

 UNIVERSIDAD ECCI	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL RETAMO ESPINOSO (<i>Ulex europaeus</i>) A PARTIR DE GASIFICACIÓN		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Pasantía	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

**EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL RETAMO ESPINOSO
(*Ulex europaeus*) A PARTIR DE GASIFICACIÓN**

YOLIMA NIÑO DIAZ

**UNIVERSIDAD ECCI
FACULTAD AMBIENTAL
INGENIERÍA AMBIENTAL
BOGOTÁ, D.C.
2017**

	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL RETAMO ESPINOSO (<i>Ulex europaeus</i>) A PARTIR DE GASIFICACIÓN		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Pasantía	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

**EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL RETAMO ESPINOSO
(*Ulex europaeus*) A PARTIR DE GASIFICACIÓN**

YOLIMA NIÑO DIAZ

Proyecto de Pasantía

BERYINY RUIZ CAÑON - UECCI
Especialista Ingeniería Química

LILI TATIANA VEGA CLAVIJO - JBB
Especialista En Gestión Eficiente de la Energía

UNIVERSIDAD ECCI
FACULTAD AMBIENTAL
INGENIERÍA AMBIENTAL
BOGOTÁ, D.C.
2017

	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL RETAMO ESPINOSO (<i>Ulex europaeus</i>) A PARTIR DE GASIFICACIÓN		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Pasantía	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

TABLA DE CONTENIDO

1. TÍTULO DE LA PASANTÍA	7
2. PROBLEMA DE PASANTÍA	7
2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	7
2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	8
3. OBJETIVOS DE LA PASANTÍA	9
3.1. OBJETIVO GENERAL	9
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
4. JUSTIFICACIÓN	10
4.1. DELIMITACIÓN	11
5. MARCO DE REFERENCIA DE LA PASANTÍA	11
5.1. MARCO TEÓRICO.....	11
5.2. MARCO CONCEPTUAL	16
5.3. MARCO LEGAL, POLÍTICO Y CONTEXTO INTERNACIONAL.....	18
6. DISEÑO METODOLÓGICO.....	20
7. MATERIALES Y MÉTODOS	21
8. RESULTADOS	28
8.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DE LA BIOMASA	28
8.2. PRUEBAS EXPERIMENTALES.....	30
8.2.1.Porcentaje de Aprovechamiento	30
8.2.2.Rampa de Calentamiento.....	31
8.3. GENERACIÓN DE ENERGIA (POTENCIA).....	33
8.4. GENERACIÓN DE RESIDUOS	35
8.5. FACTIBILIDAD AMBIENTAL Y ECONÓMICA.....	36
9. APORTES A LA INVESTIGACIÓN	44
10. CONCLUSIONES	45
11. RECOMENDACIONES	47
REFERENCIAS (BIBLIOGRAFÍA).....	48

	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL RETAMO ESPINOSO (<i>Ulex europaeus</i>) A PARTIR DE GASIFICACIÓN		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Pasantía	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

LISTADO DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Componentes de producción de energía eléctrica mediante la gasificación de residuos maderable	12
Ilustración 2. Composición de agentes gasificante.....	13
Ilustración 3. Quema controlada de Retamo Espinoso.....	15
Ilustración 4. Metodología para para evaluación del potencial energético del retamo espinoso mediante gasificación.	20
Ilustración 5. Tronco Retamo Espinoso (<i>Ulex europeaus</i>)	21
Ilustración 6. Extrusión de Retamo Espinoso (Muestra).....	21
Ilustración 7. Equipos de gasificación POWER PALLET	25
Ilustración 8. Plancha de secado con tronco de retamo espinoso.....	25
Ilustración 9. Proceso de Trituración	26
Ilustración 10. Tamices.....	27
Ilustración 11. Tamaños de retamo espinoso	27

	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL RETAMO ESPINOSO (<i>Ulex europaeus</i>) A PARTIR DE GASIFICACIÓN		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Pasantía	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

LISTADO DE GRAFICAS

Grafica 1. Resultados % de Aprovechamiento	30
Grafica 2. Temperatura de Restricción.....	32
Grafica 3. Temperatura de Reducción.....	32
Grafica 4. Comportamiento de Generación de energía.	33
Grafica 5. Biomasa consumida por KWh generado	34
Grafica 6. Resultados residuos generados.....	35

	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL RETAMO ESPINOSO (<i>Ulex europaeus</i>) A PARTIR DE GASIFICACIÓN		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Pasantía	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros de Funcionamiento Normal	13
Tabla 2. Características de la Biomasa	13
Tabla 3. Resultados Contenido de humedad	28
Tabla 4. Resultados Contenido de Cenizas	28
Tabla 5. Resultados de pH	29
Tabla 6. Resultados del porcentaje de aprovechamiento	30
Tabla 7. Consumo de biomasa por KWh generado	34
Tabla 8. Criterios de Valoración	36
Tabla 9. Rangos de Significancia	37
Tabla 10. Matriz Ambiental	38
Tabla 11. Costos del Proyecto	40
Tabla 12. Costos del Proyecto	41
Tabla 13. Calculo para cuantificación de Beneficio Ambiental	41
Tabla 14. Energía Generada	42
Tabla 15. Ahorro en energía eléctrica	42
Tabla 16. Biomasa en Kg	43
Tabla 17. Capacidad de Tratamiento de Biomasa	43

	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL RETAMO ESPINOSO (<i>Ulex europaeus</i>) A PARTIR DE GASIFICACIÓN		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Pasantía	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

1. TÍTULO DE LA PASANTÍA

EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL RETAMO ESPINOSO A PARTIR DE GASIFICACIÓN.

2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN (PASANTIA)

2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Las especies exóticas invasoras pueden transformar la estructura de los ecosistemas y las especies nativas que lo componen, reprimiéndolas o excluyéndolas, ya sea directamente compitiendo con ellas por los recursos, o indirectamente cambiando la forma en que los nutrientes se reciclan. (McNeely, J.A., H.A. Mooney, L.E. Neville, P. Schei, y J.K.Waage., 2001)

El retamo espinoso es una especie exótica invasiva y fue incluida en el año 2012 dentro de la lista roja de especies invasoras de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) en una categoría de preocupación menor¹.(IUCN 2012). Esta especie es proveniente de Europa, asentándose en varios sectores dentro y fuera de Bogotá, donde su adaptación fue hacedera, superando todas las etapas de la invasión biológica (introducción, colonización, establecimiento y dispersión) (Castillo 2008), de tal manera que ha causado alteraciones en los diversos ecosistemas, donde se radica. Lo anterior se debe a los atributos del retamo espinoso, como la capacidad de producción de semillas y la capacidad de regeneración, le permite apropiarse de varios entornos.

El retamo espinoso tiene una serie de implicaciones en los componentes ecológico, social y económico (Rios, Hurtado & Solorza, 2013). El componente ecológico es una de las preocupaciones más altas, donde la conformación de matorrales y núcleos domina y desplaza las especies nativas (Ríos 2001) ocasionando así un desplazamiento de la fauna por pérdida de hábitad. El suelo también sufre una alteración en sus componentes nutritivos y el aumento del nivel de acidez lo que se convierte en un limitante para el crecimiento de otras especies (Castillo 2008). Otro de los impactos negativos se relaciona con el aceitoso follaje del retamo espinoso y su acumulación de necromasa, incrementando así el riesgo de incendio (Rozas 2008).

¹ Se considera de Preocupación Menor cuando después de evaluado los criterios, no califica como en peligro crítico, en peligro, vulnerable o casi amenazado. Las especies abundantes se incluyen en esta categoría.

	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL RETAMO ESPINOSO (<i>Ulex europaeus</i>) A PARTIR DE GASIFICACIÓN		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Pasantía	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

Estos impactos, entre otros contribuyen a la alteración de la dinámica de los diversos ecosistemas donde hace presencia el retamo espinoso.

El componente social y económico, la invasión de retamo espinoso reduce los terrenos para uso productivo en el sector agropecuario, alterando la composición del suelo a causa del cambio ocasionado en los ciclos naturales. Esto lo hace vulnerable a la pérdida de fertilidad y al riesgo de incendios forestales, lo que ocasiona desplazamientos de personas y pérdidas económicas en desvalorización de la tierra y en la restauración de la misma (Castillo 2008)

Dentro del mismo contexto ambiental, es evidente que hay que tomar medidas ante el clima cambiante, por eso el gobierno nacional se encuentra preocupado por las actividades enfocadas a la reducción en emisiones de gases de efecto invernadero. Esta vulnerabilidad al cambio climático, ha hecho que el gobierno está articulando esfuerzos para lograr la mitigación de gases de efecto invernadero, estableciendo medidas para proteger los bosques, reducir la deforestación y hacer que las empresas incorporen medidas eficientes en el desarrollo de sus procesos. Sin embargo, estas iniciativas no son suficientes, es por eso que se requiere la participación de varios actores que contribuyan a la investigación y puesta en marcha de estrategias de eficiencia energética, energías renovables, entre otras, que permitan reducir las emisiones registradas durante la COP21. (Acuerdo París)

2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es la eficiencia energética del retamo espinoso como fuente de combustión para la generación de energía eléctrica mediante gasificación?

	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL RETAMO ESPINOSO (<i>Ulex europaeus</i>) A PARTIR DE GASIFICACIÓN		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Pasantía	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

3. OBJETIVOS DE LA PASANTÍA

3.1. OBJETIVO GENERAL

Definir el potencial energético del Retamo espinoso *Ulex europaeus*, mediante el sistema de gasificación POWER PALLET®, para la generación de energía eléctrica.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar física y químicamente el Retamo espinoso, para conocer sus características como combustible.
- Establecer cuanta energía eléctrica se obtiene por unidad másica de retamo espinoso.
- Evaluar la factibilidad ambiental y económica del proceso.

	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL RETAMO ESPINOSO (<i>Ulex europaeus</i>) A PARTIR DE GASIFICACIÓN		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Pasantía	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

4. JUSTIFICACIÓN

Actualmente se han establecido estrategias a nivel mundial con el fin de reducir la dependencia energética de las fuentes de energía convencionales, donde principalmente se quiere llegar a la reducción de emisiones de CO₂ y aumentar el uso de las energías renovables. Los retos energéticos y socio ambientales planteados han llevado a considerar la biomasa como una fuente de energía renovable, la cual ha sido participe en varios estudios experimentales que le han atribuido beneficios como el alto potencial energético, el sostenimiento de la forestación y la minimización de riesgos de incendios.

Desde el año 2008 a nivel nacional se establece que el retamo espinoso hace parte de las especies exóticas invasoras en Colombia, causando alteraciones negativas en los ecosistemas. La investigación y el control dado para evitar que esta especie siga causando daños ha sido desarrollada por entidades gubernamentales y no gubernamentales, donde han presentado propuesta para el manejo, control y restauración de áreas invadidas por retamo espinoso y de las cuales algunas han tenido éxito, sin embargo, muchas veces los controles implementados requieren de más tiempo del que requiere la planta para reproducirse y expandirse.

Actualmente en el Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis (JBB), implementa la técnica de extrusión para el retamo espinoso, la cual consiste en pulverizar la semilla a través del tratamiento técnico mecánico realizado por el equipo de extrusión, obteniendo así un material pulverizado el cual es aprovechado en un proceso de compostaje para realizar la transformación en sustratos, sin embargo no todo el material es apto para este tratamiento, como lo es el tronco del retamo espinoso, esto a causa que las condiciones de operación de la extrusora, limitan el material de acuerdo a su tamaño y dureza para evitar daños en el equipo, por lo tanto a este residuo no se le está generando ningún tratamiento.

Con este trabajo se espera evaluar la posibilidad de ampliar las fuentes de biomasa usadas para la generación de energía eléctrica, mediante gasificación y al mismo tiempo brindar una alternativa de control para una de las especies exóticas invasoras que se encuentran alrededor de Bogotá como lo es el retamo espinoso.

	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL RETAMO ESPINOSO (<i>Ulex europaeus</i>) A PARTIR DE GASIFICACIÓN		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Pasantía	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

4.1. DELIMITACIÓN

4.1.1. Delimitación Geográfica

El proyecto de pasantía se desarrolló en la ciudad de Bogotá, dentro de las instalaciones del Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis, los laboratorios de la Universidad ECCI y el laboratorio de suelos de la Universidad Libre.

El área de estudio dentro del Jardín Botánico será el Sector de Aprovechamiento donde se encuentra el sistema de Gasificación.

4.1.2. Delimitación operativa

Teniendo en cuenta las investigaciones adelantadas por el Jardín Botánico de Bogotá en cuanto a las zonas afectadas por el retamo espinoso, ellos dispusieron del material biológico dentro de sus instalaciones para realizar las pruebas necesarias.

4.1.3. Delimitación Temporal

Esta pasantía se desarrolló en 6 meses (900 horas) acorde al tiempo estimado de la pasantía.

