

AGR
0650
EJ-1

hemrotela

055284



**OBTENCION DE CARBONATO DE CALCIO A PARTIR DE LA
DESCOMPOSICION TÉRMICA DEL CUESCO DE PALMA DE ACEITE Y
VALORACIÓN PRELIMINAR DE POSIBLE USO AGRÍCOLA**

**GRUPO DE INVESTIGACION EN GESTION AMBIENTAL SOSTENIBLE
(GIGAS)**

MIGUEL ANDRÉS ROJAS HENAO

MARIO SERGIO BUENAVENTURA BARÓN

UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS
NATURALES**

ESCUELA DE CIENCIAS AGRICOLAS

PROGRAMA DE INGENIERIA AGRONOMICA

VILLAVICENCIO

2011

**OBTENCION DE CARBONATO DE CALCIO A PARTIR DE LA
DESCOMPOSICION TERMICA DEL CUESCO DE PALMA DE ACEITE Y
VALORACIÓN PRELIMINAR DE POSIBLE USO AGRÍCOLA
GRUPO DE INVESTIGACION EN GESTION AMBIENTAL SOSTENIBLE
(GiGAS)**

**MIGUEL ANDRÉS ROJAS HENAO
MARIO SERGIO BUENAVENTURA BARÓN**

**UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS
NATURALES
ESCUELA DE CIENCIAS AGRICOLAS
PROGRAMA DE INGENIERIA AGRONOMICA
VILLAVICENCIO**

2011

INFORME EPI DEL PROYECTO

**OBTENCION DE CARBONATO DE CALCIO A PARTIR DE LA
DESCOMPOSICION TÉRMICA DEL CUESCO DE PALMA DE ACEITE Y
VALORACIÓN PRELIMINAR DE POSIBLE USO AGRÍCOLA**

**GRUPO DE INVESTIGACION EN GESTION AMBIENTAL SOSTENIBLE
(GIGAS)**

MIGUEL ANDRÉS ROJAS HENAO

MARIO SERGIO BUENAVENTURA BARÓN

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR
EL TITULO DE INGENIERO AGRONOMO**

DIRECTORES

ABELARDO PRADA MATIZ

INGENIERO QUIMICO Y PhD.

CAROLL EDITH CORTES

QUIMICA Y ESPECIALISTA EN GESTION AMBIENTAL SOSTENIBLE

**GRUPO DE INVESTIGACION EN GESTION AMBIENTAL SOSTENIBLE
(GIGAS)**

FACULTAD DE CIENCIAS BASICAS E INGENIERIA

UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS
NATURALES**

ESCUELA DE CIENCIAS AGRICOLAS

PROGRAMA DE INGENIERIA AGRONOMICA

VILLAVICENCIO

2011

AUTORIDADES ACADEMICAS

OSCAR DOMINGUEZ

Rector

EDUARDO CASTILLO GONZALEZ

Vicerrector Académico

OBED GARCIA DURAN

Decano de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales

JORGE ENRIQUE MUÑOZ AGUILERA

Director Escuela de Ciencias Agrícolas

NYDIA CARMEN CARRILLO

Director programa de Ingeniería Agronómica

Nota de aceptación



Director

Director

Jurado

Jurado

Villavicencio, de 2011

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme el valor de afrontar con fortaleza cada una de las experiencias que han transcurrido en mi vida, en especial mi crecimiento personal y profesional.

A mis padres *Margarita Barón M.* y *Nelson Buenaventura C.* por darme su apoyo y su amor enseñándome valores para ser un hombre de bien, a mi tía *Lizbeth Adela Barón M.* Porque sin su apoyo y comprensión no hubiera podido afrontar esta gran meta en mi vida, a *Yurany Arboleda Z* por compartir conmigo esta experiencia tan maravillosa de mi vida, a mi hija *María Isabel Buenaventura A.* por ser el motor que me motivada día tras día, para ser mejor persona y profesional, a mis hermanos *Ivan B. Andres B. Oscar B.* Por su amistad y apoyo.

A *Miguel Andrés Rojas H.* por emprender conmigo con éxito este proyecto, a cada uno de mis amigos y compañeros de Universidad, de carrera los cuales con sus conocimientos y vivencias han dejado aportes valiosos en mi vida.

Al grupo de investigación en Gestión Ambiental Sostenible (GiGAS), con su director el Doctor *Abelardo Prada Matiz* y la Esp. *Caroll Edith Cortes*, quienes me permitieron hacer parte de este gran grupo de trabajo y amistad, los cuales lograron despertar en mí el ansia de la investigación.

A todos los que de una u otra manera aportaron en mi crecimiento profesional muchas gracias y que dios los bendiga.

Mario Sergio Buenaventura Barón

TABLA DE CONTENIDO

pág.

| | |
|--|-----------|
| 1. RESUMEN..... | 11 |
| 2. INTRODUCCION..... | 12 |
| 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 13 |
| 4. OBJETIVOS..... | 14 |
| 4.1Objetivo general..... | 14 |
| 4.2Objetivos específicos..... | 14 |
| 5. REVISIÓN DE LITERATURA..... | 15 |
| 5.1 .1Historia en Colombia de la palma africana..... | 15 |
| 5.2 La planta..... | 16 |
| 5.3 La palma de aceite un cultivo en expansión..... | 16 |
| 5.4 Semilla de Palma Africana (<i>Elaeis guineensis</i>)..... | 17 |
| 5.5 Características químicas del aceite de palma..... | 18 |
| 5.6 Proceso agroindustrial del aceite de palma..... | 18 |
| 5.7 Usos del aceite de la Palma | 21 |
| 5.8 Que es el cuesco de la palma de aceite | 22 |
| 5.9 Uso del cuesco de palma Africana en la fabricación de adoquines y bloques de mampostería..... | 23 |
| 5.10 Características físico-químicas y uso de los subproductos sólidos.. | 25 |
| 5.11 Combustión del cuesco..... | 25 |
| 5.12 El dióxido de carbono y el carbonato de calcio..... | 26 |
| 5.13 Posible uso del carbonato de calcio (CaCO ₃) obtenido en la captura de los gases por la combustión de residuos vegetales..... | 26 |
| 5.14 Los carbonatos | 28 |

| | |
|--|-----------|
| 6. METODOLOGÍA..... | 29 |
| 6.1 Localización..... | 29 |
| 6.2 Materiales..... | 29 |
| 6.3 Secado del cuesco..... | 30 |
| 6.4 Combustión del cuesco de palma y captación de dióxido de carbono.. | 30 |
| 6.5 Obtención del carbonato de calcio..... | 32 |
| 6.6 Etapas del Proyecto..... | 33 |
| 6.7 Cronograma de actividades..... | 35 |
| 6.8 Tratamiento estadístico..... | 36. |
| | |
| 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 44 |
| 7.1 La captura del dióxido de carbono con soluciones alcalinas..... | 45 |
| 8. CONCLUSION..... | 48 |
| 9. RECOMENDACIONES..... | 49 |
| 10.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 50 |
| 11.ANEXOS..... | 54 |

LISTA DE FIGURAS

pág.

| | |
|---|----|
| Figura 1. Diagrama proceso para el tratamiento de los frutos de palma... | 19 |
| Figura 2. Esquema de la utilización del aceite de palma..... | 22 |
| Figura 3. El carbonato de Calcio como enmienda en el suelo..... | 27 |
| Figura 4. Esquema del horno quemador y del reactor para la captura de los gases en combustión del cuesco de palma de aceite..... | 30 |
| Figura 5. Esquema del proceso de descomposición térmica del cuesco de palma de aceite para la captura del dióxido de carbono con soluciones alcalinas de hidróxido de sodio y precipitación del carbonato de calcio con cloruro de calcio..... | 32 |
| Figura 6. . Esquema del proceso de descomposición térmica del cuesco de palma de aceite para la captura del dióxido de carbono con mezcla de soluciones alcalinas de hidróxido de sodio y cloruro de calcio. Y posterior filtrado en laboratorio..... | 33 |

LISTA DE TABLAS

pág.

| | |
|---|----|
| Tabla (1) Valores de la temperatura en ensayos preliminares del proceso de combustión de cuesco de Palma de aceite (Alternativa A)..... | 37 |
| Tabla (2) Valores de la temperatura en ensayos preliminares del proceso de combustión de cuesco de Palma de aceite (Alternativa B)..... | 37 |
| Tabla (3) Valores del pH de la solución alcalina para cuesco de palma en la alternativa: A (NaOH post CaCl ₂) y B (NaOH +CaCl ₂)..... | 38 |
| Tabla (4). Masa obtenida del carbonato de calcio por captura de los gases de combustión de cuesco de palma de aceite con relación a la mezcla: 100 g. de NaOH en agua. (Alternativa A)..... | 40 |
| tabla (5) . Masa obtenida del carbonato de calcio por captura de los gases de combustión de cuesco de palma de aceite con relación a la mezcla: 100 g. de NaOH y 150 g. de CaCl ₂ . (Alternativa B)..... | 40 |
| Tabla (6) Contenido de carbono en muestra cruda de cuesco de palma de aceite..... | 41 |
| Tabla (7) Valores de Aluminio del testigo de suelo de la granja de la Universidad de los Llanos, sede Barcelona y en muestras de suelos con enmiendas CaCO ₃ obtenido a partir de la combustión de cuesco de palma de aceite y cal Dolomita. (Dosis 2 Ton/ha)..... | 47 |

1. RESUMEN

En el desarrollo del presente proyecto se obtuvo carbonato de calcio (CaCO_3) a partir de la descomposición térmica del cuesco de palma de aceite, por captura de los gases de combustión con soluciones alcalinas. El carbonato de calcio obtenido fue evaluado como enmienda agrícola en muestra de suelos que presentan alto contenido de aluminio (Al). Se analizaron las condiciones de los procesos de combustión (temperatura, tiempo, humedad), captura de gases pH, temperatura inicial y final, rendimiento, composición química del carbonato de calcio.

2. INTRODUCCIÓN

El suministro de energía del mundo está dominado por los combustibles fósiles, sin embargo en muchos países los residuos de madera, agrícolas y basura se están utilizando cada vez más, para suplir las necesidades energéticas, motivado en gran medida por el continuo aumento del precio de los combustibles y su inevitable agotamiento. (MEJIA.O. 2006) La producción de palma ha respondido tradicionalmente a la demanda estable de productos alimenticios y cosméticos, que emplean los diferentes aceites extraídos de esta planta. La expansión acelerada que el cultivo está viviendo en todo el mundo, de la incursión del aceite de palma en el estratégico mercado de los combustibles. (GUERRERO. G 2005). En este contexto, aparecen los agrocombustibles en una gama amplia de posibilidades en un futuro: sintéticos, gaseosos, hidrógenos, etc. En la actualidad tan solo están disponibles dos tipos de biocombustibles: el bioetanol, que en Colombia también se llama alcohol carburante y que procede de semillas azucaradas o cereales, tales como la caña de azúcar, la yuca, la remolacha, el maíz, soja. Y el biodiesel, que procede de semillas oleaginosas, tales como la palma aceitera, el girasol, la colza o incluso producido por el reciclaje de aceite de cocina usado o grasas animales (GUERRERO. G 2005).

En la producción de aceite de palma, El cuesco es el subproducto desecho o residuo más importante; en promedio por cada 100 kg. de racimos frescos de fruto de palma se producen 8,5 kg de cuesco como residuos sólido. Se estima que en Colombia al año se generan cerca de 243.000 toneladas de cuesco (MEJIA. O. 2006.) , de las cuales un importante porcentaje se utilizan como combustible en los procesos de extracción del aceite, generando ventajas de ahorro energético, pero a la vez propiciando procesos de contaminación atmosférica ampliamente reconocidos.

