

AGR
0648
EJ 1

Hemeroteca

055280

INFORME EPI DEL PROYECTO

OBTENCION DE CARBONATO DE CALCIO A PARTIR DE LA
DESCOMPOSICION TERMICA DE LA MADERA DEL ARBOL DE YOPO
(Piptadenia opacifolia Ducke) Y VALORACION PRELIMINAR DE POSIBLE
USO AGRICOLA

GRUPO DE INVESTIGACION EN GESTION AMBIENTAL SOSTENIBLE
(GiGAS)

GERMAN ERNESTO RODRIGUEZ MORENO

JUAN CARLOS RAMIREZ VILLADA

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 TERMICA DE LA MADERA DEL ARBOL DE YOPO
(Piptadenia opacifolia Ducke), Y VALORACION PRELIMINAR DE POSIBLE
USO AGRICOLA**

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

GERMAN ERNESTO RODRIGUEZ MORENO

JUAN CARLOS RAMIREZ VILLADA

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

DIRECTORES

ABELARDO PRADA MATIZ

INGENIERO QUIMICO PhD

CAROLL EDITH CORTES

QUIMICA 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 Academico

OBED GARCIA DURAN

Decano de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales

NYDIA CARMEN CARRILLO

Director Escuela de Ciencias Agrícolas

HERMAN ORJUELA LOZADA

Director programa de Ingeniería Agronomica

AGRADECIMIENTOS

En el marco del desarrollo de este proyecto tuve la fortuna de contar con varias y maravillosas personas a las cuales quiero agradecer

A Dios, porque es la persona que me guio hacia un camino exitoso

A mis padres German Rodriguez y Ana Moreno porque confiaron plenamente en mis capacidades como estudiante a pesar de los obstaculos que aparecian dia a dia en el camino

Al profesor y Director de este Proyecto el Doctor Abelardo Prada porque con cada uno de sus aportes, genero en mi un espiritu investigativo que me hace crecer como persona para afrontar grandes retos

A la profesora Carol Cortes porque me guio continuamente en cada una de sus asesorias para construir paso a paso este proyecto

A todo el personal administrativo de los Laboratorios de Suelos y Aguas por su continua colaboracion en el analisis de muestras

“GRACIAS A TODAS ESTAS PERSONAS, SE CONSTRUYO PASO A PASO, LO QUE AYER ERA UNA IDEA, HOY ES UN GRAN PROYECTO ”

GERMAN RODRIGUEZ

AGRADECIMIENTOS

Para poder realizar esta tesis fue necesario el apoyo de muchas personas a las cuales quiere agradecer

En primer lugar a Dios porque me dio la sabiduria y la fortaleza para llevar a cabo este proyecto

A mis padres Luz Helena Villada y Fidel Ramirez por su apoyo incondicional

A mi esposa Mayra Reyes Castro y a mis hermosas hijas Maria Paula Ramirez y Gabriela Ramirez ya que fueron la motivacion en los momentos difciles

A mis suegros Maria castro y Obdulio reyes por el apoyo en la crianza de mis hijas

Al Director de Tesis El Doctor Abelardo Prada que me brindo la oportunidad de desarrollar este proyecto

A la Profesora Carol Cortez por ser una gran guia en el marco del desarrollo proyecto

A los laboratorios de Suelos y aguas por su continua colaboracion en el analisis de muestras

“TRABAJANDO EN EQUIPO, SE LOGRAN LOS OBJETIVOS ”

JUAN CARLOS RAMIREZ

TABLA DE CONTENIDO

1	Resumen	8
2	Introduccion	9
3	Planteamiento	10
4	Objetivos	11
5	Marco Teorico	12
6	Metodologia	21
7	Resultados	30
8	Discusion de Resultados	37
9	Conclusiones	43
10	Recomendaciones	44
11	Bibliografia	45
12	Anexos	46

LISTA DE TABLAS

- 1 Tabla 1 Valores de la temperatura y Tiempo en el proceso de combustión de muestras de madera de yopo 32
- 2 Tabla 2 Valores del pH de la solución alcalina (NaOH +CaCl₂) en el proceso de captura de los gases de combustión de madera de yopo 33
- 3 Tabla 3 Masa obtenida de carbonato de calcio por captura de los gases de combustión de madera de yopo con relación a la mezcla alcalina 100 g de NaOH y 150 g de CaCl₂ 33
- 4 Tabla 4 Composición química característica del carbonato de calcio obtenido por captura de los gases de combustión de la madera del árbol de Yopo (*Piptadenia opacifolia* Ducke), con soluciones alcalinas 34
- 5 Tabla No 5 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 CaCO₃ obtenido a partir de la combustión de los materiales seleccionados y con Carbonato de Calcio (CaCO₃) 99% (Dosis 2 Ton/ha) 36
- 6 Tabla No 6 Contenido de carbono en muestra cruda de madera del árbol de Yopo 42

LISTA DE GRAFICAS

- 1 Figura 1 Esquema del horno quemador y del reactor para la captura de los gases de combustion de la cascarilla de arroz 20
- 2 Figura 2 Esquema del proceso de descomposicion termica de la madera del arbol de Yopo, (*Piptadenia opacifolia* Ducke) captura del Dioxido de Carbono (CO_2) con soluciones alcalinas de hidroxido de sodio y precipitacion del carbonato de calcio con cloruro de calcio 23
- 3 Figura 3 Resultados del analisis de la composicion quimica del Carbonato calcio (CaCO_3) obtenido por descomposicion termica de la madera del arbol de yopo y captura de gases con soluciones alcalinas 32

LISTA DE ANEXOS

- 1 Anexo No 1 Fotos correspondientes al desarrollo del proyecto de Obtencion De Carbonato De Calcio A Partir De La Descomposicion Termica De La Madera Del Arbol De Yopo (*Piptadenia Opacifolia* *Ducke*) Y Valoracion Preliminar De Posible Uso Agricola
52
- 2 Anexo No 2 Analisis de suelo del Testigo 56
- 3 Anexo No 3 Analisis de suelo del tratamiento evaluado con el Carbonato de Calcio (CaCO_3) de la madera de Yopo
57
- 4 Anexo No 4 Analisis de suelo del tratamiento evaluado con el Carbonato de Calcio (CaCO_3) tradicional 58
- 5 Anexo No 5 Analisis Fisico de Suelos Densidad Aparente 59

1 RESUMEN

En el desarrollo del presente proyecto se obtuvo Carbonato de Calcio (CaCO_3) a partir de la descomposicion termica de la especie maderable Yopo (*Piptadenia opacifolia Ducke*) por medio de la captura de los gases de combustion con soluciones alcalinas. El Carbonato de Calcio (CaCO_3) obtenido fue evaluado como enmienda agricola en muestras de suelos que presentan alto contenido de Aluminio (Al). Se analizaron las condiciones de los procesos de combustion (temperatura tiempo humedad) captura de gases (pH Temperatura Inicial y Final rendimiento) y contenido elemental del Carbonato de Calcio (CaCO_3) y posible uso del producto (Niveles de aluminio del suelo).