5. MARCO DE REFERENCIA DE LA PASANTÍA

5.1. MARCO TEÓRICO

Durante los últimos años se ha observado las consecuencias del cambio climático y su afectación en zonas rurales y urbanas, donde las ciudades cada vez están siendo más vulnerables. Durante la COP21 desarrollada en París en el 2015 se estableció como objetivo del acuerdo, mantener el aumento de la temperatura por debajo de 2°C y promover esfuerzos para no sobrepasar 1,5°C (*García 2016*); El gobierno Colombiano estableció un reto al anunciar que reduciría en un 20% las emisiones para el año 2030, esto se definió teniendo en cuenta los datos registrados en cuanto al inventario de emisiones de gases de efecto invernadero del año 2010, donde se observa que Colombia está contribuyendo en un 0.46% de las emisiones globales (*García 2015*).

De las 10 Acciones específicas definidas para la adaptación del cambio climático al año 2030, se resalta la número 4, donde se mencionan los 6 sectores primarios de la economía (transporte; energía; agricultura; vivienda; salud; comercio, turismo e industria), los cuales deben contemplar en los elementos de planificación las consideraciones frente al cambio climático y las acciones de adaptación innovadoras (*García 2015*).

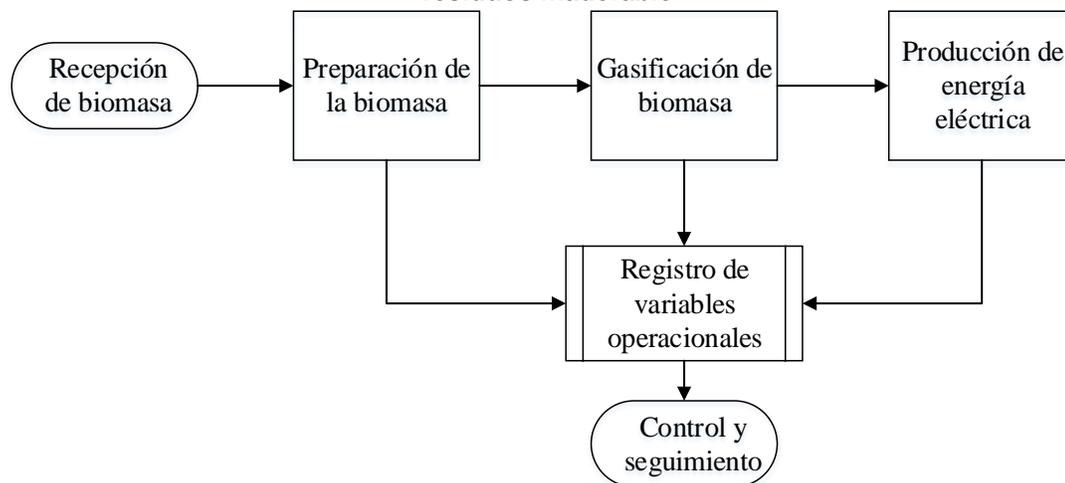
	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL RETAMO ESPINOSO (<i>Ulex europaeus</i>) A PARTIR DE GASIFICACIÓN		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Pasantía	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

Como parte de la modernización y mejora en cuanto a los procesos para la generación de energía eléctrica, en Colombia se ha impulsado el desarrollo de fuentes alternativas de energía limpia las cuales permiten reducir las emisiones generadas por las fuentes de energía convencionales.

Proceso de Gasificación

El sistema de gasificación consiste en la transformación de un material orgánico sólido a un producto gaseoso, denominado gas síntesis, lo que ocurre mediante un proceso termoquímico (combustión incompleta en ausencia parcial de oxígeno).

Ilustración 1. Componentes de producción de energía eléctrica mediante la gasificación de residuos maderable



Fuente: Manual los Sistemas de producción de energía eléctrica mediante gasificación. Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis (documento vigente 2017)

Dentro del proceso de gasificación se comprenden tres procesos térmicos, la pirólisis, la combustión y la reducción (Huaraz, 2013); cuando se habla de pirolisis se hace referencia a la etapa en la cual hay una descomposición química de la biomasa por medio de un calor intenso en ausencia de oxígeno; la combustión donde las sustancias formadas entran en contacto con el oxígeno para oxidarse y formar CO_2 y otros gases (Cortes, 2009) y la reducción que a partir de unas serie de reacciones químicas, hace que los compuestos y gases formados se reduzcan a estructuras químicas más simples como el CO , CH_4 y H_2 . (López, 2008)

	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL RETAMO ESPINOSO (<i>Ulex europaeus</i>) A PARTIR DE GASIFICACIÓN		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Pasantía	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

Identificación de Parámetros de Operación Gasificador

El equipo de Gasificación POWER PALLET tiene definido en su manual de operación los parámetros normales para su funcionamiento de la siguiente manera:

Tabla 1. Parámetros de Funcionamiento Normal

PARÁMETROS		CARACTERISTICA
Temperatura de operación(°C)	Trst	Entre 800 (°C) -1020 (°C)
	Trsd	>650 (°C)

Tabla 2. Características de la Biomasa

PARÁMETRO	CARACTERISTICA
Tamaño del material	>1.25 cm - <4 cm
Contenido de ceniza (%)	<5%
Humedad de la Biomasa	>10% - <30%

Composición del gas

El agente gasificante es un gas que entra en contacto con la biomasa aportando calor para dar inicio a las reacciones. Dentro de los agentes gasificante más comunes encontramos el aire y el oxígeno, según el que se use varía la composición del gas y poder calorífico.

Ilustración 2. Composición de agentes gasificante

Composición(% vol.)	Agente gasificante		
	O ₂	Aire	O ₂
CO	14,0	17,4	36
H ₂	36,2	23,3	40
CH ₄	13,1	5,1	2,5
CO ₂	34,0	14,8	19,5
N ₂	1,2	38,5	1,7
Alquitranes (% peso)	4 - 0,5	4 - 0,5	4 - 0,5
Partículas (g/Nm ³)	1 - 100	1 - 100	1 - 100
Poder calorífico (Kcal/Nm ³)	2.600	1.750	2.350

Fuente: Hidrógeno y pilas de combustible: estado actual y perspectiva inmediata

Para el caso del Gasificador POWER PALLET se usa como agente gasificante el aire, lo cual minimiza los costos de operación dado el caso que se usara oxígeno.

	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL RETAMO ESPINOSO (<i>Ulex europaeus</i>) A PARTIR DE GASIFICACIÓN		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Pasantía	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

Situación del Retamo Espinoso, *Ulex europaeus* en Colombia

El Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (2005) declaró como especies invasoras en plantas al retamo espinoso *Ulex europaeus* (Gutiérrez 2006); para el año 2012 la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) la incluye dentro de la lista de las especies invasoras a nivel global.

De acuerdo a la literatura consultada, gran cantidad de los ecosistemas nativos de montaña de los alrededores de Bogotá han sufrido transformaciones a causa de las comunidades humanas, lo que ha dado ventaja a la expansión de especies invasoras como *Ulex europaeus* (Beltrán 2014, Barrera 2014). Teniendo en cuenta esto, la invasión por el retamo espinoso ha conllevado a múltiples consecuencias en los ecosistemas, afectando la abundancia y distribución de especies nativas, la modificación de los suelos, ocasionando que estos tiendan a ser ácidos y secos. Un estudio realizado por el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, documentado en el año 2015 indica que el retamo espinoso se radica en tres ecosistemas fundamentales: subpáramo, bosque andino y bosque húmedo tropical (Cárdenas T.J., Baptiste M.P, Ramírez W. y Aguilar G,M. (Eds.) 2015.)

Basados en estos impactos negativos en la diversidad, suelo, y recurso hídrico (Ríos, Reyes 2005) diversos actores institucionales han tomado medidas de control y erradicación de la especie, algunas más eficientes que otras, sin embargo se consideran dos factores importantes para llevar a cabo este proceso, el primero hace referencia a las características de la planta, teniendo en cuenta que es una especie pirófila, es decir son resistentes al fuego, agregando que son grandes acumuladoras de necromasa (material vegetal muerto) lo que hace más vulnerable la materialización de un incendio forestal. Una de las desventajas más representativas, es la dinámica de expansión de la planta, debido a su reproducción en forma sexual y asexual, dificulta la efectividad en los procesos de control y erradicación.

El segundo factor es el económico, pues se presenta desventajas en los controles, investigados e implementados, por ejemplo, la eliminación mecánica (Corte, arranque manual), es una técnica eficiente pero costosa, es difícil aplicar en grandes escalas y requiere de mucho tiempo.

	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL RETAMO ESPINOSO (<i>Ulex europaeus</i>) A PARTIR DE GASIFICACIÓN		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Pasantía	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

La Secretaria Distrital de Ambiente SDA, dentro del marco de proyectos que lidera, contempla el proyecto de restauración ecológica por invasión de retamo espinoso, para lo cual debe gestionar las actas de voluntades de mutuo acuerdo con los propietarios de los predios. Las actividades desarrolladas en estos proyectos se contemplan desde el reconocimiento y diagnóstico del área, valorización y priorización del problema y la implementación de estrategias de restauración entre otras.

La Secretaria Distrital de Ambiente remite una “Propuesta de un instructivo para áreas mayores a 5.000 m² invadidas por retamo espinoso”, la cual fue suministrada en el mes de noviembre de 2016, presentando informalidad en la documentación, recomienda como una estrategia de restauración la remoción y eliminación manual y mecánica del retamo espinoso, conociendo que esta técnica requiere de más inversión económica y mayor tiempo empleado, sin embargo es la más efectiva en cuanto a la eliminación del retamo espinoso y mitigación en la afectación a otros ecosistemas. Una vez recolectada la biomasa es transportada al hoyo de incineración diseñado previamente en el cual se procede a realizar la quema controlada, previa autorización de la Corporación Autónoma Regional, como autoridad ambiental.

Ilustración 3. Quema controlada de Retamo Espinoso. Hoyo de incineración construido en el Hato, localidad de Usme.



Fuente: Instructivo SDA.

	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL RETAMO ESPINOSO (<i>Ulex europaeus</i>) A PARTIR DE GASIFICACIÓN		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Pasantía	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

5.2. MARCO CONCEPTUAL

Biomasa	<p>Es el nombre dado a cualquier materia orgánica de origen reciente que haya derivado de animales y vegetales como resultado del proceso de conversión fotosintético. La energía de la biomasa se deriva del material vegetal y animal, madera de bosques, residuos de procesos agrícolas, forestales, de la basura humana y de animales. (García y Sosa 2010)</p>
Porcentaje de aprovechamiento	<p>Porcentaje que establece la cantidad de material maderable apto para el proceso de gasificación de acuerdo con las especificaciones técnicas de los sistemas de producción de energía eléctrica Power Pallet ®. (Jardín Botánico de Bogotá, 2016)</p>
Retamo espinoso	<p><i>Su nombre científico es Ulex europaeus es un arbusto de hoja perenne que crece en suelos arenosos secos (IUCN 2016).</i></p> <p>Arbusto heliófilo, fijador de nitrógeno (simbiosis con bacterias formadora de nódulos en las raíces); reproducción sexual y asexual, capacidad para rebrotar a partir de la base del tronco y de raíces superficiales; producción de flores y semillas durante todo el año, autopolinización, los frutos permanecen por un período largo en la planta, dispersión abiótica de la semilla, formación de bancos de semillas persistentes y abundantes, germinación rápida de la semilla, tiempo corto entre la fase de plántula y la madurez sexual, alta tasa de crecimiento, individuos adultos longevos, defensas estructurales antiherbívoro (espinas largas y punzantes), capacidad para hacer fotosíntesis en todas sus ramas, presencia de un sistema radical con amplio rango de acción superficial y profunda, acumulación de necromasa en pie, ausencia de depredadores nativos o introducidos, pirófila, oportunista de disturbios, capacidad para formar parches homogéneos, alta capacidad competitiva, resistencia a estrés y disturbios, plasticidad fenotípica que le permite adaptarse fácilmente a cambios en el hábitat (Ríos y Vargas 2003) (Díaz 2012).</p>

	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL RETAMO ESPINOSO (<i>Ulex europaeus</i>) A PARTIR DE GASIFICACIÓN		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Pasantía	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

