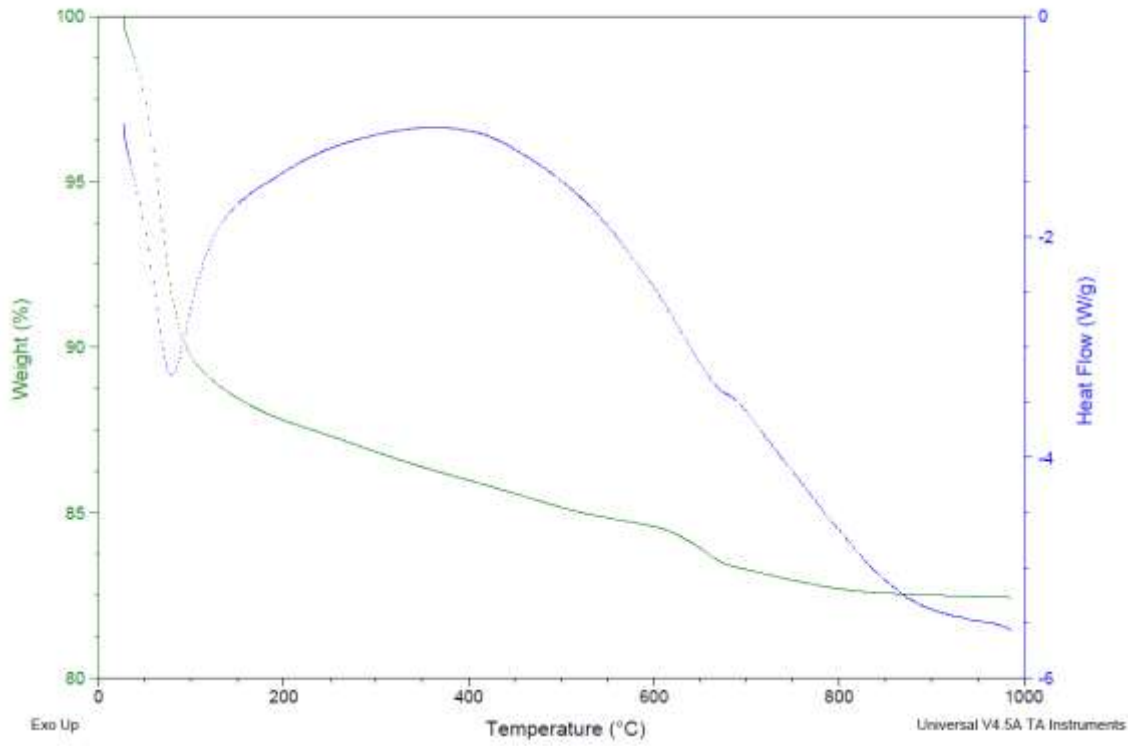
Sample: Briqueta 2-1  
Size: 8.3530 mg  
Method: Ramp

### DSC-TGA



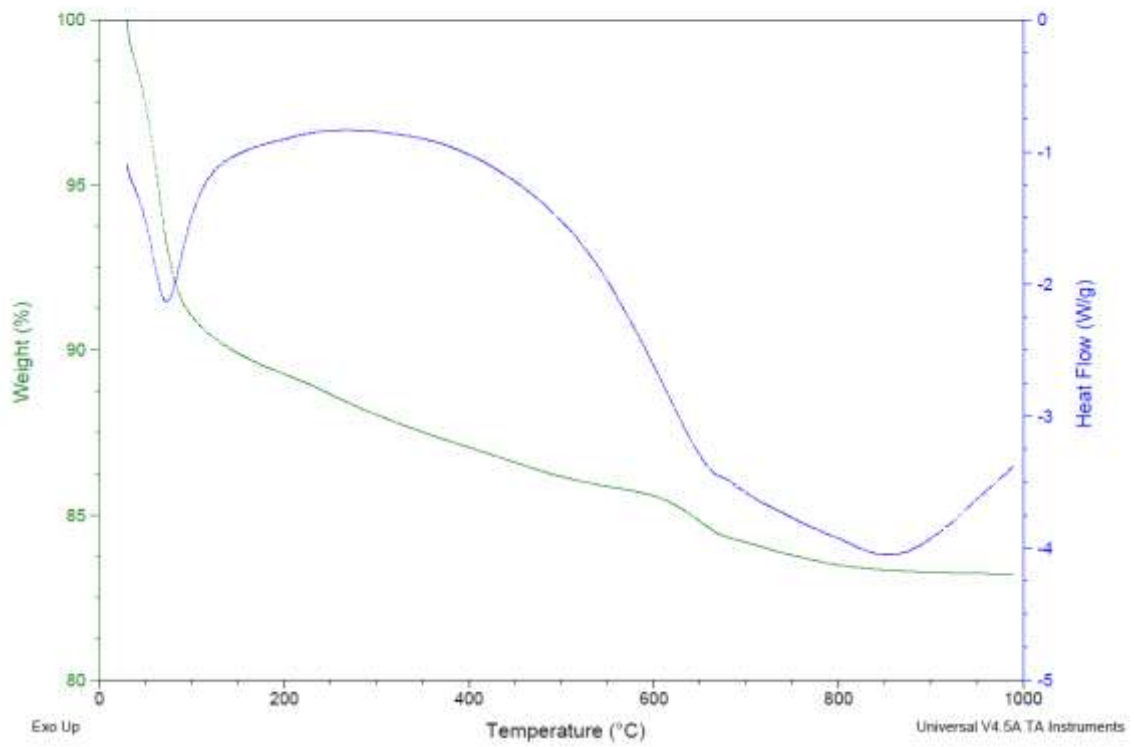
Sample: Briqueta 2-2  
Size: 8.4320 mg  
Method: Ramp

### DSC-TGA



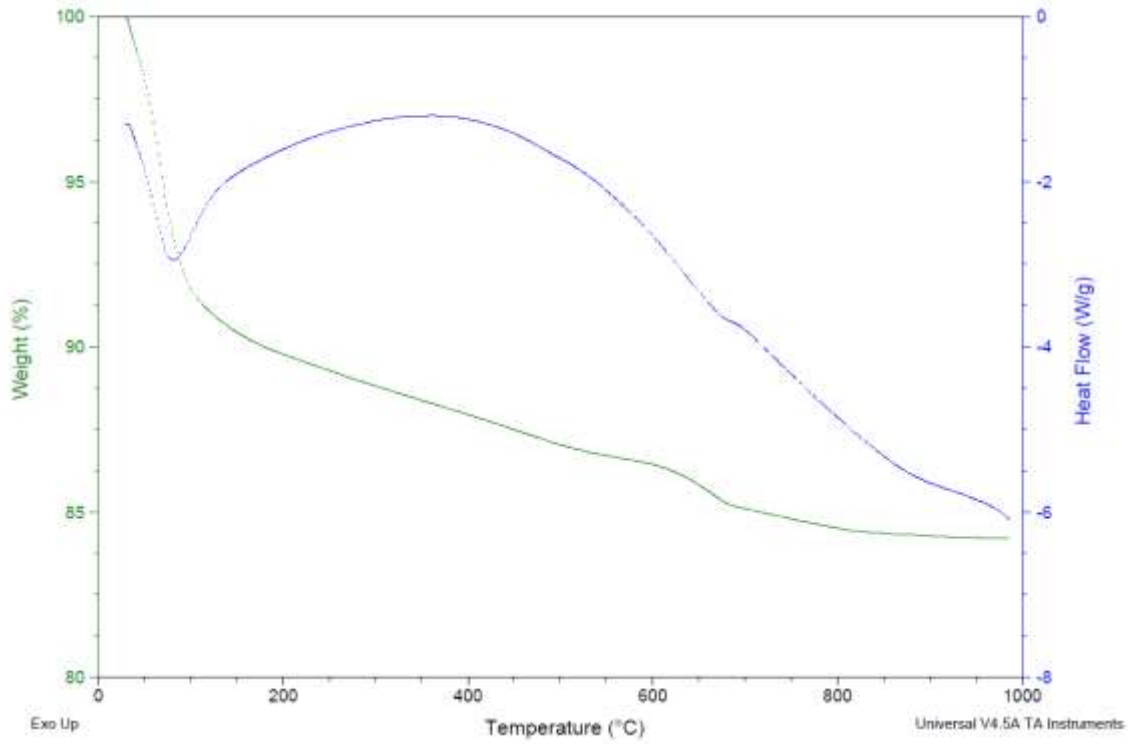
Sample: Briqueta 2-3  
Size: 8.4870 mg  
Method: Ramp

### DSC-TGA



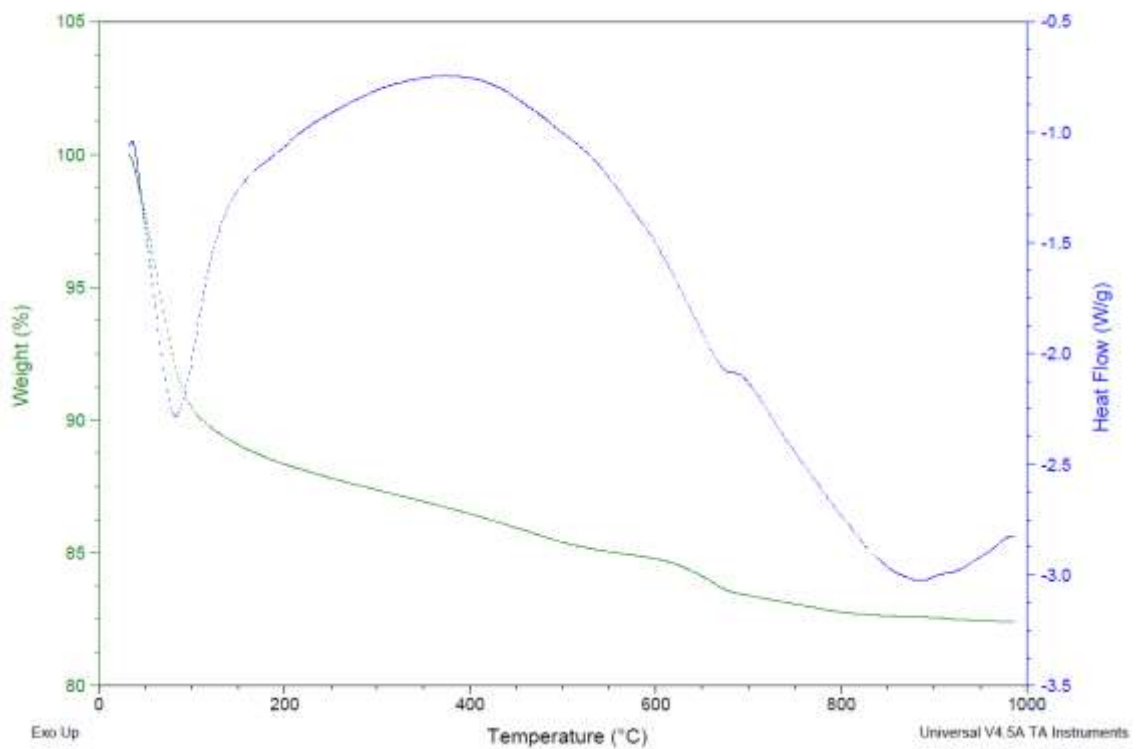
Sample: Briqueta 3-1  
Size: 8.5950 mg  
Method: Ramp

### DSC-TGA



Sample: Briqueta 3-2  
Size: 8.4360 mg  
Method: Ramp

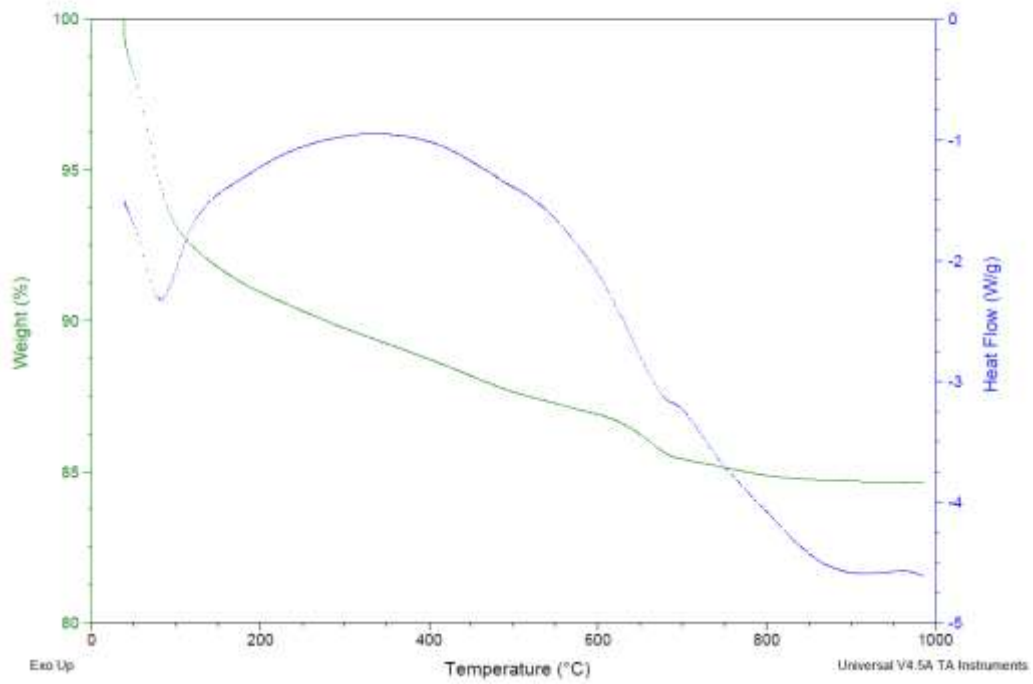
### DSC-TGA





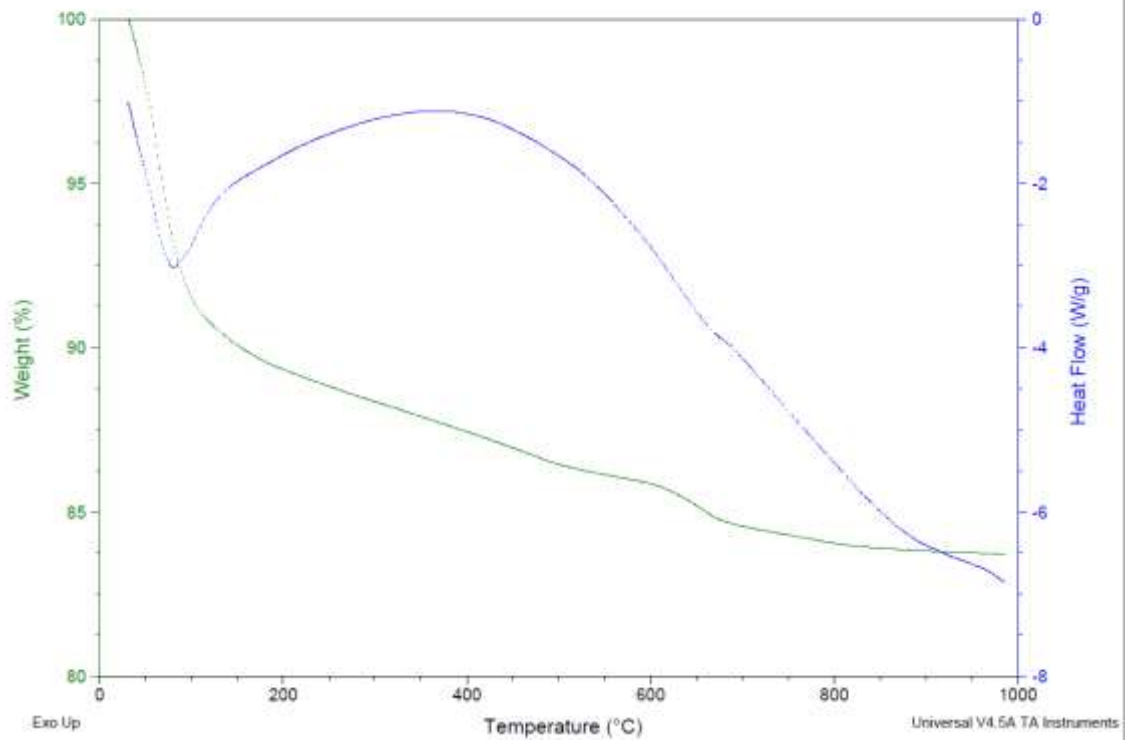
Sample: Briqueta 3-3  
Size: 8.3110 mg  
Method: Ramp

### DSC-TGA



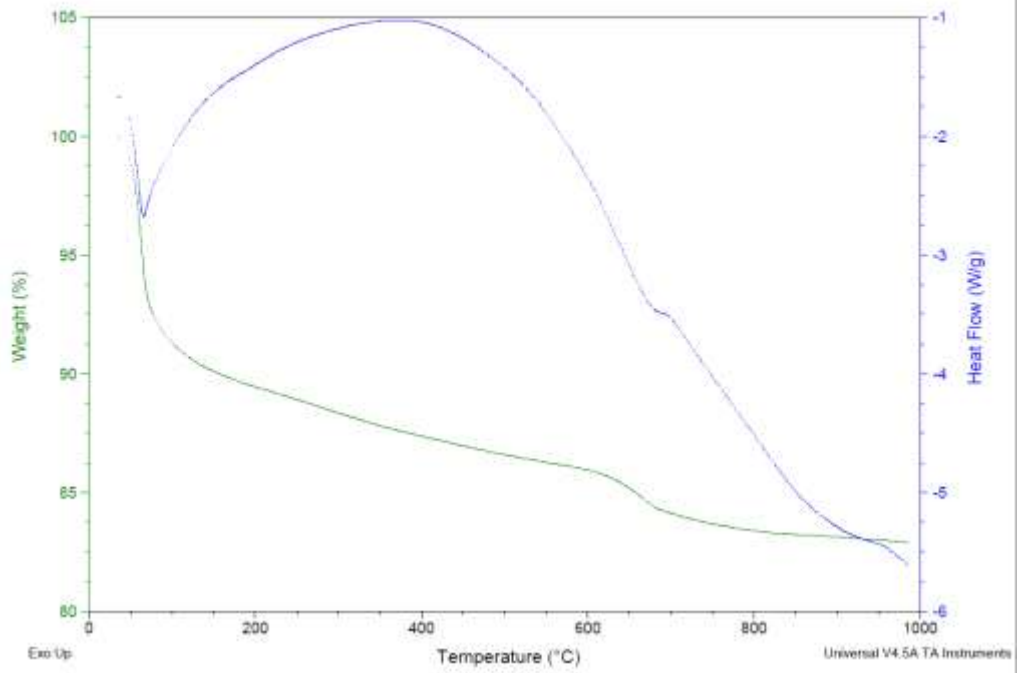
Sample: Briqueta 4-1  
Size: 8.2590 mg  
Method: Ramp

### DSC-TGA



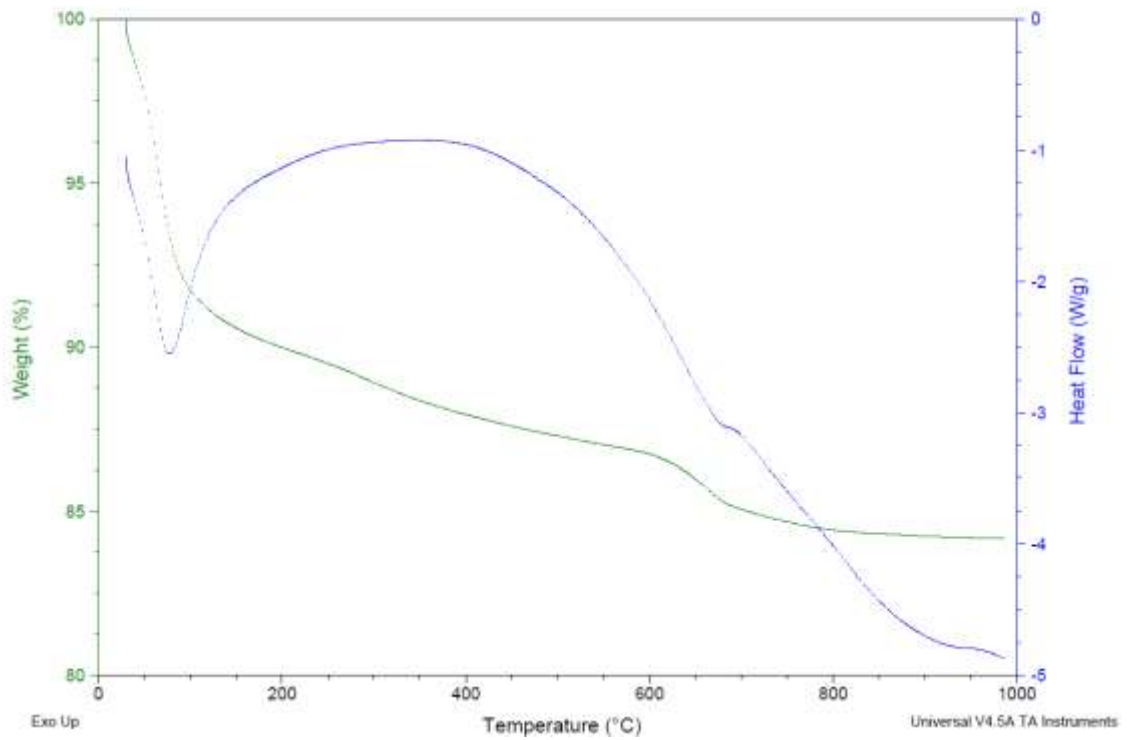
Sample: Briqueta 4-2  
Size: 8.4910 mg  
Method: Ramp