Por esta razón encontrar alternativas para la captura y posterior conversión de los gases de la combustión del cuesco de palma, en materiales útiles para la producción es una tarea importante y urgente en la actualidad. El presente proyecto se orienta a este propósito.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Dentro de los procesos de aprovechamiento, el cuesco de palma de aceite, el uso como fuente de energía en las plantas extractoras, es una de las alternativas que recibe amplia aplicación: en la actualidad más del 70 % del cuesco de palma es destinado a la generación de calor y las cenizas, ricas en nutrientes, son aprovechadas en prácticas agronómicas. Sin embargo, los gases de combustión, entre ellos EL dióxido de carbono (CO_2) Se descarga a la atmósfera generando contaminación.

Por lo tanto capturar los gases de combustión y transformarlos en productos aprovechables en labores agrícolas, permitiría convertir la descomposición térmica en un sistema de aprovechamiento integral del cuesco de palma, acompañado de la reducción de la contaminación atmosférica por gases que hoy generan.

4. OBJETIVOS

4.1 Obtención de carbonato de calcio a partir de la descomposición térmica del cuesco de palma de aceite y valoración preliminar de posible uso agrícola.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar las condiciones básicas del proceso de descomposición térmica del cuesco de palma.

Determinar las condiciones básicas del proceso de obtención del carbonato de calcio, a partir de los gases de combustión del cuesco de palma.

Valorar de manera preliminar, las posibilidades de uso del carbonato de calcio obtenido, en suelos de aptitud agrícola y compararlos con el carbonato comúnmente utilizado.

5. REVISIÓN DE LITERATURA

5.1 HISTORIA EN COLOMBIA DE LA PALMA AFRICANA

En 1932, **Florentino Claes** fue quien introdujo la palma africana de aceite en Colombia, sembrándola ~~se~~ solo con fines ornamentales en la Estación Agrícola de Palmira (Valle del Cauca). El cultivo comercial sólo comenzó en 1945 cuando la United Fruit Company estableció una plantación en la zona bananera del departamento del Magdalena. (FLEMING.T. 2003).

La expansión del cultivo en Colombia ha mantenido un crecimiento sostenido. A mediados de la década de 1960 existían 18.000 hectáreas en producción y hoy existen más de de 360.000 hectáreas (a 2010) en 73 municipios del país distribuidos en cuatro zonas productivas.(FLEMING. T. 2003)

- **Norte** - Magdalena, Norte del Cesar, Atlántico, Guajira
- **Central** - Santander, Norte de Santander, sur del Cesar, Bolívar
- **Oriental** - Meta, Cundinamarca, Casanare, Caquetá
- **Occidental** – Nariño.

Los departamentos que poseen más área sembrada en palma de aceite son en su orden: Meta, Cesar, Santander, Magdalena, Nariño ,Casanare ,Bolívar , Cundinamarca y Norte de Santander.

Colombia es el primer productor de palma de aceite en América Latina y el cuarto en el mundo. Tiene como fortaleza un gremio que cuenta con sólidas instituciones, ya que desde 1962 fue creada la Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite. (FLEMING. T. 2003).

5.2 La planta

En una palma de aceite se encuentran flores masculinas y femeninas, de las que nacen frutos por millares, esféricos, ovoides o alargados, para conformar racimos compactos de entre 10 y 40 kilogramos de peso. Antes de adquirir el alegre y vistoso color anaranjado rojizo del sol tropical que les brinda la madurez, los frutos son de color violeta oscuro, casi negro. En su interior guardan una única semilla, la almendra o palmiste, que protegen con el cuesco, un endocarpio leñoso rodeado, a su vez, por una pulpa carnosa. Ambas, almendra y pulpa, proveen aceite con generosidad. La primera, el de palmiste, y la segunda, el de palma propiamente dicho. (FLEMING. T. 2003).

El tallo o estípote de la reina de las oleaginosas es erecto y tiene la forma de un cono invertido. Antes de envejecer es áspero, por las bases peciolares que lo revisten. Pero cuando llega a la vejez, aunque liso, se muestra segmentado por las cicatrices que le imprimen sus cerca de cuarenta hojas al marchitarse y caer. (FLEMING. T. 2003).

En su edad mediana las hojas se extienden de manera casi paralela al suelo, entre tres y siete metros. Cada una está compuesta de unos 25 o folíolos lineales, insertos a uno y otro lado del pecíolo, pero de manera irregular. La apariencia desordenada de la hoja es uno de los rasgos característicos de la especie.

La vida productiva de la palma de aceite puede durar más de cincuenta años, pero desde los veinte o veinticinco su tallo alcanza una altura que dificulta las labores de cosecha y marca el comienzo de la renovación en las plantaciones comerciales. (FLEMING. T. 2003)

5.3 La palma de aceite un cultivo en expansión

Las palmas de aceite adultas conforman verdaderos paisajes forestales donde cohabitan numerosas especies de flora y fauna. Crean microclimas y

ambientes favorables para la sostenibilidad de los cultivos y el bienestar de las poblaciones que habitan alrededor de ellas. (FLEMING. T. 2003)

planta contribuye a mitigar el calentamiento global ya que todas sus partes se utilizan, por lo tanto no hay desperdicios que contaminen. (FLEMING. T. 2003).

Dentro de los cultivos de semillas oleaginosas, la palma de aceite es la más eficiente en la conversión de energía y su siembra previene la erosión. (FLEMING. T. 2003). En Colombia la palma de aceite se establece sin necesidad de talar bosques nativos, pues ocupa territorios que antes eran utilizados para otras actividades agropecuarias. Para evitar el uso de plaguicidas químicos, se han implementado diversas técnicas de control biológico. A partir de ahí, los palmicultores colombianos se comprometen con el medio ambiente, adoptando una gestión de buenas prácticas que les permitan asegurar la competitividad frente a los estándares internacionales y estar atentos a la sostenibilidad del planeta. (FLEMING. T. 2003).

5.4 Semilla de Palma de aceite (*Elaeis guineensis*)

El aceite de palma es extraído exclusivamente de la pulpa y su composición normal es:

Aceite 45- 50%

Fibra 15-20%

Agua, albuminoides y sustancias pépticas: 30 – 40 %. La peptina es una sustancia que se emplea como gelificante para elaborar otros productos alimenticios, por ejemplo mermeladas. (VEGA.T.2004)

El fruto de la palma de aceite se presenta en grandes racimos que van de 10 a 25 Kg y cada racimo contiene de 800 a 4000 frutos con una media de 1200 a 1500.

El periodo entre recolección y esterilización debe ser el mínimo posible, con el fin de prevenir fermentaciones que inciden en el rendimiento y calidad del aceite. Del fruto se obtiene la pulpa para la extracción del aceite de palma y aceite de palmiste (de la almendra) empleado para extraer aceite usado en la elaboración de margarina de mesa y cocina. (VEGA.T.2004).

El tamaño del fruto es de 5 x 2,8 cm la almendra del fruto es un producto oleaginoso que contiene de 48 a 52% de aceite sobre base seca. El secado de la almendra es esencial si hay que almacenarla, ya que su contenido de humedad es de 20 a 25%. El aceite de palma está contenido en la pulpa y su valor es de 45- 50%. (VEGA.T.2004)

Un buen fruto de palma contiene:

- 60% de pulpa
- 30% de hueso
- 10% de almendra

La esterilización con vapor tiene la siguiente finalidad.

- Detener el incremento de la acidez.
- Facilitar la separación de los frutos del racimo.
- Despegar la almendra del hueso. (VEGA.T.2004)

Después de la esterilización se efectúa la separación del fruto mediante máquinas desgranadoras. Los frutos ya separados se tratan en un ablandador (malaxador) para facilitar la separación del pericarpio. La pulpa resultante se somete a presión para obtener aceite y pulpa. (VEGA.T.2004)

Una vez cosechados los racimos se someten a un proceso de esterilización con el fin de evitar la acidificación del aceite debido a la presencia de enzimas. Los frutos se separan del vástago y luego son ablandados para facilitar la extracción del aceite se clasifica y centrifuga, obteniéndose así el aceite crudo de palma. (VEGA, T.2004). Los huesos se desfibran para obtener las nueces de palmiste, de las cuales se extrae el aceite de palmiste. (VEGA.T.2004)

El aceite de palma es una excelente fuente de energía ya que aporta ácidos grasos esenciales y b- carotenos que contribuye a la formación y crecimiento de tejidos y dientes sanos, reduce el nivel de colesterol sanguíneo, protege contra algunos tipos de cáncer y problemas cardiovasculares, en la industria alimenticia se utiliza como aceite de fritura, elaboración de margarina de mesa, panadería y repostería, confitería, helados, cremas y salsas. (VEGA.T.2004)

FIGURA 1. Diagrama de proceso para el tratamiento de los frutos de palma

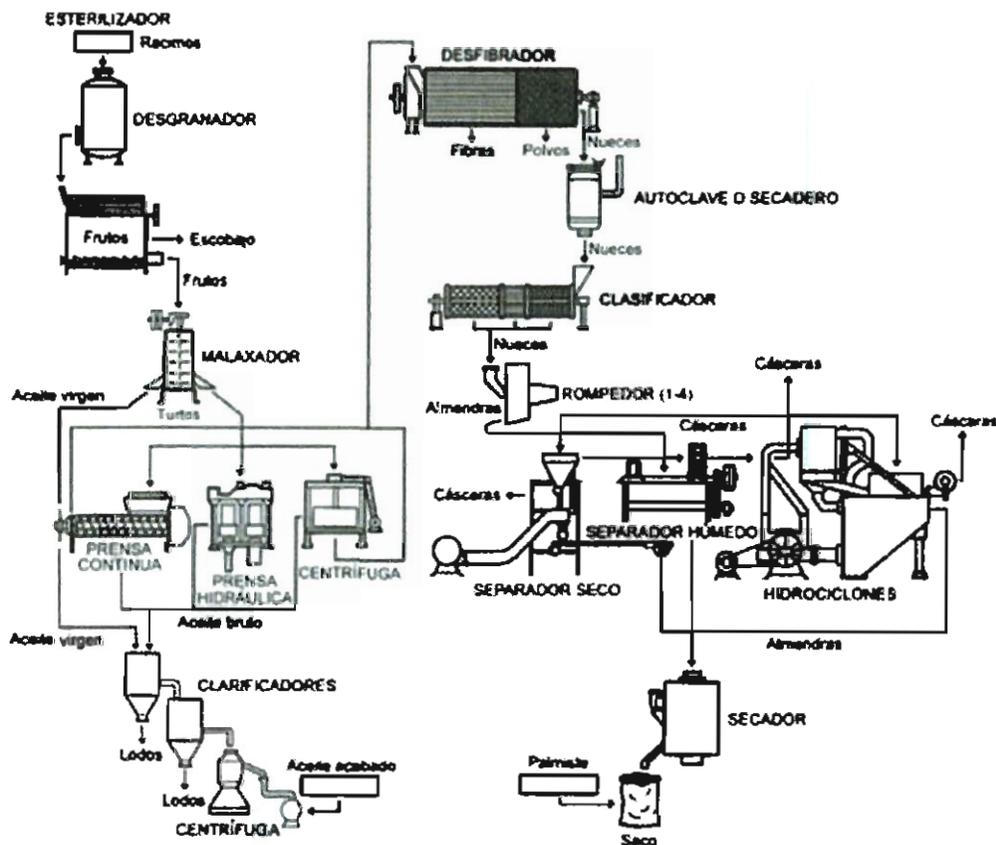


Imagen tomada Guía para la elaboración de aceite comestibles, caracterización y procesamiento de nueces. (VEGA.T.2004)

5.5 CARACTERISTICAS QUIMICAS DEL ACEITE DE PALMA

El aceite de palma es saturado hasta en un 50%, su composición en promedio es:

- 40-48% ácidos grasos saturados (principalmente palmítico)
- 37-46% ácidos grasos mono insaturados (principalmente oleico)
- 10% ácidos grasos poliinsaturados.