Gasificación	<p>Proceso que consta de reacciones termoquímicas de modo que transforma la materia orgánica en una mezcla de gases. Principalmente se compone de cuatro reacciones que pueden suceder de forma paralela en diferentes zonas del gasificador. (Cujia y Bula 2010). Estos son Secado (100-150°C), pirolisis (200-500°C), combustión y craqueo (800-1200°C) y reducción (650-900°C).(Introduction to the Power Pallet- V1-09)</p> <p>A continuación se menciona la función de cada reacción dentro del gasificador Power Pallet, de acuerdo a lo descrito en el manual Sección 1:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Secado: Eliminación de la humedad de la materia prima ● Pirolisis: Degradación térmica de la materia prima en gases de alquitrán y carbón. ● Combustión y craqueo de alquitrán: quemado de carbón y gases de alquitrán para proporcionar calor para el resto de los procesos y el craqueo térmico de una parte de los gases de alquitrán en CO y H₂. ● Reducción: Reacción de los productos de la combustión y del carbón para producir combustible gaseoso. <p>A continuación se muestra el Gasificador Power Pallet instalado en el Jardín Botánico de Bogotá Jose Celestino Mutis</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">Fuente: Registro fotográfico tomado por autor</p>
---------------------	---

	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL RETAMO ESPINOSO (<i>Ulex europaeus</i>) A PARTIR DE GASIFICACIÓN		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Pasantía	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

5.3. MARCO LEGAL, POLÍTICO Y CONTEXTO INTERNACIONAL

5.3.1. Marco Legal y político

- **Constitución Política de Colombia. Artículo 8.** Es obligación del Estado y de los particulares proteger las riquezas culturales y naturales de la Nación. **Artículo 79.** El Estado debe proteger el medio ambiente, y velar por el derecho que tienen todos los ciudadanos a gozar de un ambiente sano.
- **Decreto Ley 2811 de 1974.** Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.
- **Ley 629 del 2000.** Por medio de la cual se aprueba el "Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático", hecho en Kyoto el 11 de diciembre de 1997.
- **Resolución 0848 del 2008.** Por la cual se declaran unas especies exóticas como invasoras y se señalan las especies introducidas irregularmente al país que pueden ser objeto de cría en ciclo cerrado y se adoptan otras determinaciones.
- **Resolución 7615 De 2009.** Prohíbe la producción, plantación y comercialización del Retamo Espinoso (*Ulex europaeus*) y Retamo Liso (*Teline monspessulana*).
- **Resolución 469 de 2009.** Se prohíbe la plantación, trasplante, venta, distribución y comercialización de las especies Retamo Espinoso (*Ulex europaeus*) y Retamo Liso (*Teline monspessulana*).
- **Decreto 1073 de 2015 (Ley 1715 de 2014).** Regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional.
- **Decreto 298 de 2016.** Por el cual se establece la organización y funcionamiento del Sistema Nacional de Cambio Climático y se dictan otras disposiciones.
- **Ley 165 DE 1994. Política Nacional de Biodiversidad.** Establece un marco general y de largo plazo para orientar las estrategias nacionales en adopción de medidas para la conservación de la biodiversidad, uso sostenible y distribución de beneficios que se deriven de su utilización.

	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL RETAMO ESPINOSO (<i>Ulex europaeus</i>) A PARTIR DE GASIFICACIÓN		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Pasantía	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

- **Acuerdo CAR No. 9 del 2010.** Establece los requisitos y el procedimiento para desarrollar planes de restauración ecológica, orientados a recuperar las zonas degradadas o afectadas por especies exóticas o invasoras, ubicadas en áreas protegidas de la jurisdicción de la CAR.
- **Plan distrital de restauración ecológica 2010 – 2038.** Es un instrumento operativo de la Política de Gestión para la Conservación de la Biodiversidad en el Distrito Capital.
- **Decreto 1073 de 2015 (Ley 1715 de 2014).** Regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional.
- **Ley 697 de 2001.** Definiciones aplicables al uso eficiente de la energía, programas de uso eficiente en toda la cadena, estímulos y sanciones.
- **Decreto 1073 de 2015 (Decreto 3683 de 2003).** Definiciones aplicables al uso eficiente de la energía, mecanismos de participación por parte de las empresas, criterios de distinción en uso eficiente de la energía y programa de uso eficiente de la energía.
- **Resolución 029 de 2016.** Se define un esquema de tarifas diferenciales para establecer los costos de prestación del servicio de energía eléctrica a usuarios regulados en el Sistema Interconectado Nacional (SIN), para promover el ahorro voluntario de energía.

5.3.2. Contexto Internacional

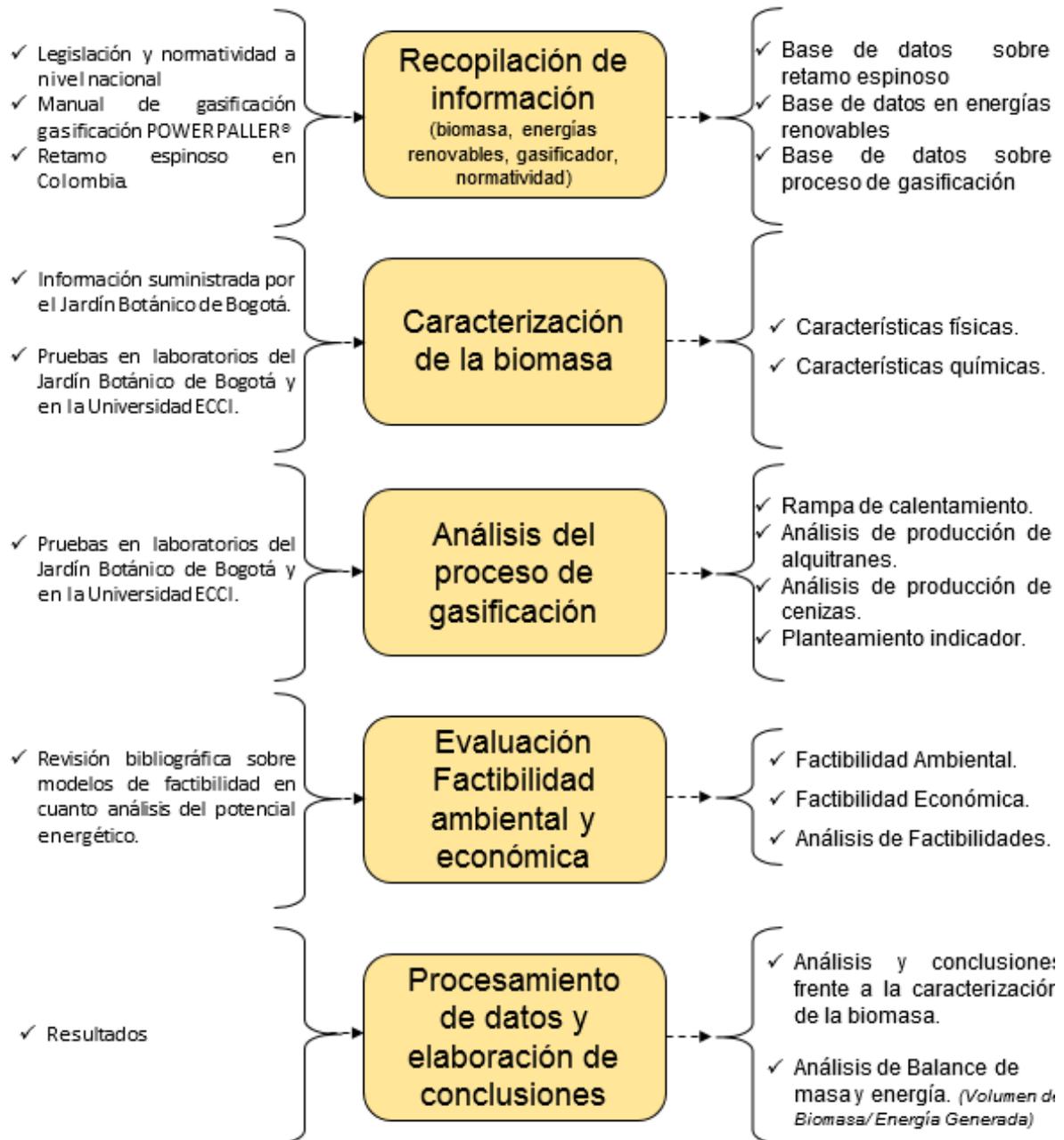
- **Estrategia Mundial sobre Especies exóticas invasoras.** Resume las conclusiones más importantes de la Conferencia de Síntesis de la Fase I del Programa Mundial sobre Especies Invasoras (GISP), desarrollada en el año 2000 en Ciudad del Cabo, Sudáfrica, esta estrategia presenta diez respuestas para mitigar las amenazas que representan las especies exóticas invasoras.
- **Convención Internacional de Protección Fitosanitaria.** Elabora disposiciones para la aplicación de medidas por parte de los gobiernos con objeto de proteger sus recursos vegetales de plagas perjudiciales (medidas fitosanitarias) que pueden introducirse mediante el comercio internacional. La convención define como “plaga” toda forma de vida vegetal o animal, o todo agente patógeno, dañino o potencialmente dañino para las plantas o productos vegetales
- **Convenio de diversidad Biológica.** Es un instrumento global enfocado a la promoción de la conservación de la biodiversidad y el aprovechamiento sustentable del capital natural.

	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL RETAMO ESPINOSO (<i>Ulex europaeus</i>) A PARTIR DE GASIFICACIÓN		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Pasantía	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

6. DISEÑO METODOLÓGICO

La metodología de la pasantía se detalla a continuación:

Ilustración 4. Metodología para para evaluación del potencial energético del retamo espinoso mediante gasificación.



Fuente: Autor

	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL RETAMO ESPINOSO (<i>Ulex europaeus</i>) A PARTIR DE GASIFICACIÓN		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Pasantía	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

7. MATERIALES Y MÉTODOS

El desarrollo de las pruebas de laboratorio se llevó a cabo en el área de aprovechamiento de residuos orgánicos del Jardín Botánico de Bogotá, el laboratorio de química y biología de la Universidad ECCI y el laboratorio de Suelos de la Universidad Libre.

7.1. Caracterización de la Biomasa, Retamo Espinoso *Ulex europaeus*.

La caracterización físico-química del tronco del Retamo Espinoso *Ulex europaeus*, se realizó a través de los métodos estándar ASTM, facilitados por el Jardín Botánico de Bogotá, a continuación se muestra la imagen del tronco del retamo espinoso *Ulex europaeus*.

Ilustración 5. Tronco Retamo Espinoso (*Ulex europaeus*)



Fuente: Autor

Para llevar a cabo los procedimientos en laboratorio fue necesario el uso de la extrusora y así pulverizar el tronco.

Ilustración 6. Extrusión de Retamo Espinoso (Muestra)



Fuente: Autor

	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL RETAMO ESPINOSO (<i>Ulex europaeus</i>) A PARTIR DE GASIFICACIÓN		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Pasantía	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

Método estándar para el análisis de contenido de Humedad: Norma ASTM E871

Equipos y Materiales: Tamiz, Horno de Convección, Desecador, Balanza analítica, Crisoles, Espátula, Bolsas Ziploc

PROCEDIMIENTO	<p>Homogenizar la muestra a partículas de 0.250mm (Malla 60)</p>		
	<p>Pesar el recipiente vacío y luego pesarlo con la biomasa y registrar</p>		
	<p>Llevar los recipientes al horno de convección y mantener a 70°C durante 24 horas y luego dejar enfriar en el desecador.</p>		
	<p>Tarar la balanza y pesar el recipiente con la biomasa y registrar el peso.</p>		
	<p>Determinación del % de humedad:</p> $\%H = \left\{ \frac{(W_i - W_f)}{W_i} \right\} \times 100$	<p>W_i = Peso Inicial de la muestra (se discrimina el peso del recipiente)</p> <p>W_f = Peso final de la muestra (se discrimina el peso del recipiente)</p> <p>H = Humedad</p>	

Fuente: Autor

	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL RETAMO ESPINOSO (<i>Ulex europaeus</i>) A PARTIR DE GASIFICACIÓN		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Pasantía	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

Método de prueba estándar para la determinación del contenido de cenizas: Norma ASTM D 3174.

<ul style="list-style-type: none"> • Equipos y Materiales: Tamiz, mufla, desecador, balanza analítica, crisoles, espátula, bolsas ziploc 				
PROCEDIMIENTO	<p>Homogenizar la muestra a partículas de 0.250 mm. (Malla 60)</p>			
	<p>Tarar la balanza y pesar aproximadamente 5 gramos de biomasa</p>			
	<p>Calentar las muestras en la mufla durante 4 horas de modo que al final la temperatura sea de 650°C.</p>			
	<p>Una vez enfriada la mufla se toma el crisol y se pasa a un desecador para que en la última etapa se registre el peso final.</p> <p>Este procedimiento se debe realizar lo más rápido posible para minimizar la absorción de humedad.</p>			
	<p>Determinación del % de humedad</p> $\%C = \left\{ \frac{W_f}{W_i} \right\} \times \left\{ \frac{(100 - \%H)}{100} \right\}$	<p>W_i = Peso Inicial de la muestra (se discrimina el peso del recipiente)</p> <p>W_f = Peso final de la muestra (se discrimina el peso del recipiente)</p> <p>C = Cenizas</p> <p>H= Humedad</p>		

Fuente: Autor

	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL RETAMO ESPINOSO (<i>Ulex europaeus</i>) A PARTIR DE GASIFICACIÓN		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Pasantía	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

Método para medir el pH.