### DSC-TGA



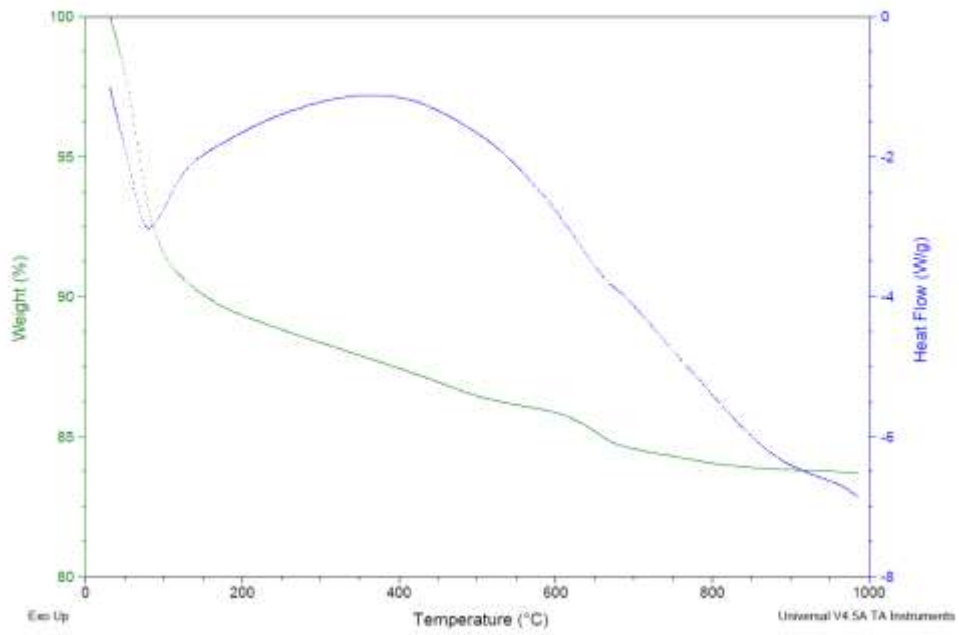
Sample: Briqueta 4-3  
Size: 8.5250 mg  
Method: Ramp

### DSC-TGA



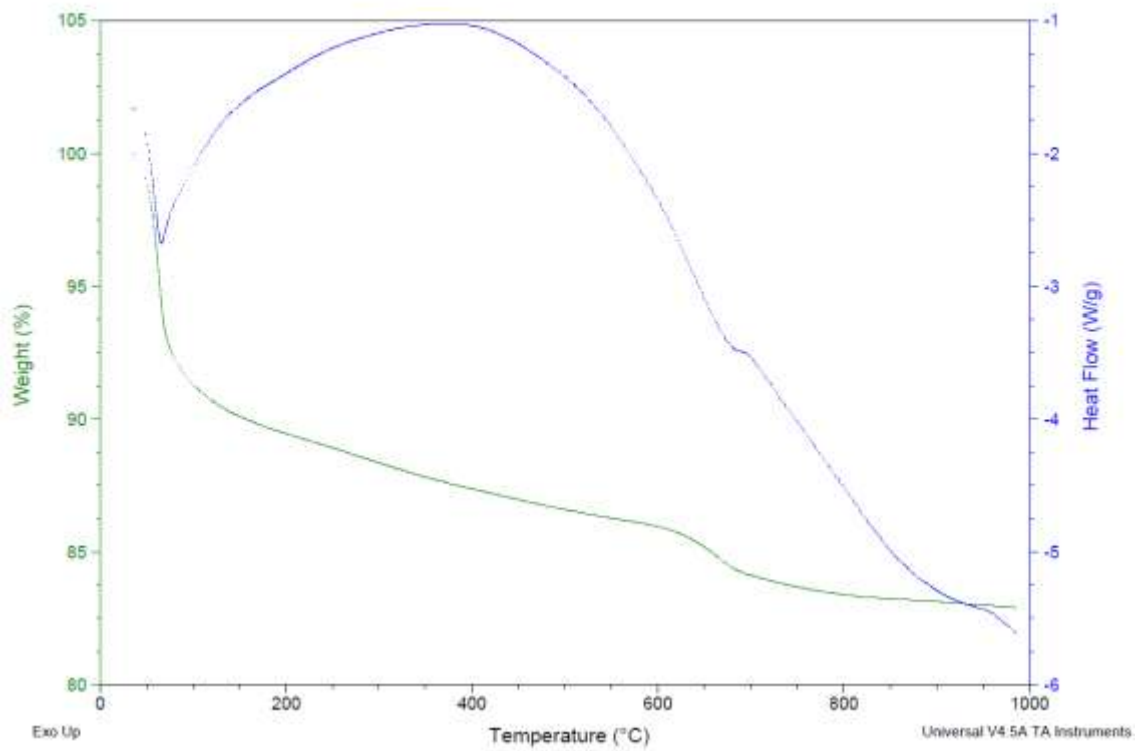
Sample: Briqueta 5-1  
Size: 8.2590 mg  
Method: Ramp

### DSC-TGA



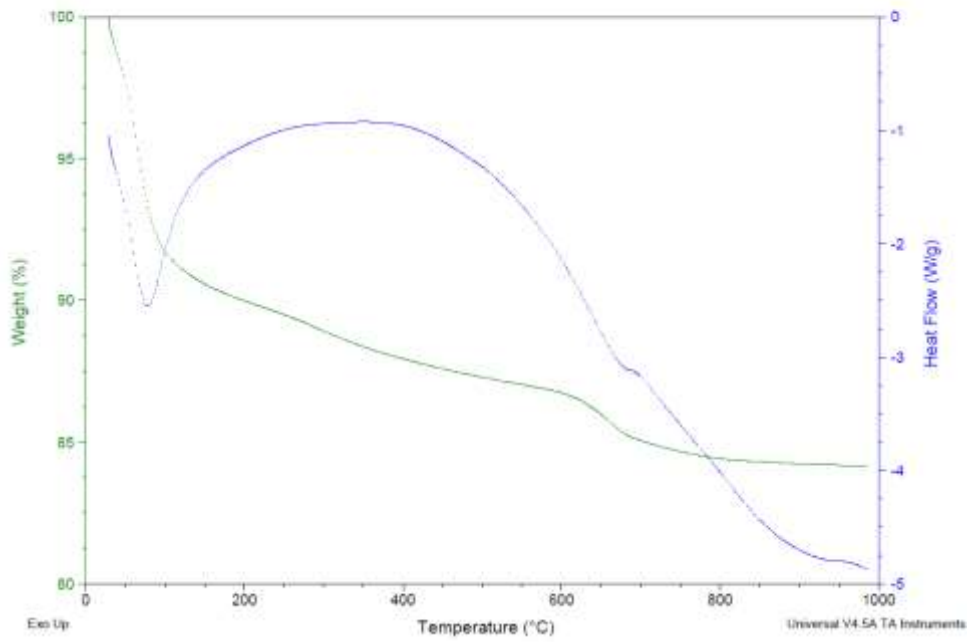
Sample: Briqueta 5-2  
Size: 8.4910 mg  
Method: Ramp

### DSC-TGA



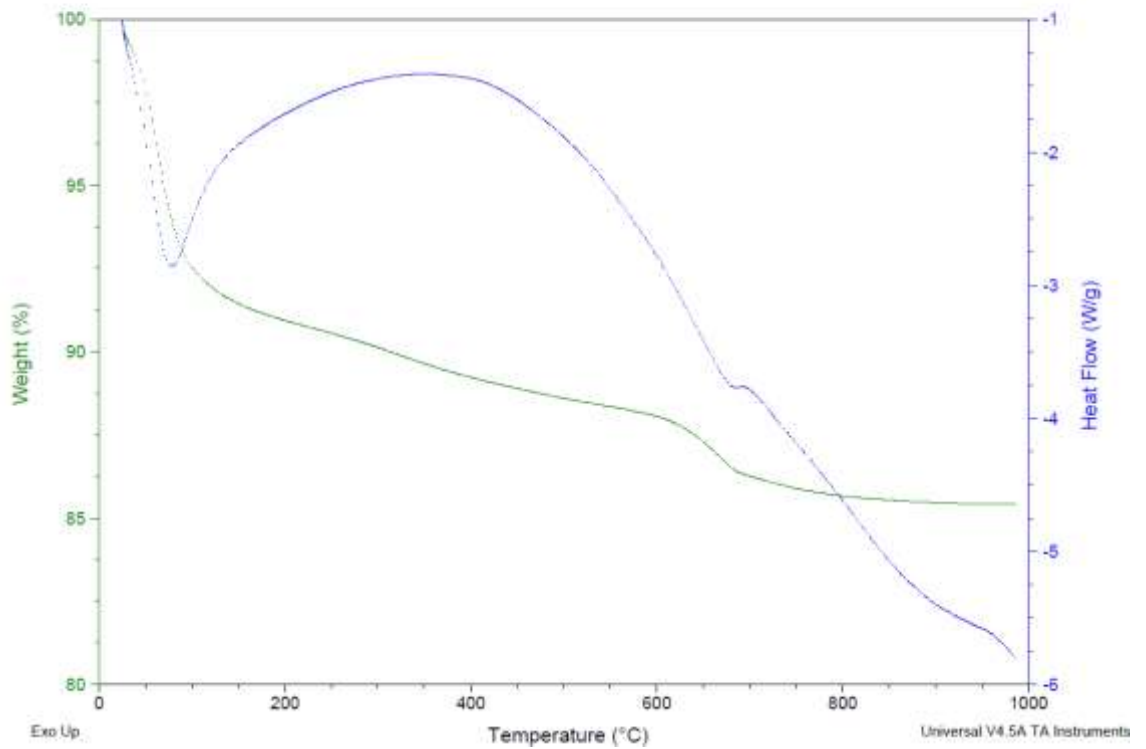
Sample: Briqueta 5-3  
Size: 8.5250 mg  
Method: Ramp

### DSC-TGA



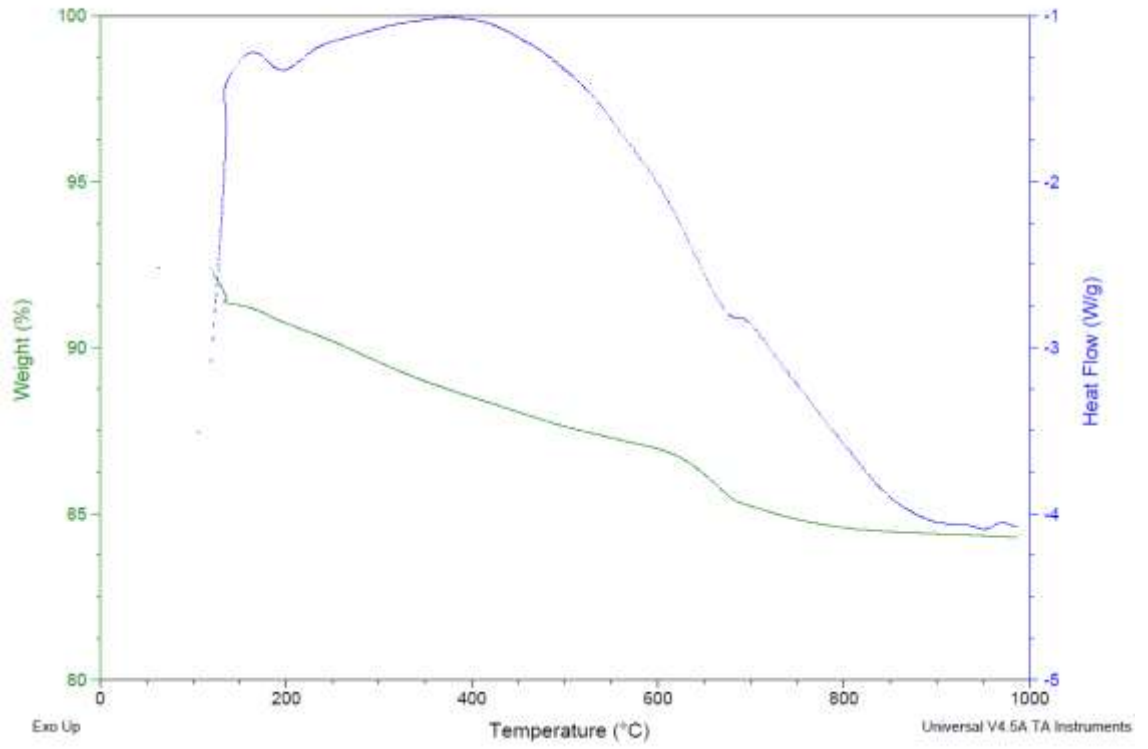
Sample: Briqueta 6-1  
Size: 8.4640 mg  
Method: Ramp

### DSC-TGA



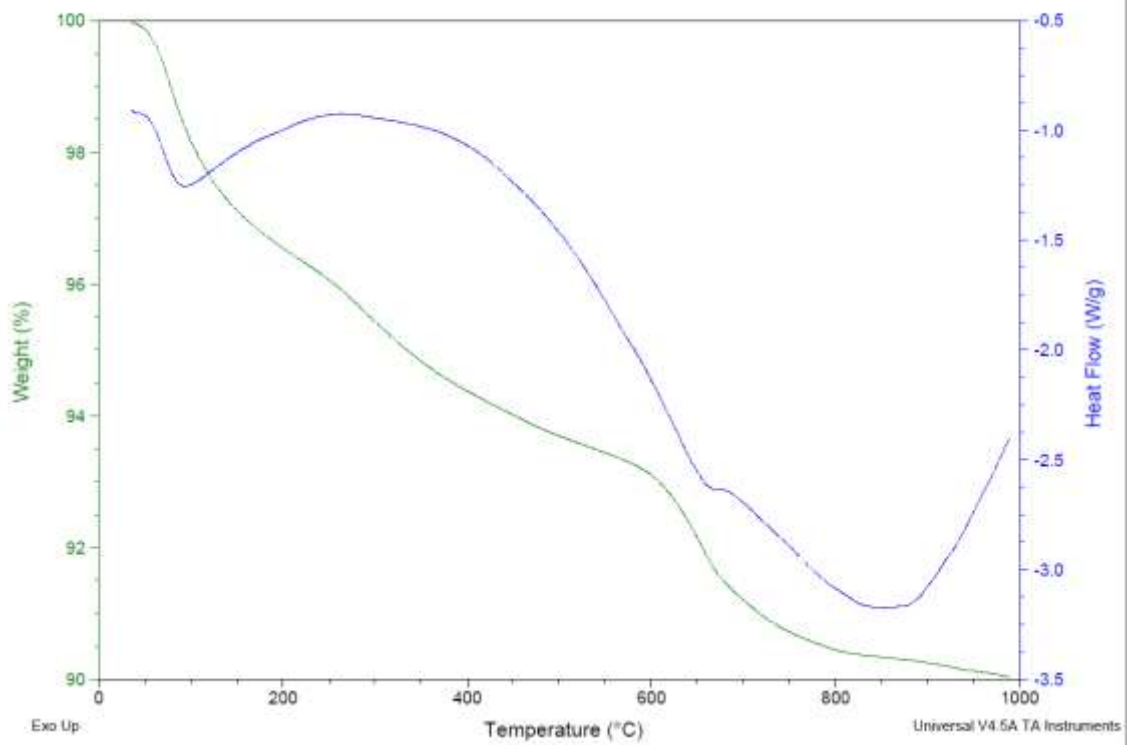
Sample: Briqueta 6-2  
Size: 8.7970 mg  
Method: Ramp

### DSC-TGA



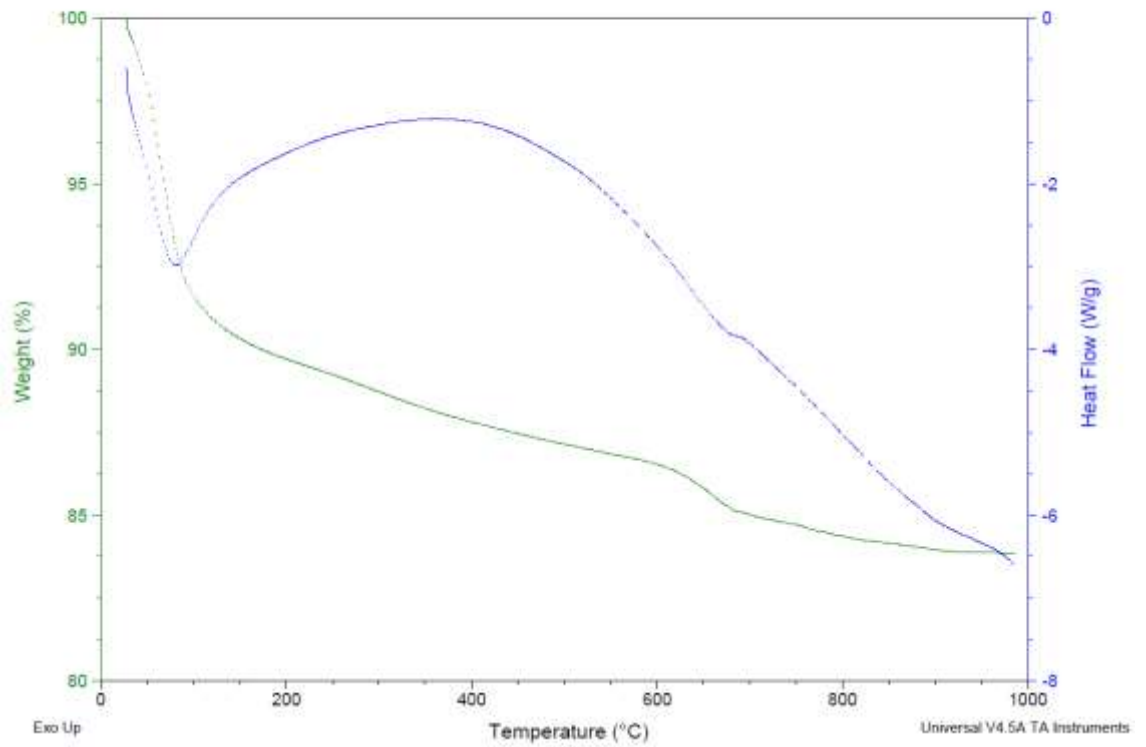
Sample: Briqueta 6-3  
Size: 7.6820 mg  
Method: Ramp

### DSC-TGA



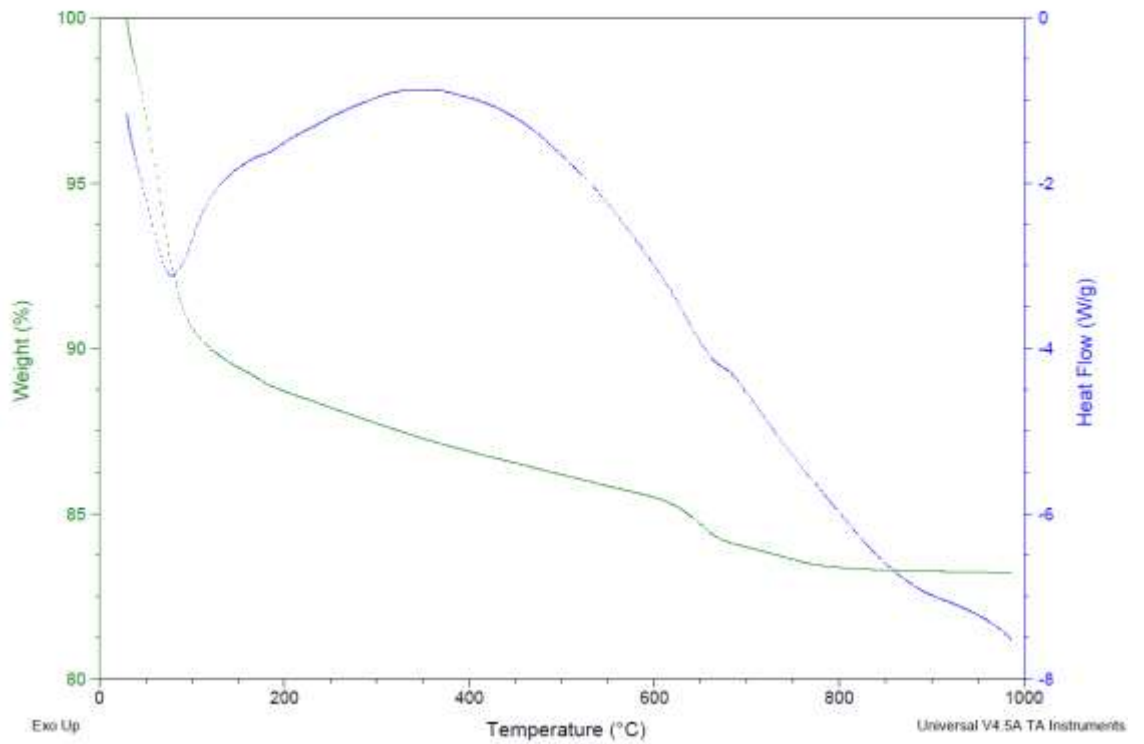
Sample: Briqueta 7-1  
Size: 8.1250 mg  
Method: Ramp