Debido a su alta proporción de grasas saturada. (PEREZ, J. 2010).

Se le atribuyen propiedades negativas para la salud humana ya que su consumo prolongado y abundante puede subir la proporción de colesterol LDL en la sangre. (PEREZ, J. 2010).

5.6 Proceso agroindustrial

La palma de aceite es un cultivo perenne y de tardío y largo rendimiento ya que la vida productiva puede durar más de 50 años, pero desde los 25 se dificulta su cosecha por la altura del tallo.(FLEMIG, T. 2003).

El procesamiento de los frutos de la palma de aceite se lleva a cabo en la planta de beneficio o planta extractora. En ella se desarrolla el proceso de extracción del aceite crudo de palma y de las almendras o del palmiste. (FLEMIG, T. 2003).

El proceso consiste en esterilizar los frutos, desgranarlos, macerarlos, extraer el aceite de la pulpa, clarificarlo y recuperar las almendras del bagazo resultante.

De las almendras se obtienen dos productos: el aceite de palmiste y la torta de palmiste que sirve para alimentos animal. (FLEMIG, T. 2003). Al fraccionar el aceite de palma se obtienen también dos productos: la oleína y la estearina de palma. La primera es líquida en climas cálidos y se puede mezclar con cualquier aceite vegetal. La otra es la fracción más sólida y sirve para producir grasas, principalmente margarinas y jabones. Las

propiedades de cada una de las porciones del aceite de palma explican su versatilidad, así como sus numerosas aplicaciones. (FLEMIG, T. 2003).

5. 7 Usos del aceite de palma

Por su composición física, el aceite de palma africana puede usarse en diversas preparaciones sin necesidad de hidrogenarse. Actualmente, es el segundo aceite más consumido en el mundo y se emplea como aceite de cocina, para elaborar productos de panadería, pastelería, confitería, heladería, sopas instantáneas, salsas, diversos platos congelados y deshidratados, cremas no lácteas para mezclar con el café (KWAN, S. 2010).

A su vez, los aceites de palma y palmiste sirven de manera especial en la fabricación de productos oleoquímicos como los ácidos grasos, alcoholes grasos, compuestos de nitrógeno graso y glicerol, elementos esenciales en la producción de jabones, detergentes, lubricantes para pintura, barnices, gomas y tinta. (KWAN, S. 2010).

En los últimos tiempos ha venido tomando fuerza su utilización como biocombustible. El biodiésel en la actualidad es una nueva alternativa para la utilización del aceite de palma como materia prima de otros productos. (KWAN, S. 2010).

- Chocolate
- Frituras
- Jabones
- Velas
- Margarinas
- Biodiesel
- Helados
- Vino de palma

FIGURA 2. ESQUEMA DE LA UTILIZACIÓN DEL ACEITE DE PALMA

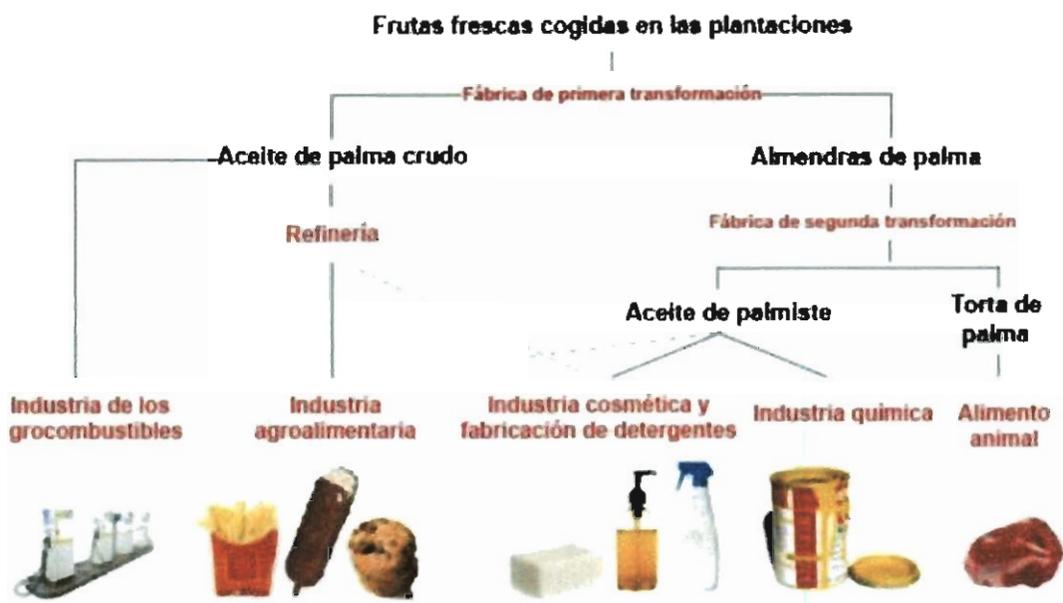


Imagen tomada de amigos de la tierra. (ESMIOL, S. 2010).

5.8 Que es el cuesco de la palma de aceite

El endocarpio del fruto se conoce también como cascara de la almendra o cuesco de la palma, este material constituye entre 5 y 7 % del peso total del fruto, es de consistencia dura y en su forma natural posee una estructura porosa, se obtiene de forma concentrada y triturada luego de la recuperación de la almendra.

El cuesco se obtiene de manera abundante, lo que constituye una ventaja respecto a otros tipos de biomasa residual que se presentan de manera dispersa y que implican costos elevados para su recolección y transporte hasta los sitios de procesamiento. La humedad del cuesco en las planta extractoras depende de la región geográfica. un promedio para el porcentaje de humedad en el cuesco se encuentra entre el 5 y 15 % (ver tabla Características físico- químicas y usos de los subproductos sólidos). En relación a su propio peso.(GOMEZ, A.2008)

5.9 Uso del cuesco de palma africana en la fabricación de adoquines y bloques de mampostería



Actualmente hace presencia, una tendencia creciente por utilizar materiales de construcción no convencionales, buscando solucionar problemas de nuestras sociedades, especialmente las de bajos ingresos. (BUZON, O.2009). Las plantas procesadoras de aceite de palma africana están buscando solución a qué hacer o donde depositar el cuesco diario de la producción. Este desecho llamado se produce en cantidades considerables cada día y los cultivadores tratan de dar solución a su problema, usándolo como material base en vías internas de las plantaciones donde se cultiva la palma, debido a su alta dureza y poco peso. (BUZON, O.2009).

Por estas mismas características mecánicas de dureza, resistencia y bajo peso, investigadores de la Corporación Universitaria de la Costa, CUC, Barranquilla, Colombia, han usado el cuesco como material constitutivo de mezclas de concreto y de mortero en la fabricación de adoquines y bloques de mampostería. (BUZON, O.2009)

El cuesco posee una alta resistencia, de hecho su desprendimiento en el racimo se da solo por el calentamiento en hornos y su trituración por altos procesos industrializados. La razón principal de utilizar este tipo de

agregado en la composición de la mezcla de concreto es que actúe como material de relleno haciendo más económica la mezcla y que proporcione su resistencia como elemento esencial a la compresión, además que controle el cambio volumétrico en el fraguado al pasar de un estado plástico a endurecido. (BUZON, O.2009)

El cuesco de palma se ha utilizado parcialmente en procesos de combustión de calderas, otro uso frecuente es en el uso de carreteras en las plantaciones. El cuesco es similar a la cascara de coco en su dureza y textura, estas propiedades hacen del cuesco un materia apropiado para la obtención de carbón. El adecuado uso y disposición de este material presenta en la actualidad lo mayores problemas de este sector de la agroindustria en Colombia. (GOMEZ, A. 2008).

El carbonato de calcio es usado ampliamente en la industria química, en su estado puro e impuro, puede ser obtenido de piedras de cal, mármol, yeso y Dolomita o conchas de ostra. Para su uso químico, la piedra caliza pura es preferida como material de activación por su alto contenido de calcio. El carbonato de calcio fue usado en el pasado como un relleno en varios tipos de alimentos y medicinas. Recientemente, este ha sido un ingrediente indispensable en la producción de artículos tales como plásticos, pintura, papel, llantas, pasta de dientes, cosméticos, forraje, látex, cables eléctricos y en artículos farmacéuticos. (TURNKEY, T. 2006.)

El carbonato de calcio puede ser producido a través de varios métodos. El carbonato de calcio viene en dos formas, terroso y claro. El carbonato de calcio terroso es producido por la molienda de piedras calizas en partículas muy finas. El carbonato de calcio claro, por otro lado, es producido por el quemado de piedras calizas a su temperatura de disociación y reconstitución de los componentes por una precipitación controlada. Si esta precipitación es hecha en la presencia de un agente de revestimiento, pues se produce el carbonato de calcio activado. Tanto el carbonato de calcio

precipitado como el carbonato de calcio revestido, son de mejor calidad que el carbonato de calcio terroso. (TURNKEY, T. 2006.)

5. 10 Características físico- químicas y usos de los subproductos sólidos.

| Subproducto | Humedad(%) | Peso equivalente al fruto procesado(%) | Composición química (ppm) | | | Uso Actual |
|-------------------------|------------|--|---------------------------|-----|------|----------------------------------|
| | | | N | P | K | |
| Tusa o raquis | 23-65 | 22 | 0.8 | 0.2 | 2.90 | Abono orgánico |
| Fibra | 12-42 | 13 | 1.4 | 2.8 | 9.0 | Combustible en calderas |
| Cáscara o cuesco | 7-15 | 6 | 0.6 | 3.3 | 12.7 | Combustible y adecuación de vías |

Tabla obtenida de Fedepalma. Características físico-químicas y usos de los subproductos sólidos. (RINCON, M. 2006).

5.11 Combustión del cuesco.

Esta combustión incontrolada no proporciona ningún tipo de contención o tratamiento de los gases, cenizas y otros residuos de la combustión ni de otras emisiones contaminantes asociadas. La temperatura de combustión es menor a 800°C y se presenta una variación de la masa del cuesco y la generación de gases (CO₂, CO, CH₄, H₂). El cuesco de palma tiene un poder calorífico de (4.890 kcal/ha). (GOMEZ, A. 2008)..

5.12 El dióxido de carbono y el carbonato de calcio.

El dióxido o bióxido de carbono – CO₂, es un gas incoloro que se licua a grandes presiones y bajas temperaturas. Presenta una solubilidad de 0.145 g. en 100 g de agua. La ingestión puede causar irritación, náuseas, vómitos y hemorragias en el tracto digestivo. La inhalación produce asfixia y la exposición puede ser peligrosa. Se incluye dentro de un grupo de gases y sustancias que generan el efecto invernadero (SAGAN, G. 2009).

Dentro de las reacciones típicas del dióxido se encuentra la reacción con el hidróxido de calcio, en medio acuoso (JODAKOV I. V.1977). En esta reacción se obtiene carbonato de calcio, de conformidad con la siguiente ecuación:

$CO_2 + Ca(OH)_2 = CaCO_3 + H_2O$ Con base a esta ecuación se puede deducir que es posible obtener carbonato de calcio a partir de materiales que por combustión generen bióxido de carbono como es el caso del cuscusco de palma, de manera que el hidróxido actúa como un agente que captura el CO₂ que se genera en la combustión.

El carbonato de calcio (CaCO₃). Compuesto también conocido como caliza, presenta baja solubilidad en agua – 0,013 por cada 100 g de agua. (ARCADE. J. 1996).

Se utiliza en la producción de vidrio y cemento, pero también como correctivo de la acidez de los suelos (ARCADE. J. 1996).

5.13 Posible uso del carbonato de calcio (CaCO₃) obtenido en la captura de gases por la combustión de residuos vegetales.