2 INTRODUCCION

La Region de la Orinoquia cuenta con numerosas especies maderables que aun se encuentran de manera silvestre como es el caso del arbol de Yopo (***Piptadenia opacifolia Ducke***) que hace parte de diferentes tradiciones usos y costumbres propias de tribus indigenas que han evolucionado extendiendose a los sectores -rural y urbano

En la actualidad el uso principal que se le da al yopo es como fuente de energia calorifica en los asaderos de carne a la llanera que ofrecen este plato tipico a propios y visitantes Durante este proceso se generan, por combustion gases que influyen, de manera importante en la contaminacion ambiental

Por lo anterior, capturar los gases emitidos en la descomposicion termica de la madera del arbol de yopo (***Piptadenia opacifolia Ducke***), durante el proceso de preparacion de la carne a la llanera para transformarlos en productos que como el Carbonato de Calcio (CaCO_3) al igual que las cenizas generadas se puedan utilizar en labores agricolas, reduciendo a la vez, el impacto ambiental ocasionado reviste gran importancia en la actualidad

3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El desprendimiento de gases por efecto de la combustión de la madera del árbol de Yopo (*Piptadenia opacifolia Ducke*), en el proceso de preparación de la carne a la llanera se suma al hecho que esta planta considerada como una autóctona de la Región de la Orinoquia se encuentra en peligro de extinción puesto que según los estimativos se utilizan anualmente 5742m³ para abastecer las necesidades de los asaderos de carne del departamento del Meta (CORMACARENA 2010)

Con la emisión los gases de combustión se eliminan a la atmósfera sustancias que como el Dioxido de Carbono (CO₂) se clasifican dentro de los denominados gases de invernadero que contribuyen al aumento del calentamiento global

De acuerdo con la normatividad ambiental vigente, las entidades encargadas en el departamento del Meta requieren de los propietarios de los asaderos de carne a la llanera, cumplir con una serie de requisitos que garanticen que la procedencia de la madera y el certificado de movilización ajustados a las disposiciones de ley (CORMACARENA 2001)

De otra parte las personas vinculadas al expendio de la carne a la llanera se han organizado en asociaciones (Asoasaderos) que se preocupan por el manejo adecuado de la madera de yopo la resiembra y comercio racional de la especie

Sin embargo a la fecha no se exige de los usuarios del yopo la captura de los gases de combustión, puesto que no se han establecido alternativas aplicables a la escala de los asaderos en el departamento del Meta y la Orinoquia colombiana

Por esta razón el presente proyecto se orienta a estudiar las posibilidades de capturar los gases de combustión de la madera del yopo en consecuencia reducir el impacto ambiental generado y obtener un producto que como el (Carbonato de Calcio (CaCO₃)) sea útil en labores agrícolas

4 OBJETIVOS

5

OBJETIVO GENERAL

- Evaluar, a nivel de laboratorio el proceso de obtención de Carbonato de Calcio (CaCO_3) a partir de la descomposición térmica de la madera del árbol de yopo (***Piptadenia opacifolia** Ducke*) la captura de los gases de combustión y su transformación en productos de posible uso en actividades agrícolas

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar las condiciones básicas del proceso de combustión de la madera del árbol de yopo (temperatura masa de la muestra de madera humedad)
- Determinar las condiciones básicas del proceso de captura de los gases de combustión de la madera del yopo (temperatura relación soluto-solvente y pH de la solución alcalina rendimiento y composición del carbonato de calcio)
- 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

5 MARCO TEORICO

5 1 ARBOL DE YOPO (*Piptadenia opacifolia* Ducke)

En la region de la Orinoquia se encuentra reporte del arbol de yopo de tres especies, *Piptadenia opacifolia* (Ducke), *Acacia Trianae* (L) *Anadenanthera peregrina* (L)

5 1 1 Caracteristicas Generales

Taxonomia

Familia Leguminoseae

Sub Familia Mimosidae

Especies (*Piptadenia opacifolia* Ducke)

Acacia Trianae L (*Anadenanthera peregrina* L)

Nombre Vernaculo Yopo yompa Lomo de Caiman

Piptadenia opacifolia (Ducke)

5 1 2 MORFOLOGIA

Arbol que crece hasta 25 m y presenta un diametro de 50 cm Hojas bipinadas alternas helicoidales con estipula y sin exudado Flores de color blanco y dispuestas en espigas axilares Fruto de legumbre aplanada dehiscente con semillas diminutas Tiene corteza escamosa Es una especie muy comun en potreros (CARVAJAL L 2007)

5 2 ACACIA TRIANAE (L)

5 2 1 MORFOLOGIA

Son arboles de ocho metros de alto (8) que posee terete de corteza muerta en escamas de color café desprendible en tiras cortas. Posee una corteza viva de color amarilla de consistencias dura. Hojas recompuestas alternas, glabras pubescentes. La inflorescencia en espigas y flor de color blanco (OTALVARO S 2001)

5 3 ANADENANTHERA PEREGRINA (L)

5 3 1 MORFOLOGIA

Son arboles de doce metros (12m) de altura y sesenta centímetros (60cm) de diámetro de fuste. Posee corteza agrietada y colorada. Follaje verde claro de textura fina. Hojas bipinada de catorce por once centímetros (14cm x 11 cm). Fruto en legumbre moniliforme aplanada de dieciséis por uno punto cinco centímetros (ACERO D 2005)

5 4 HABITAT

Es una especie que crece como árbol de sombrío en las extensas sabanas. Es una especie de rápido crecimiento fijadora de nitrógeno que presenta rebrote radicular característica muy importante para ser utilizada en la recuperación de suelos en sistemas agroforestales como sombrío y cerca viva. Presenta una madera de color rojizo (CARVAJAL L 2007)

5 4 1 PROPAGACION

Se propaga por semilla y por rebrote radicular. Colectada infertil (CARVAJAL L 2007). La programación se hace por semilla se realizan almácigos de vivero en proporción de ciento setenta gramos (170gr) por metro cuadrado. La germinación se inicia a los ocho días de la siembra. El crecimiento en vivero se

estima que tiene un periodo de cinco a seis meses (5 – 6 meses) (OTALVARO S 2001)