### DSC-TGA



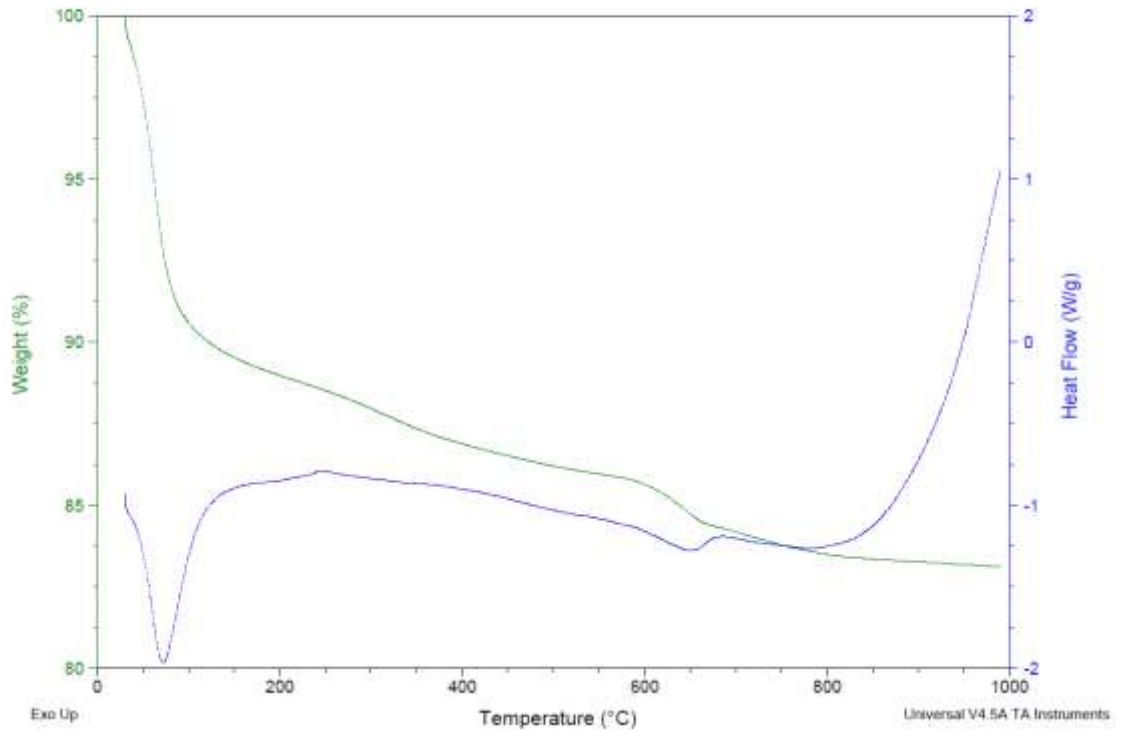
Sample: Briqueta 7-2  
Size: 8.0540 mg  
Method: Ramp

### DSC-TGA



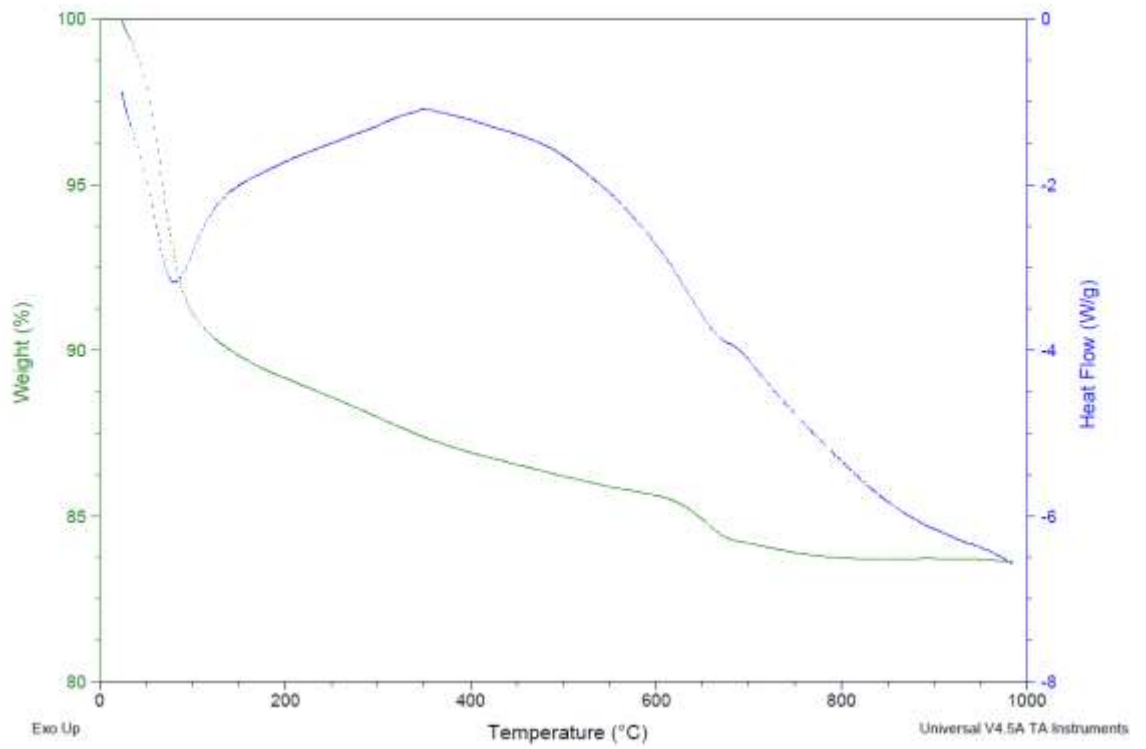
Sample: Briqueta 7-3  
Size: 8.1980 mg  
Method: Ramp

### DSC-TGA



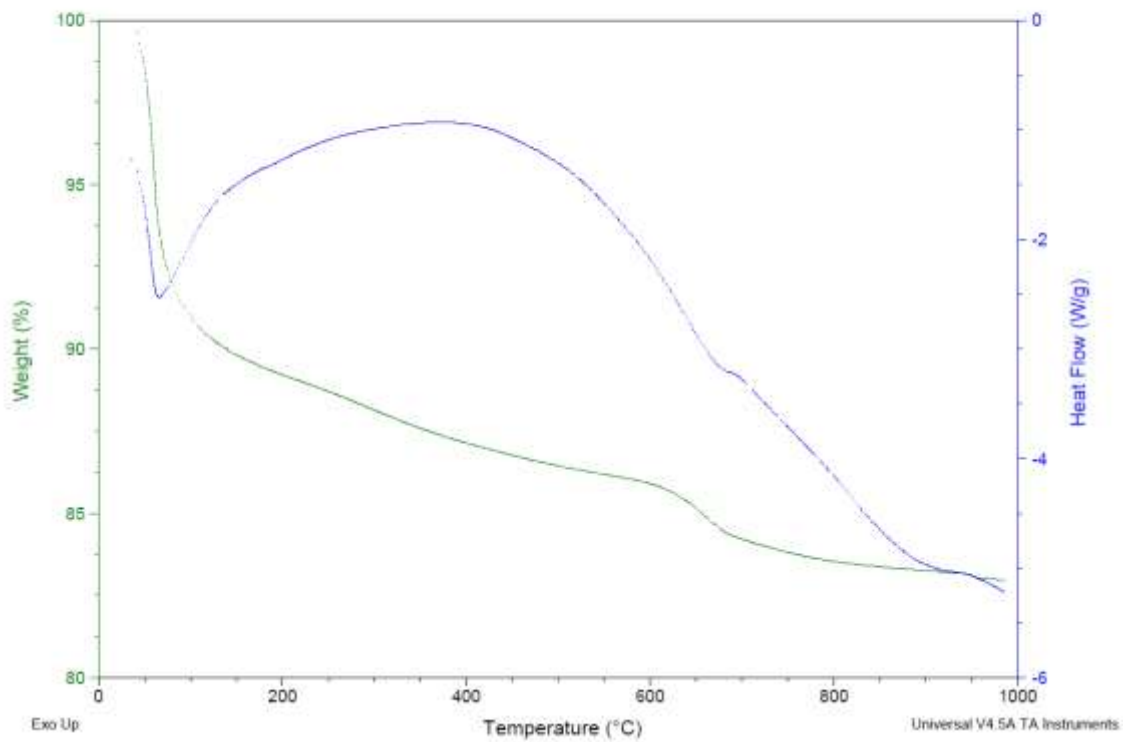
Sample: Briqueta 8-1  
Size: 6.3880 mg  
Method: Ramp

### DSC-TGA



Sample: Briqueta 8-2  
Size: 8.7830 mg  
Method: Ramp

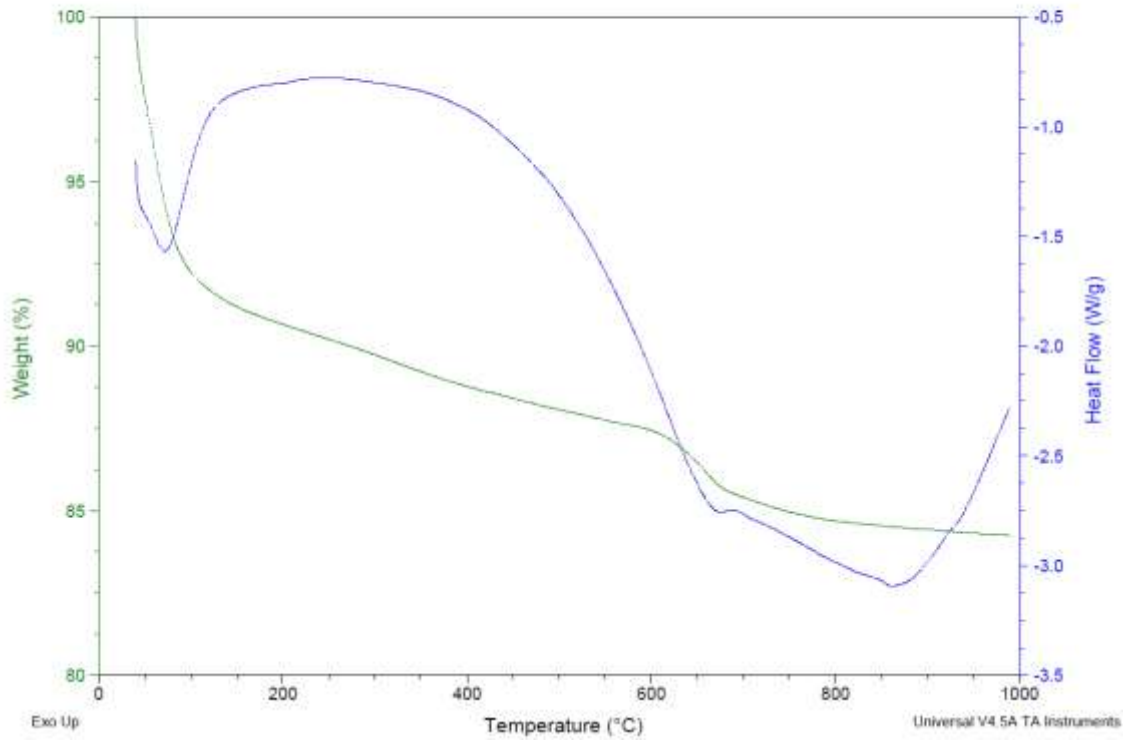
### DSC-TGA





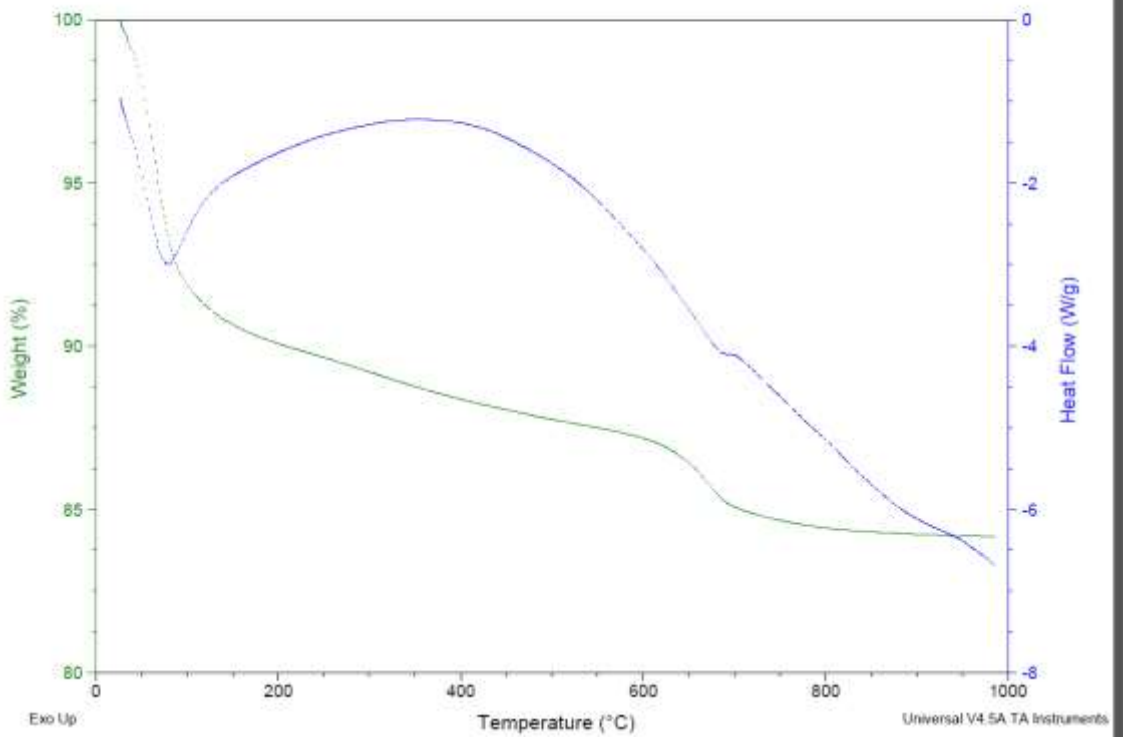
Sample: Briqueta 8-3  
Size: 8.0900 mg  
Method: Ramp

### DSC-TGA



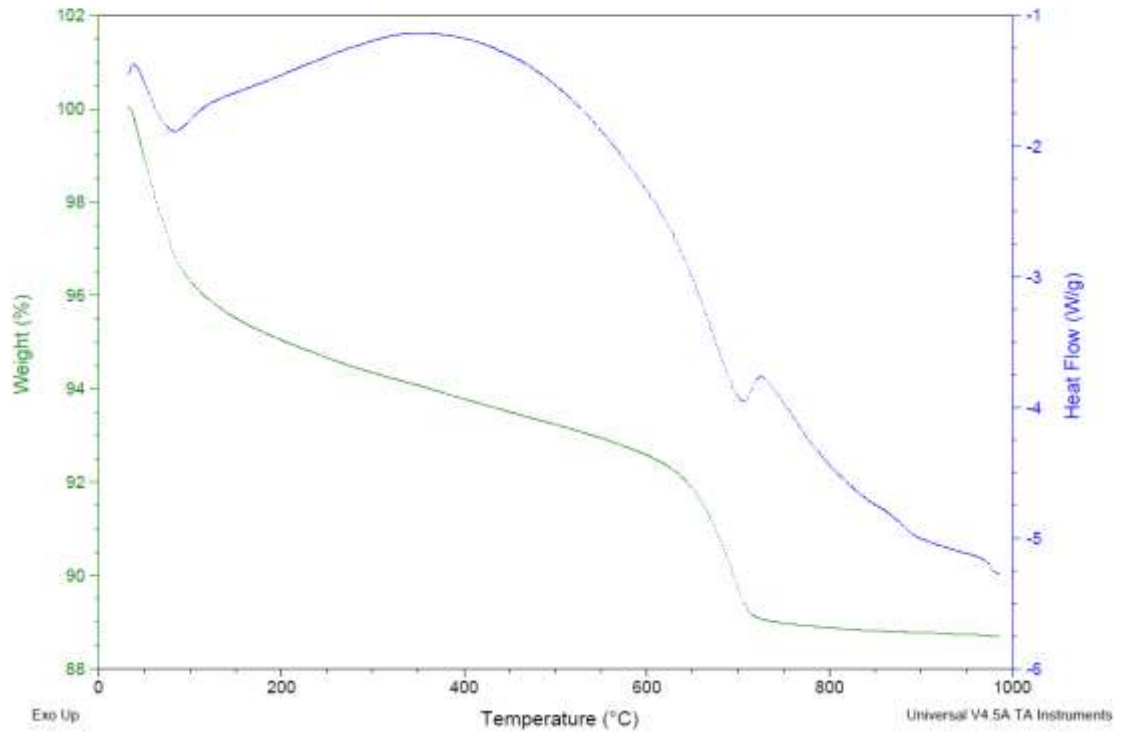
Sample: Briqueta 9-1  
Size: 8.3040 mg  
Method: Ramp

### DSC-TGA



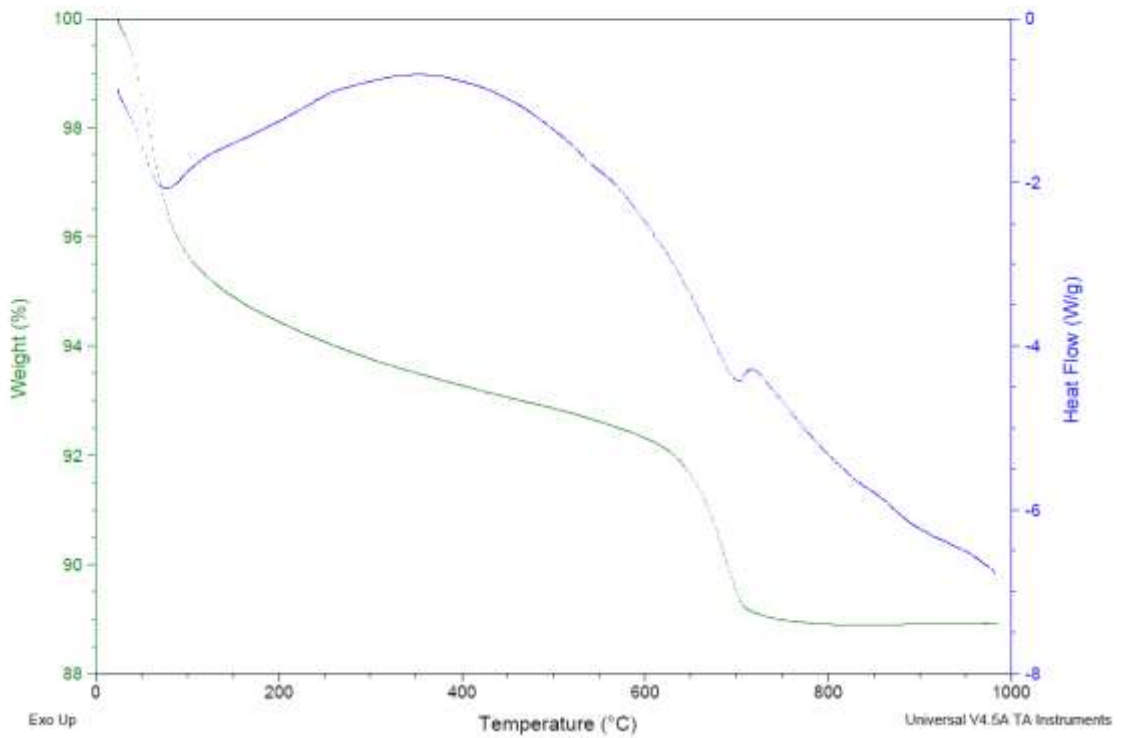
Sample: Briqueta 9-2  
Size: 8.4950 mg  
Method: Ramp

### DSC-TGA

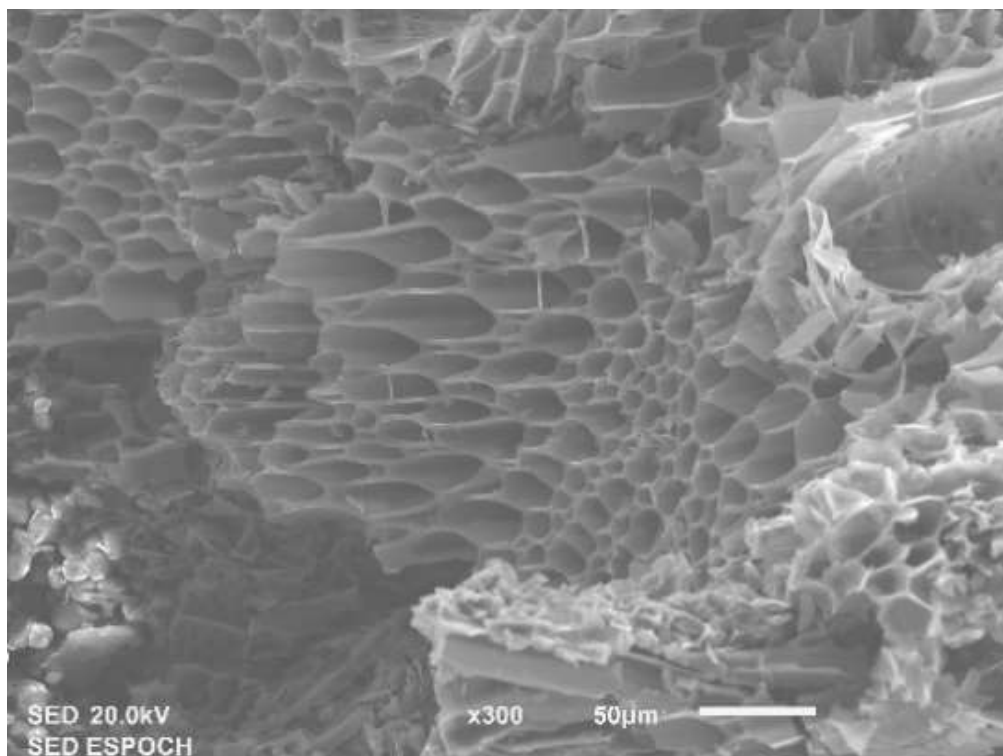
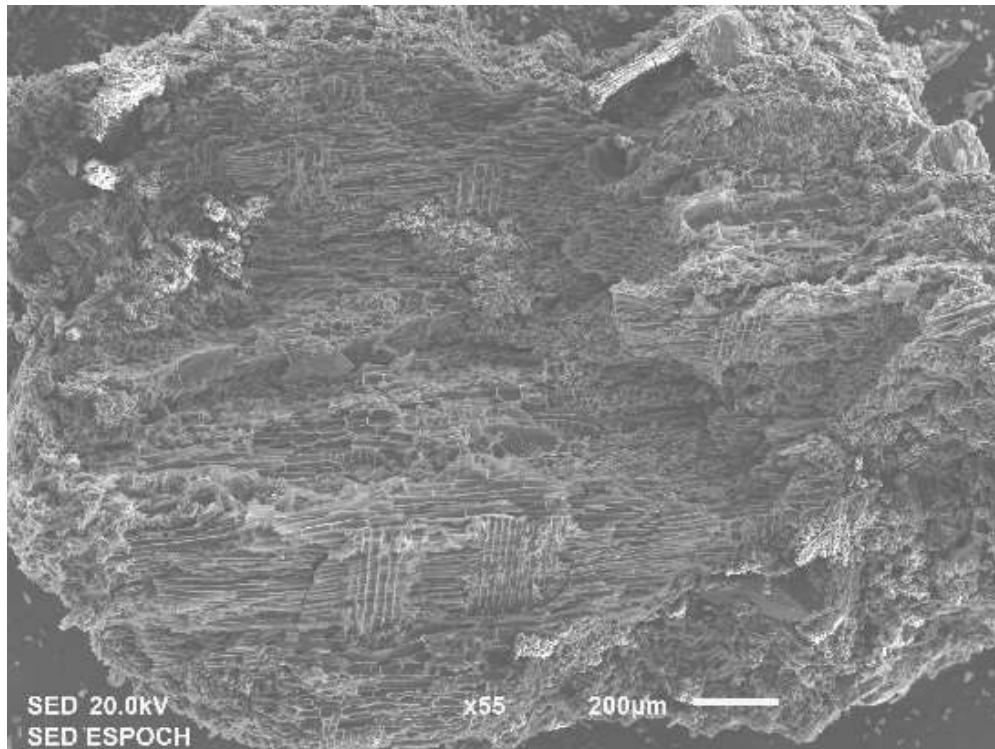