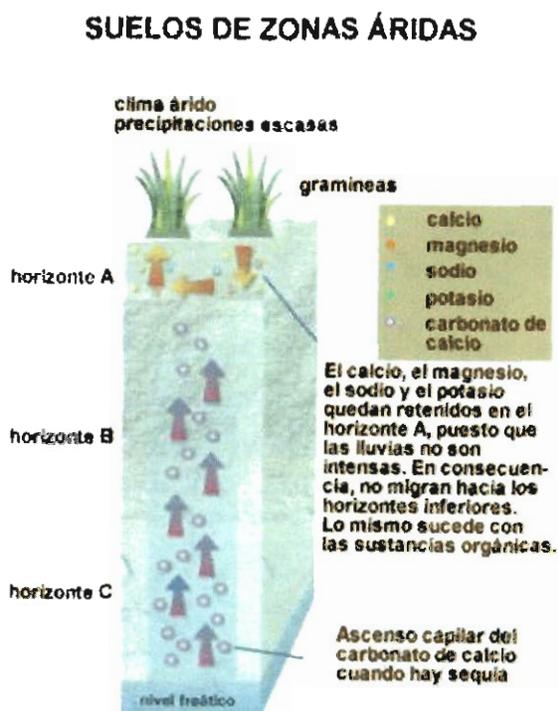
El carbonato de calcio (CaCO₃) obtenido por la captura de gases en la combustión de residuos vegetales y con el uso NaOH+CaCl₂ para su

posterior precipitación, demostró una disminución significativa del Aluminio y aumento del calcio, en los análisis de suelo realizados (laboratorio de suelos Universidad de los Llanos), con lo cual concluimos que es una alternativa importante en el uso agrícola por los siguientes aspectos. (LAZCANO, F.2009).

- mejora la fijación simbiótica del Nitrógeno (N) en las leguminosas.
- influye en la disponibilidad de nutrientes para la planta.
- Mayor profundización de la enmienda debido a su menor granulometría.
- Mayor pureza carbonato artificial (precipitado) que el extraído de roca caliza. (LAZCANO, F.2009).

En comparación con las enmiendas tradicionales utilizadas Como cal Dolomita, la aplicación en kilogramos de la misma cantidad de Carbonato de calcio seria aproximadamente 5 veces mayor, puesto que el porcentaje de CaCO_3 es de 22% (LAZCANO, F.2009).

FIGURA 3 EL CARBONATO DE CALCIO COMO ENMIENDA EN EL SUELO



5.14 LOS CARBONATOS

Son un componente que, en algunos suelos, pueden abatir (disminuir) los rendimientos de los cultivos, al limitar la respuesta a la fertilización e inclusive pueden llegar a impedir el desarrollo de ciertas especies de interés agrario. Las deficiencias de hierro, zinc, fósforo y nitrógeno pueden explicarse con la presencia excesiva de carbonatos (IBAÑEZ.J. 2007). Cuando se presentan acumulaciones de carbonato a cierta profundidad en el perfil edáfico, las plantas pueden sufrir la muerte de su yema apical, después de haber tenido un desarrollo inicial normal. En el caso sobretodo de siembras de especies arbóreas como frutales, se sugiere al menos excavar un perfil y realizar las pruebas cuantitativas pertinentes en cada estrato, y así hasta la parte mas profunda. (IBAÑEZ.J. 2007).

6. METODOLOGÍA

6.1 Localización

Los ensayos de combustión del cuesco de palma de aceite y los materiales necesarios para la iniciación del mismo fueron llevados y utilizados en un lugar destinado en la Granja, los análisis - en los laboratorios de análisis de aguas y de Suelos de la Universidad de los Llanos, sede Barcelona, ubicada en Villavicencio, Meta, kilómetro 7, vía a Puerto López, localizada a 384 m.s.n.m. latitud, 04°04'26.08'' longitud, 73°34'50.52'' oeste. La composición química de los carbonatos de calcio obtenidos, para cada material utilizado, se determina en el laboratorio de microscopia electrónica de la Universidad Nacional sede Medellín- UNALMED.

6.2 Materiales

Dentro del desarrollo de este proyecto se emplean los elementos necesarios para la construcción del sistema de combustión teniendo en cuenta y corrigiendo algunos detalles que se tuvieron en combustiones anteriores, se emplearon materiales reciclables como tanques y tubos de chatarrería, acoples de rosca universal para evitar fugas de humo producto de la combustión del cuesco de

palma de aceite, adicionalmente se utilizan elementos como pH metro, termocupla, extractor, acpm, Erlenmeyer con desprendimiento lateral, embudo de cerámica para filtración al vacío, papel filtro, buretas, pipetas, agua destilada, balanza electrónica, estufa o mufla, vaso de precipitado, libreta de apuntes y reactivos propios del análisis de aguas y muestras líquidas de acuerdo con el Standard Methods, así como otros reactivos usados en la captura y posterior precipitación del carbonato de calcio como son Hidróxido de Sodio (NaOH), Hidróxido de potasio (KOH), Hidróxido de Calcio Ca(OH)_2 -, cloruro de calcio (CaCl_2).

6.3 Secado del cuesco de palma

El secado del cuesco de palma consiste en extenderlo sobre una superficie plana utilizando papel periódico o un material que ayude a absorber la humedad; la capa o la lámina de cuesco de palma debe de ser delgada y el lugar debe de ser cubierto y aireado.

6.4 Combustión del cuesco de palma y la captación del dióxido de carbono

El cuesco de palma seco se deposita en un horno de 30 cm de diámetro por 100 cm de alto, en el fondo del cual se ubica un soporte perforado, ubicando en el fondo que sostiene el cuesco evitando que se salga del horno, en la parte superior se une una campana que lleva un tubo metálico de 2 pulgadas de diámetro que permite el flujo de los gases de combustión.

Se utilizó 1 kilo del cuesco de palma, y se colocó además un angeo metálico tubular para lograr un orificio en el centro del horno, que sirviera como canal de aireación.

Una vez establecido el montaje, se inicia la combustión del cuesco con la ayuda de un mechero entrapado con acpm y de un sistema de ventilación adicional acoplado a la parte inferior del horno. Los gases de combustión, entre ellos el dióxido de carbono, que se produce en la combustión fluyen por el tubo de dos pulgadas de la parte superior a la parte inferior de una caneca galvanizada tapada herméticamente en cuyo interior: se expone el esquema del montaje utilizado.

FIGURA 4.

ESQUEMA DEL HORNO QUEMADOR Y DEL REACTOR PARA LA CAPTURA DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN DE CUESCO DE PALMA DE ACEITE.

que se deposita en el reactor. En estas circunstancias, el carbonato de calcio (CaCO_3), se precipita en el reactor, para luego ser separado por filtración, sometido a secado y a los análisis de composición química. (En los anexos 2 y 3 se exponen los esquemas de las alternativas A y B).

6.5 Obtención del carbonato de calcio

Las muestras de carbonato de calcio obtenido CaCO_3 por contacto de los gases de combustión de los materiales utilizados y las soluciones alcalinas, se separa por filtración de la fase líquida. Esta última se somete a pruebas de carbonatos, bicarbonatos, alcalinidad, dureza cálcica, dureza total y pH., El carbonato de calcio se seca en estufa $45\text{ }^\circ\text{C}$ durante 24 horas, se pesa y se recolecta en bolsas.

Figura 5. Esquema del proceso de descomposición térmica del cuesco de palma de aceite para la captura del dióxido de carbono con soluciones alcalinas de hidróxido de sodio y precipitación del carbonato de calcio con cloruro de calcio.

Ensayo A

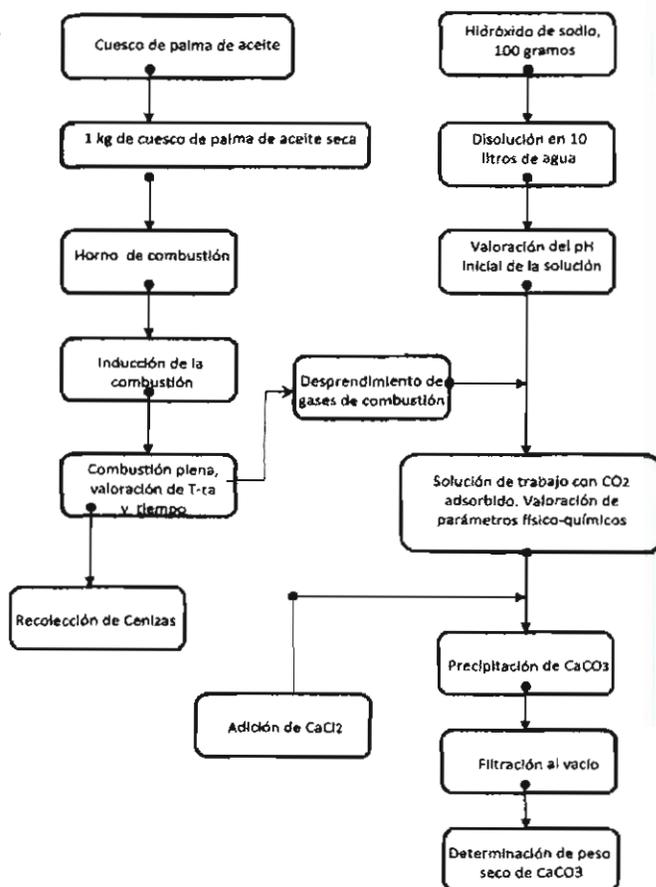
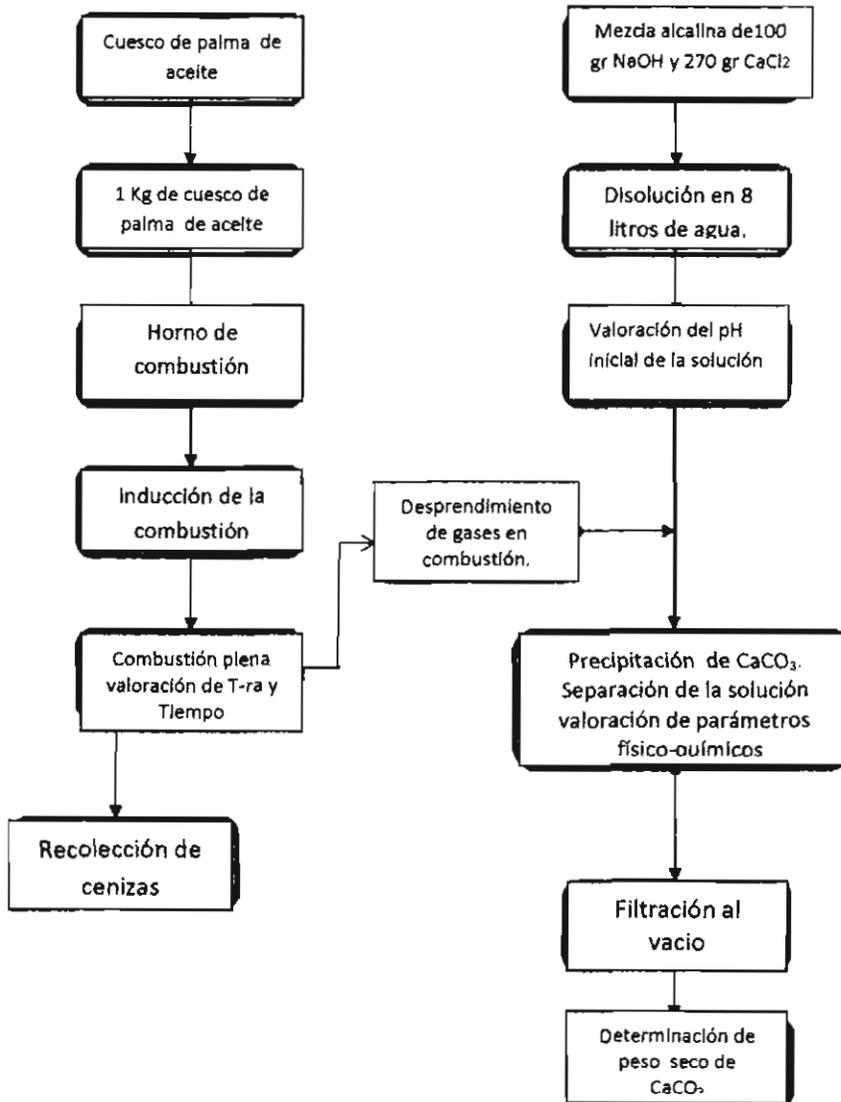


Figura 6. . Esquema del proceso de descomposición térmica del cuesco de palma de aceite para la captura del dióxido de carbono con mezcla de soluciones alcalinas de hidróxido de sodio y cloruro de calcio. Y posterior filtrado en laboratorio.