5 5 ETNOBOTANICA

En el idioma indigena Achagua yopo quiere decir corazon La antropologa Sara Martinez recoge de labios de Rafael Roman la tradicion oral *Asi fue como arme mi fundo*

Con los vientos ya cortados me puse a cortar horcones y me tope un corazon, cura'o o como botija de puro yopo acerao y de ese saque unos cuatro '

De los indigenas otomacos y su rivalidad con los caribes expresa el padre Gumilla (*El Orinoco ilustrado, cap XII*) ' Antes de la pelea se enfurecian con la yopa se herian a si mismos y llenos de sangre sana salian a pelear como unos tigres rabiosos

La compleja ceremonia incluia la seleccion, fabricacion y sacralizacion del instrumento para la administracion de este polvo fino ya que los chamanes preferian los huesos huecos de pajar, y cañas huecas Uno ponía el instrumento en la fosa nasal y el otro miembro soplabá fuertemente en la parte posterior (ACERO D 2005)

5 6 INTERES HISTORICO

El consumo del arbol de yopo se ha extendido por Suramerica y las diferentes etnias lo conocen por varios nombres como cebil cebil colorado curupay piptadenia entre otros Lo usan los indigenas del norte de Argentina los guaranis en Paraguay y demas pueblos amerindios de la Region Andina La restriccion de su consumo para las mujeres puede deberse a que estas semillas tienen efectos abortivos tal como lo describio el quimico Friedrich Schickendantz (1837-1896), en su libro Catalogo Razonado de las Plantas

Medicinales especialmente dedicado a las plantas de la Region de Catamarca Argentina indica en su libro que estas semillas impiden el desarrollo de los huevos en las gallinas y que los hacen expulsar antes de tiempo. La tradicion oral suramericana tambien habla del uso de las semillas de este arbol por parte de las mujeres embarazadas para inducir un aborto (SCHICKENDANTZ F 1837)

5 7 USOS DE LA MADERA DEL ARBOL DE YOPO

5 7 1 CONSTRUCCION

La madera se ha utilizado como columna de construccion como horcon para cerca o corral y para carrocerias de vehiculos (ACERO D 2005)

5 7 2 TINTE

La corteza produce tanino para curtir cueros ademas da un colorante o tinte de color negro (ACERO D 2005)

5 7 3 ALUCINOGENO

Las semillas secas molidas se utilizaban por absorcion nasal como alucinogeno por parte de comunidades indigenas de la cuenca del Orinoco (ACERO D 2005)

5 7 4 LEÑA

Con madera de yopo se elaboran masas mayales de trapiche y algunas artesanias (ACERO D 2005)

El yopo es considerado una de las especies endoenergeticas mas importante de los Llanos Orientales su madera es la preferida en los asaderos para la preparacion de la mamona (CARVAJAL 2007)

Actualmente funcionan 180 asaderos de carne a la llanera en el Meta, de los cuales 100 funcionan en Villavicencio a Asoasaderos estan afiliados 45 asaderos, de los cuales treinta y seis (36) son de Villavicencio seis (6) de Cumaral, dos (2) de Restrepo y uno (1) de Guamal (CORMACARENA 2001) los cuales utilizan esta especie maderable que es muy apetecida segun (Jesus Benavides Presidente de la Asociacion de Asaderos del Meta (ASOASADEROS) porque es un arbol nativo por tanto no hay dificultad para conseguir semilla, aunque se consigue solo en arboles silvestres

La madera del yopo es muy solicitada por los asaderos porque aun en estado verde hace combustion, no da humo evitando incomodidades al asador y clientes A la especie se le atribuye un tipo de secreto ya que al quemarse produce brasa y no produce llama a diferencia de otros arboles cuya combustion lleva a que la carne se queme por fuera” y quede cruda por dentro La madera de este arbol es objeto de una fuerte demanda en el mercado nacional ya que en algunos supermercados de Bogota se expende

En el proceso de combustion de la madera del arbol de yopo (*Piptadenia opacifolia Ducke*) se generan gases contaminante aportantes de los fenomenos del calentamiento del planeta y del deterioro de la atmosfera razon por la cual se hace necesario adelantara procesos que permitan su captura

5 8 CAPTURA DE GASES DE COMBUSTION

Avances en la Captura de Dioxido de Carbono (CO₂) en Soluciones Alcalinas

Para reducir los efectos del cambio climatico se plantea como prioridad la reduccion de la descarga de gases de efecto invernadero en la atmosfera y en consecuencia lograr que su concentracion reduzca Este proposito se fundamenta en el hecho que la concentracion de CO₂ uno de los gases de efecto

invernadero más importante ha presentado un incremento de 280 a más de 380 ppm desde el inicio de la época preindustrial hasta la época actual con el agravante que cada año aumenta en cerca de 2 ppm en consecuencia según lo reportado (CANADELL et al 2007) el aumento de las emisiones globales de CO₂ alcanza el 3,3% anual aproximadamente

Como respuesta a esa preocupación global han surgido alternativas de solución tales como la absorción de dióxido de carbono de la atmósfera con soluciones alcalinas alternativa que ha sido explorada desde 1940 (SPECTOR y DODGE, 1946 TEPE y DODGE 1943) y adicionalmente se ha implementado como tratamiento previo antes de la separación criogénica del aire

A finales de 1990 Lackner et al sugirieron el lavado de (CO₂), a gran escala, captado del aire técnica que consiste en la depuración por vía húmeda en la que el CO₂ absorbido en una solución de hidróxido de sodio (NaOH) después de reaccionar produce carbonato de sodio (Na₂CO₃) y un exceso de hidróxido El éxito de esta operación depende en gran medida de la eficiencia del contacto entre el CO₂ e hidróxido de sodio (MAHMOUDKHANI 2009)

Dentro de las propuestas de captura también aparecen las reacciones del CO₂ con sales de aminoácidos y potasio tales como la glicina y la taurina en soluciones acuosas, debido a que su naturaleza iónica les da propiedades de baja volatilidad, alta tensión superficial y alta resistencia a la degradación oxidativa (VAIDYA 2010) Otra propuesta corresponde a la captura de CO₂ empleando como sistemas de carbonatación el óxido de calcio (CaO) y el hidróxido de calcio (Ca(OH)₂) por separado Se determinó que con el óxido la tasa de carbonatación está asociada a un modelo de cinética que incluye la reacción química intrínseca seguida por la difusión dentro de la partícula en el caso de hidróxido el proceso de carbonatación está menos impedido por la difusión catalizada por la formación de agua y su tasa de captura se ajusta a un modelo

de cinética química controlada en la interfaz sólida no cubierta por el CaCO_3 (NIKULSHINA et al 2007)

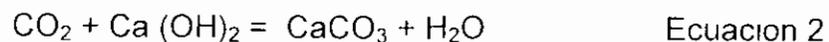
De lo anterior se deduce la posibilidad de capturar y posteriormente utilizar los gases de combustión de materiales de origen vegetal con diferentes contenidos de carbono que como la madera del árbol de yopo (*Piptadenia opacifolia Ducke*), se podría utilizar en procesos de producción en condiciones de la Orinoquia colombiana dentro de los cuales la captura con soluciones alcalinas podría presentarse como alternativa. Este trabajo aporta elementos que podrían servir de soporte para construir soluciones en este campo y aprovechar de manera integral la madera del árbol de Yopo (*Piptadenia opacifolia Ducke*), y otros desechos vegetales de la producción agrícola.