<ul style="list-style-type: none"> • Equipos y Materiales: Erlenmeyer, Estufa para calentamiento, Filtros de papel, Peachimetro 		
PROCEDIMIENTO	<p>Se pesa el Erlenmeyer vacío, se adiciona 50g de biomasa y se adiciona 600ml de agua destilada.</p>	
	<p>Se mezcla la pasta y se coloca a hervir durante 10 minutos.</p>	
	<p>Se enfría y se decanta la pasta.</p>	
	<p>Se calibra el peachimetro, luego se introduce el electrodo en la pasta saturada y se registra la lectura.</p>	

Fuente: Autor

Este procedimiento se realizó siguiendo el método establecido en el Jardín Botánico de Bogotá, donde al mezclar la biomasa con agua, para formar la pasta, pudo alterarse la muestra.

	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL RETAMO ESPINOSO (<i>Ulex europaeus</i>) A PARTIR DE GASIFICACIÓN		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Pasantía	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

7.2. Línea Base Gasificador

En el jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis cuenta con un sistema de gasificación compuesto por dos equipos de gasificación POWER PALLET de 20 KW de potencia cada uno. Estos equipos fueron adquiridos por el integrador de sistemas, Tetra Tech, con la ayuda de una donación de USAID.

Ilustración 7. Equipos de gasificación POWER PALLET



Fuente: Autor

Dentro del Jardín Botánico de Bogotá se cuenta con la biomasa a investigar, retamo espinoso (*Ulex europaeus*), adicionalmente se tienen como elementos de apoyo una balanza para registrar el peso de la biomasa, una plancha de secado, tamices para biomasa y un medido de humedad.

Ilustración 8. Plancha de secado con tronco de retamo espinoso.



Fuente: Autor

	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL RETAMO ESPINOSO (<i>Ulex europaeus</i>) A PARTIR DE GASIFICACIÓN		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Pasantía	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

7.3. Pruebas Experimentales

Las pruebas de gasificación se realizaron en el Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis, con muestras de retamo espinoso obtenido a través de la técnica de remoción manual-mecánica, recolectado durante el segundo semestre de 2016. Esta biomasa es proveniente de zonas donde se contaba con convenio para su remoción como lo son: San Cristóbal Sur, Ciudad Bolívar, Parque presa seca, Cantarrana, Usme Parque Nacional Enrique Olaya Herrera, Parque metropolitano la Arboleda - y Arrayanes-Curubital Usme. (Información suministrada por funcionarios del JBB)

7.3.1. Preparación de la muestra de biomasa de retamo espinoso

La biomasa debe cumplir con un proceso de alistamiento antes de ser incorporada al proceso de gasificación, como lo es el secado, triturado y tamizado, a continuación se detalla cada uno de ellos:

Secado:

El secado realizado es de forma natural (Figura 8) el cual consiste en la pérdida de humedad contenida en el retamo espinoso por evaporación, por lo tanto las condiciones meteorológicas influyen altamente en el secado de la biomasa.

Es necesario el proceso de Secado del Retamo espinoso, el cual adapta la biomasa a las condiciones necesarias para la operación en el Gasificador.

Triturado

El proceso de triturado se realiza manualmente, debido que la trituradora que se encuentra en el jardín botánico de Bogotá, no es la adecuada debido a que fragmentaría el Retamo espinoso, dejándolo no apto para el proceso de gasificación.

Ilustración 9. Proceso de Trituración²



Fuente: Autor

² Un operario durante cuatro días, con una intensidad horaria de 5 horas/día, pica alrededor de 30Kg de retamo espinoso.

	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL RETAMO ESPINOSO (<i>Ulex europaeus</i>) A PARTIR DE GASIFICACIÓN		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Pasantía	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

Tamizado

Para esta actividad se cuenta con tamices que permiten la segregación del material apto para el sistema de gasificación. Sin embargo algunas lonas de retamo espinoso presentan espinas, las cuales por su tamaño y enredaderas no cruzan las mallas del tamiz lo que hace que deben retirarse manualmente. Esto se puede evitar al momento de una separación adecuada del material al momento de su remoción in situ.

Ilustración 10. Tamices



Fuente: Autor

A continuación se muestran cada uno de los tamaños segregados después del proceso de triturado.

Ilustración 11. Tamaños de retamo espinoso



Fuente: Autor

Los tamaños descartados para el proceso de gasificación se integran al proceso de extrusión.

	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL RETAMO ESPINOSO (<i>Ulex europaeus</i>) A PARTIR DE GASIFICACIÓN		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Pasantía	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

8. RESULTADOS

8.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DE LA BIOMASA

a. Contenido de humedad

En la tabla 1 se muestra el contenido de humedad del retamo espinoso, evidenciando que el promedio se encuentra en 9.71%.

Tabla 3. Resultados Contenido de humedad

PRUEBAS HUMEDAD								
Crisol	Peso crisol vacío (g)	Peso crisol + muestra (g)	Peso inicial de la muestra (g)	Peso del crisol + muestra final (g)	Peso final muestra (g)	Humedad	%H	Promedio
1	44,7	58,7	14	57,2	12,5	0,107	10,71%	9,71%
2	47	60	13	58,7	11,7	0,100	10,00%	
3	49,1	63,1	14	61,8	12,7	0,093	9,29%	
4	37,5	51,5	14	50,2	12,7	0,093	9,29%	
5	40	54	14	52,7	12,7	0,093	9,29%	

Fuente: Autor

El porcentaje de humedad realizado al retamo espinoso, arrojo un 9.71% aproximadamente el 10% lo que indica que se encuentra dentro de las especificaciones establecidas para la operación del Gasificador.

Este porcentaje de humedad que muestra el retamo espinoso (base seca), es óptima para el proceso (10%-30%), de modo que si la biomasa presenta un alto contenido de humedad, el calor generado se emplearía para eliminar el agua, ocasionando una reducción en la eficiencia térmica que se requiere para la operación de los otros procesos que componen el sistema.

b. Contenido de cenizas

La tabla 2 Resume los resultados obtenidos en cuanto al porcentaje de cenizas.

Tabla 4. Resultados Contenido de Cenizas

PRUEBAS CONTENIDO DE CENIZA								
Crisol	Peso crisol vacío (g)	Peso crisol + muestra (g)	Peso inicial de la muestra (g)	Peso final muestra + crisol (g)	Peso final muestra (g)	Cenizas	%C	Promedio
1	43,1473	48,1540	5,0067	43,3541	0,2068	0,041	4,13%	4,48%
2	43,1249	47,9984	4,8735	43,3507	0,2258	0,046	4,63%	
3	41,2069	46,2880	5,0811	41,4309	0,224	0,044	4,41%	
4	41,6770	46,6468	4,9698	41,9072	0,2302	0,046	4,63%	
5	41,7600	46,7669	5,0069	41,9856	0,2256	0,045	4,51%	
6	29,7362	34,7539	5,0177	29,9653	0,2291	0,046	4,57%	

Fuente: Autor

	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL RETAMO ESPINOSO (<i>Ulex europaeus</i>) A PARTIR DE GASIFICACIÓN		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Pasantía	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

El contenido de cenizas fue del 4.48%, esto significa que está dentro de los límites permisibles para la operación del Gasificador, teniendo en cuenta que dentro del manual del POWER POLLET se encuentra establecido que el máximo permisible es del 5%.

Si el combustible presentara un porcentaje de cenizas mayor, existe una probabilidad alta para la formación de escoria, sin embargo no es el caso del retamo espinoso, pues como se puede observar en la Tabla 5, la formación de cenizas es inferior al límite establecido.

c. Análisis de pH

Tabla 5. Resultados de pH

pH			
Muestra	N° de medición	pH	Promedio
Muestra 1	1	6,76	6,67
	2	6,69	
	3	6,67	
	4	6,66	
	5	6,60	
	6	6,62	
Muestra 2 (Replica)	1	6,67	6,68
	2	6,68	
	3	6,70	
	4	6,68	
	5	6,67	
	6	6,69	

Fuente: Autor

Siguiendo el método de medición de pH desarrollado por el Jardín Botánico de Bogotá en las pasadas caracterizaciones de Biomasa para el proceso de gasificación, se obtuvo como resultado un pH de 6.68, lo que indica que tiende a ser neutro sin embargo existe tendencia a la acidez, por tanto podría representarse en corrosión dentro del equipo.

	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL RETAMO ESPINOSO (<i>Ulex europaeus</i>) A PARTIR DE GASIFICACIÓN		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Pasantía	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

8.2. PRUEBAS EXPERIMENTALES

8.2.1. Porcentaje de Aprovechamiento

Teniendo en cuenta las características del tamaño de la biomasa aceptables por los gasificadores, se llevó a cabo la selección granulométrica y se determinó el porcentaje de aprovechamiento para el retamo espinoso.

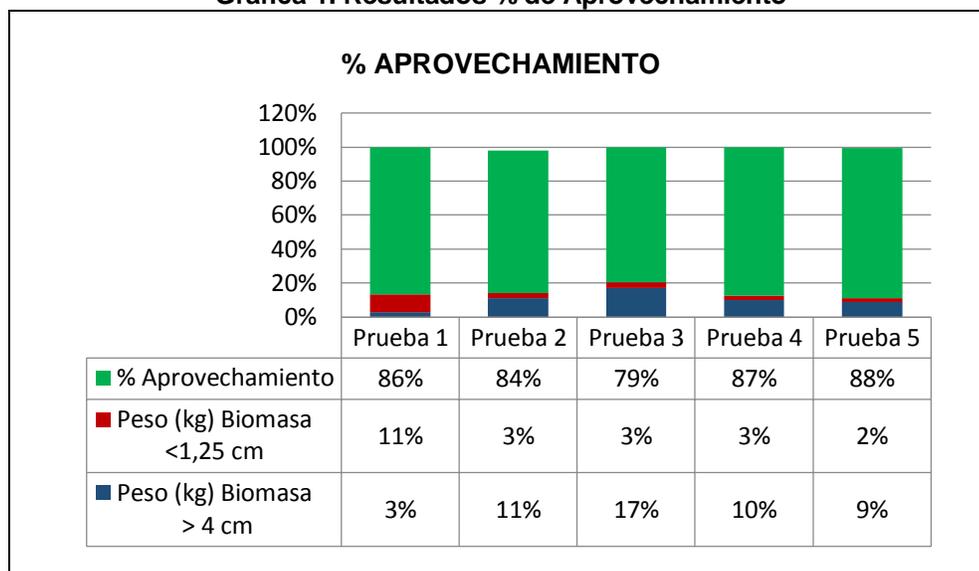
Tabla 6. Resultados del porcentaje de aprovechamiento

PORCENTAJE DE APROVECHAMIENTO DE RETAMO ESPINOSO						
No. Prueba	Biomasa Total (kg)	Peso (kg) Biomasa > 4 cm	Peso (kg) Biomasa <1,25 cm	Peso Biomasa Adecuada	% Aprovechamiento	Promedio
Prueba 1	35,3	1,01	3,74	30,53	86%	85%
Prueba 2	42,82	4,8	1,2	35,95	84%	
Prueba 3	38,45	6,52	1,32	30,48	79%	
Prueba 4	34,92	3,49	0,93	30,39	87%	
Prueba 5	35,05	3,1	0,85	30,9	88%	

Fuente: Autor

La primera clasificación granulométrica indica que alrededor del 10% la biomasa es mayor a 4cm, en la segunda clasificación la biomasa es menor a 1.25 cm, arrojando un porcentaje promedio del 4%. Lo que indica que el aprovechamiento del retamo espinoso es altamente representativo, sin embargo es importante resaltar que la metodología para el triturado del retamo es manual, lo que indica un mayor control al momento de la actividad.

Gráfica 1. Resultados % de Aprovechamiento



Fuente: Autor

	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL RETAMO ESPINOSO (<i>Ulex europaeus</i>) A PARTIR DE GASIFICACIÓN		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Pasantía	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

En el instante que se realiza la remoción y recolección del retamo espinoso, este es seleccionado en espina y tronco, lo que hace más fácil la actividad a la hora de realizar los demás procedimientos físicos de la biomasa.

8.2.2. Rampa de Calentamiento

Tabla: rampa de calentamiento

Prueba	Equipo	Hora de inicio	Tiempo requerido para conexión (min)
1	Gasificador	11:18	38
	Generador	11:55	
2	Gasificador	12:05	34
	Generador	12:38	
3	Gasificador	01:27	48
	Generador	02:14	
4	Gasificador	12:50	30
	Generador	01:19	
5	Gasificador	09:56	32
	Generador	10:27	
PROMEDIO			36.4

Fuente: Autor

El tiempo que usado para establecer una conexión entre el gas generado en el Gasificador y el generador es de 36.4 minutos, donde se puede evidenciar que el tiempo requerido es mínimo a comparación con la biomasa del Jardín Botánico de Bogotá ya que esta requiere de un tiempo de 50 a 60 minutos para realizar la conexión.