Ensayo B



6.6. Etapas del Plan

ETAPA I: determinación de las condiciones básicas para el proceso de combustión.

OBJETIVO 1: Determinar las condiciones básicas del proceso de combustión del cuesco de palma de aceite (temperatura, masa de la muestra de madera, humedad).

Actividad 1. Selección y adecuación del material objeto de trabajo (cuesco de palma).

Actividad 2. Definición de la masa del material para la combustión en condiciones del experimento.

Actividad 3. Determinación de la temperatura y la duración del proceso de combustión del material.

ETAPA 2: DETERMINACION DE LAS CONDICIONES BASICAS de la captura de los gases DE COMBUSTION.

OBJETIVO 2: Determinar las condiciones básicas del proceso de captura de los gases de combustión del cuesco de palma de aceite, (temperatura, relación soluto-solvente y pH de la solución alcalina; rendimiento y composición del Carbonato de Calcio).

Actividad 4. Definición de la relación soluto (Cloruro de Calcio (CaCl_2) e Hidróxido de Sodio (NaOH)) y solvente (H_2O) para la captura de los gases de combustión.

Actividad 5. Valoración de las condiciones (temperatura, pH inicial y final) del proceso de captura de gases.

Actividad 6. Valoración del rendimiento y composición química del carbonato obtenido.

ETAPA III: VALORACION DEL POSBLE USO DEL CARBONATO OBTENIDO.

OBJETIVO 3: Valorar, de manera preliminar, las posibilidades de uso y efectividad del producto obtenido Carbonato de Calcio (CaCO_3), en actividades agrícolas en comparación con materiales tradicionales.

Actividad 7. Valoración de la aplicación de dosis del Carbonato de Calcio (CaCO_3) obtenido y de materiales tradicionales a muestras de suelos de alto contenido de aluminio.

ETAPA IV: DIVULGACION DE RESULTADOS

Actividad 8: Análisis los resultados obtenidos y elaboración de informe final.

6.7 cronograma de actividades

| ACTIVIDAD | SEMANAS | | | | | | | | | | | | |
|--|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 1. Selección y adecuación del material objeto de trabajo | X | X | X | | | | | | | | | | |
| 2. Definición de la masa del material para la combustión en condiciones del experimento. | X | X | X | | | | | | | | | | |
| 3. Determinación de la temperatura y la duración del proceso de combustión del material. | | X | X | X | X | | | | | | | | |
| 4. Definición de la relación soluto (Cloruro de Calcio (CaCl_2) e Hidróxido de Sodio (NaOH)) y solvente (H_2O) para la captura de los gases de combustión. | | X | X | X | X | | | | | | | | |
| 5. Definición de la relación soluto (Cloruro de Calcio (CaCl_2) e Hidróxido de Sodio (NaOH)) y solvente (H_2O) para la captura de los gases de combustión. | | X | X | X | X | | | | | | | | |
| 6. Valoración del rendimiento y composición química del carbonato obtenido. | | | | | | X | X | | | | | | |
| 7. Valoración de la aplicación de dosis del Carbonato de Calcio (CaCO_3) | | | | | | | X | X | X | X | | | |
| 8. Análisis los resultados obtenidos y elaboración de informe final. | | | | | | | | | | X | X | X | X |

6.8 TRATAMIENTO ESTADISTICO

Los datos obtenidos de los análisis de laboratorio, se procesaron utilizando los métodos de la estadística descriptiva, por medio de la media verdadera con niveles del 95% de confianza, con base en la ecuación siguiente (AJNAZAROVA L. 1978).

$$MV = MC \pm S \frac{T}{\sqrt{N}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

S- desviación estándar;

MV- media verdadera;

MC- Media calculada (promedio aritmético);

T- Parámetro estadístico;

N- número de ensayos.

Se calcula el error estándar (EE) y el coeficiente de variación (CV) con base en las ecuaciones 4 y 5:

$$EE = S \frac{T}{\sqrt{N}}; \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$CV = \frac{S}{MC} \cdot 100; \quad (\text{Ecuación 3})$$

| Donde:

S- desviación estándar

MC- Media calculada (promedio aritmético);

T- Parámetro estadístico;

N- número de ensayos.

Tabla 1. Valores de la temperatura en ensayos preliminares del proceso de combustión de cuesco de Palma de aceite (Alternativa A)

| Ensayo | Temperatura(°C) |
|-------------------------------|------------------------|
| 1 | 790,0 |
| 2 | 780,0 |
| 3 | 760,0 |
| Promedio | 776,7 |
| Desviación estándar | 16 |
| Error estándar | 28,0 |
| Coeficiente de variación, (%) | 2,0 |
| Media Verdadera, % | 776,7 ± 28,0 |

Tabla 2. Valores de la temperatura en ensayos preliminares del proceso de combustión de cuesco de Palma de aceite (Alternativa B).

| Ensayo | Temperatura(°C) |
|-------------------------------|------------------------|
| 1 | 790 |
| 2 | 780 |
| 3 | 630 |
| 4 | 669 |
| 5 | 650 |
| Promedio | 704 |
| Desviación estándar | 68 |
| Error estándar | 78 |
| Coeficiente de variación, (%) | 9,6 |
| Media Verdadera, % | 704 ± 78 |

Como parte de los parámetros durante el proceso de combustión, se valoro la temperatura máxima, mínima de combustión de A y B. la temperatura máxima de combustión se encuentra para A en 790 °C , B en 790 °C y la mínima en 760 °C para A , 630°C para b, con un promedio de 776°C para A y para B 733°C siendo menor en la mínima para la temperatura en B relacionado en el contenido de humedad presente en el ensayo 3 b (tabla1,2).

Tabla 3. Valores del pH de la solución alcalina para cuesco de palma en la alternativa: A (NaOH Y CaCl₂) y B (NaOH +CaCl₂)

| Ensayo | pH, inicial A | pH, Final A |
|--------------------------------|---------------|-------------|
| 1 | 12,0 | 8,8 |
| 2 | 12,0 | 8,9 |
| 3 | 11,8 | 8,7 |
| Promedio | 11,9 | 8,8 |
| Desviación estándar | 0,12 | 0,10 |
| Error estándar | 0,2 | 0,1 |
| Coefficiente de variación, (%) | 1,0 | 1,1 |
| Media Verdadera, °C | 11,9 ± 0,2 | 8,8 ± 0,1 |

| Ensayo | pH, Inicial B | pH, Final B |
|--------------------------------|---------------|-------------|
| 1 | 11,4 | 7,1 |
| 2 | 11,4 | 6,8 |
| 3 | 11,4 | 6,1 |
| 4 | 12,0 | 6,7 |
| 5 | 11,5 | 6,1 |
| Promedio | 11,5 | 6,6 |
| Desviación estándar | 0,2 | 0,4 |
| Error estándar | 0,3 | 0,5 |
| Coefficiente de variación, (%) | 2,0 | 6,1 |
| Media Verdadera, % | 11,5 ± 0,2 | 6,6 ± 0,5, |

Como se observa en las tablas de los valores del pH de la solución alcalina de cusco de palma de la alternativa a y b, se pasan de unos pH fuertemente alcalinos 12 y 11.4 en la solución de entrada de los 3 ensayos, a unos pH alcalinos alrededor de los 8.8 para la alternativa A en la solución final y de 6.6 para la alternativa B en la solución final que indica que la captura de CO₂ se ha llevado a cabo, y por consiguiente hay presencia de carbonato y bicarbonato de sodio Na₂CO₃ + NaHCO₃ en la solución.

Tabla 4. Masa obtenida del carbonato de calcio por captura de los gases de combustión de cuesco de palma de aceite con relación a la mezcla: 100 g. de NaOH en agua. (Alternativa A).

| Ensayo | Masa, g | Rendimiento |
|-----------------------------------|----------------|--------------------|
| 1 | 89,6 | 71,7 |
| 2 | 89,6 | 71,7 |
| 3 | 89,2 | 71,4 |
| Promedio | 89,5 | 71,6 |
| Desviación estándar | 0,23 | 0,18 |
| Error estándar | 0,4 | 0,3 |
| Coefficiente de variación, (%) | 0,26 | 0,26 |

Tabla 5. Masa obtenida del carbonato de calcio por captura de los gases de combustión de cuesco de palma de aceite con relación a la mezcla: 100 g. de NaOH y 150 g. de CaCl₂. (Alternativa B).

| Ensayo | Masa, g | Rendimiento |
|-----------------------------------|----------------|--------------------|
| 1 | 106,7 | 85,4 |
| 2 | 92,5 | 74,0 |
| 3 | 114,1 | 91,3 |
| 4 | 111,3 | 89,0 |
| 5 | 172 | 137,6 |
| Promedio | 119,3 | 95,5 |
| Desviación estándar | 28 | 22 |
| Error estándar | 31,5 | 25,2 |
| Coefficiente de variación, (%) | 22,9 | 18,4 |

En la tabla (4,5) se observa la masa obtenida de carbonato de calcio por captura de gases de combustión de cuesco de palma de aceite, con las dos alternativas de montaje utilizados dando mayor eficiencia la alternativa B. Confirmando que a mayor contenido de carbono y menor contenido de humedad (5.10) de las muestras, mayor eficiencia en la quema del residuo y mayor contenido de carbonato de calcio (CaCO_3) obtenido.

El rendimiento, también puede depender de la temperatura, la presión, la concentración a la cual estén los reactivos, al contenido de carbono de las muestras, al tipo de extractor empleado, a si hay o no equilibrio en la reacción, es decir las reacciones químicas al fin y al cabo dependen de que las moléculas en su movimiento aleatorio choquen entre si, y controlando las condiciones de reacción (presión, temperatura, concentración, etc.) se puede controlar y estimar un rendimiento. El cuesco de palma de aceite tabla (5,B) presento un rendimiento promedio de la obtención del carbonato de calcio (CaCO_3) del 95,5 %.

Tabla 6. CONTENIDO DE CARBONO EN MUESTRA CRUDA DE CUESCO DE PALMA DE ACEITE.

| Ensayo | Cuesco,% |
|--------------------------------|-----------------|
| 1 | 51,82 |
| 2 | 42,25 |
| 3 | 49,57 |
| Promedio | 47,88 |
| Desviación estándar | 5,00 |
| Error estándar | 9,19 |
| Coefficiente de variación, (%) | 10,45 |
| Media Verdadera | 47,9 ± 9,2 |

El contenido de carbono, igual que la estructura del material, debe incidir en la duración del proceso de combustión, el cual se encuentra, para el material utilizado, entre 35-60 minutos, siendo de 47.88 su contenido. Por lo tanto, este material podría utilizarse para iniciar el proceso de combustión en mezcla con el cuesco de palma tabla (6).