5.9 EL DIOXIDO DE CARBONO (CO_2) Y EL CARBONATO DE CALCIO (CaCO_3)

El dióxido de carbono – CO_2 es un gas incoloro que se licua a grandes presiones y bajas temperaturas. Presenta una solubilidad de 0,145 g/100 g de agua. La inhalación produce asfixia y la exposición puede ser peligrosa (DEGREMONT 1979). Se incluye dentro del grupo de gases y sustancias que generan el efecto invernadero (HERNANDEZ 2001), en particular aquel que se genera por combustión de materiales que contienen carbono (Ecuación 1)



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



La ecuación admite deducir que es posible obtener carbonato de calcio a partir de materiales que por combustión generen dióxido de carbono como es el caso de la cascarilla de arroz y que el hidróxido actúe como agente de captura de CO_2 . De

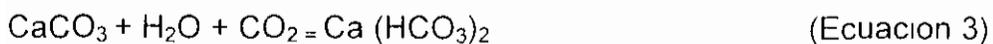
igual manera se comportan los hidroxidos de metales alcalinos, las sales de calcio y de otros metales alcalinoterreos (MELNIK 1975)

El carbonato de calcio – CaCO_3 conocido como caliza presenta baja solubilidad en agua – 0,013g/100 g de agua (MERCK 2007) característica que permite separarlo en forma de precipitado del medio de la reacción de conformidad con la Ecuación 2

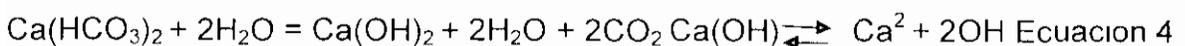
Sin embargo, el hidroxido de calcio de igual manera presenta baja solubilidad en agua lo que dificulta que en la solución se disponga de la masa estequiométrica requerida para la captura del (CO_2) Sin embargo otras sales de calcio como los cloruros (CaCl_2), presentan alta solubilidad en agua de manera que se podrían utilizar en los procesos de captura de dióxido de carbono

5 10 Interacción Del Carbonato De Calcio (CaCO_3) Y El Suelo

El Carbonato de Calcio o Cal (CaCO_3) es prácticamente insoluble en el agua pura (1 unidad de peso de carbonatos se disuelve en 100 mil unidades de peso de agua), pero en agua que contenga ácido carbónico su solubilidad aumenta considerablemente (unas 60 veces) Con la aplicación de (CaCO_3), al suelo bajo la influencia del Ácido Carbónico que se encuentra en la solución del suelo se convierte gradualmente en Bicarbonato soluble de Calcio (Ca) o Magnesio (Mg)



El Bicarbonato de Calcio se disocia en iones de Ca^{2+} y 2HCO_3^- y en parte se somete a la hidrólisis



En la solución del suelo que contiene bicarbonato de Calcio se eleva la concentración de iones de Ca^{2+} Y OH^- Los cationes de calcio desplazan los iones de hidrógeno del complejo adsorbente del suelo y la acidez se neutraliza

El (CaCO_3) interacciona también con los Ácidos libres Humicos y otros Ácidos Orgánicos en los suelos Ácidos nitrato que se forma en el proceso de Nitrificación neutralizándolos

Con la aplicación de la norma completa de cal se elimina la acidez actual y la de cambio se reduce considerablemente la Acidez hidrolítica y se eleva el contenido de Calcio (Ca) en la solución del suelo y el grado de saturación del suelo con bases

La velocidad y plenitud de influencia sobre la reacción del suelo y su saturación con bases dependen de las normas y formas de aplicación. Cuanto mayor sea la norma de (CaCO_3) más intensa será la reducción de la acidez y más crecerá la saturación del suelo con bases

Con la eliminación de la acidez el encalado ocasiona influencia multilateral sobre las propiedades del suelo crea un ambiente favorable para el crecimiento de las plantas y la vitalidad de los microorganismos útiles (YAGODIM A , 1982)

6 METODOLOGIA

6 1 Localizacion

Los ensayos de combustion de la cascarilla de arroz y los materiales adicionados para la ejecucion de este proyecto se realizaron en la Granja los analisis - en los laboratorios de analisis de Aguas y de Suelos de la Universidad de los Llanos sede Barcelona ubicada en Villavicencio Meta kilometro 7 via a Puerto Lopez localizada a 384 m s n m latitud 04°04'26.08 longitud 73°34'50.52 oeste La composicion quimica de los carbonatos de calcio obtenidos para cada material utilizado se determina en el laboratorio de microscopia electronica de la Universidad Nacional sede Medellin- UNALMED

6 1 2 Materiales

Para el desarrollo de este proyecto se emplean los elementos necesarios para la construccion del sistema de combustion se emplearon materiales reciclables como envases plasticos tanques y tubos de chatarrería adicionalmente se utilizan elementos y reactivos propios del analisis de aguas y muestras liquidas de acuerdo con el Standard Methods asi como otros reactivos usados en la captura y posterior precipitacion del carbonato de calcio como son Hidroxido de Sodio (NaOH) Cloruro de Calcio (CaCl_2) Como materiales secundarios se utilizo Madera de Yopo horno ventilador estacas destornilladores recipientes de metal pH metro, termocupla libreta de apuntes extractor ACPM mecheras hacha machete, cascos guantes baldes pala galones erlenmeyer sencillo erlenmeyer con desprendimiento lateral embudo de ceramica para filtracion al vacio, papel filtro buretas pipetas agua destilada balanza electronica estufa o mufia agitadores vaso de precipitado bolsa de recoleccion

6 1 3 Secado de los materiales para la combustion

La madera del arbol de yopo inicialmente se le retiro la corteza para acelerar el proceso de secado estos se extendieron en un lugar techado y aireado sobre una superficie plana

6 1 4 Combustion de la madera del arbol de yopo y captacion de Dioxido de Carbono (CO₂)