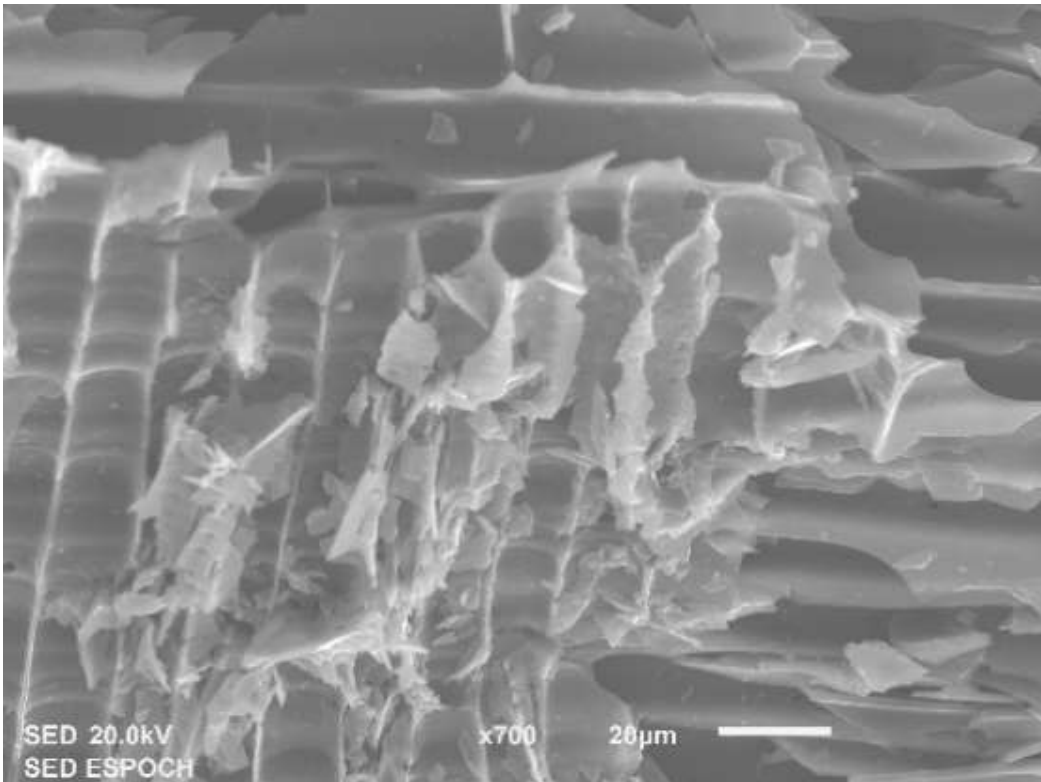
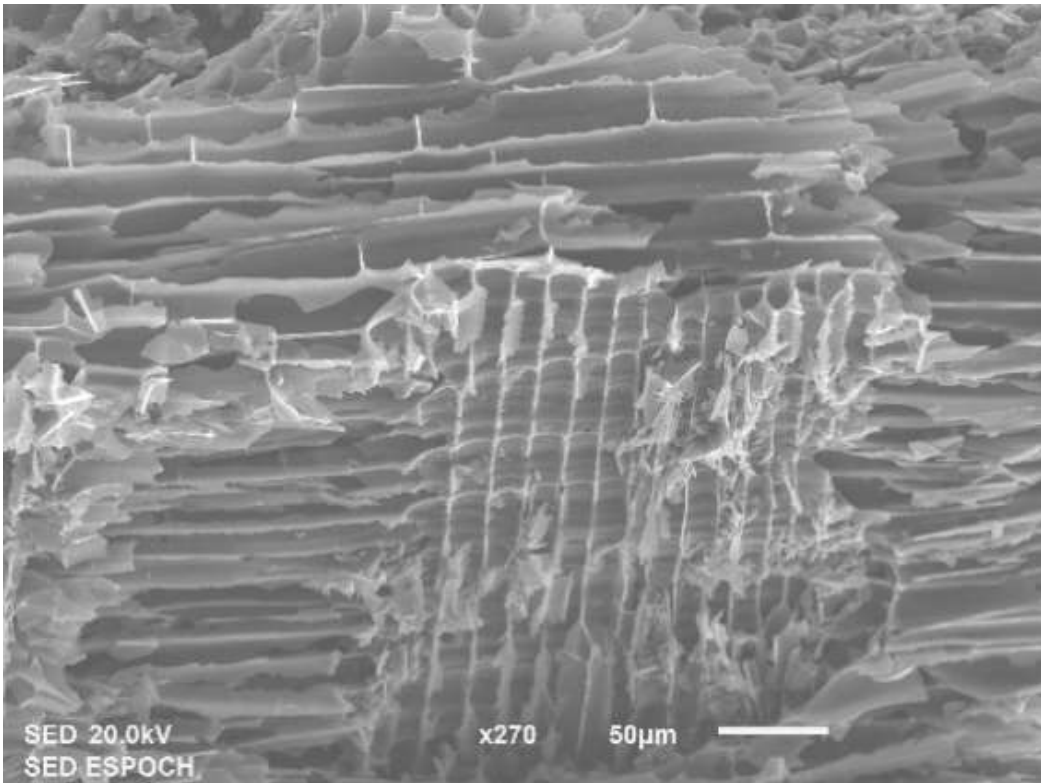
Sample: Briqueta 9-3  
Size: 8.4480 mg  
Method: Ramp

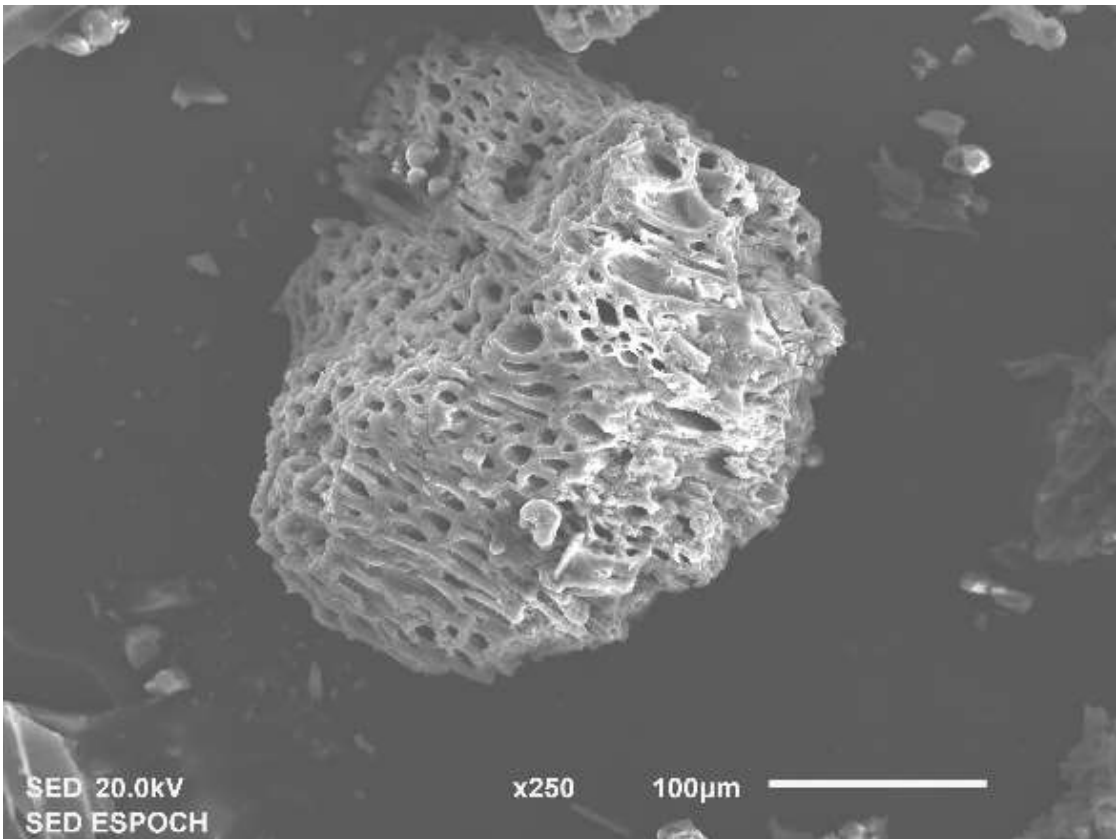
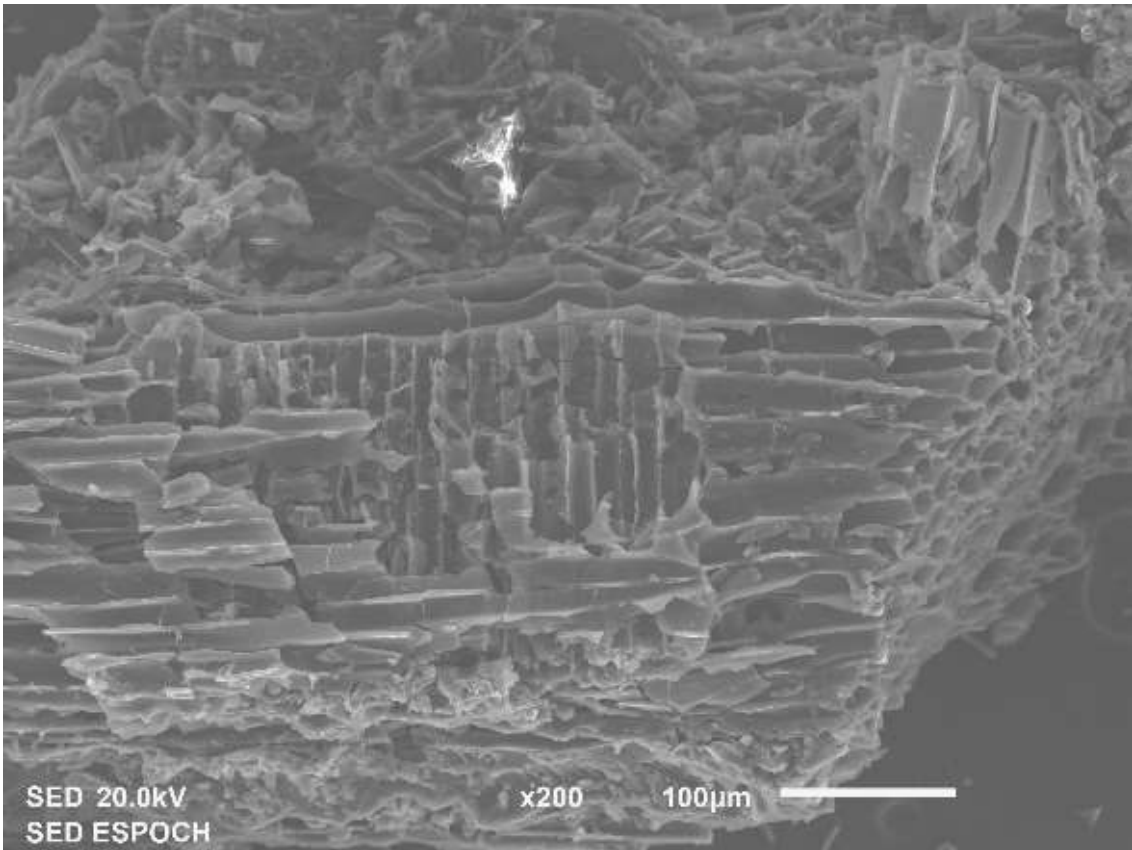
### DSC-TGA

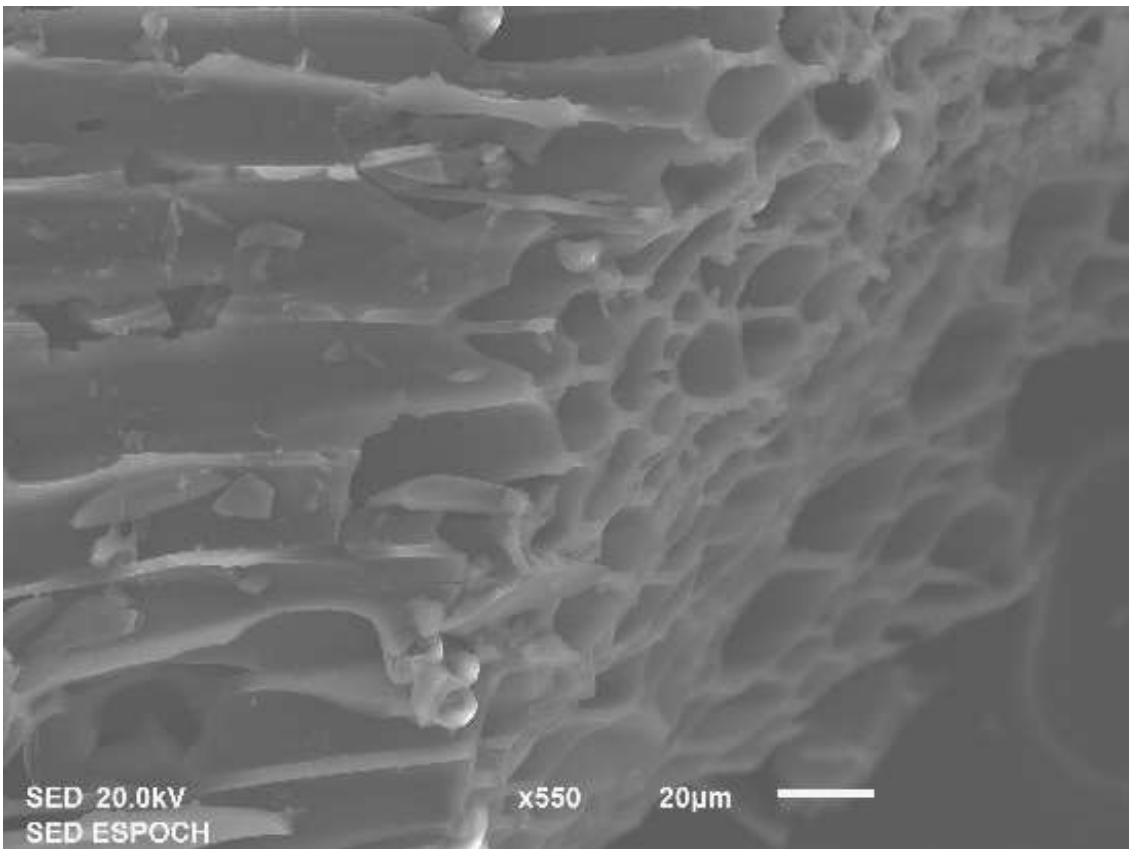
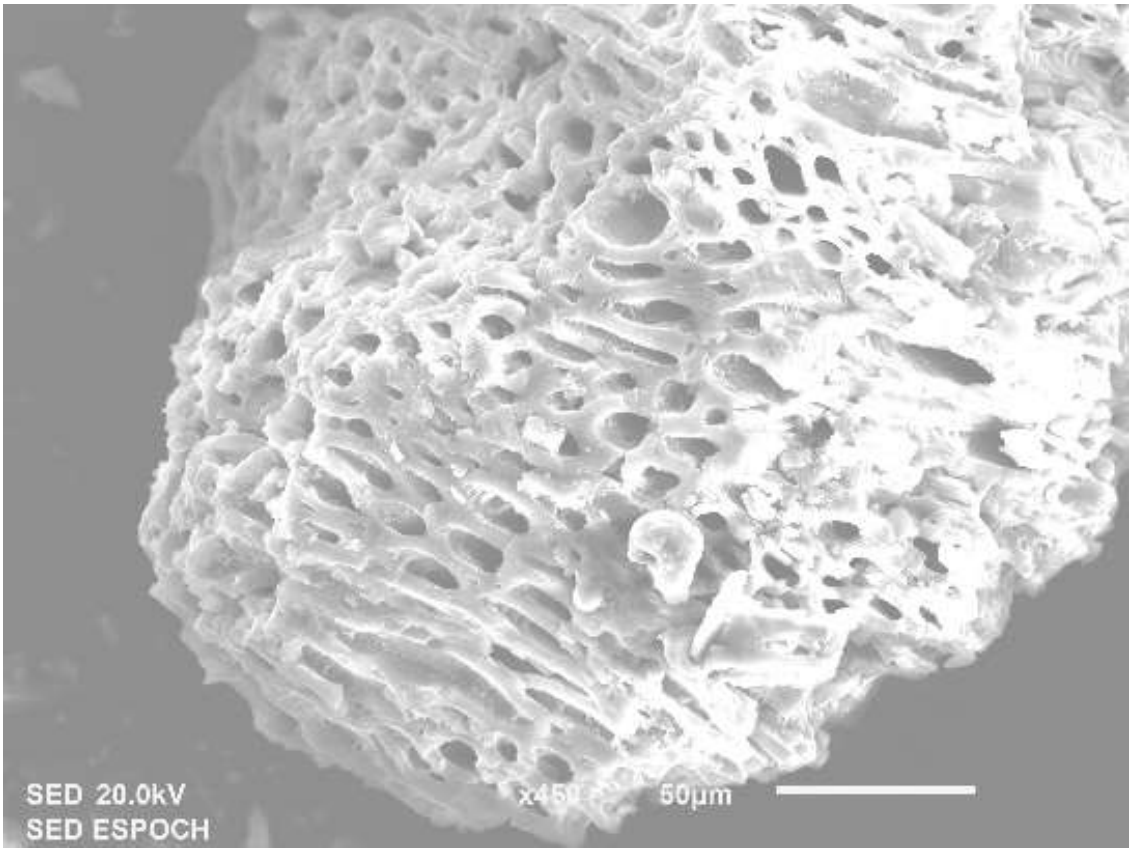