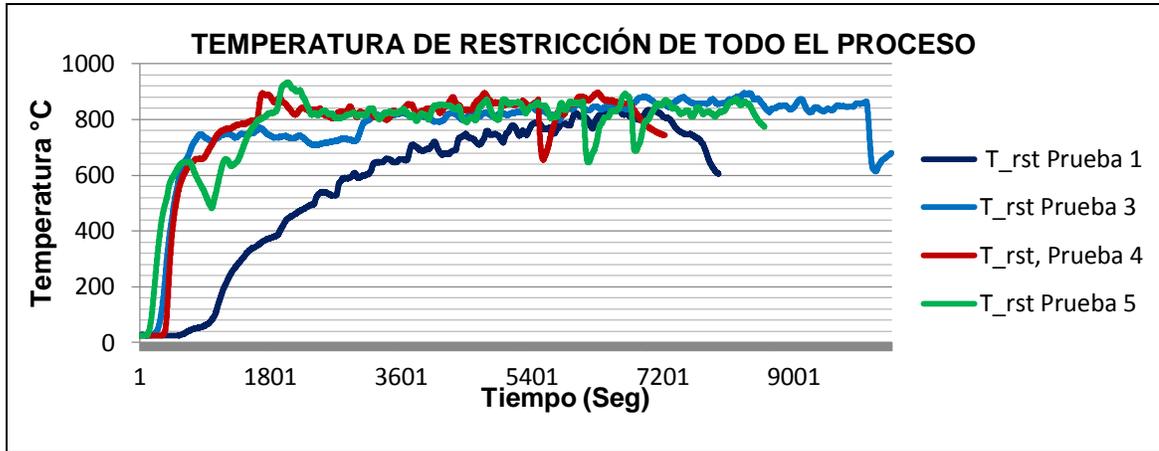
Temperatura de Restricción.

La temperatura de restricción es aquel registro tomado en la zona de combustión, y su línea base indica que debe encontrarse alrededor de 800 °C, sin superar los 1.000 °C (Manual de Power Pallet), como resultados se evidencia que en las pruebas 5 y 4 la temperatura de restricción alcanza los 800 °C alrededor de los 25 minutos, siendo el tiempo ideal de la conexión del Gasificador al generador un tiempo de 20 minutos.

Existen variaciones en la temperatura, presentando unos valores bajos, como se muestra en la prueba 4, originándose a causa del retiro de la tapa de la tolva para alimentar el gasificador con otra lona de biomasa, en ese momento se presentaban precipitaciones en el jardín botánico lo que ocasiona un descenso con mayor severidad en la temperatura. Una vez alimentado el Gasificador en esta misma prueba se realiza el Grate shaker (tamizado de cenizas presentes en el gasificador). Los descensos presentados en la prueba 5 se deben a los Grate Shaker realizados en ese momento. La prueba 1 y 3 presentaron un retardo para alcanzar la temperatura deseada, este fenómeno se puede justificar de acuerdo a que los parámetros identificados previamente de la biomasa se encontraban con mayor humedad que el de las demás. El pico más alto alcanzado fue el de la quinta prueba con 934 °C.

	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL RETAMO ESPINOSO (<i>Ulex europaeus</i>) A PARTIR DE GASIFICACIÓN		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Pasantía	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

Grafica 2. Temperatura de Restricción



Fuente: Autor

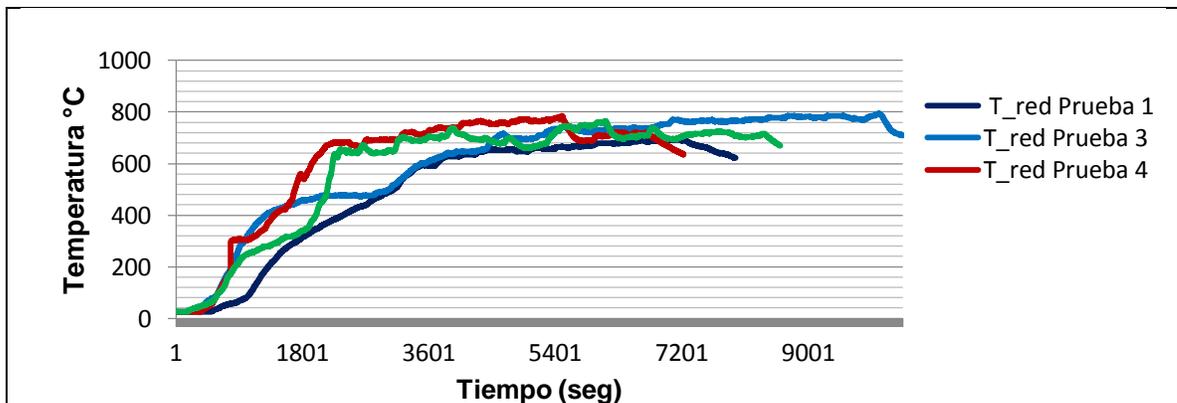
De acuerdo a la información sobre las pruebas realizadas en el jardín botánico con material residual urbano sin aglomerante, la temperatura de restricción alcanza un pico de 895°C, para el caso de las pruebas realizadas con retamo espinoso, la temperatura llego a alcanzar un pico de 934°C.

Temperatura de Reducción.

Se habla de temperatura de reducción aquella que es localizada en la reja de la cesta, abajo del reactor, es decir es la temperatura registrada en la etapa de reducción, encontrándose entre 700°C y 800°C.

Esta temperatura requiere de un mayor tiempo que la temperatura de restricción, para alcanzar los 650°C. El pico más alto alcanzado en la temperatura de reducción es el de la prueba número cuatro con 794°C, por otro lado las pruebas con la biomasa de las pruebas del jardín botánico registran un pico de 584°

Grafica 3. Temperatura de Reducción.

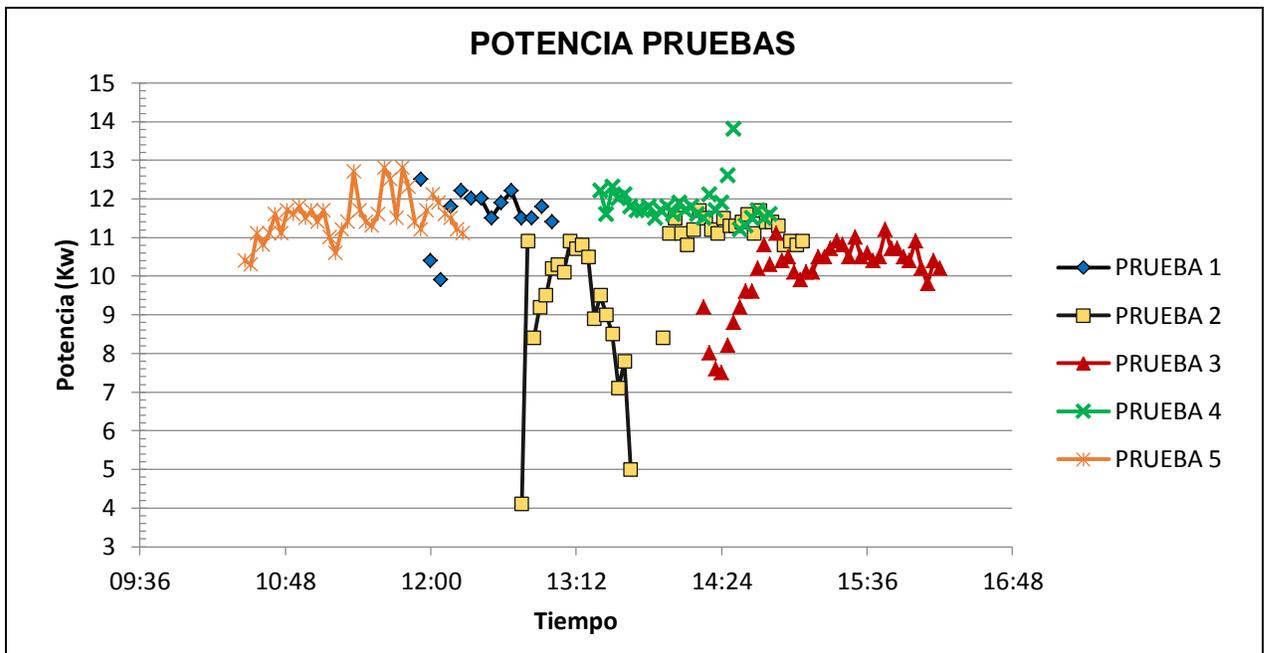


	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL RETAMO ESPINOSO (<i>Ulex europaeus</i>) A PARTIR DE GASIFICACIÓN		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Pasantía	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

8.3. GENERACIÓN DE ENERGIA (POTENCIA)

A continuación se observa las curvas de potencia de cada una de las pruebas. Para la prueba número 1 la generación de energía se registró la potencia cada 5 minutos a diferencia de las demás pruebas en las cuales se registró cada 3 minutos. El promedio arroja que todas las pruebas se mantuvieron alrededor de 11 Kw, lo cual se observa en la representación de las curvas, sin embargo la prueba 2 presente unos descensos significativos, esto se debe a que el Gasificador Número 2 se encontraba siendo sometido a cambios de repuestos, estos ajustes realizados generaban que el gas no fuera constante y se desconectara en varias ocasiones el generador.

Grafica 4.Comportamiento de Generación de energía.



Fuente: Autor

El generador que hace parte del sistema de gasificación, no cuenta con un dispositivo que permita registrar la potencia originada por el proceso, por consiguiente se debió registrar la potencia determinado tiempo. Para la prueba uno se realizó un registro de potencia cada 5 minutos, no obstante y para tener una mayor precisión a partir de la segunda prueba la potencia se registró cada 3 minutos.

Las potencias registradas por el jardín botánico fueron tomadas cada 10 minutos, por tanto se realizó el cálculo de la potencia generada minuto a minuto de las pruebas de retamo espinoso, con el fin de obtener las potencias cada 10 minutos, y así contar con el parámetro de comparación del retamo espinoso y la biomasa usada en el jardín botánico.

	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL RETAMO ESPINOSO (<i>Ulex europaeus</i>) A PARTIR DE GASIFICACIÓN		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Pasantía	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

Tabla 7. Consumo de biomasa por KWh generado

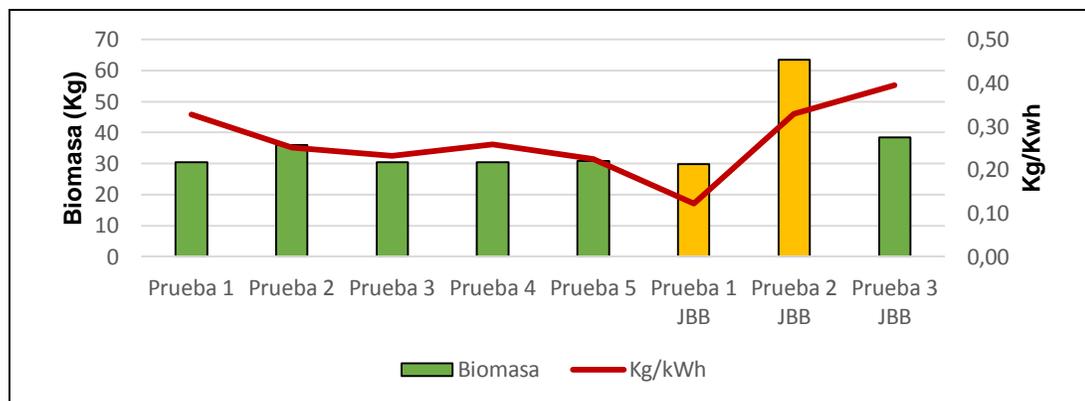
	Pruebas Retamo Espinoso					Pruebas Biomasa JBB		
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 1 JBB	Prueba 2 JBB	Prueba 3 JBB
Biomasa	30,53	35,95	30,48	30,39	30,9	29,84	63,54	38,51
Energía Generada	93,2	143,5	130,9	117,5	137,4	244	193	97,5
Kg/kWh	0,33	0,25	0,23	0,26	0,22	0,10	0,33	0,39

Fuente: Pruebas retamo espinoso y prueba 3 JBB, realizadas por autor. Prueba 1 y 2 JBB, información suministrada por el Jardín Botánico de Bogotá.