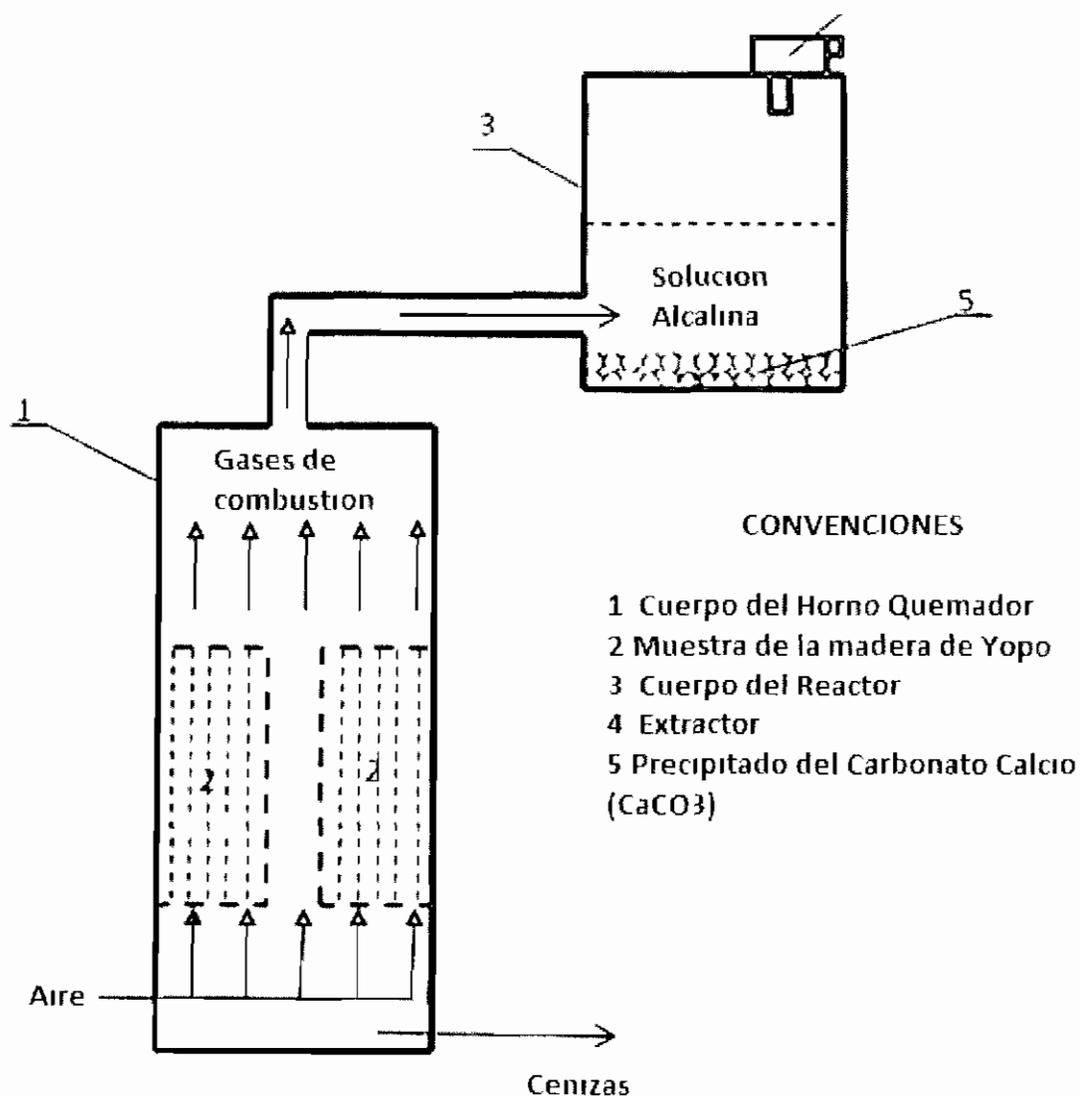
Para la combustion de la madera del arbol de Yopo (*Piptadenia opacifolia Ducke*), se construyo un horno-quemador en forma de cilindro metalico de cerca de 30 cm de diametro y un metro de altura organizado de la siguiente manera (Figura 1) en la parte intermedia - se ubica la camara de combustion en la que se deposita la muestra de cascarilla sobre un soporte metalico con agujeros de media pulgada de diametro en la parte inferior – un espacio para la entrada de aire y en la parte superior un tubo metalico de dos pulgadas para la evacuacion de gases de combustion

La camara de combustion del horno quemador dispone ademas de un orificio de dos pulgadas de diametro en el centro, que posibilita que al ubicar un cilindro compacto o trozo de madera dentro de el y luego de retirarlo tras la ubicacion manual de la madera del arbol de Yopo (*Piptadenia opacifolia Ducke*), se forme un corredor para el paso del aire de abajo hacia arriba

Una vez completo el montaje se inicia la combustion induciendola en la parte superior de la camara de combustion con ACPM y garantizando la ventilacion desde la parte inferior del horno En cada ensayo se utilizan cerca de cuatro kilogramos de madera del arbol de Yopo (*Piptadenia opacifolia Ducke*). Inicialmente se debe cortar los maderos de yopo en varias fracciones con el fin de lograr un buen proceso de combustion La madera se deposita en la camara

central del horno de diseño propio. En la cámara de combustión se ubica una malla de asbesto que permite que se forme un corredor que permite el paso del aire de abajo hacia arriba y facilita la combustión allí también quedará depositada la ceniza.

Figura 1 Esquema del Horno quemador y del Reactor para la captura de los gases de combustión de la Madera del Arbol de Yopo



6 1 5 Obtencion de Carbonato de Calcio (CaCO₃)

Se realizaron ensayos con soluciones de cloruro de Calcio –CaCl₂– sal de alta solubilidad en agua que puede proporcionar iones de calcio a la solución y posibilitar la reacción con los gases de combustión generados. Sin embargo, el rendimiento de la obtención del carbonato fue muy bajo, por esta razón se prescindió de uso posterior.

Por tanto, a la solución de hidróxido de sodio (NaOH) utilizada en la captura de gases de combustión en el reactor (Figura 1) se agrega la cantidad estequiométrica de Cloruro de Calcio ((CaCl₂), para la precipitación del Carbonato de Calcio (Figura 2), luego la muestra se filtra al vacío, se seca en estufa a 45°C durante 24 horas, se pesa y se recolecta en bolsas plásticas.