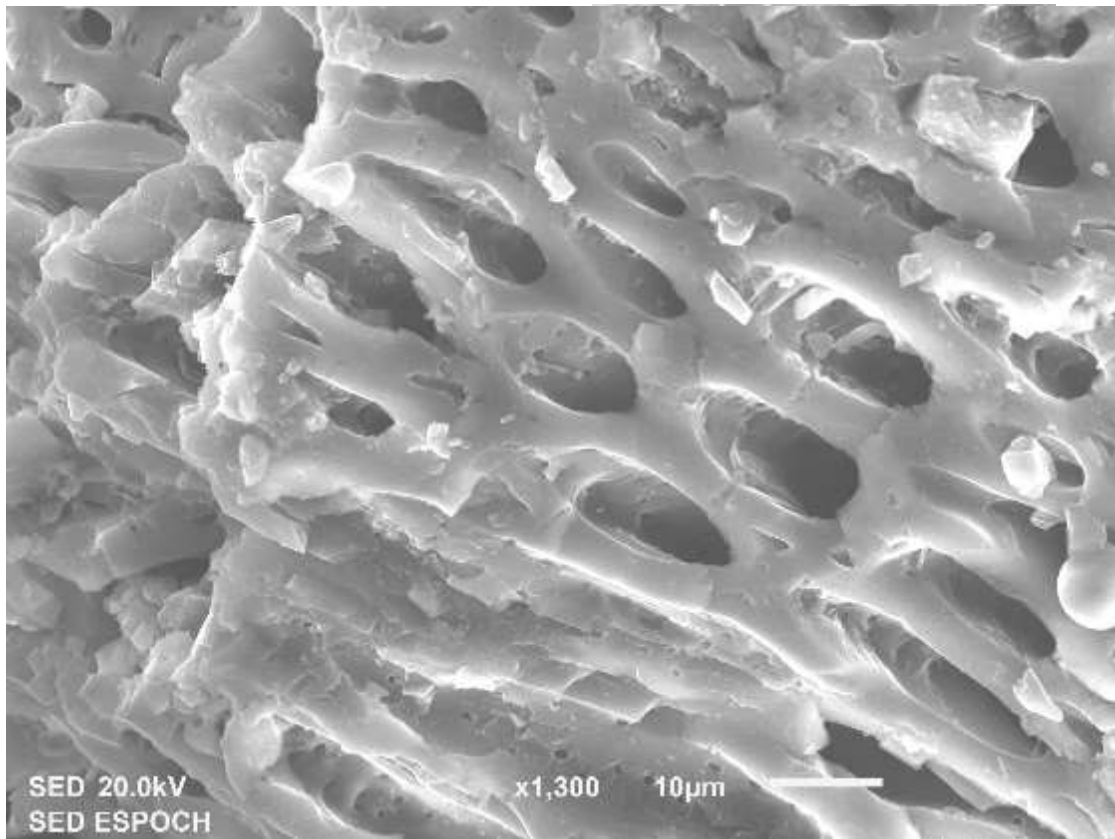
ANEXO B. ANÁLISIS BRIQUETAS SEM

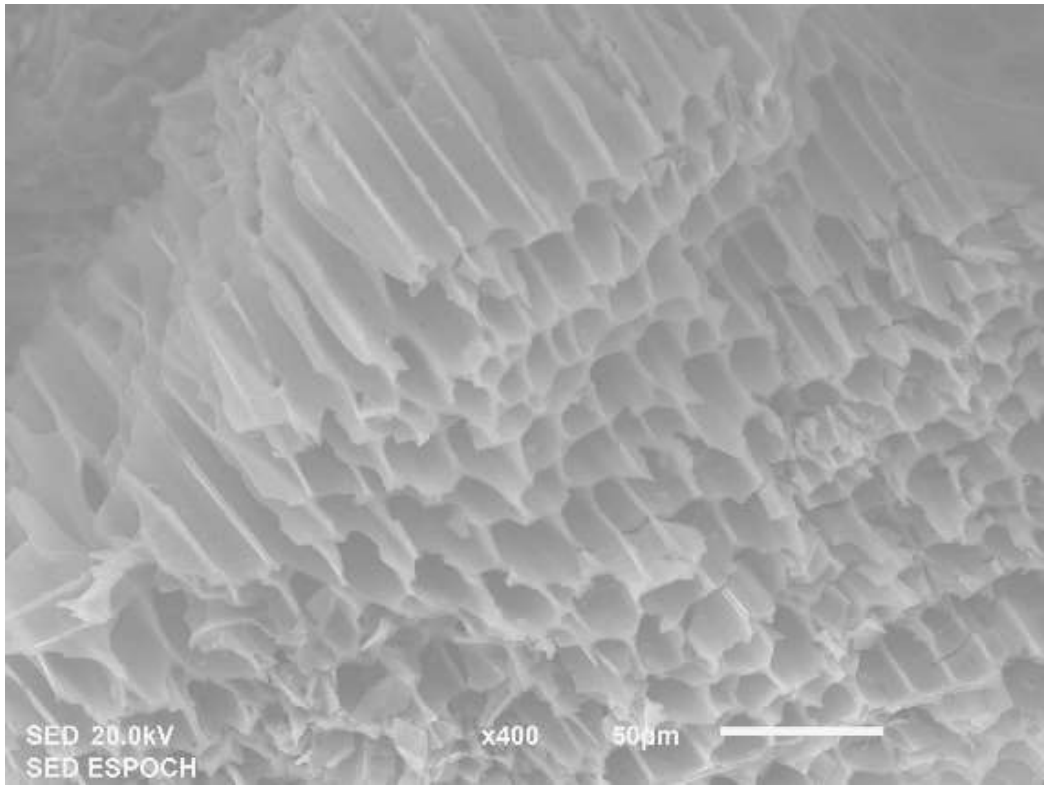






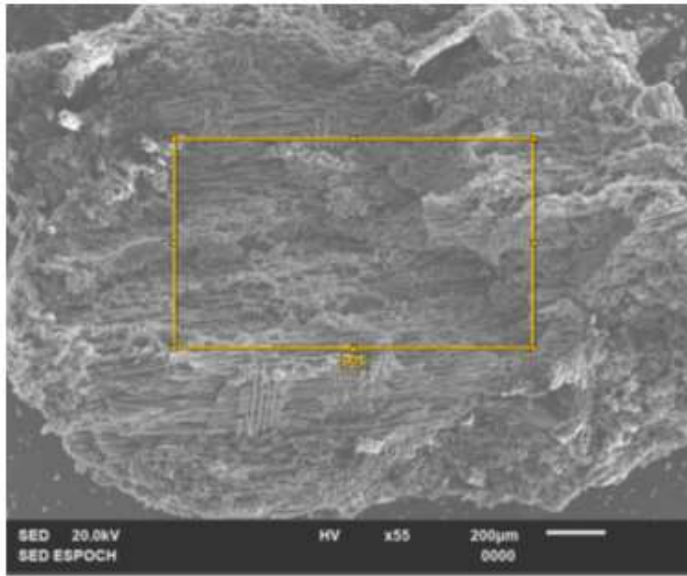




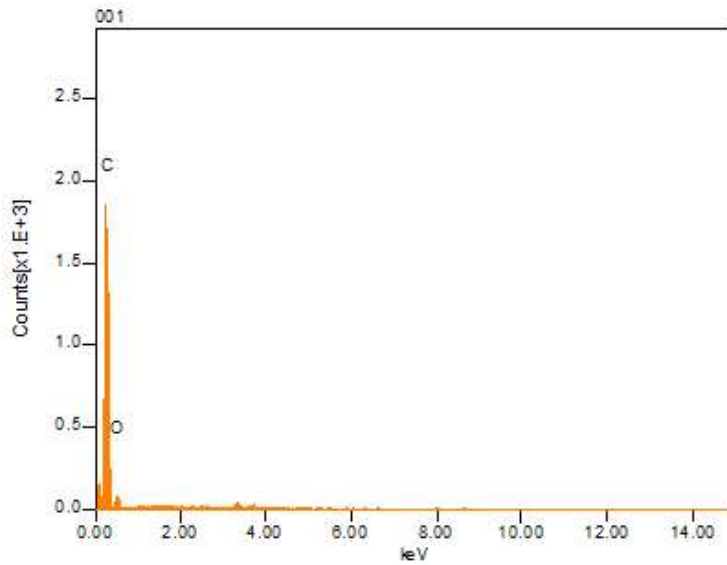




001



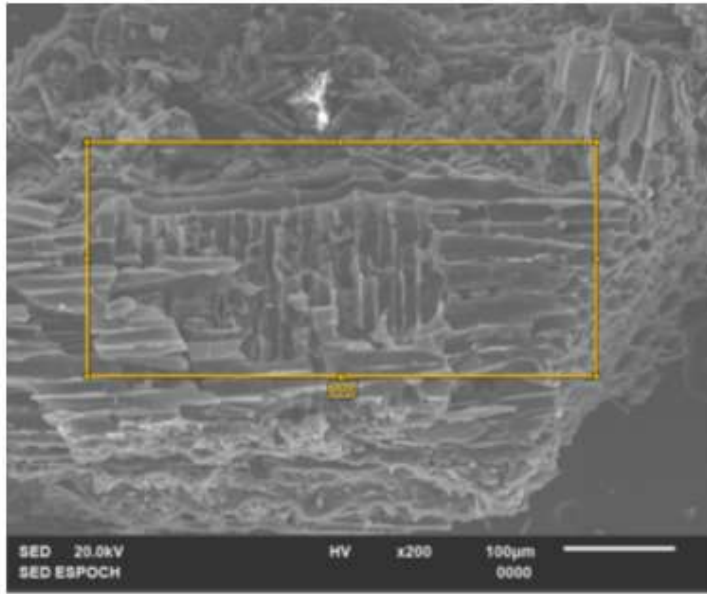
Volt : 20.00 kV  
Mag.  $\times 55$   
Date : 2022/02/22  
Pixel : 1280 x 960



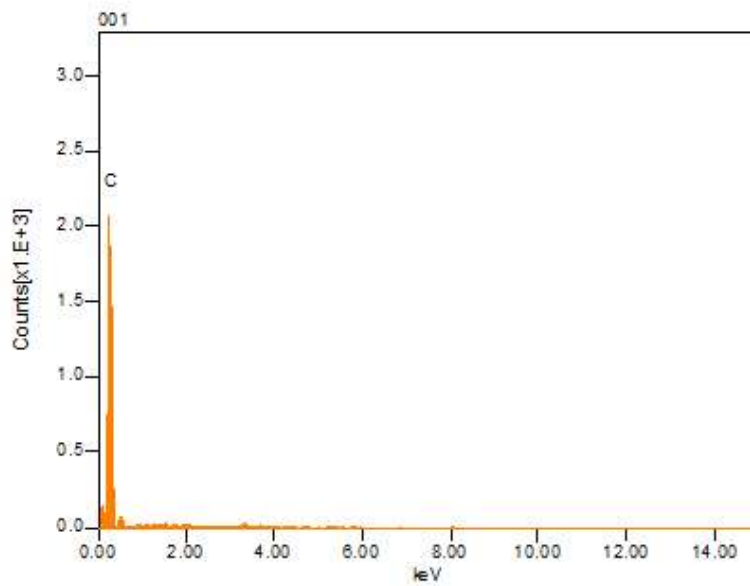
Acquisition Condition  
Instrument : IT100LA  
Volt : 20.00 kV  
Current : ---  
Process Time : T4  
Live time : 120.00 sec.  
Real Time : 120.85 sec.  
DeadTime : 0.00 %  
Count Rate : 275.00 CPS

Formula	mass%	Atom%	Sigma	Net	K ratio	Line
C	5.69	87.27	0.03	9479	0.0486183	K
O	1.11	12.73	0.04	393	0.0022155	K
Total	6.80	100.00				

001



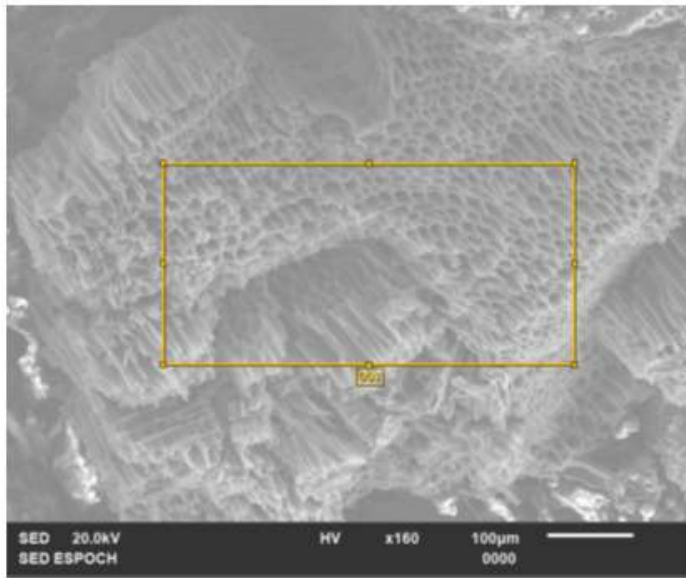
Volt 20.00 kV  
Mag. x 200  
Date 2022/02/22  
Pixel 1280 x 960



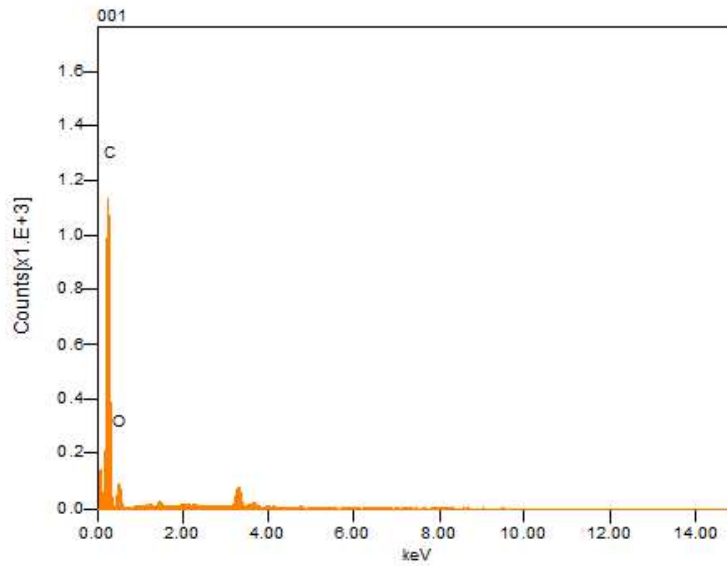
Acquisition Condition  
Instrument IT100LA  
Volt 20.00 kV  
Current ---  
Process Time T4  
Live time 120.00 sec.  
Real Time 120.84 sec.  
DeadTime 2.00 %  
Count Rate 304.00 CPS

Formula	mass%	Atom%	Sigma	Net	K ratio	Line
C	5.20	100.00	0.03	10139	0.0520018	K
Total	5.20	100.00				

001



Volt ~ 20.00 kV  
 Mag. ~ x 160  
 Date ~ 2022/02/22  
 Pixel ~ 1280 x 960

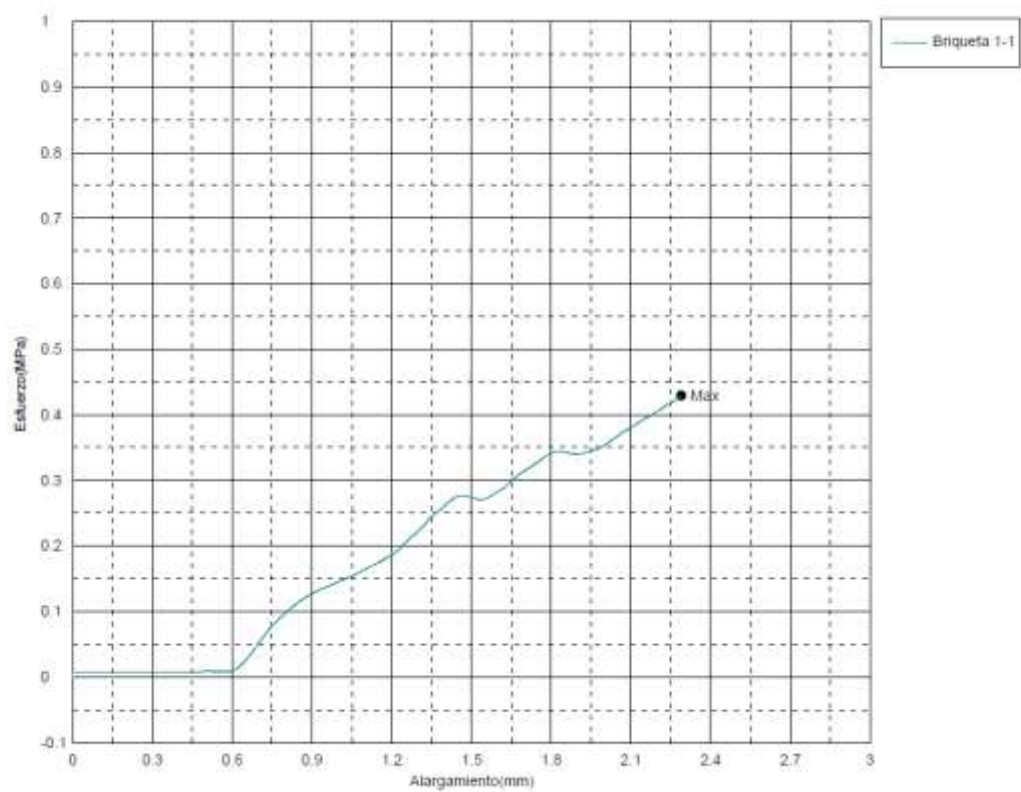


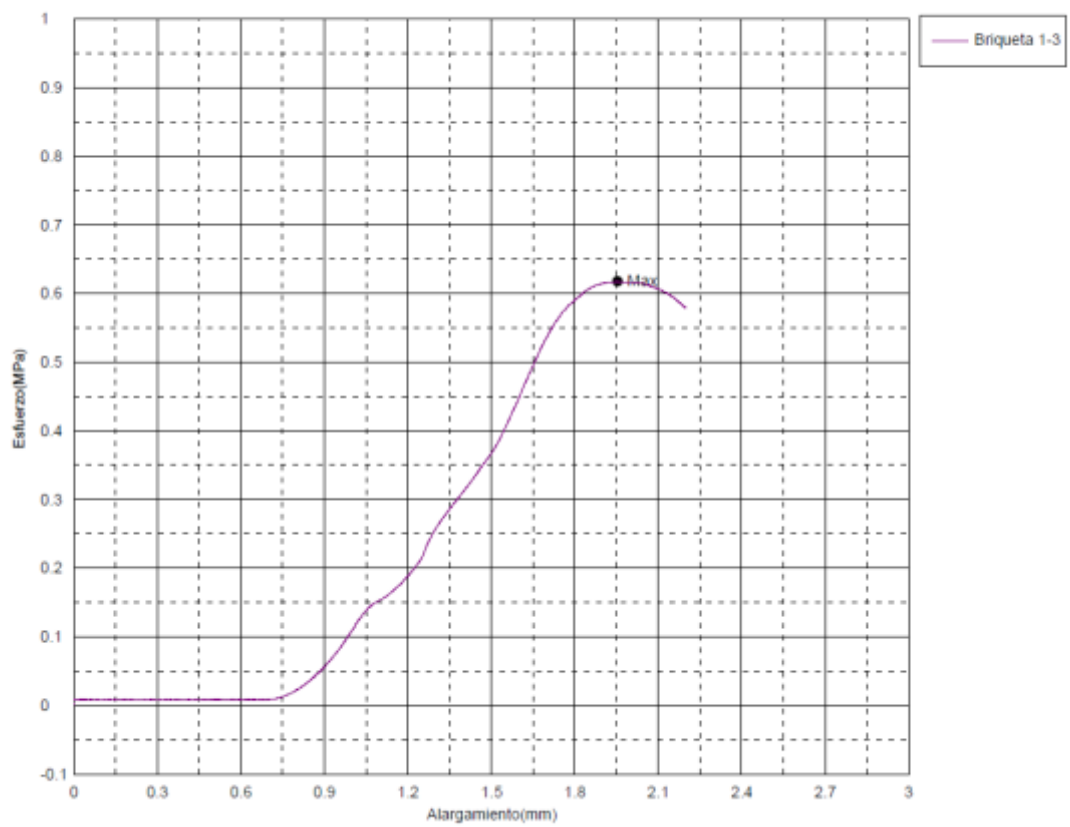
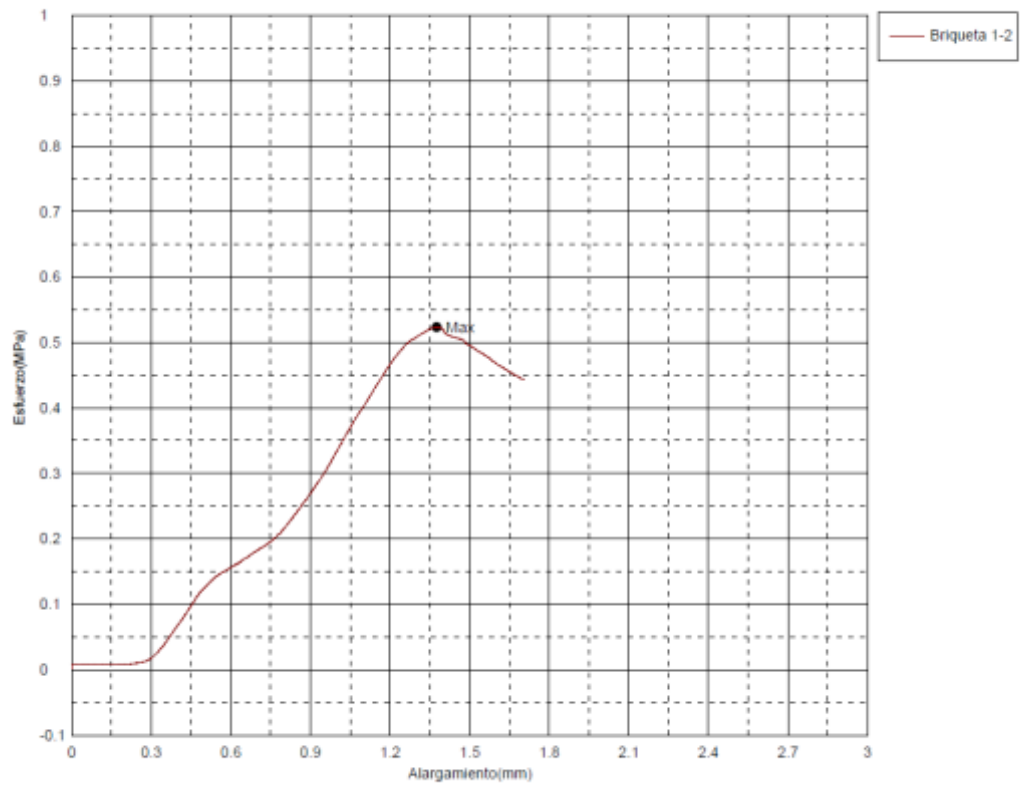
Acquisition Condition