Las pruebas 1 y 2 correspondientes a la mezcla de biomasa del jardín botánico son datos suministrados por el mismo, la prueba 3 fue realizada y ejecutada como las demás pruebas del retamo espinoso. Se tomaron los datos anteriormente registrados en el jardín botánico, lo anterior a causa de no poder realizar más pruebas con biomasa del Jardín botánico debido a la finalización del contrato de la persona que operaba el gasificador, por tanto se tomó como registro la prueba 1 realizada en el mes de diciembre de 2016 y dos pruebas realizadas en periodos anteriores bajo el convenio interadministrativo 899.

En la siguiente gráfica se observa el consumo de retamo espinoso y de biomasa (Mezcla) del jardín botánico, donde para el retamo espinoso hay un consumo de biomasa por Kw generado en promedio del 0,26 kg/KWh y para las pruebas de la biomasa mezclada el promedio se encuentra en 0,28 Kg/KWh. De acuerdo a estos datos se puede decir que los dos tipos de biomasa se descomponen fácilmente. Sin embargo el retamo espinoso presenta una menor variabilidad en el consumo de biomasa por kw generado en cada una de las pruebas, lo que no sucede con la biomasa resultado de la poda del jardín botánico, ya que es una mezcla de varios residuos maderables y cada uno tienen características diferentes como combustible.

Gráfica 5. Biomasa consumida por KWh generado



Fuente: Autor

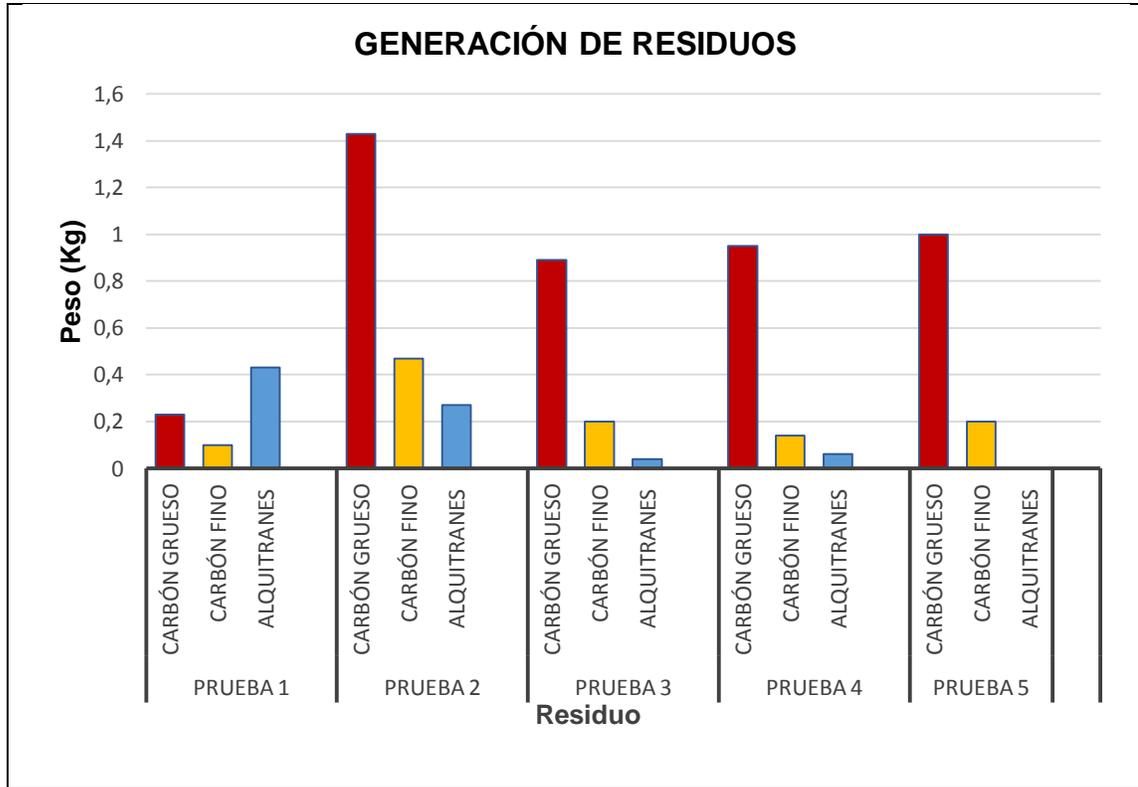
	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL RETAMO ESPINOSO (<i>Ulex europaeus</i>) A PARTIR DE GASIFICACIÓN		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Pasantía	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

8.4. GENERACIÓN DE RESIDUOS

Los residuos generados en cada prueba van sujetos a la calidad de las reacciones del proceso de gasificación del retamo espinoso que se halla presentado en cada una de ellas. Se observa en la prueba No. 2 un incremento significativo en cada uno de los residuos, sin embargo esto se debe a los ajustes que estaba recibiendo en su momento el Gasificador Número 2, el cual se apagó en varias ocasiones lo que interrumpió el proceso significativamente.

Se puede observar que la generación de alquitranes tuvo mayor presencia en la prueba número uno (1), esto se debe a que uno de los factores que favorecen la generación de alquitranes es la temperatura y para esta prueba se obtuvo las más bajas temperaturas al momento de la gasificación, todo lo contrario sucedió con la prueba 5, la generación de alquitranes líquidos fue nula, y esto se debe a que esta prueba fue la que registro la más alta temperatura, sin exceder la línea base, lo que indica una eficiencia en el proceso, sin embargo esto no indica que no se generen otro tipo de residuos como lo es el carbón producto de la combustión.

Grafica 6. Resultados residuos generados



Fuente: Autor

	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL RETAMO ESPINOSO (<i>Ulex europaeus</i>) A PARTIR DE GASIFICACIÓN		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Pasantía	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

El carbón fino está relacionado con algunas de las partículas que no reaccionaron en el gasificador. El resultado de las 5 pruebas fue la generación de 1.11kg de carbón fino. El carbón grueso generado a partir de la combustión de las 5 pruebas fue de 4.5kg.

El carbón fino generado es reintegrado a las zonas de cultivo y forestales, mediante el proceso de compost para contribuir a la fertilización de los suelos del jardín botánico de Bogotá y el carbón grueso es usado como carbón vegetal para el filtro del Gasificador. Actualmente el alquitrán está siendo depositado en las pilas de Compost, aunque las cantidades vertidas son mínimas a comparación del compost generado puede llegar a convertirse en un impacto significativo al recurso suelo.

8.5. FACTIBILIDAD AMBIENTAL Y ECONÓMICA

8.5.1. FACTIBILIDAD AMBIENTAL

A continuación se presenta una metodología que permite plasmar la identificación continua de los aspectos y valoración de estos durante las diversas actividades que conlleva el proyecto.

Esta identificación de aspectos ambientales se detalla bajo las condiciones que se presente la actividad, ya sea normal, anormal o de emergencia. La naturaleza del impacto puede ser positiva, es decir, que mejora los componentes del medio ambiente y la negativa desestabiliza las condiciones del medio ambiente, creando un efecto nocivo.

A continuación se presentan los criterios de valoración de impactos ambientales.

Tabla 8. Criterios de Valoración

CRITERIO	SIGLA	DESCRIPCIÓN	RANGO	VALOR
SEVERIDAD: Pérdida expresada en dinero por reposición de daños, Pérdidas (materiales, personales y/o ambientales) y/o multas.	SV	Se requieren recursos superiores a cinco millones de pesos en reposición por daños, pérdidas y/o multas.	Alta	5
		Se requieren recursos entre un millón y cinco millones de pesos en reposición por daños, pérdidas y/o multas.	Media	3
		Se requieren recursos entre 0 y un millón de pesos en reposición por daños, pérdidas y/o multas.	Baja	1
FRECUENCIA: Se refiere a la periodicidad con que ocurre o se genera el aspecto.	FR	Se presenta continuamente con la operación o más de una vez al mes. <i>Para los aspectos en situaciones de emergencia:</i> Ha ocurrido en más de cuatro ocasiones en los dos últimos años.	Alta	5
		Se presenta con alguna regularidad, en periodos entre uno y doce veces al año. <i>Para los aspectos en situaciones de emergencia:</i> Se ha	Media	3

	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL RETAMO ESPINOSO (<i>Ulex europaeus</i>) A PARTIR DE GASIFICACIÓN		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Pasantía	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

		presentado en alguna ocasión en los dos últimos años.		
		Se presenta en lapsos superiores a un año o casi nunca. <i>Para los aspectos en situaciones de emergencia:</i> Aunque nunca se ha presentado, podría llegar a presentarse. Es realmente concebible que suceda.	Baja	1
COBERTURA: Extensión del daño en el medio ambiente.	CB	Efectos fuera de las instalaciones con repercusión a los elementos del medio ambiente.	Alta	5
		Efectos dentro de las instalaciones con repercusión a los elementos del medio ambiente adyacentes.	Media	3
		Efectos que no salen de las instalaciones de la operación, no afectan elementos del medio ambiente.	Baja	1
LEGISLACIÓN	LE	Existe Legislación específica y Clara o compromiso voluntario o corporativo.	Existe	5
		Existe Legislación parcial (sin reglamentar) o general	Parcial	3
		No Existe Legislación	No Existe	1
PARTES INTERESADAS	IP	Las partes interesadas han expresado inquietudes o manifiestan cuestionamientos o se han presentado conflictos en el pasado.	Alta	5
		El aspecto no ha generado interés de las partes interesadas pero se prevé una reacción futura de las partes interesadas.	Medio	3
		No se prevén inquietudes por parte de las partes interesadas.	Bajo	1

Fuente: Secretaría Distrital de Ambiente (2013) INSTRUCTIVO Diligenciamiento de la Matriz de Identificación de aspectos y valoración de impactos ambientales (ASDE03).

Una vez valorados los impactos ambientales se realiza la sumatoria, teniendo en cuenta la siguiente ponderación; el valor individual por el porcentaje de ponderación más el siguiente, obteniendo los resultados para cada aspecto.

$$\text{Significancia} = [\text{SV} \cdot 30\%] + [\text{FR} \cdot 20\%] + [\text{CB} \cdot 10\%] + [\text{LE} \cdot 20\%] + [\text{PI} \cdot 20\%]$$

A mayor valor numérico del aspecto mayor será la significancia. Los aspectos ambientales significativos, serán todos aquellos cuyos impactos ambientales asociados obtengan un valor numérico superior o igual (\geq) a 3.2.

Los impactos ambientales positivos han sido identificados en la matriz pero estos no se evalúan.

A partir del valor adquirido, el aspecto puede ser clasificado según su significancia como: alto, medio o bajo, según los rangos de la siguiente tabla:

Tabla 9. Rangos de Significancia

Clasificación	Rango
Alto	5-4
Medio	3-2
Bajo	1

	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL RETAMO ESPINOSO (<i>Ulex europaeus</i>) A PARTIR DE GASIFICACIÓN		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Pasantía	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

Tabla 10. Matriz Ambiental

MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN DE ASPECTOS, VALORACIÓN DE IMPACTOS PARA EL PROYECTO DE GASIFICACIÓN DE RETAMO ESPINOSO															
ACTIVIDAD	OBJETIVO	DESCRIPCIÓN	ASPECTO AMBIENTAL	CONDICIÓN GENERADORA			IMPACTO AMBIENTAL	Naturaliza	CRITERIO						
				Normal	Anormal	Emergencia			Severidad	Frecuencia	Cobertura	Requisito Legal	Partes Interesadas	Total	Significativo
Remoción de Residuos vegetales (retamo espinoso)	Remoción de retamo espinoso en zonas de intervención, previamente estipuladas en convenio con la SDA y demas entes que puedan intervenir	La remoción se realiza de acuerdo al instructivo de la Secretaria de Medio ambiente	Exposición del suelo	X			Activación de procesos erosivos	-	5	3	3	3	3	4	3,6
			Perdida de Covertura vegetal	X			Cambio en comunidades de fauna silvestre	-	1	3	1	5	3	3	2,6
Transporte de Biomasa	Traslado del material de remosion al área de aprovechamiento JBB	Se realiza el traslado en camión para el transporte de estacas con capacidad de 5 toneladas, en lonas debidamente selladas.	Consumo de recursos no renovables	X			Agotamiento de los recursos naturales	-	1	1	1	1	3	1	1,4
			Dispersión de semillas de retamo	X			Alteración de ecosistemas terrestres.	-	3	1	3	1	3	2	2,2
Gasificación de la biomasa	Proceso termoquímico mediante el cual se transforma materia orgánica en una mezcla de gases.	Se realiza la gasificación de acuerdo al manual de operacio del gasificador	Aprovechamiento de residuos	X			Disminución de residuos a disponer.	+							
			Producción de Gas	X			Generación de energia electrica	+							
			Emisiones Atmosféricas	X			Contaminación del aire, Agotamiento de la capa de ozono	-	1	5	3	3	5	3	3,2
			Residuos: Carbón	X			Contaminación del suelo y agua	-	1	5	1	1	3	2	2,2
			Generación de residuos: Alquitrans	X	X	X	Contaminación del suelo y agua	-	5	5	1	5	1	4	3,8
			Consumo de Recursos no renovables	X			Agotamiento de los recursos naturales	-	1	5	1	1	1	2	1,8
			Derrame y fugas (Emisiones toxicas)			X	Contaminación del suelo, aire y agua		1	1	1	5	1	2	1,8
Incendio				Contaminación del aire, perdida del recurso		5	1	1	5	1	3	3			
Mantenimiento sistema de Gasificación	Realizar mantenimiento a las tuberías del sistema de gasificación	Uso de gasolina o lubricantes para la limpieza de partes del vehiculo	Consumo de Recursos no renovables	X			Agotamiento de los recursos naturales	-	1	1	1	3	1	1	1,4
			Residuos peligrosos: telas contaminadas	X		X	Contaminación del suelo y agua	-	1	1	1	5	5	3	2,6

Fuente: Propia

	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL RETAMO ESPINOSO (<i>Ulex europaeus</i>) A PARTIR DE GASIFICACIÓN		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Pasantía	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

Se identificaron cuatro actividades para el proyecto de gasificación de la biomasa, de las cuales se obtuvo como resultado una serie de impactos ambientales, donde tres de estos impactos de acuerdo a la valoración planteada anteriormente, se identificaron como potencialmente dañinos. Con el fin de minimizar este componente negativo se determinaron unas medidas de prevención, control y mitigación según aplique, que permitan reducir la afectación al medio ambiente.