Tabla 7. Valores de Aluminio del testigo de suelo de la granja de la Universidad de los Llanos, sede Barcelona y en muestras de suelos con enmiendas CaCO_3 , obtenido a partir de la combustión de cuesco de palma de aceite y cal Dolomita. (Dosis 2 Ton/ha)

| Ensayo | Muestra del suelo testigo Al, meq/100g suelo | Cuesco, Al, meq/100g suelo | CaCO_3 (99%), Al, meq/100g suelo |
|---------------------------|--|----------------------------|---|
| 1 | 4,25 | 0,9 | 0,7 |
| 2 | 3,9 | 1,2 | 0,95 |
| 3 | 4 | 1,2 | 0,9 |
| promedio | 4 | 1,10 | 0,85 |
| desviación estándar | 0,18 | 0,17 | 0,13 |
| Error estándar | 0,33 | 0,32 | 0,24 |
| Coefficiente de variación | 4,51 | 15,75 | 15,56 |
| Media verdadera | $4 \pm 0,33$ | $1,10 \pm 0,32$ | $0,85 \pm 0,24$ |

En la tabla (7) se observa los valores y el promedio del Al intercambiable presente en el suelo, expresado en miliequivalentes/100 gr de suelo, en el tratamiento de carbonato de calcio (CaCO_3) obtenidos a partir de la captura de gases de combustión del residuo vegetal (cuesco de palma).

En la tabla Se tiene un valor promedio que es la muestra tomada del testigo (suelo que no fue tratado, representa el estado inicial, sin tratamiento del carbonato de calcio); después de haber realizado las pruebas correspondientes (M.O. Walkley Black, S: Fosfato monobásico de calcio, Cationes: AcNH_4 , 1N pH 7.0, Elementos Menores: DTPA, AL: KCL1N, B: en frío, HCL 0.05 M, p: Bray II, pH 1:1 Suelo : Agua) en el laboratorio de suelos de la universidad de los llanos y establecido la cantidad presente de cada uno de los elementos, para nuestro proyecto.

El aluminio (Al) es el elemento de discusión; presente en el suelo utilizado para los tratamientos en los que se analizó el efecto de neutralización del aluminio con los diferentes carbonatos evaluados,.

El análisis de suelos final (promedios) es producto de las reacciones originadas por los CaCO_3 , el obtenido en la captura de gases de la combustión del residuo vegetal (cuesco), y el comercial, sobre el aluminio intercambiable adherido a la micela presente en el suelo.

De allí es tomada la diferencia, que consideramos como el efecto de neutralización que causaron los diferentes carbonatos sobre el aluminio intercambiable del suelo, dando un promedio para cuesco de palma de aceite 1.10 miliequivalentes/100 gr de suelo. Y para carbonato de calcio comercial de 0.85 miliequivalentes/100 gr de suelo.

Al comparar la cal Dolomita (CaCO_3), con el carbonato de calcio obtenido a partir de la descomposición térmica del cuesco de palma, se observa cómo el calcio actúa neutralizando el aluminio para CaCO_3 cuesco palma de 2.9 miliequivalentes/100 gr de suelos para CaCO_3 comercial (99%) de 3.15 miliequivalentes/100 gr de suelo. Pero el resultado más representativo, es como el carbonato calcio comercial es 1.08 veces más eficiente que el carbonato de calcio obtenido del cuesco.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados del análisis de la composición química del carbonato de calcio obtenido por descomposición térmica de cuesco de palma de aceite y captura de gases con soluciones alcalinas

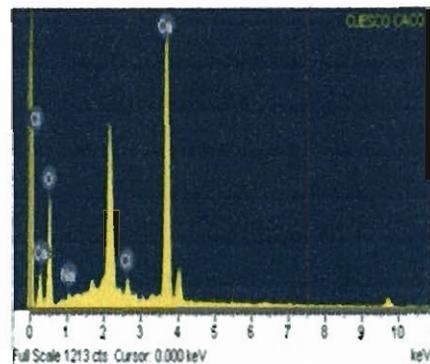
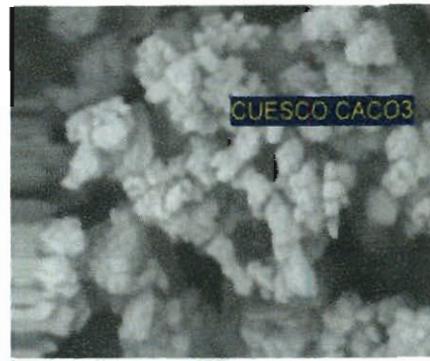
Spectrum processing:
Peaks possibly omitted: 1.654, 2.143, 9.705 keV

Processing option: All elements analyzed (Normalised)
Number of iterations = 4

Standard:
O SiO₂ 1-Jun-1999 12:00 AM
Na Albite 1-Jun-1999 12:00 AM
Cl KCl 1-Jun-1999 12:00 AM
Ca Wollastonite 1-Jun-1999 12:00 AM

| Element | Weight% | Atomic% |
|---------|---------|---------|
| OK | 50.38 | 71.42 |
| Na K | 0.80 | 0.79 |
| Ca K | 46.62 | 26.38 |
| Totals | 100.00 | |

Laboratorio de Microscopía Electrónica UNALMED

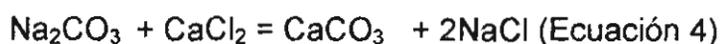


Estos resultados confirman la presencia de carbonato de calcio en la muestra, producto de la captura de CO₂ en solución de NaOH y CaCl₂. Por reacción.

En cuanto a la caracterización de las cenizas obtenidas del proceso de combustión del cuesco de palma de aceite, se encuentra que son ricas en microelementos de importancia en la adecuación de suelos.

7.1 La captura de dióxido de carbono con soluciones alcalinas.

El carbonato de calcio – CaCO_3 - presenta baja solubilidad en agua. Por tanto, la captura del dióxido de carbono con hidróxido de calcio en solución se presenta como una alternativa importante, porque lleva a la precipitación y facilita la separación de la sal obtenida. Sin embargo, la baja solubilidad del hidróxido de calcio – $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -en agua se convierte en obstáculo, en razón que para disponer de las cantidades estequiométricamente necesarias, se requiere volúmenes altos de agua y, por tanto, recipientes de gran tamaño. Los demás hidróxidos, de sodio, potasio, presentan mayor solubilidad, lo que permite utilizar cantidades considerables del metal alcalino en solución en recipientes, en comparación, pequeños, lo que hace posible la captura de los gases de combustión. Sin embargo, la mayor solubilidad en agua de los carbonatos de otros metales alcalinos y alcalinotérreos (diferentes al Calcio y al Bario), hace que estos (los carbonatos), con frecuencia, se encuentren en solución y que para precipitarlos, se deba adicionar sales de calcio, como en el caso del presente proyecto, en el que se adicionó cloruro de calcio- CaCl_2 al carbonato de sodio obtenido para precipitar el carbonato de calcio, de conformidad con la ecuación 4.



Por las razones expuestas, además de las consideraciones de costos, en el presente trabajo la captura de los gases de combustión de la cascarilla, material con el que se inició el proyecto, se realizó con soluciones de hidróxido de sodio – NaOH , puesto que no se detectaron diferencias significativas de rendimiento en la obtención de carbonato de calcio. El control del proceso de captura de CO_2 , es una actividad relativamente sencilla, en la que de indicador puede servir el valor del pH de la solución,

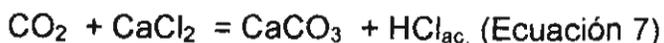
con valores del orden de 12 unidades al iniciar el proceso y de cerca de 6.6 (Tabla 2).

La precipitación del carbonato de calcio a partir de la combustión de cuesco de palma, se logra para este caso, que puede ser extensivo, a los procesos de captura de los gases de combustión de cuesco de palma de aceite, otro tipo de consideraciones, a saber:

A.- Al utilizar la mezcla de NaOH y CaCl₂ se persigue brindar hidróxido de calcio a la zona de reacción, de conformidad con la Ecuación 5.



b.- El rendimiento del hidróxido de Calcio que se produce se puede calcular a partir de cualquiera de los reaccionantes, el NaOH o el CaCl₂, en razón que la relación entre ellos se aproxima a la estequiométrica: el cloruro de calcio se encuentra en un pequeño exceso (150 g vs. 139 g requeridos estequiométricamente). Por tanto, el rendimiento del carbonato de calcio por encima del 100%, se puede explicar con base en las siguientes Ecuaciones 6 y 7:



La Ecuación 3 describe el proceso central de obtención de carbonato de Calcio, a partir de Cloruro de calcio. En el proyecto se realizaron ensayos preliminares para obtener carbonato de calcio con base en la reacción, descrita en la Ecuación 4, en los que se demostró que el rendimiento es bajo, sin embargo, alguna parte de la masa de CaCl_2 , adicionada en exceso, pudo reaccionar y producir la masa de carbonato de calcio que supera el 100% de rendimiento.

El proceso de captura de los gases de combustión de cuesco de palma, con la mezcla de NaOH y CaCl_2 , además del sensible incremento en el rendimiento en la obtención de carbonato de calcio - CaCO_3 ., ofrece ventajas tales como el hecho que el carbonato de Calcio, se precipita inmediatamente y el proceso se realiza en una sola etapa. Además, como los ensayos se adelantaron con soluciones de baja concentración, del orden del 1% en peso, con relación al NaOH y del 1,5 %- para el CaCl_2 , el trabajo con concentraciones más altas, dentro de relaciones estequiométricas, permiten suponer importantes posibilidades de capturar mayores cantidades del carbono presente en los materiales estudiados.

En este sentido, si se asumen los porcentajes de carbono en las muestras crudas del material utilizado (Tabla 12), de conformidad con los analizados en el Laboratorio de Microscopia Electrónica. UNALMED, se puede afirmar que el contenido de carbono mínimo en las muestras es el siguiente: Cuesco de palma – 38,0%; se tendría 3 kilos de muestra del material para la siguiente masa de carbono: Cuesco de palma – 1140 g.

8. Conclusiones

- Los resultados obtenidos permiten considerar, la captura de los gases de combustión del cuesco de palma a partir de la descomposición térmica, en particular el dióxido de carbono (CO_2) con soluciones de metales alcalinos y su posterior conversión en carbonato de calcio. (CaCO_3).
- En pruebas preliminares mediante un análisis de suelos se comparo el CaCO_3 obtenido del cuesco de palma y el carbonato comercial, mostrando efectividad similar que puede ser aprovechado de manera integral en usos agrícolas.
- la reducción del pH de la solución alcalina, al iniciar el proceso, es un indicador de captura de los gases de combustión.
- En estas condiciones, podría plantearse la alternativa de utilizar la descomposición térmica como una alternativa de aprovechamiento integral de estos abundantes materiales, Puesto que el calor que se genera en el proceso es aprovechado en la agroindustria.
- Las cenizas y el carbonato de calcio que se obtiene a partir de la captura de los gases de combustión puede aplicarse en cultivos agrícolas y las aguas con contenidos de cloruros – en riegos.
- Es pertinente considerar, el uso de este material por separado, por que de esta manera, se pueden obtener fuentes de energía alternativas y renovables, enmiendas y nutrientes para los suelos y cultivos de la región.