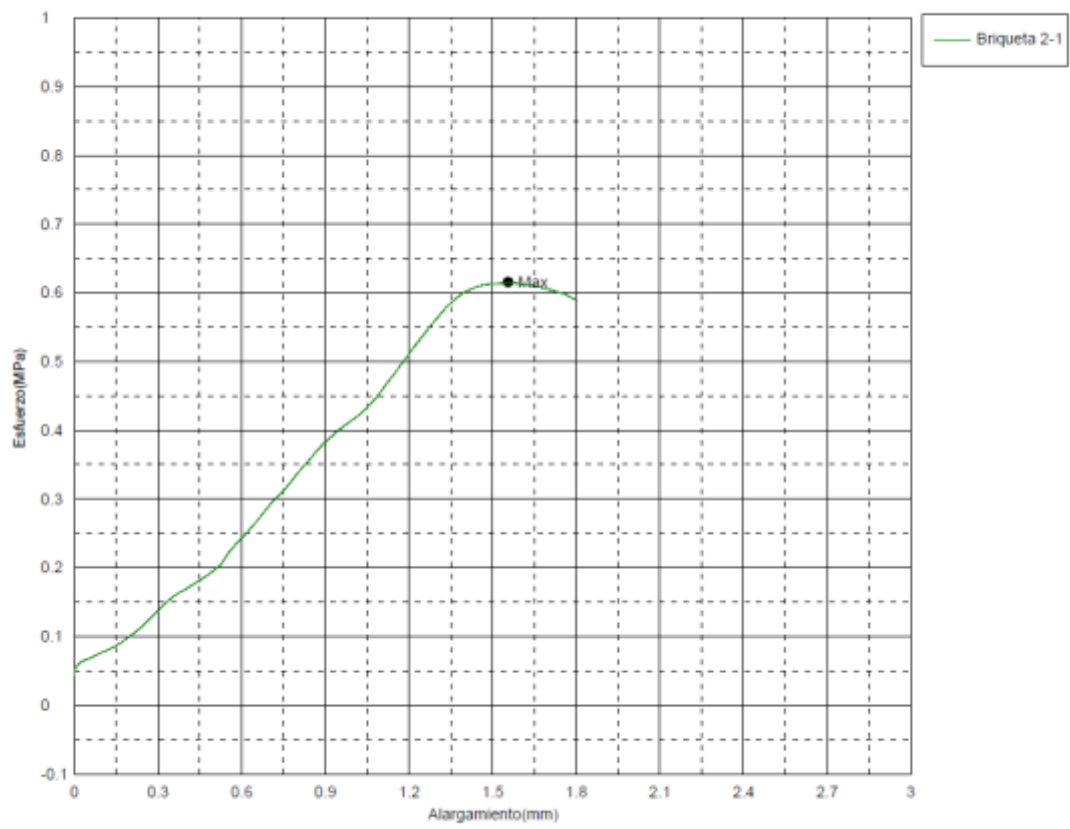
Instrument ~ IT100LA  
 Volt ~ 20.00 kV  
 Current ~ ---  
 Process Time ~ T4  
 Live time ~ 120.00 sec.  
 Real Time ~ 120.81 sec.  
~~DeadTime~~ ~ 1.00 %  
 Count Rate ~ 251.00 CPS

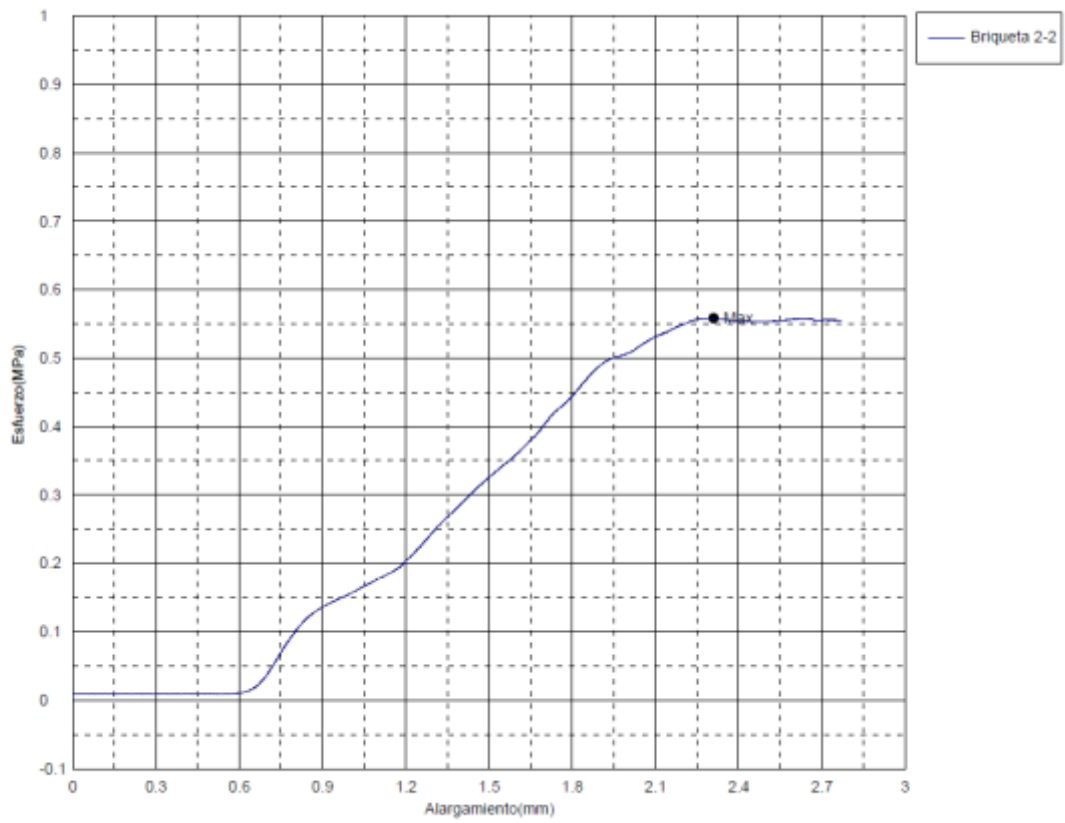
Formula	mass%	Atom%	Sigma	Net	K ratio	Line
C	3.64	81.45	0.03	5669	0.0290759	K
O	1.10	18.55	0.03	446	0.0025147	K
Total	4.74	100.00				