Activación de procesos erosivos:

Este impacto surge a partir del descapote que sufre el suelo, al momento de remover el retamo espinoso, dejándolo expuesto a diversos factores ambientales y antrópicos.

Medidas de Minimización del impacto: Plantación de especies nativas, pueden ser arbustivas o arbóreas, que sean de dispersión y adaptación fácil para asegurar una mayor cobertura en la zona donde fue removido el retamo espinoso estas especies a su vez permitirán a reducir los procesos erosivos.

Contaminación del aire, Agotamiento de la capa de ozono:

Las emisiones generadas por el gasificador no han sido medidas, sin embargo de acuerdo a las reacciones dentro del proceso de gasificación se conoce que existen emisiones.

Medidas de Minimización del impacto: Es necesario contar con un medidor de gases que permita identificar cuantitativamente la emisión que se está generando a partir del proceso, sin embargo con el fin de mitigar el impacto es necesario controlar los parámetros de operación del gasificador (humedad, temperatura) con el fin de obtener una buena combustión y así minimizaran las emisiones generadas.

Contaminación del suelo y Agua:

Se establece como un impacto negativo, de acuerdo a que a partir del proceso se obtiene como resultado, residuos de alquitranes líquidos, los cuales están siendo vertidos al compost y posteriormente direccionados a diferentes zonas para ser incorporado en los suelos.

Medidas de Minimización del impacto: Es necesario realizar una caracterización del alquitrán, que permita identificar si es un residuo peligroso, de ser así se requiere determinar su disposición final o tratamiento. Dado el caso que no se considere residuo peligroso entraría a calificarse de nuevo dentro de la matriz de impactos ambientales, con el fin de evaluar si resulta beneficioso el uso de estos en el proceso de compostaje.

	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL RETAMO ESPINOSO (<i>Ulex europaeus</i>) A PARTIR DE GASIFICACIÓN		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Pasantía	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

8.5.2. FACTIBILIDAD ECONOMICA

La factibilidad económica del proyecto de aprovechamiento del retamo espinos para la generación de energía eléctrica, mediante gasificación, se realizó de acuerdo a la siguiente información suministrada por el jardín botánico:

Tabla 11. Costos del Proyecto

GASTOS OPERACIONALES					
ITEM	CANTIDAD MENSUAL	COSTO X UNIDAD	COSTO MENSUAL	COSTO ANUAL	FUENTE
Mano de Obra (personal operativo)	4	\$ 1.342.000	\$ 5.368.000	\$ 64.416.000	Resolución 006 del 18 de Enero 2017
Mano de Obra (personal operativo del gasificador)	1	\$ 1.643.000	\$ 1.643.000	\$ 19.716.000	Resolución 006 del 18 de Enero 2017
Mano de Obra (personal administrativo)	1	\$ 3.680.000	\$ 3.680.000	\$ 44.160.000	Resolución 006 del 18 de Enero 2017
Chipeadora CK4	1	\$14.000.000	\$ -	\$ 14.000.000	KOYOTE AGROINDUSTRIA
Galón de Gasolina	14	\$ 8.322	\$ 116.508	\$ 1.398.096	
Limpiador de carburadores	1	\$ 46.000	\$ 46.000	\$ 552.000	Información suministrada por el JBB
Costos transporte de materia prima	1	\$ 4.700.000	\$ 4.700.000	\$ 56.400.000	Información suministrada por el JBB
Mantenimiento (Gasificador y Trituradora)	1	\$ 1.000.000	\$ 1.000.000	\$ 12.000.000	Información suministrada por el JBB
GAS (pipeta)	1	\$ 50.305	\$ 50.305	\$ 100.610	Lista de precios 2017 INVERSIONES GLP S.A.S. E.S.P.
\$ / KWh		\$ 440,8	\$ 440,8	\$ 440,8	Costo KWh Estrato 4

Fuente: Información suministrada por el JBB.

Para el proyecto únicamente se contempla una inversión inicial, correspondiente a la compra de la Chipeadora CK4, con la cual no cuenta el jardín botánico de Bogotá y es netamente necesaria para el proceso. Los costos de operación y laborales se obtuvieron de la resolución 006 del 2017, donde se dan a conocer los costos laborales del personal del jardín botánico de Bogotá de acuerdo a las prestaciones de ley.

	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL RETAMO ESPINOSO (<i>Ulex europaeus</i>) A PARTIR DE GASIFICACIÓN		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Pasantía	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

Tabla 12. Costos del Proyecto

COSTOS ANUALES (según capacidad gasificadores)		
ITEM	COSTOS FIJOS	COSTOS VARIABLES
Mano de Obra (personal operativo)	\$ 64.416.000	
Mano de Obra (personal operativo del gasificador)	\$ 19.716.000	
Mano de Obra (personal administrativo)	\$ 44.160.000	
Chipeadora CK4		\$14.000.000
Galón de Gasolina	\$ 1.398.096	
Limpiador de carburadores	\$ 552.000	
Costos transporte de materia prima	\$ 56.400.000	
Mantenimiento (Gasificador y Trituradora)		\$12.000.000
GAS (pipeta)	\$ 100.610	
TOTAL	\$186.742.706	\$26.000.000
COSTO TOTAL	\$212.742.706	

Fuente: Propia

Cuantificación De Beneficios Ambientales

El propósito de usar la gasificación es el aprovechamiento de los residuos vegetales resultantes de la remoción mecánica/manual de las especies de retamo espinoso (*Ulex europaeus*) para la generación de energía eléctrica, los beneficios se calculan según la capacidad de residuos que se van a tratar considerando el tiempo de generación de energía eléctrica, es decir, el gasificador consume 18.96 kg de retamo espinoso por hora para entregar una potencia de 11,04 KW.

Tabla 13. Calculo para cuantificación de Beneficio Ambiental

No. Prueba	Promedio generación de energía (KW)	Biomasa tratada (kg)	Tiempo de duración en la generación	Biomasa tratada en una hora
Prueba 1	11,61	30,53	01:05	28,18
Prueba 2	10,19	35,95	01:19	27,30
Prueba 3	10,07	30,48	01:57	15,63
Prueba 4	11,83	30,39	02:24	12,66
Prueba 5	11,52	30,9	02:48	11,04
PROMEDIO TOTAL	11,04	31,65		18,96

Fuente: Propia

	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL RETAMO ESPINOSO (<i>Ulex europaeus</i>) A PARTIR DE GASIFICACIÓN		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Pasantía	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

Generación de energía según operación de gasificadores

Para calcular la generación de energía a partir de la operación de los gasificadores se tomó el promedio de energía de las cinco pruebas realizadas con retamo espinoso y se calculó el KWh diario, teniendo en cuenta que la operación del gasificador es de 6 horas diarias, lo cual arroja que la generación de energía es de 66.26 KWh diario. De acuerdo a lo anterior al año con una operación de 52 semanas (semana de lunes a viernes) se generan 17.229 KWh de energía entregada a la red eléctrica del Jardín Botánico de Bogotá, sin embargo también se calcula la generación de energía para 47 semanas contemplando así un tiempo fuera de funcionamiento del gasificador.

Tabla 14. Energía Generada

PROMEDIO GENERACIÓN DE ENERGÍA KW		Generación de energía Por Gasificador	
Prueba 1	11.61	6	Operación horas/día
Prueba 2	10.19	66.26	kWh/día
Prueba 3	10.07	331.32	kWh/Semana(5 días)
Prueba 4	11.83	17229	kWh/año (52 semanas)
Prueba 5	11.52	15572	kWh/año (47 semanas)
PROMEDIO TOTAL	11.04		

Fuente: Propia

El costo ahorrado en la generación de energía eléctrica se calculó con el valor del KWh que tiene el estrato 4 en Bogotá para el año 2017, \$440.8, basado en esto la operación de un gasificador estaría creando un ahorro de energía eléctrica de \$7.594.385 al año y la operación completa del sistema, es decir con los dos gasificadores, trabajando simultáneamente se obtendría \$ 15.188.769 pesos colombianos al año.

Tabla 15. Ahorro en energía eléctrica

Costo Ahorro energía al año (52 semanas)		Costo Ahorro energía al año (47 semanas)	
Operación un Gasificador	\$ 7,594,385	Operación un Gasificador	\$ 6,864,155
Operación de Dos Gasificadores	\$ 15,188,769	Operación de Dos Gasificadores	\$ 13,728,310

Fuente: Propia

	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL RETAMO ESPINOSO (<i>Ulex europaeus</i>) A PARTIR DE GASIFICACIÓN		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Pasantía	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

Cuantificación De Beneficios Ambientales

El propósito de usar la gasificación es el aprovechamiento de los residuos vegetales resultantes de la remoción mecánica y/o manual de las especies de retamo espinoso (*Ulex europaeus*) para la generación de energía eléctrica, los beneficios se calculan según la capacidad de residuos que se van a tratar considerando el tiempo de generación de energía eléctrica, es decir, el gasificador consume 18,96 kg de retamo espinoso por hora para la generación de energía (11,04 KWh), en una operación de 6 horas el gasificador consumiría 114 kg por día de operación, esto indica que al año el gasificador puede procesar 19.5 toneladas operando 5 días a la semana, de residuos de retamo espinoso que dejarían de ser quemados o dispuestos en zanjas.

Tabla 16. Biomasa en Kg

Capacidad de Biomasa tratada por gasificador	
6	Operación horas/día
18,96	Kg/hora
114	Kg/día
569	kg/Semana (5 días)
29582	kg/año (52 semanas)
26738	kg/año (47 semanas)

Fuente: Autor

Tabla 17. Capacidad de Tratamiento de Biomasa

Biomasa tratada al año (52 semanas)		Biomasa tratada al año (47 semanas)	
Operación un Gasificador (kg)	29582	Operación un Gasificador (kg)	26738
Operación de Dos Gasificadores (kg)	59164	Operación de Dos Gasificadores (kg)	53475

Fuente: Autor

Considerando que el Jardín Botánico de Bogotá cuenta con dos máquinas de gasificación, dado el caso que estas funcionen simultáneamente el aprovechamiento de los residuos vegetales de retamo espinoso sería de 59 toneladas al año. Sin embargo se contemplan 5 semanas al año por cada gasificador en las cuales no funcionaría a causa de reparaciones o mantenimientos que estos requieran, por consiguiente el tratamiento de retamo espinoso en los gasificadores estaría entre 53.4 – 59.1 Ton/año.

	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL RETAMO ESPINOSO (<i>Ulex europaeus</i>) A PARTIR DE GASIFICACIÓN		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Pasantía	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

9. APORTES A LA INVESTIGACIÓN

Los principales aportes e impactos del aprovechamiento del retamo espinoso *Ulex europaeus*, se pueden enmarcar en beneficios ambientales, sociales y económicos.

- **Ambientales**

El desarrollo y la ejecución del aprovechamiento de la biomasa proveniente del tronco del retamo espinoso *Ulex europaeus*, ayuda a la reconstrucción de ecosistemas altamente afectados, principalmente favoreciendo la regeneración de suelos, el incremento de la biodiversidad, el cambio de las alternativas para tratar los residuos de retamo, como lo son los hoyos para incineración controlada, que a pesar de encontrarse intervenida causan emisiones y afectación al suelo.