9. RECOMENDACIONES.

- El cuesco de palma utilizado para la combustión debe tener un porcentaje de humedad inferior al 15% (Ver 5.10) con el fin de tener mayor eficiencia en la generación de dióxido de carbono (CO_2) y la obtención de carbonato de calcio (CaCO_3).
- Cuantificar el contenido de dióxido de carbono (CO_2) generado durante el proceso de combustión, ya que este gas es un indicador directo del rendimiento en la obtención de carbonato de calcio (CaCO_3) en la captura de los gases de combustión proceso.
- Optimizar la captura de dióxido de carbono (CO_2) en el proceso de combustión para lograr mayor rendimiento en la obtención de carbonato de calcio (CaCO_3) con relación al contenido de carbono en la cascarilla de arroz.
- Precisar el tiempo de combustión del cuesco de palma como parámetro básico en aplicaciones de la alternativa planteada en mayor escala, en razón al elevado coeficiente de variación, de manera que sea posible determinar el tiempo mínimo requerido para el desprendimiento del CO_2 y su posterior captura
- Evaluar el carbonato de calcio en los diferentes sistemas agrarios de producción agrícola.
- Es importante el apoyo de la universidad y de las instituciones del sector industrial para el desarrollo de proyectos que, como el presente, buscan dar soluciones a las necesidades de la región e integrar la investigación con los procesos productivos.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. AJNAZAROVA L., KAFAROV V. Optimización de experimentos en la ciencia y tecnología químicas. Moscú. Vyschaya Shkola. 1978. 215 p. En ruso.
2. ARCADE. J. equivalente en carbonato de calcio dos correctivos da acidez dos solos. Scientia agrícola print ISSN 0103-9016.sciagric.vol53n. 2-3 piracicabana may/dec. 1996. En: http://www.scielo.br/scielophp?script=sci_arttext&pid=so103-90161996000200002#tableta1#tableta1.
3. BUZON. O. J. Uso del Cuesco de Palma Africana en la fabricación de Adoquines y Bloques de Mamposteria.Corporacion Universitaria de la Costa,CUC. Barranquilla, Colombia. Junio 2009. En: <http://www.laccei.org/LACCEI2009-Venezuela/p202.pdf>
4. CARDONA. J. Sustitución de Carbón por Cuesco de Palma Africana en Bucaramanga. Calderas JCT. SA. Bucaramanga, Colombia. Abril, 2010 En: http://www.minambiente.gov.co/documentos/Ambiente/memorias/memorias_seminario_bioenergia/030510_sustitucion_carbon_cuesco_palma_jct_040610.pdf
5. Dióxido de carbono. Enciclopedia wikipedia en español. En: http://es.wikipedia.org/wiki/Di%C3%B3xido_de_calcio
6. ESMIOL. S.. aceite de palma: Usos, Orígenes e Impactos. Amigos de la Tierra. España. Madrid. Enero 2008. En: http://www.tierra.org/spip/IMG/pdf/Aceite_de_Palma.pdf

7. Estadísticas ambientales. Características Físicoquímicas y usos de los productos sólido. Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite. (FEDEPALMA) Bogotá. Colombia 2006. En:
<http://www.fedepalma.org/body/estadb.htm>
8. Efecto invernadero. En:
<http://www.sagan-gea.org/hojared/grafco2.jpg>
9. GARAVITO, P. Propiedades Químicas de los Suelos. Instituto Geográfico "Agustín Codazzi". Editorial ANDES. Bogotá, D.E. 1990. En: <http://bibagr.ucla.edu.ve/jhonny2/PRACTICA%20II.htm>
10. GOMEZ, A; RINCON, S; KLOSE, W. pirolisis de biomasa cuesco de palma de aceite. Departamento de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica, Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Colombia. Bogotá Colombia; Instituto de Ingeniería Térmica, Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad de Kassel. Kassel. Alemania. 2008 En:
<http://www.uni-kassel.de/upress/online/frei/978-3-89958-457-8.volltext.frei.pdf>
11. IBAÑEZ, J. Carbonatos del Suelo, 1 mayo, 2007 En:
<http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2007/05/01/64693>
12. JODAKOV I. V. química orgánica. Moscú 19977.
13. La palma de aceite. Historia. Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite.(FEDEPALMA) Bogotá. Colombia 2003. En:
<http://www.fedepalma.org/palma.htm>

14. LAZCANO. F. I. Cal Agrícola: Conceptos Básicos para la Producción de Cultivos. Bogotá Colombia 2009. En: [http://www.ipni.net/ppiweb/iamex.nsf/\\$webindex/5057DEAFC8DE54CC06256AD1005D7CB9/\\$file/cal+agricola+conceptos+basicos+para+la+produccion+de+cultivos.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iamex.nsf/$webindex/5057DEAFC8DE54CC06256AD1005D7CB9/$file/cal+agricola+conceptos+basicos+para+la+produccion+de+cultivos.pdf)
15. Manifestación de impacto ambiental proyecto "extracción de aceite de palma africana". Agroindustrias de Palenque, S.A. de C.V. México. Municipio de Jalapa, Tabasco. Febrero 2010. En: <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/tab/estudios/2010/27TA2010ID011.pdf>
16. MEJIA. O. PATIÑO. S. ALVAREZ. ABREU. L. aprovechamiento de los residuos de la industria palmera mediante la obtención de carbón activado a escala de laboratorio. Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Química, Centro de Transferencia Tecnológica INTERFASE 25 de Septiembre de 2006. En: http://www.uis.edu.co/portal/administracion/publicaciones/revista_ion/ion%2020/documentos/ARTICULO%201.Vol%2020.pdf
17. MESNY. M. MARYMAR. E. "Generación de vapor" desde 1998 En: <http://html.rincondelvago.com/combustion.html>
18. Palm oil uses & consumer markets . pacidunia, Sdn, Bhd . Malaysia. 2010 EN: <http://www.pacidunia.com/palmoil/palmoiluses.html>
19. Planta de producción de carbonato de calcio activado y ligero, Taiwan Turnkey Project Association En: <http://turnkey.taiwantrade.com.tw/showpage.asp?subid=080&fdname=CHEMICAL+MATERIAL&pagename=Planta+de+produccion+de+carbonato+de+calcio+activado+y+ligero>

20. GUERRERO. G. Revista Semana. "Energía, Petróleo verde". Edición 1204, mayo 27 de 2005. En:

<http://www.semillas.org.co/sitio.shtml?apc=e1a1--&x=20154778>

21. VEGA.T.A. Guiar para la elaboración de aceite comestibles, caracterización y procesamiento de nueces;. Revista UPAR. convenio Andrés Bello. Bogotá. 2004. En:
http://books.google.com/books?id=iwdNCAT1VE8C&pg=PA41&lpg=PA41&dq=Guia+para+la+elaboraci%C3%B3n+de+aceite+comestibles,+caracterizaci%C3%B3n+y+procesamiento+de+nueces&source=bl&ots=VAHsq443w6&sig=p3KSHbEz2tblIQPiFsE6umhvqbc&hl=es&ei=zn_YTZ6aDMW9tgifp34HpDg&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=6&ved=0CDgQ6AEwBQ#v=onepage&q&f=false.

11. ANEXOS

Anexo1. Cuesco de Palma de aceite



Anexo 2. Horno quemador y extractor de aire.



Anexo 3. Vista exterior Cuesco de palma en plena combustión.



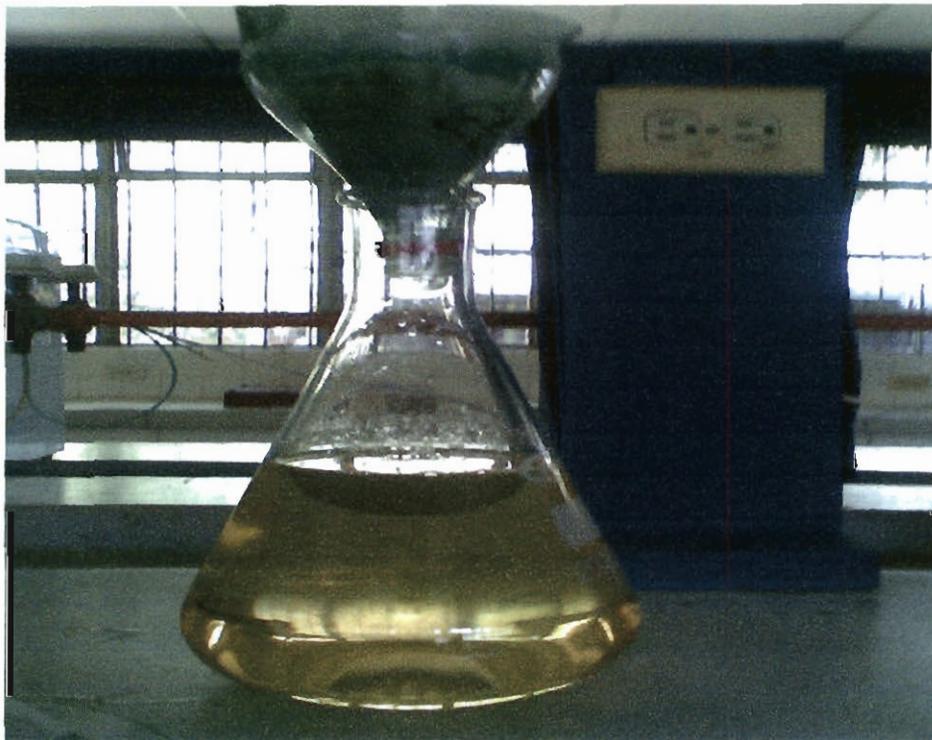
Anexo 4. Vista interior del Cuesco de palma en combustión.



Anexo 5. Medición de la temperatura en combustión de cuesco de palma.



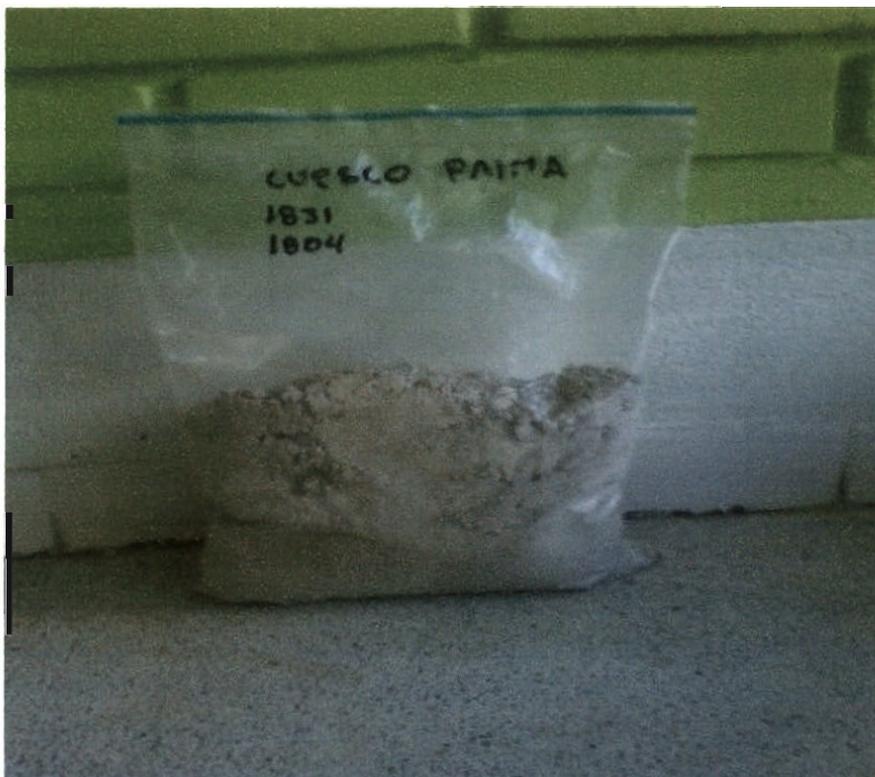
Anexo 6. Proceso de filtrado del carbonato de calcio.