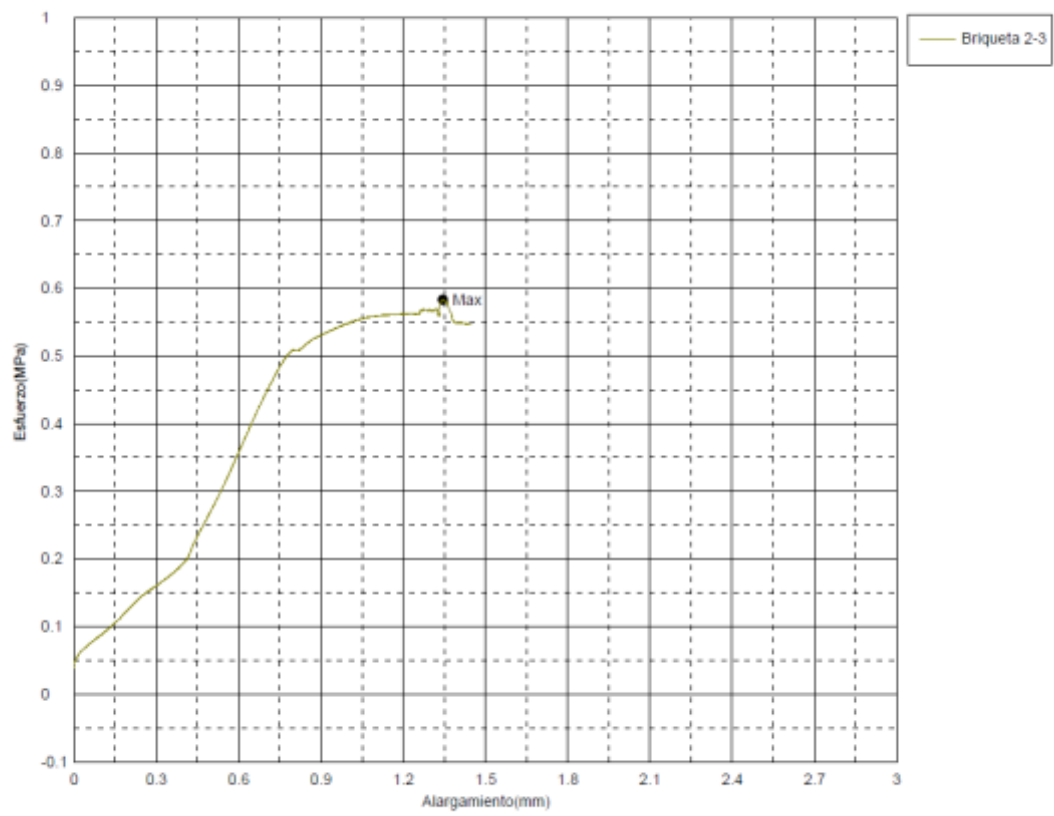
## ANEXO C. RESULTADOS ANÁLISIS RESISTENCIA MECÁNICA



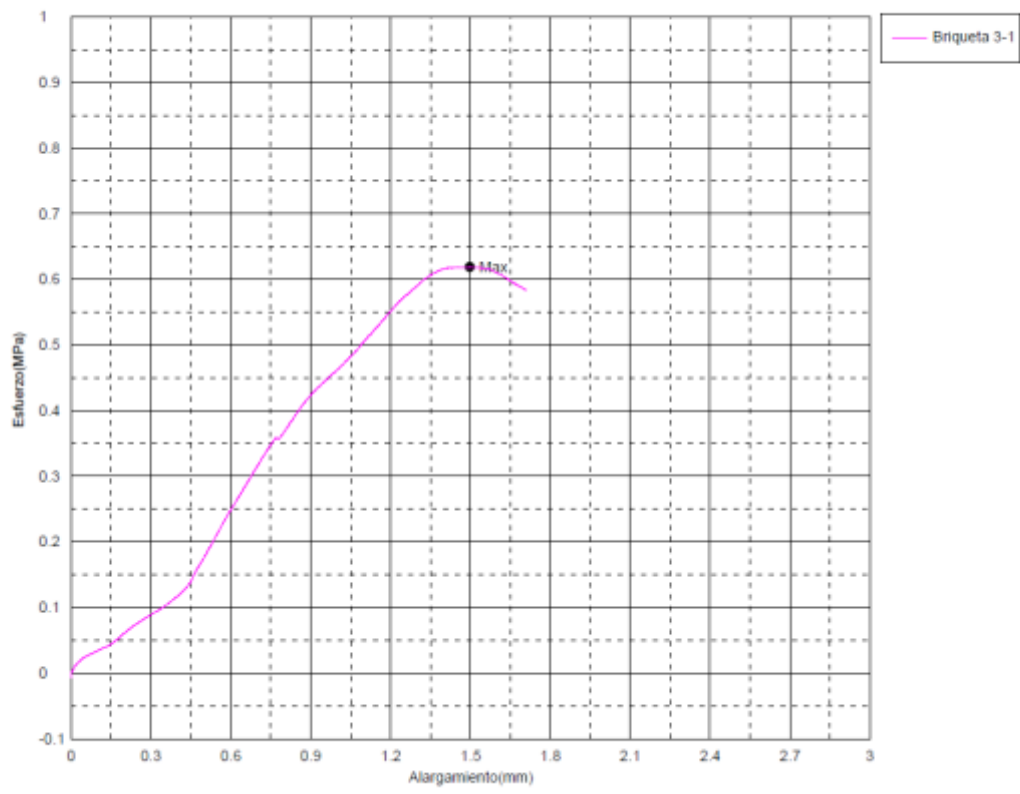


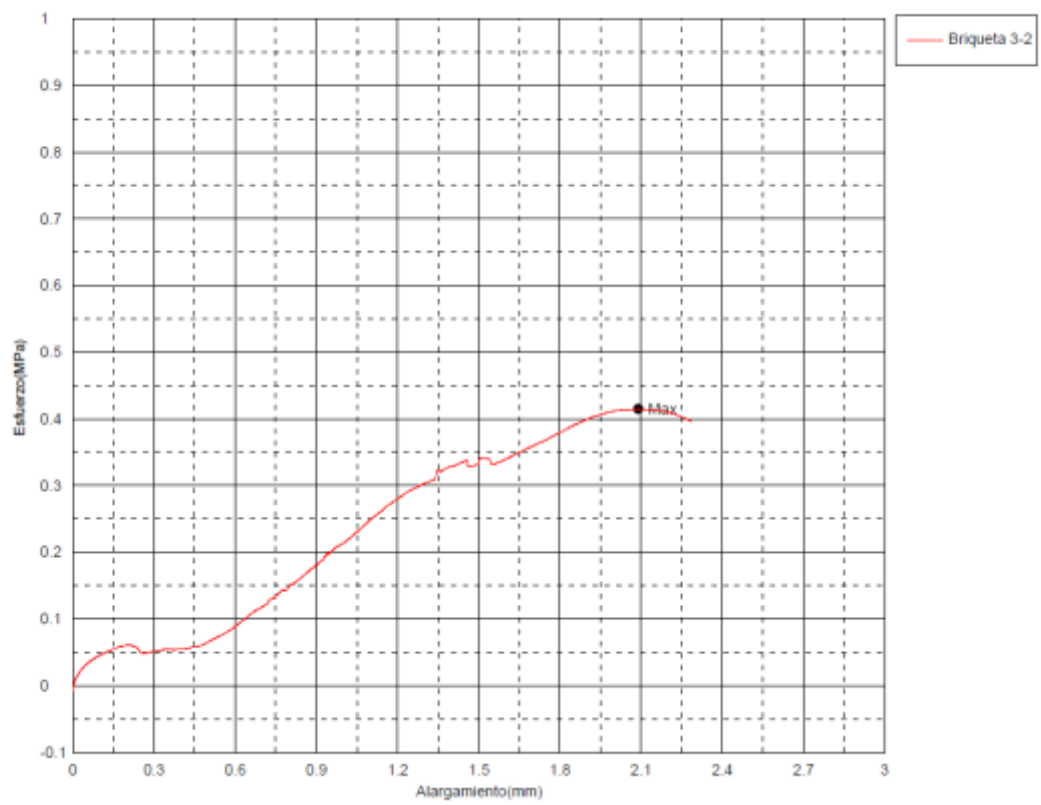


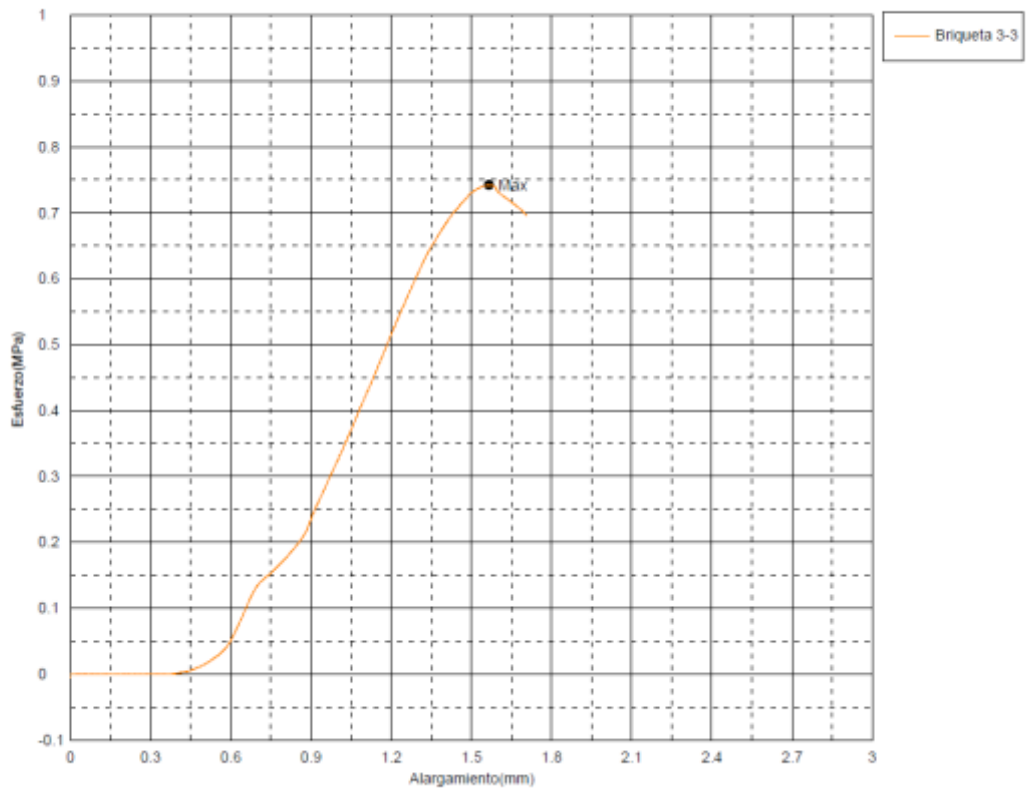


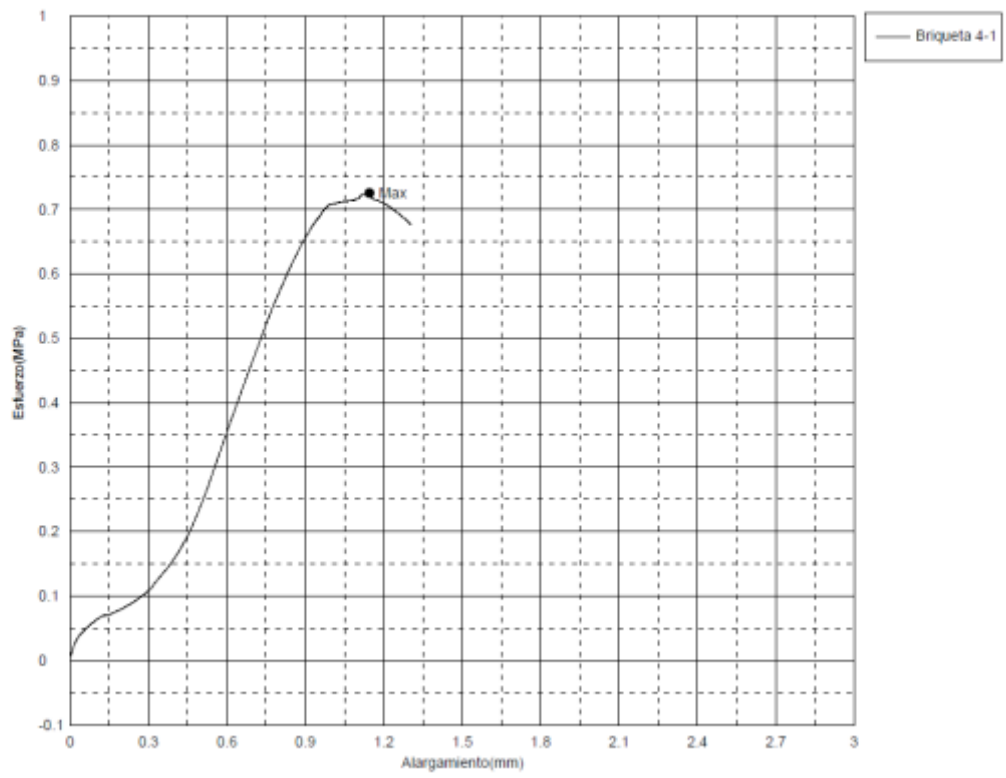


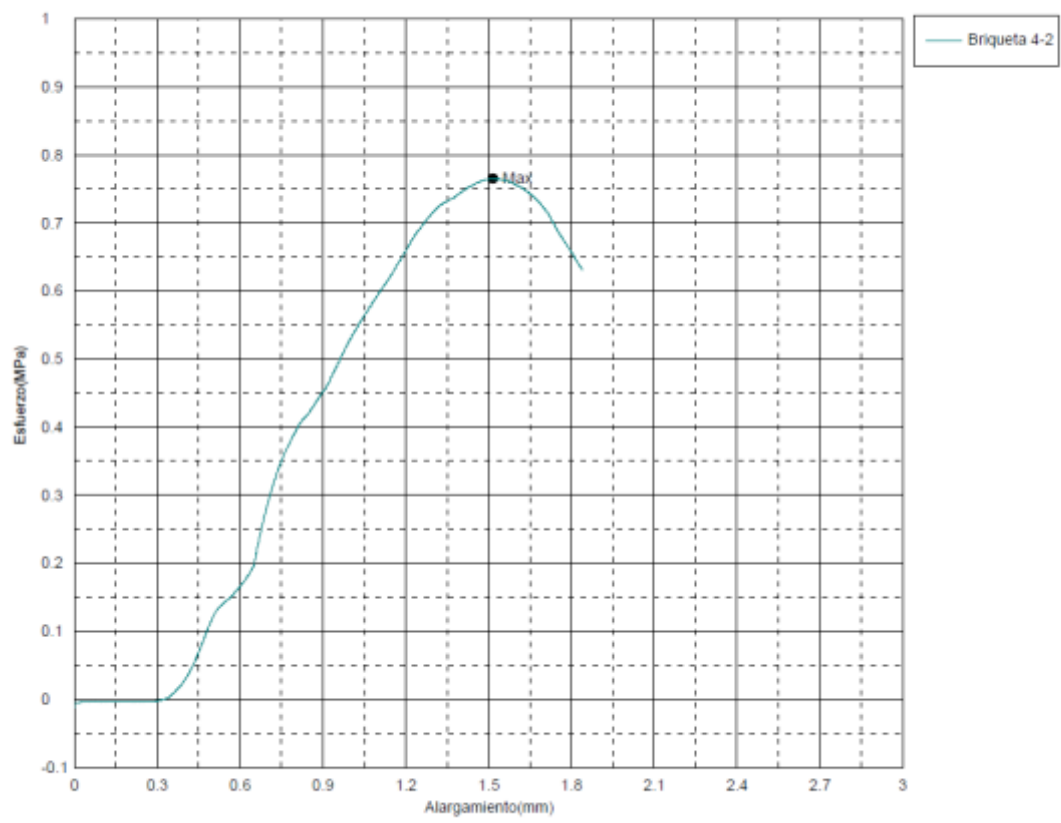


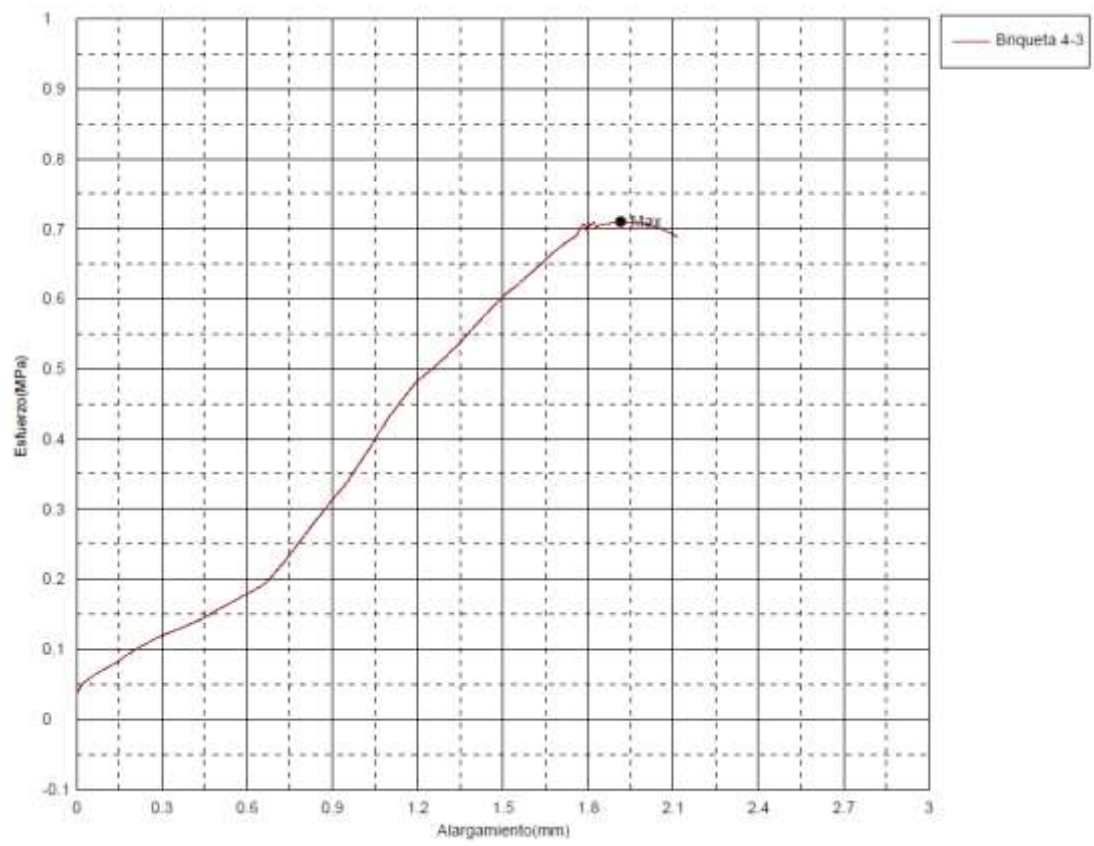


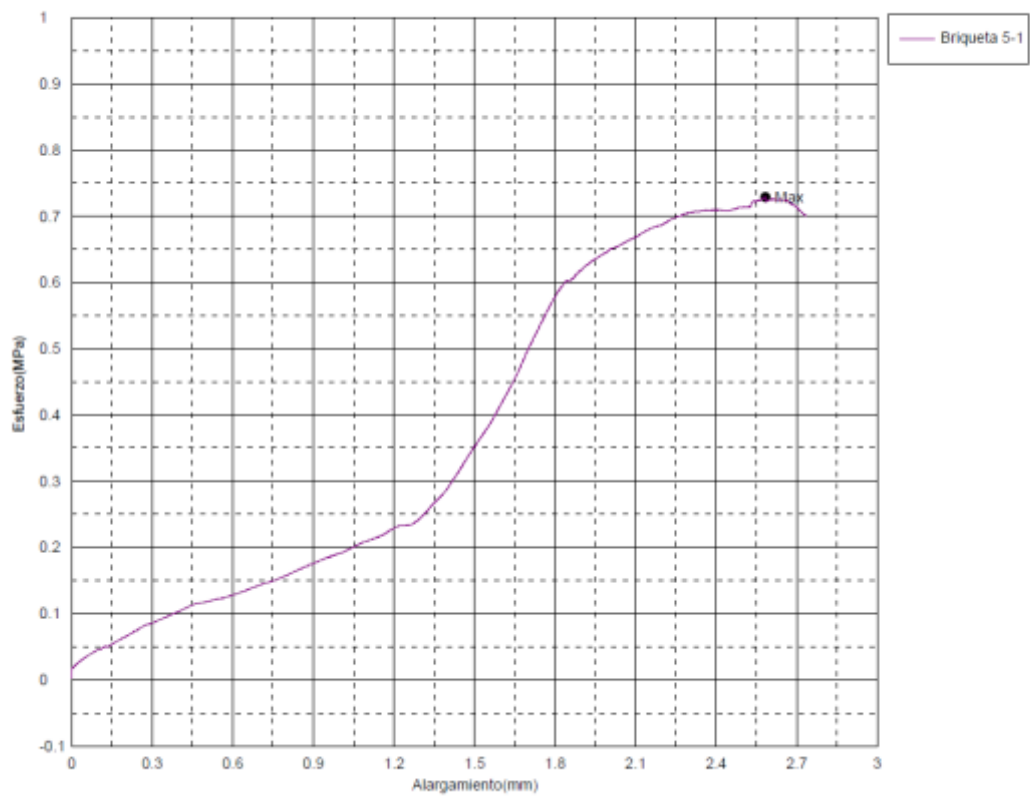


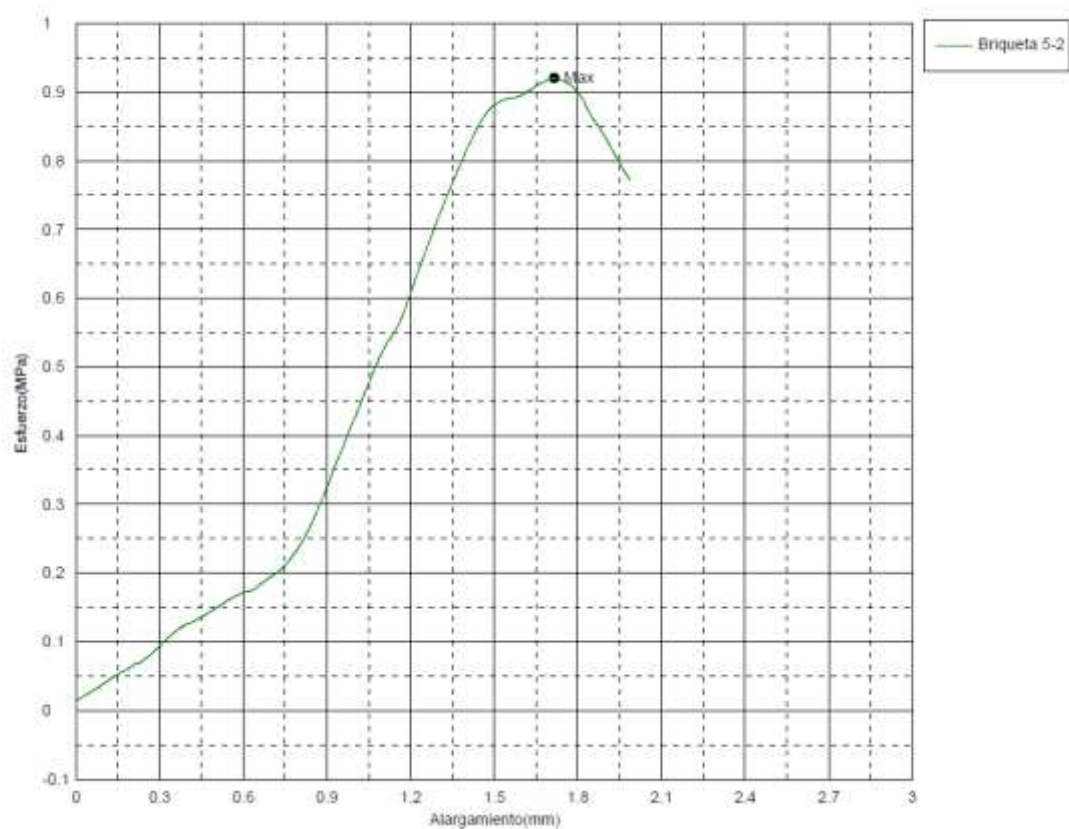




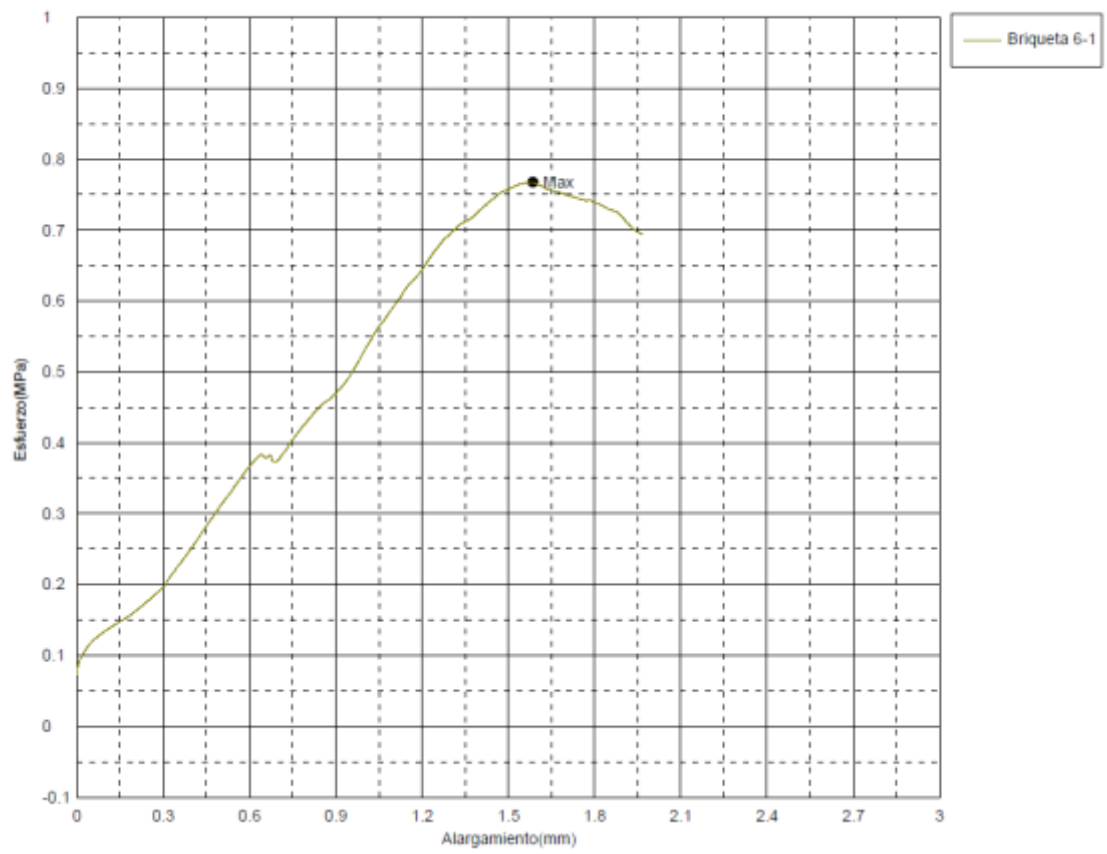


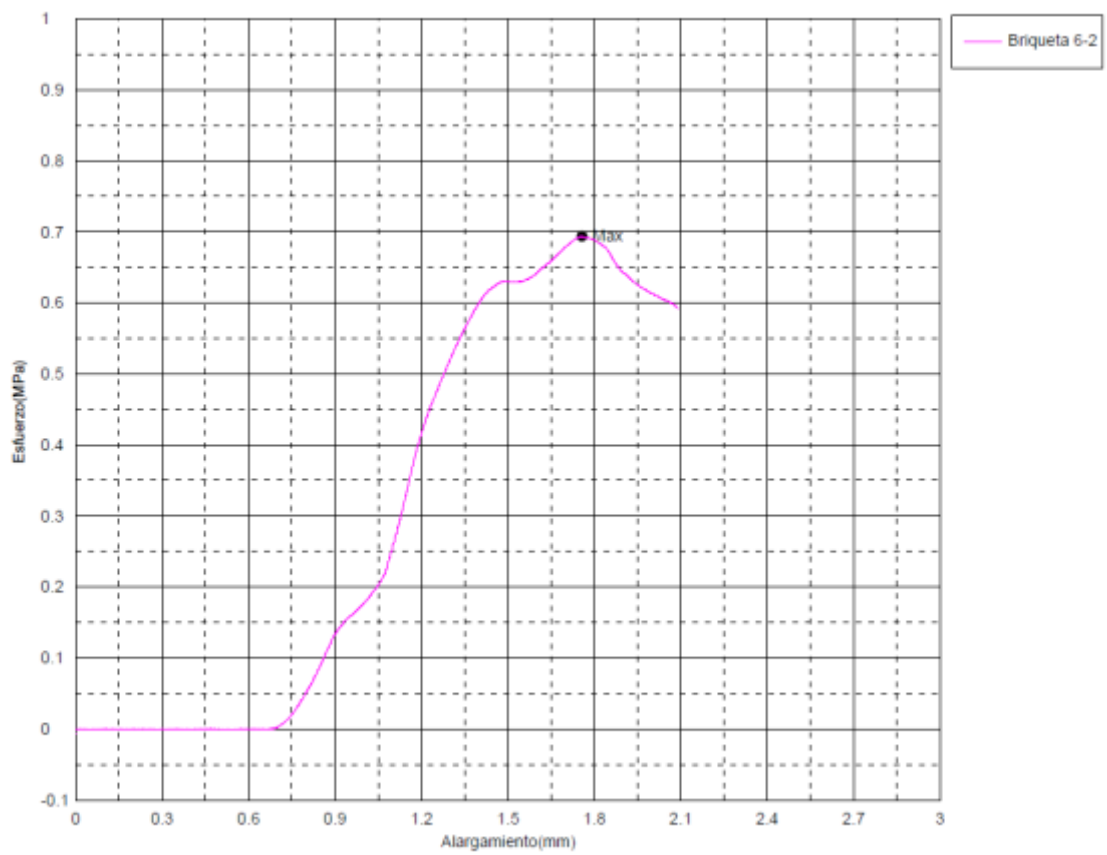


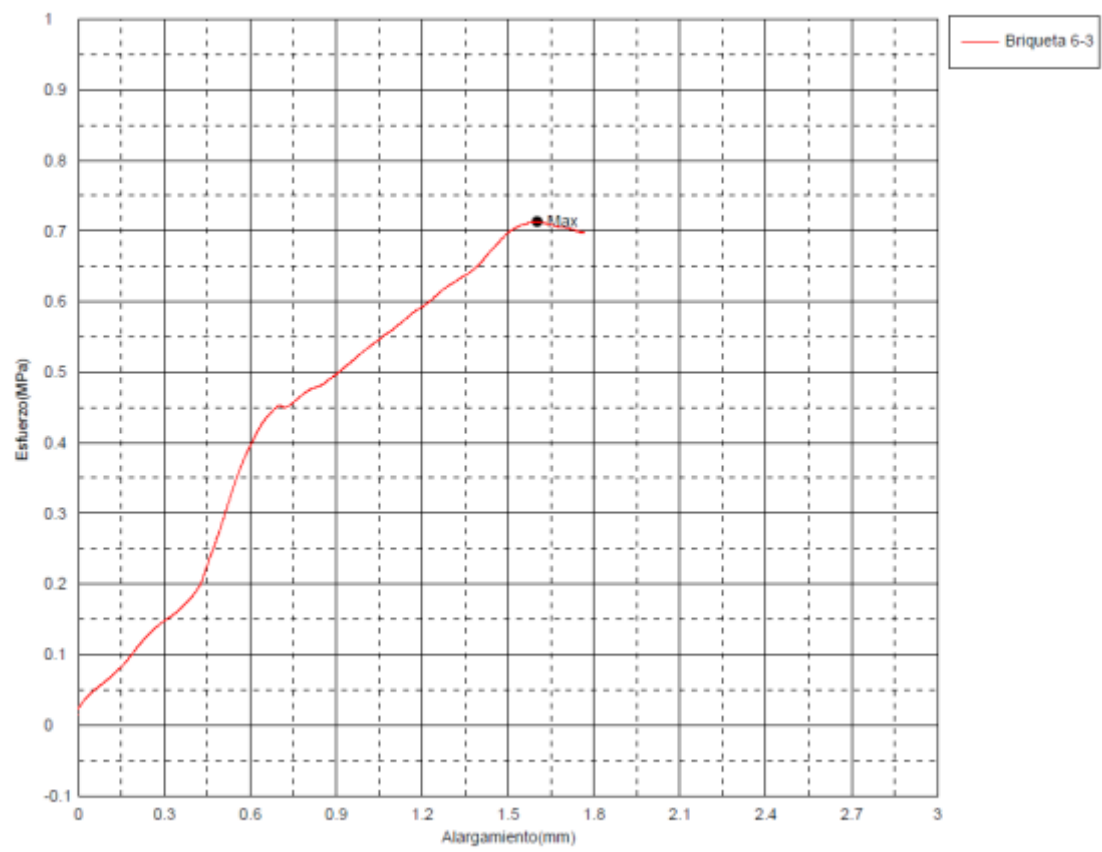


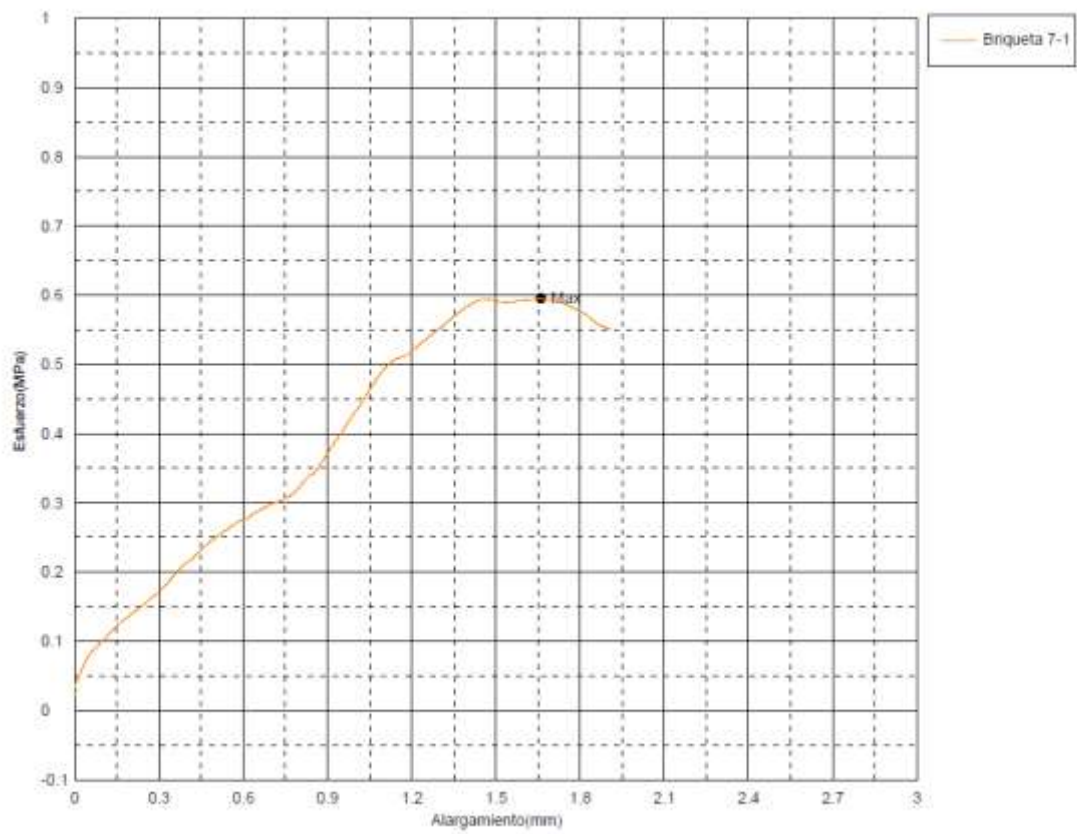


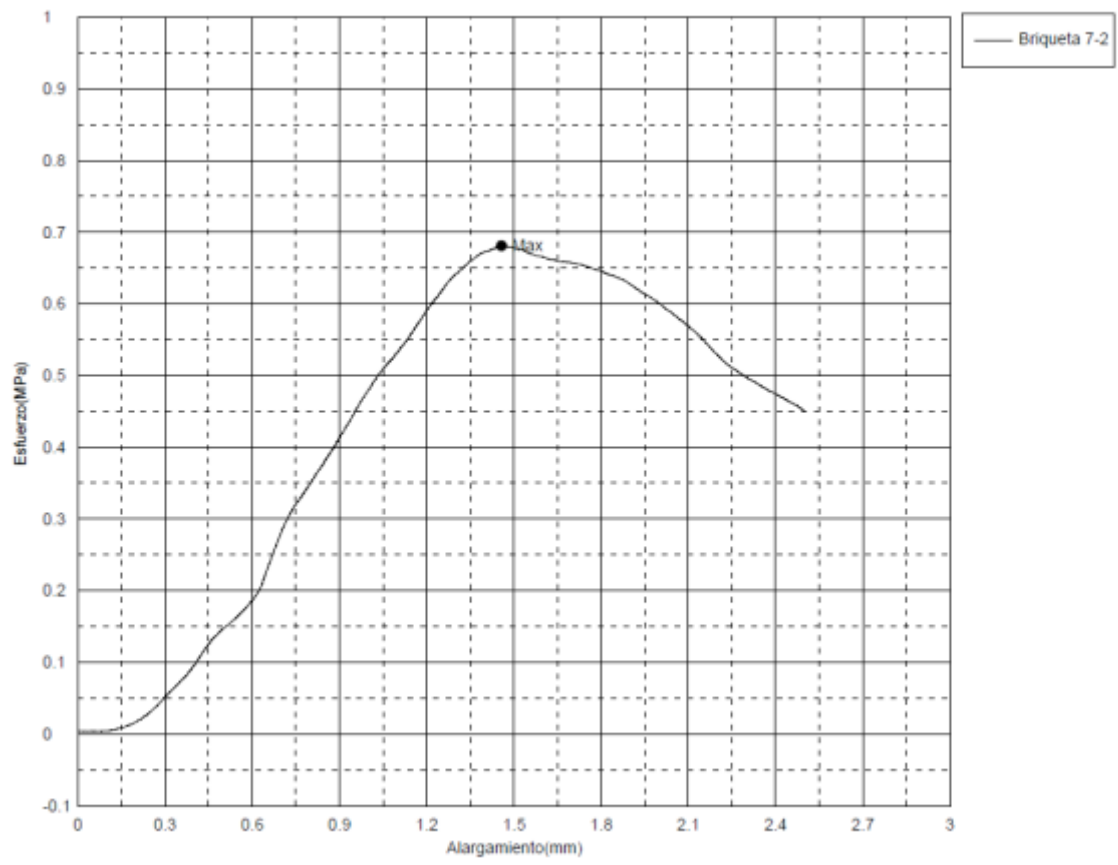


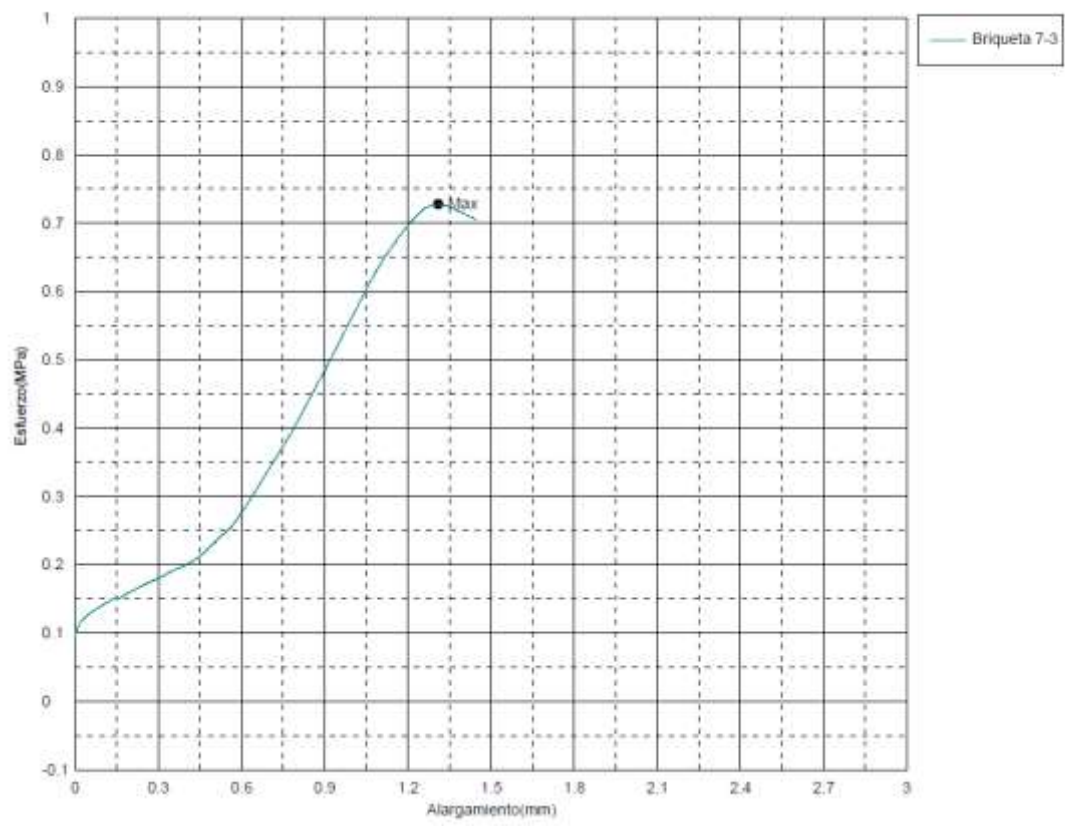


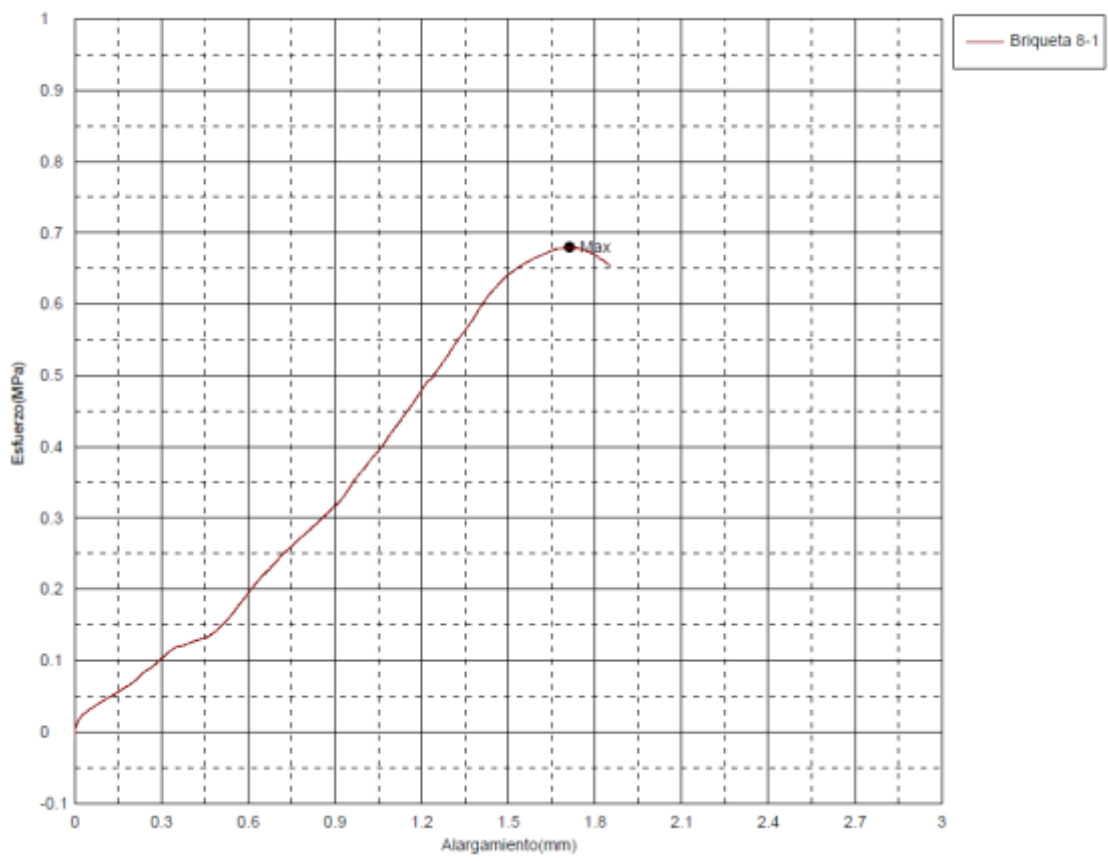


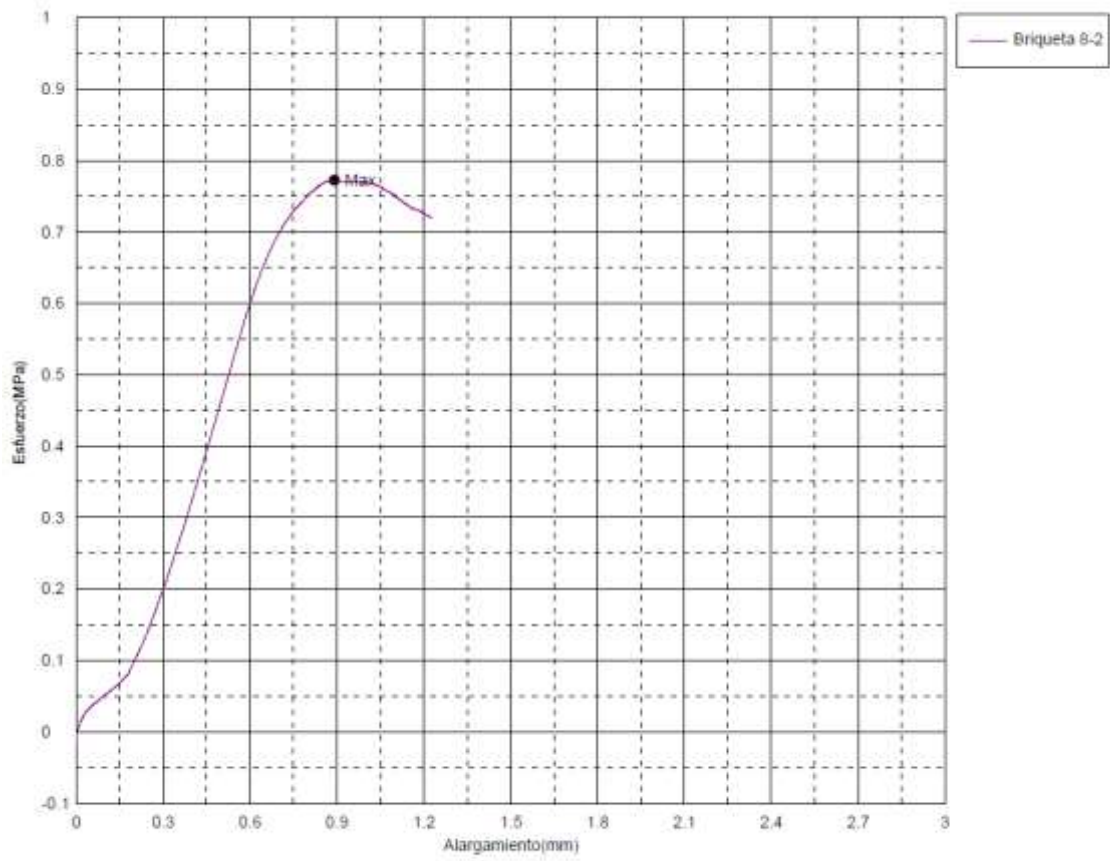




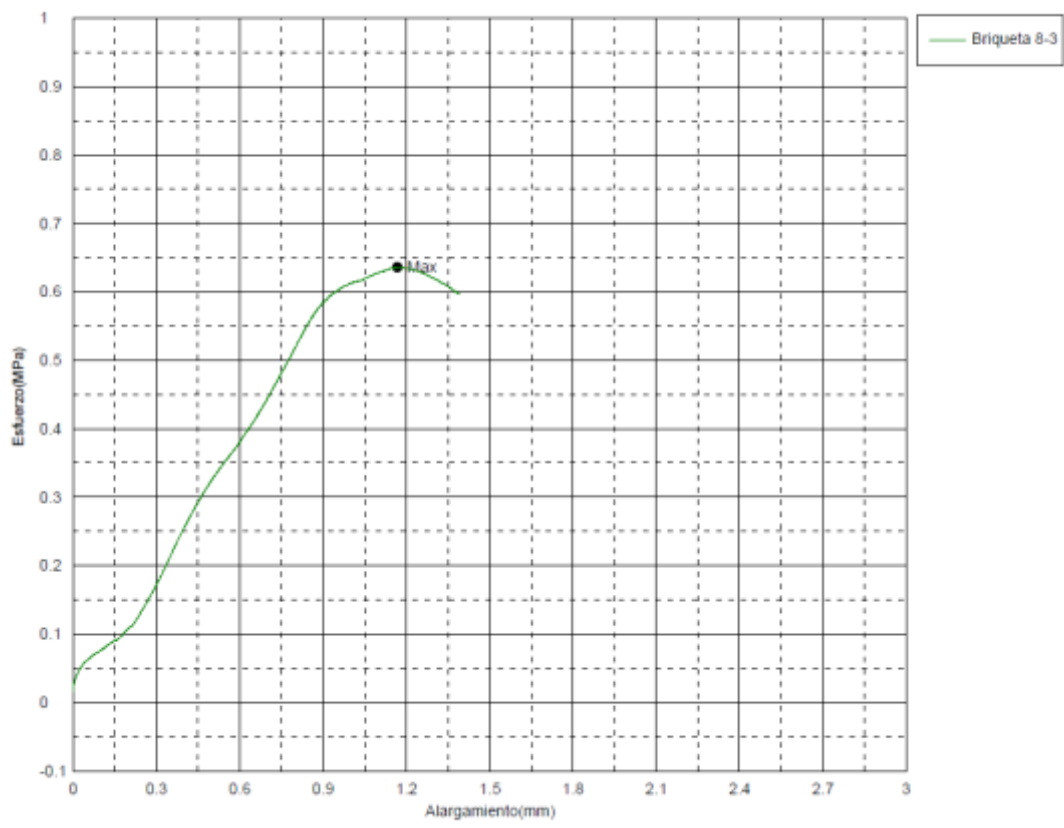


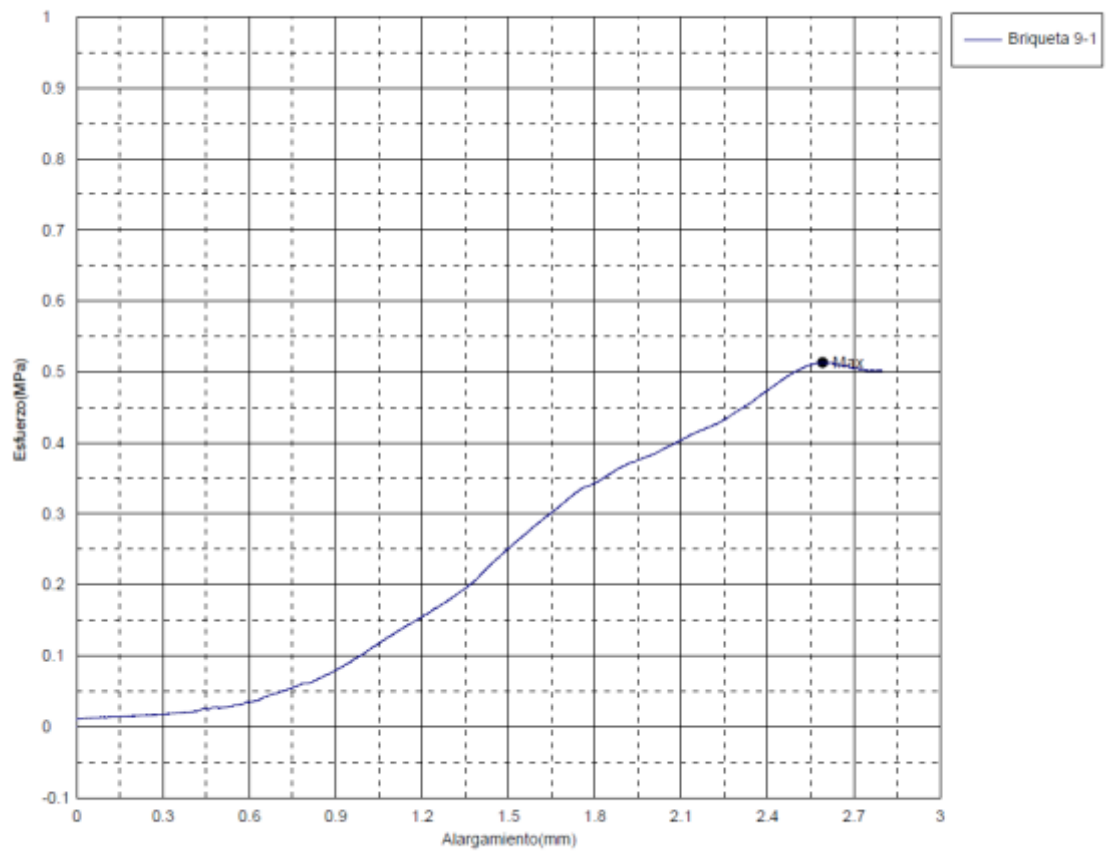


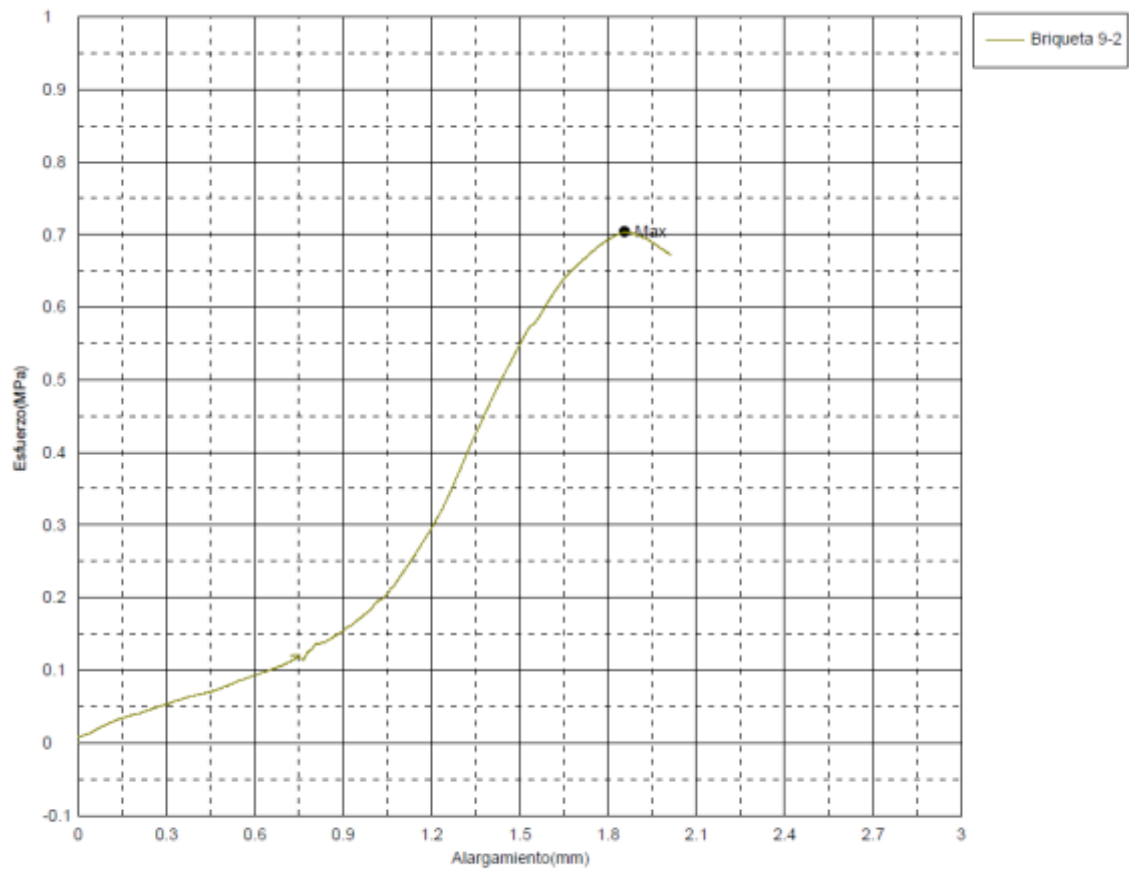












ANEXO D. MÁQUINA DE ENSAYOS UNIVERSALES MARCA SHIMADZU MODELO UTM-600KN



ANEXO E. MÁQUINA DE ENSAYOS INSTRUMENTS Q-600



## ANEXO F. TABLA ESTADISTICA

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	15	20	24	30	40	60	12
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5	241.9	243.0	243.9	245.9	248.0	249.1	250.1	251.1	252.2	253.
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.40	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.4
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.76	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.5
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.94	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.6
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.70	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.4
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.7
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.2
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.9
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.10	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.7
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.5
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.82	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.4
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.72	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.3
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.63	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.2
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.57	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.1
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.51	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.1

ANEXO G. HORNO DE SECADO DE BRIQUETAS



ANEXO H. MATERIA PRIMA TRITURADA





ANEXO I. BRIQUETAS RECIÉN SALIDAS DE LA BRIQUETEADORA



ANEXO J. MAQUINA HOMOGENEIZADORA



ANEXO K. MAQUINA BRIQUETADORA



ANEXO L. BRIQUETAS EN PROCESO DE SECADO



ANEXO M. MEZCLA DE CASCARAS DE MACADAMIA EN PROCESO DE CARBONIZACIÓN



ANEXO N. PROCESO DE CARBONIZACIÓN DE LAS CASCARAS DE MACADAMIA EN  
HORNO METÁLICO



ANEXO O. CASCARAS DE MACADAMIA CARBONIZADAS



ANEXO P. CASCARAS DE PALMA CARBONIZADAS





ANEXO Q. VISITA A LA CARBONERA