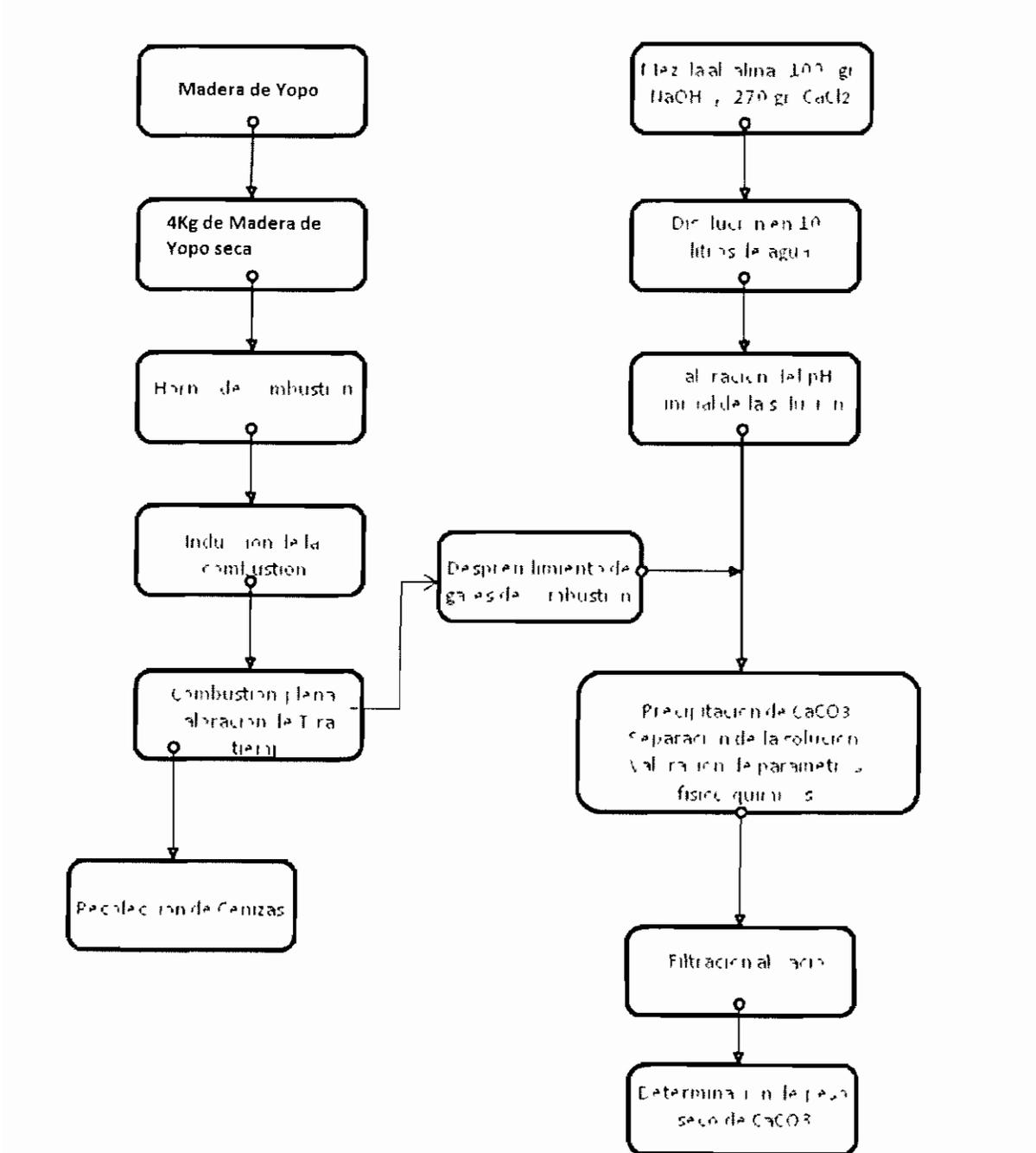
Para la captura de los gases de combustión se utilizó el siguiente proceso que se describe a continuación:

Los gases de combustión se conducen por el tubo de dos pulgadas ubicado en la parte superior del horno al reactor, en el que se deposita la solución de 100 g Hidróxido de sodio (NaOH) y 270 g de Cloruro de Calcio (CaCl₂) disueltos en diez litros de agua (10L) como medio de captura del Dioxido de carbono (CO₂). La reacción se controla por medio de la valoración del pH al iniciar y terminar el proceso de combustión. Para lograr mayor contacto entre los gases de combustión y la solución alcalina, el reactor se conecta herméticamente por la parte superior a un extractor de gases. De la solución producto de esta reacción se precipita el Carbonato de Calcio (CaCO₃) que posteriormente es trasladado al laboratorio para ser separado por filtración, sometido a secado y a los análisis de composición química (Se expone el esquema en la figura 2).

6 1 6 Separacion del Carbonato de Calcio (CaCO_3)

Las muestras de Carbonato de Calcio obtenido (CaCO_3) por contacto de los gases de combustion de los materiales utilizados y las soluciones alcalinas se separa por filtracion de la fase liquida. Esta ultima se somete a pruebas de carbonatos, bicarbonatos, alcalinidad, dureza calcica, dureza total y pH. El Carbonato de Calcio (CaCO_3), se seca en estufa a $45\text{ }^\circ\text{C}$ durante 24 horas, se pesa y se recolecta en bolsas. La composicion quimica de los productos de captura de CO_2 se determino mediante microscopia electronica de barrido realizada con un equipo JEOL JSM 5910LV, previa metalizacion con oro en un equipo Denton Vacuum Desk en el Laboratorio de Microscopia Avanzada de la Universidad Nacional sede Medellin - UNALMED. (Los resultados se exponen en la Figura 3). De manera similar, en este laboratorio se analizaron las muestras crudas del material utilizado (madera de arbol de yopo) lo que permite establecer, en igualdad de condiciones, los contenidos minimos de carbono, susceptible de participar en cada material en la combustion y posible transformacion en Carbonato de Calcio (CaCO_3).

Figura 2 Esquema del proceso de descomposicion termica de la madera del arbol de Yopo, (*Piptadenia opacifolia* Ducke), captura del Dioxido de Carbono (CO₂) con soluciones alcalinas de hidroxido de sodio y precipitacion del carbonato de calcio con cloruro de calcio



6 1 7 Prueba de posible uso del Carbonato de Calcio (CaCO_3) obtenido en suelos agrícolas

Para valorar el posible uso del carbonato de calcio (CaCO_3) en suelos agrícolas se utilizan como enmienda para reducir los niveles de aluminio en suelos con contenidos elevados de este metal en comparación con las enmiendas tradicionales utilizadas (Cal Dolomita) en dosis equivalente a dos toneladas por hectárea tomando como muestra un kilo de suelo. Los análisis se realizaron en el laboratorio de suelos de la Universidad de los Llanos.