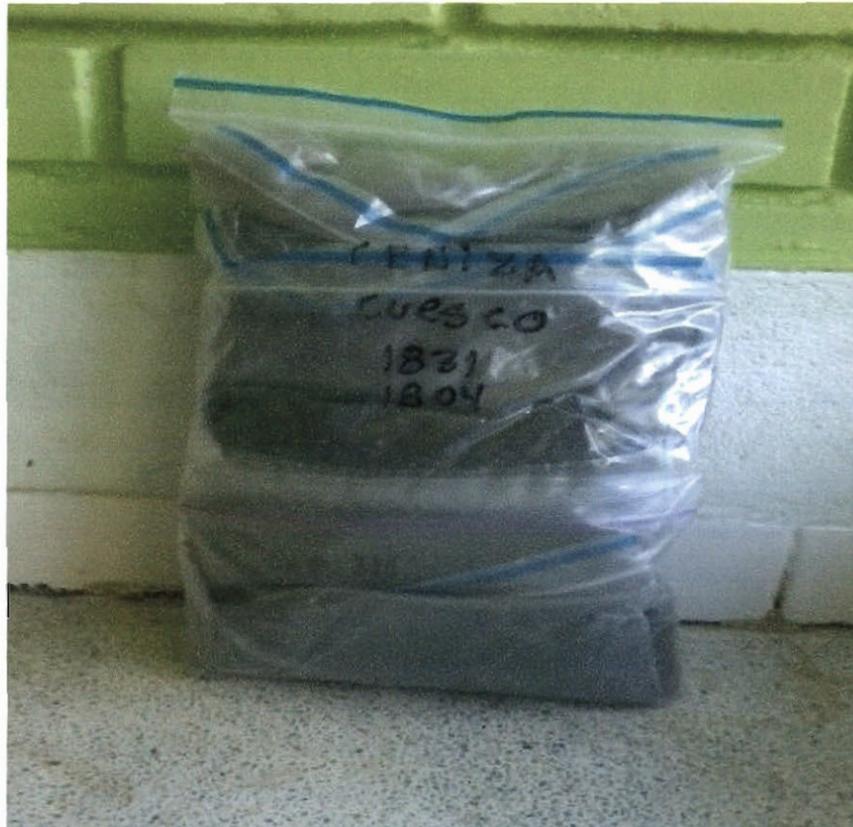
Anexo 7. Masa de carbonato de calcio obtenida después del filtrado.



Anexo 8. Masa de Carbonato de calcio obtenida de la combustión de cuesco de palma.



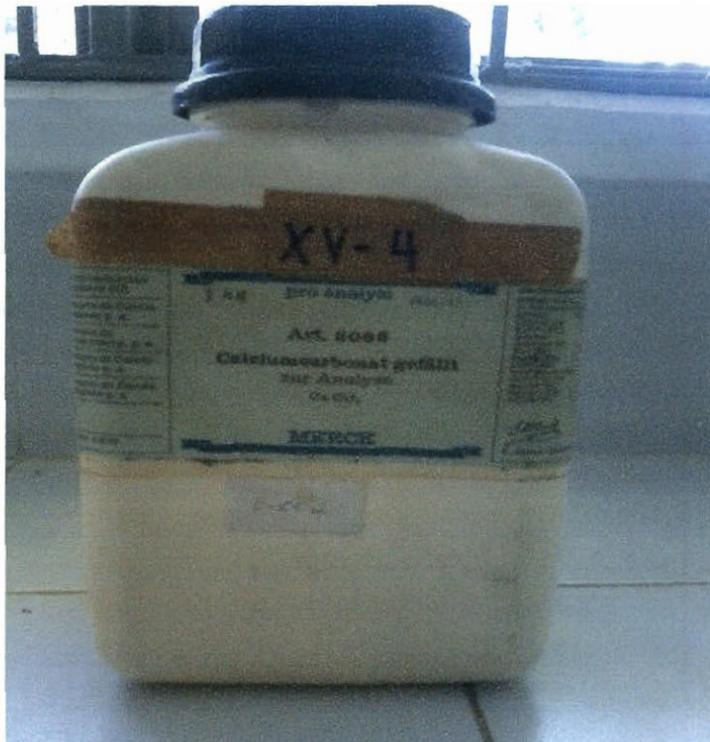
Anexo 9. Ceniza obtenida de la combustión del cuesco de palma.



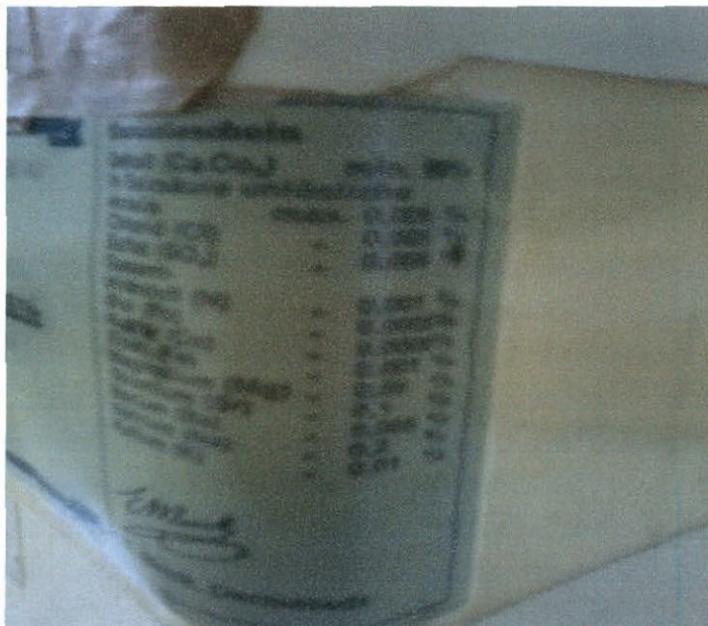
Anexo 10. Aplicación de carbonato de calcio al suelo, obtenido del cuesco de palma.



Anexo 11. Carbonato de calcio comercial 99%. (gefällt)



Anexo 12. Composición química de carbonato comercial 99%.



Anexo 13. Valoración preliminar de los tratamientos Carbonato de calcio, incorporado a las muestras de suelo.



Anexo 14. Equipo de absorción atómica utilizado para el análisis de suelo. (Perkin Elmer)



Anexo 15. Equipo para medición del pH. (pH-meter E. 520)



Anexo16. Análisis químicos de suelos del testigo, tratamiento de carbonato de calcio vegetal y comercial 99%.

| ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS | | | | | | | | | | | | |
|--|----------|--|--------|---|--------|--|-------------------|---------------|------|------|--|--|
| SOLICITANTE: ABELARDO PRADA MATIZ | | | | FINCA: GRANJA UNILLANOS | | | VEREDA: BARCELONA | | | | | |
| MUNICIPIO: VILLAVICENCIO | | | | DEPARTAMENTO: META | | | | | | | | |
| Muestra Lab. No. | LOTE No. | Text. Tacto | M.O. % | P. ppm | pH 1:1 | CATIONES $\mu\text{eq}/100\text{g}$ suelos | | | | | | |
| | | | | | | Al | Ca | Mg | K | Na | | |
| 050 | 1 | FaL | 3.1 | 0.3 | 4.2 | 4.25 | 0.40 | 0.10 | 0.12 | 0.06 | | |
| 051 | 2 | FaL | 2.9 | 0.7 | 4.5 | 3.90 | 0.30 | 0.10 | 0.11 | 0.06 | | |
| 052 | 3 | ArL | 2.7 | 0.3 | 4.6 | 4.00 | 0.35 | 0.05 | 0.11 | 0.06 | | |
| PROYECTO: TESTIGO | | | | | | | | | | | | |
| M.O. Walkley black S: Fosfato monobásico de calcio Cationes: AcNH_4 , 1N pH 7.0 Elementos Menores: DTPA. AL: KCL 1N | | B: en frío HCL 0.05 M p: Bray II pH 1:1 (Suelo : Agua) | | JULIO CESAR MORENO TORRES Director Laboratorio de Suelos | | | | FECHA ENTREGA | | | | |
| | | | | | | | | DIA | MES | AÑO | | |
| | | | | | | | | 01 | 02 | 2011 | | |

| ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS | | | | | | | | | | | | |
|--|----------|--|--------|---|--------|--|-------------------|---------------|------|------|--|--|
| SOLICITANTE: ABELARDO PRADA MATIZ | | | | FINCA: GRANJA UNILLANOS | | | VEREDA: BARCELONA | | | | | |
| MUNICIPIO: VILLAVICENCIO | | | | DEPARTAMENTO: META | | | | | | | | |
| Muestra Lab. No. | LOTE No. | Text. Tacto | M.O. % | P. ppm | pH 1:1 | CATIONES $\mu\text{eq}/100\text{g}$ suelos | | | | | | |
| | | | | | | Al | Ca | Mg | K | Na | | |
| 044 | 1 | ArL | 3.0 | 0.7 | 5.0 | 0.90 | 3.55 ^R | Trazas | 0.10 | 0.13 | | |
| 045 | 2 | ArL | 2.6 | 0.3 | 5.0 | 1.20 | 3.55 ^R | Trazas | 0.10 | 0.11 | | |
| 046 | 3 | ArL | 3.0 | 0.3 | 5.1 | 1.20 | 3.05 ^R | Trazas | 0.11 | 0.11 | | |
| NOTA: ^R = ANÁLISIS REPETIDO | | | | | | | | | | | | |
| PROYECTO: CUESCO DE PALMA | | | | | | | | | | | | |
| M.O. Walkley black S: Fosfato monobásico de calcio Cationes: AcNH_4 , 1N pH 7.0 Elementos Menores: DTPA. AL: KCL 1N | | B: en frío HCL 0.05 M p: Bray II pH 1:1 (Suelo : Agua) | | JULIO CESAR MORENO TORRES Director Laboratorio de Suelos | | | | FECHA ENTREGA | | | | |
| | | | | | | | | DIA | MES | AÑO | | |
| | | | | | | | | 01 | 02 | 2011 | | |

| Fecha de recibido | | |
|-------------------|-----|------|
| Día | Mes | Año |
| 01 | 02 | 2011 |

| ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS | | | | | | | | | | | |
|---|----------|---|-------------------------|--|--------|--------------------------|------|------|---------------|------|------|
| SOLICITANTE: ABELARDO PRADA MATIZ | | | FINCA: GRANJA UNILLANOS | | | VEREDA: BARCELONA | | | | | |
| MUNICIPIO: VILLAVICENCIO | | | DEPARTAMENTO: META | | | | | | | | |
| Muestra Lab. No. | LOTE No. | Text. Tacto | M.O. % | P. ppm | pH 1:1 | CATIONES meq/100g suelos | | | | | |
| | | | | | | Al | Ca | Mg | K | Na | |
| 118 | 4 | FaRl | 3.5 | 2.7 | 5.1 | 0.70 | 2.10 | 0.80 | 0.15 | 0.04 | |
| 119 | 5 | FaRl | 3.6 | 2.7 | 5.1 | 0.95 | 1.85 | 0.75 | 0.13 | 0.02 | |
| 120 | 6 | FaRl | 3.4 | 1.9 | 5.1 | 0.05 | 1.75 | 0.70 | 0.13 | 0.03 | |
| PROYECTO: carbonato de calcio 9% | | | | | | | | | | | |
| M.O. Walkley black S: Fosfato monobásico de calcio Cationes: AcNH4 1N pH 7.0 Elementos Menores: DTPA AL: KCL 1N | | B: en frío HCL 0.05M p: Bray II pH 1:1 (Suelo : Agua) | | JULIO CESAR MORENO TORRES Director Laboratorio de Suelos | | | | | FECHA ENTREGA | | |
| | | | | | | | | | DIA | MES | AÑO |
| | | | | | | | | | 15 | 02 | 2011 |

Anexo 17 análisis físico densidad aparente

| | |
|---|---------------------------|
| SOLICITANTE: PROYECTO CASCARILLA | |
| GRUPO DE INVESTIGACIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL SOSTENIBLE | |
| MUNICIPIO: VILLAVICENCIO | DEPARTAMENTO: META |

| Muestra Lab. No. | Lote | DENSIDAD APARENTE gr/cc |
|------------------|------|-------------------------|
| A | | 0.756 |
| B | | 0.732 |

| FECHA DE RECIBIDO | | | JULIO CESAR MORENO TORRES Director Laboratorio de Suelos | FECHA ENTREGA | | |
|-------------------|-----|------|--|---------------|-----|------|
| Día | Mes | Año | | DIA | MES | AÑO |
| 20 | 11 | 2010 | | 23 | 11 | 2010 |

Handwritten signature