- **Sociales**

La disminución de bienes y servicios básicos de las poblaciones afectadas por las áreas de influencia de invasión del retamo espinoso pueden cambiar al removerlo definitivamente de sus áreas (con controles adicionales para evitar propagación), las cuales contarían con posibilidades de progreso lucrativo a nivel agropecuario, adicionalmente se mitigaría el riesgo de desastres naturales asociados a incendios forestales.

- **Económicos**

El jardín botánico de Bogotá podrá disponer de nuevos combustibles renovables, provenientes de biomasa maderable seca (*Ulex europaeus*), lo que influencia positivamente a la matriz energética, así también contara con mayor diversidad en los combustibles que participan en el proceso de gasificación. El tratamiento del retamo espinoso permitirá que las zonas en las cuales se encuentran puedan ser desarrolladas por el sector agrario, generando así empleo y otras fuentes de ingreso para los propietarios de los predios que hoy se encuentran

	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL RETAMO ESPINOSO (<i>Ulex europaeus</i>) A PARTIR DE GASIFICACIÓN		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Pasantía	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

10. CONCLUSIONES

- La caracterización del retamo espinoso, comprendida por un análisis próximo (contenido de humedad, cenizas y pH) arrojó un buen rendimiento para el equipo de gasificación, donde la humedad es óptima, lo cual evitará incorporar costos en métodos energéticos y económicos para el secado, también a partir del análisis de cenizas se identificó que no habrá formación de escoria, por lo tanto la eficiencia del proceso en cuanto a este parámetro no se verá afectada, en cuanto al pH, tiende a ser ácido lo cual hace susceptible algunas partes del equipo causando corrosión, no obstante gran parte del equipo es acero dulce (inoxidable), el cual es altamente resistente a la corrosión.

Por consiguiente de lo anterior es importante tener en cuenta que aun con resultados positivos no se descarta la opción de la presencia de efectos adversos relacionados con los parámetros evaluados, de modo que es necesario realizar mantenimientos preventivos programados, lo cual evitara la materialización de eventos no deseados.

- El retamo espinoso *Ulex europaeus* responde positivamente para ser empleado como biomasa para aprovechamiento energético en el sistema de gasificación POWER POLLET, donde por cada 18,96 kilogramos de retamo espinoso gasificado se generan 11,04 KWh.
- Dentro de las ventajas que presenta la gasificación del retamo espinoso es la potencia entregada a la red es un parámetro constante, esto debido al gran poder calorífico que tiene, entre otros indicadores donde se evidencia el alto potencial energético de este residuo vegetal.
- El porcentaje de aprovechamiento es altamente representativo y aunque no se contó con disponibilidad de información en cuanto a la cantidad de retamo espinoso que se encuentra a nivel regional, el aprovechamiento del retamo espinoso en el jardín botánico de Bogotá, responde a una estrategia regional para el manejo del riesgo por invasión de retamo espinoso, donde un gasificador con una operación diaria de 6 horas puede dar tratamiento entre 26,7 – 29,5 Toneladas de retamo espinoso al año.
- La generación de alquitranes se ve influenciada por la temperatura, en el desarrollo de las pruebas de gasificación de retamo espinoso, se evidencio que la temperatura del proceso se mantuvo al límite para la generación de gas, sin embargo se muestra como las temperaturas bajas favorecen la generación de alquitranes.

	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL RETAMO ESPINOSO (<i>Ulex europaeus</i>) A PARTIR DE GASIFICACIÓN		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Pasantía	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

- El proceso es factible dentro del componente ambiental, considerando el cumplimiento de la normatividad ambiental y garantizando el control mediante las medidas de mitigación para el manejo de los residuos peligrosos y emisiones atmosféricas que puedan dar lugar.
- La factibilidad económica indica que se invertirían \$212.742.706 pesos colombianos para dar tratamiento entre 53 – 59 Toneladas del tronco de retamón espinoso, bajo el funcionamiento del sistema de gasificación del Jardín Botánico de Bogotá (dos gasificadores), esta inversión se debería comparar con el gasto actual que se realiza para el tratamiento del retamo espinoso mediante la incineración controlada, la cual es desarrollada por entes autorizados, sin embargo esta información se solicitó en varias ocasiones a funcionarios de la Secretaria Distrital de Ambiente, pero durante el tiempo que fue solicitado el personal se encontraba en proceso de contratación, por lo tanto no fue posible obtener la información.
- El problema más importante radica en prever la cantidad de retamo espinoso que existe a la fecha en Bogotá y sus alrededores, de manera que permitiera cuantificar los beneficios ambientales que se esperan conseguir en términos de cantidad de biomasa (*Ulex europaeus*) que sería sometida al proceso de gasificación, dejándolos de disponer, reincorporándolos al ciclo productivo como generación de energía eléctrica.
- El uso de equipos como el gasificador Power Pallet como fuente de energía alternativa, es una oportunidad para reducir la emisión de Gases de efecto invernadero, el cual contribuye directamente en la entrega de energía eléctrica.

	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL RETAMO ESPINOSO (<i>Ulex europaeus</i>) A PARTIR DE GASIFICACIÓN		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Pasantía	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

11. RECOMENDACIONES

- El proceso de triturado realizado se desarrolló manualmente usando como herramienta un machete (peinilla). Dado el caso que el Jardín Botánico de Bogotá a partir de esta pasantía investigativa opte por iniciar el proceso de gasificación con retamo espinoso (*Ulex europaeus*) se recomienda adquirir una astilladora que permita reducir el tamaño del tronco del retamo de manera mecánica, obteniendo beneficios como mayor productividad en menos tiempo y la minimización de los riesgos ocupacionales a los cuales se ve expuesto el operario.
- Durante las pruebas de gasificación se usó como material filtrante la biomasa resultado de mezcla del Jardín Botánico (residuos de poda), aunque el filtro usado presenta una alta retención de humedad, se recomienda hacer pruebas con otro material para determinar la eficiencia del material filtrante.
- La pérdida de temperatura a causa de la alimentación del Gasificador una vez se ha conectado al sistema de generación causa alteraciones en la potencia entregada a la red eléctrica, por tanto se recomiendan dos alternativas, la primera hace referencia a evaluar la posibilidad de una ayuda mecánica que permita alimentar el Gasificador sin necesidad de destaparlo y la segunda es alimentar el Gasificador al 100% con biomasa con el fin de evitar destaparlo y generar pérdida de temperatura y por ende ocasionar variaciones en la energía entregada.
- Durante el proceso de gasificación y de acuerdo al comportamiento de los parámetros de operación se generan cierta cantidad de alquitranes, los cuales causan un efecto negativo en el equipo, al momento de su condensación, formando capas en las tuberías y en las diferentes partes del sistema, donde pueden llegar a causar taponamientos y corrosión a medida que transcurre el tiempo. De acuerdo a lo anterior es necesario que se abarque a nivel investigativo, una evaluación de las características físico químicas del alquitrán generado, de tal manera que permita identificar si se trata de un residuo peligroso. Una vez determinado si es peligroso o no se deben estudiar los tratamientos de acuerdo a los resultados obtenidos del laboratorio.

Se sugiere seguir los protocolos de muestreo y análisis de laboratorio para la caracterización fisicoquímica del residuo, establecidos por el IDEAM a través de la Resolución 0062 de 2007

- Para realizar una oferta energética regional y brindar información indispensable para la toma de decisiones se deben desarrollar trabajos futuros tendientes a establecer una base cartográfica que permita identificar la presencia y cantidad de retamo espinoso en Bogotá, susceptible para aprovechamiento, lo cual permitiría proyectar la generación de energía a través de la gasificación de esta biomasa.

	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL RETAMO ESPINOSO (<i>Ulex europaeus</i>) A PARTIR DE GASIFICACIÓN		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Pasantía	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

REFERENCIAS (BIBLIOGRAFÍA)

García C., Vallejo G., Higgings M., Escobar E. (2016). *El Acuerdo de París. Así actuará Colombia frente al cambio climático. 1 edición. WWF-Colombia. Cali, Colombia.*

García C., Barrera X., Gómez R., y Suárez R. (2015). *El ABC de los compromisos de Colombia para la COP21. 2 edición. WWF-Colombia.*

Pinzón Y., Díaz-Espinosa A.M. y J.E. Díaz-Triana. (2012). *Eucalyptus spp. En: Díaz-Espinosa A.M., Díaz-Triana J.E y O. Vargas. (eds). 2012. Catálogo de plantas invasoras de los humedales de Bogotá. Grupo de Restauración Ecológica de la Universidad Nacional de Colombia y Secretaría Distrital de Ambiente. Bogotá, D.C., Colombia.*

Lasso C., Ramírez W., Aguilar M., Escobar D. (editores). (2014). *Biota Colombiana. Revista Biota Colombiana Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt., Volumen 15 Suplemento 2*

García H., Moreno L A., Londoño C., Sofrony C. (2010) *Estrategia Nacional para la Conservación de Plantas Actualización de los antecedentes normativos y políticos, y revisión de avances. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, Red Nacional de Jardines Botánicos de Colombia.*

Castillo C.J. (2008). *Trabajo de Grado Modelamiento de la Distribución de los Nichos Adecuados para la Invasión Biológica del Retamo Espinoso (*Ulex europaeus*) en la Cuenca Alta del Río Bogotá, Vulnerabilidad y Escenarios Futuros. Pontificia Universidad Javeriana.*

Gutiérrez FdP. (2006). *Estado de Conocimientos de Especies Invasoras: Propuestas de lineamientos para el control de los impactos. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt.*

Leon O., Vargas O. *Estrategias para el control, manejo y restauración de áreas invadidas por retamo espinoso (*Ulex europaeus*) en la vereda el hato, localidad de Usme, Bogotá D.C. La restauración ecológica en la Práctica: Memorias del I Congreso Colombiano de Restauración Ecológica. Pag. 480- 481.*

	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL RETAMO ESPINOSO (<i>Ulex europaeus</i>) A PARTIR DE GASIFICACIÓN		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Pasantía	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

García L. (2011) Tesis “Obtención de gas combustible a partir de la gasificación de biomasa en un reactor de lecho fijo”. Universidad Nacional de Colombia.

McNeely, J.A., H.A. Mooney, L.E. Neville, P. Schei, y J.K. Waage (editores.). (2001) Estrategia mundial sobre especies exóticas invasoras, UICN Gland (Suiza) y Cambridge (Reino Unido), 50 págs.

Cujia G., Bula A. (2010). Potencial obtención de gas de síntesis para la producción de metano a partir de la gasificación de residuos de palma africana. Inverciencia. Vol.35 N°2.

García C. (2013). Planta de gasificación de biomasa para la producción de energía eléctrica por medio de un ciclo Rankine. Escuela técnica superior de ingeniería (ICAI) Madrid.

Rincon S., Gomez A., Klose W. (2011). Gasificación de biomasa residual de procesamiento agroindustrial. Universidad Nacional de Colombia. Universidad de Kassel, Alemania.

Val Gento V, Giraldo G. Planta de Cogeneración Mediante Gasificación de Biomasa Residual. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales.

López G. (2008). Biomasa como fuente de energía: Gasificación de Biomasa Vegetal. Revista Energía. Edición 56. Pag. 11-15.

Cortés MJ. (2009). Generación de energía a partir de residuos biomásicos mediante la técnica de gasificación: alternativa para la reducción de la contaminación por residuos sólidos y la emisión de gases efecto invernadero. Costa Rica. Universidad Para La Cooperación Internacional. Pag.61

Huaraz C. (2013). Diseño de un gasificador de 25 kW para aplicaciones domésticas usando como combustible cascarilla de arroz. Pontificia Universidad Católica Del Perú. Pag.20.

García M, Sosa M. (2010) Tesis “Generación de energía eléctrica a través de la biomasa” Instituto Politécnico Nacional.

Becerra J., García f., (otros autores). (2010) Hidrógeno y pilas de combustible: estado actual y perspectiva inmediata Standard Method for Moisture Analysis of Particulate Wood Fuels. Universidad Pontificia Comillas

	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL RETAMO ESPINOSO (<i>Ulex europaeus</i>) A PARTIR DE GASIFICACIÓN		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Pasantía	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

Cárdenas T.J., Baptiste M.P, Ramírez W. y Aguilar G.M. (Eds.) 2015. Herramienta de decisión para la gestión de áreas afectadas por invasiones biológicas en Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C., Colombia. 152 pp.

*Rozas, P. (2008) Estudio e Absorción para CR (VI) utilizando chacay (*Ulex europaeus*) como carbón activo cubierto con quitosan. Universidad de los Lagos. Puerto Montt 29 pp.*

All Power Lab. Personal scale power. PP20 v1.08, v1.09. Section 1 Introduction Power Pallet, Section 2 Biomass Feedstock Requirements. Section 3 GEK TOTTI Gasifier System, section 8 Power Pallet Maintenance.