6 1 8 Evaluación y Comparación del Carbonato de Calcio (CaCO_3) de la madera del árbol de yopo (*Piptadenia opacifolia* Ducke), frente al Carbonato de Calcio (CaCO_3) 99%

Para determinar la efectividad del Carbonato de Calcio (CaCO_3) obtenido producto de la descomposición térmica de la madera del árbol de Yopo (*Piptadenia opacifolia* Ducke), se realizó una evaluación a nivel de laboratorio con unas muestras de suelo que contenían altos contenidos de aluminio (ver anexo) este procedimiento se comparó con la utilización del Carbonato de Calcio (CaCO_3) con una dosis de (2ton/Ha) 99% de esta forma se pudo comparar la efectividad de los materiales.

6 1 9 Etapas del Proyecto

ETAPA I DETERMINACION DE LAS CONDICIONES BASICAS PARA EL PROCESO DE COMBUSTION

OBJETIVO 1 Determinar las condiciones básicas del proceso de combustión de la madera del árbol de yopo (temperatura masa de la muestra de madera humedad)

Actividad 1 Selección y adecuación del material objeto de trabajo (madera del árbol de Yopo)

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 de la madera del yopo (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

(CaCO₃) obtenido y de materiales tradicionales a muestras de suelos de alto contenido de aluminio

ETAPA IV DIVULGACION DE RESULTADOS

Actividad 8 Analisis los resultados obtenidos y elaboracion de informe final

6 10 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 (madera del árbol de Yopo)	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 ₂ O) 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 ₂ O) 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 Analisis los resultados obtenidos y elaboracion de informe final										X	X	X	X

7 RESULTADOS

7.1 TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

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 1978)

$$MV = MC \pm S \frac{T}{\sqrt{N}} \quad (\text{Ecuación 5})$$

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

$$EE = S \frac{T}{\sqrt{N}}, \quad (\text{Ecuación 6})$$

$$CV = \frac{S}{MC} \cdot 100 \quad (\text{Ecuación 7})$$

| Donde

S- desviación estándar

MC- Media calculada (promedio aritmético)

T- Parámetro estadístico

N- número de ensayos

Los resultados obtenidos por el proceso de descomposición térmica de la madera del árbol de yopo la captura de los gases de combustión, la separación del carbonato de calcio y el uso de este producto como enmienda para el suelo se exponen de la siguiente manera

- a En las tablas 1 2 3 se presentan los resultados obtenidos relacionados con el proceso de combustión de las muestras de madera del árbol de yopo (**Piptadenia opacifolia Ducke**) y la obtención de Carbonato de Calcio (CaCO_3) con soluciones alcalinas de Hidróxido de Sodio (NaOH) y Cloruro de Calcio (CaCl_2)
- b En las tablas se expone el valor de la característica evaluada en cada ensayo el promedio la desviación estándar el error estándar y el coeficiente de variación calculados de conformidad con las ecuaciones 3, 4 y 5 El valor procesado se presenta en forma de la media verdadera
- c En la tabla 4 se presenta el valor característico del Carbonato de Calcio (CaCO_3) obtenido con base en la combustión de la madera del árbol de Yopo (**Piptadenia opacifolia Ducke**) utilizado de conformidad con los resultados de los análisis realizados a muestras en el laboratorio de microscopía electrónica de la Universidad Nacional sede Medellín – UNALMED En la figura No 3 se muestran las figuras logradas en la determinación de la composición química del Carbonato de Calcio producto de la descomposición térmica
- d En la tabla 5 se exponen los datos del contenido de Aluminio en suelos de la granja de Barcelona de la Universidad de los Llanos y en muestras de ese mismo suelo como resultado del uso como enmienda del carbonato de calcio (CaCO_3) obtenido a partir de la combustión de la madera del árbol de yopo (**Piptadenia opacifolia Ducke**), en comparación con enmiendas tradicionales Calcio (Ca)

Tabla 1 Valores de la temperatura y Tiempo en el proceso de combustión de muestras de madera de yopo

No	T, °C	TIEMPO, Min
1	702	41
2	715	46
3	706	37
4	657	38
5	715	46
Promedio	699,0	41,6
Desviación Estándar	21,61	3,83
Coefficiente de Variación	3,09	9,20
Error Estándar	22,90	4,06
Media Verdadera	699 ± 22,90	41,6 ± 4,06

Se presentó alta variabilidad del tiempo de duración del proceso de combustión de la madera del árbol de yopo (*Piptadenia opacifolia Ducke*), y captura de (CO₂), lo que al parecer se relaciona con las condiciones climáticas de los días en que se realizaron los diferentes ensayos, observando que en días lluviosos o relativamente húmedos los tiempos de combustión y captura se extendieron considerablemente

Tabla 2 Valores del pH de la solución alcalina (NaOH +CaCl₂) en el proceso de captura de los gases de combustión de madera de yopo

ENSAYO	pH INICIAL	pH FINAL
1	12,0	6,6
2	12,3	6,4
3	11,8	6,8
4	11,6	6,7
5	12,3	6,4
Promedio	12,0	6,6
Desviación Estándar	0,31	0,2
Error Estándar	0,3	0,2
Coefficiente de Variación	2,6	2,7
Media Verdadera	11,0 ± 0,3	6,6 ± 0,2

Fuente Laboratorio De Análisis De Aguas De La Universidad De Los Llanos

La variación de aproximadamente 6,00 unidades de pH entre la solución inicial de hidróxido de sodio y después del proceso de captura de los gases de combustión, indica la reacción del proceso

Tabla 3 Masa obtenida de carbonato de calcio por captura de los gases de combustión de madera de yopo con relación a la mezcla alcalina 100 g de NaOH y 150 g de CaCl₂

ENSAYO	MASA (g)	RENDIMIENTO
1	112,1	89,7
2	96,5	77,2
3	132,1	105,7
4	110,2	88,2
5	114,3	91,4
Promedio	113,0	90,4
Desviación Estándar	12,7	10,2
Error Estándar	11,4	9,1
Coefficiente de Variación	11,3	11,3
Media Verdadera	113,0 ± 11,4	90,4 ± 9,1

En general para todos los ensayos se obtuvo en promedio de $90,4g \pm 9.1g$ de Carbonato de Calcio ($CaCO_3$), como se puede observar a pesar que el tiempo de combustion y de captura presentaron una alta variabilidad, la cantidad de carbonato obtenido fue practicamente la misma en los diferentes ensayos

Tabla 4 Composición química característica del carbonato de calcio obtenido por captura de los gases de combustión de la madera del árbol de Yopo (*Piptadenia opacifolia* Ducke), con soluciones alcalinas

Material	Elemento Químico %		
	Carbono	Oxígeno	Calcio
Yopo	5,06	40,07	51,91

Fuente Laboratorio de Microscopia Electrónica UNALMED

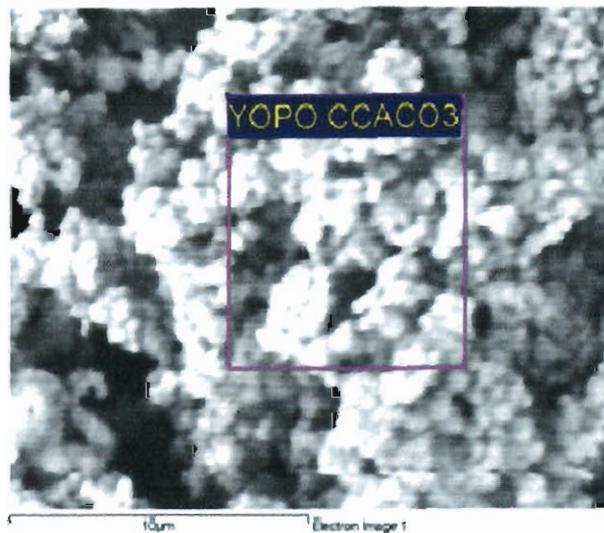
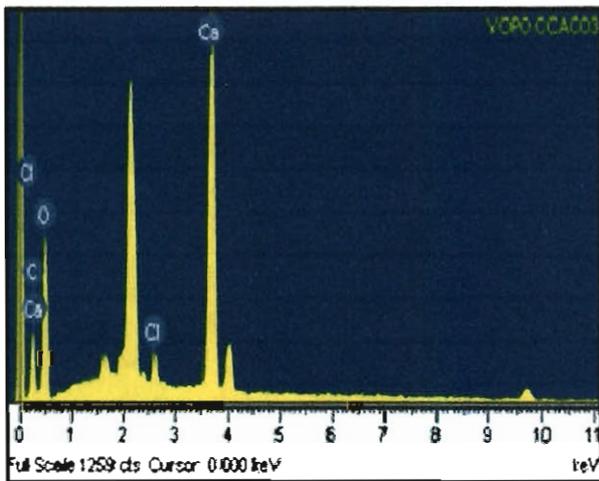
El carbonato de calcio obtenido producto de la captura de los de combustion, se sometio a microanálisis de composición por microscopia electronica de barrido, obteniendo los resultado presentados en la Figura 3 M³

Figura 3. Resultados del análisis de la composición química del Carbonato calcio (CaCO_3), obtenido por descomposición térmica de la madera del árbol de yopo y captura de gases con soluciones alcalinas.

Spectrum processing
 Peaks possibly omitted: 1.652, 2.142, 9.709 keV
 Processing option: All elements analyzed (Normalised)
 Number de interations= 4

Standard:
 C CaCO_3 1 -Jun- 1999 12:00 AM
 O SiO_2 1 - Jun 1999 12:00 AM
 Cl KCl 1- Jun 1999 12:00 AM
 Ca Wollastonite 1-Jun 1999 12:00 AM

Element	Weigh %	Atomic %
C K	8.63	14.93
O K	47.83	62.27
Ca K	41.49	21.56



Laboratorio de Microscopia Electronica. UNALMED

Tabla No. 5 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 CaCO₃ obtenido a partir de la combustión de los materiales seleccionados y con cal Dolomita. (Dosis 2 Ton/ha)

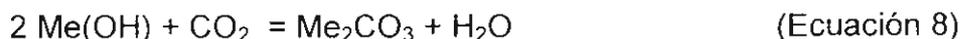
ENSAYO	MUESTRA DEL SUELO TESTIGO Al, meq/100G SUELO	CARBONATO DE CALCIO DE YOPO, AL, meq/100G SUELO	CARBONATO DE CALCIO(99%), meq/100G SUELO
1	4,25	0,25	0,30
2	3,90	0,20	0,20
3	4,00	0,15	0,20
Promedio	4,05	0,20	0,23
Desviación Estándar	0,18	0,05	0,06
Coficiente de Var.	0,33	25	24,7
Error Estándar	4,5	25,0	0,11
Media Verdadera	4,05 ± 0,33	0,20 ± 0,09	0,23 ± 0,06

8 DISCUSION DE RESULTADOS

El análisis de los resultados obtenidos en el proceso de la captura de los gases de combustión de la madera del árbol de yopo con soluciones alcalinas de hidróxido de sodio, se refiere a los siguientes aspectos: la disponibilidad del hidróxido del metal alcalino en el medio de la reacción, la precipitación, el rendimiento y la composición química del producto obtenido.

8.1 La disponibilidad del Hidróxido del metal alcalino en el medio de la reacción.

En el presente trabajo se parte del hecho establecido que para la captura del dióxido de carbono, principal componente de los gases de combustión de la madera del árbol de yopo (*Piptadenia opacifolia. Ducke.*), con soluciones de metales alcalinos o alcalinotérreos en agua, se requiere que la presencia del metal sea suficiente para propiciar la reacción, la que se puede representar con la ecuación 8 (si el metal es alcalino) y con la ecuación 9 (si el metal es alcalinotérreo).



La reacción es efectiva, siempre y cuando el carbonato del metal (Me_2CO_3 ó MeCO_3), se precipite con facilidad por su baja solubilidad en agua y se pueda separar del medio reaccionante. En estas circunstancias el proceso, podría ser un proceso sencillo, de relativa fácil organización.

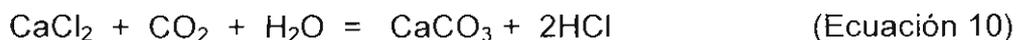
De los carbonatos conocidos, el carbonato de calcio es de los más insolubles en agua (EL CALCIO, 1963). Por tanto, la captura del bióxido de carbono con hidróxido de calcio en solución (Ecuación 2), se presenta como una alternativa importante, además, porque los líquidos y las soluciones, en general, pueden servir como trampas para la captura de gases, pero también, porque los gases de combustión presentan características ácidas y, en consecuencia, debe

presentarse, en solución acuosa, una reacción ácido – base, lo que lleva a la precipitación y facilita la separación de la sal obtenida.

En estas circunstancias, se hace necesario encontrar otras fuentes que en lo posible permitan la formación de carbonato de calcio, como las sales de calcio que presenten mayor solubilidad en agua que el hidróxido de este metal alcalinotérreo.

Los ensayos realizados con cloruro de Calcio (CaCl_2), sal de elevada solubilidad en agua, muestran rendimiento no significativo, presumiblemente por las siguientes razones (Calcio, 1963.):

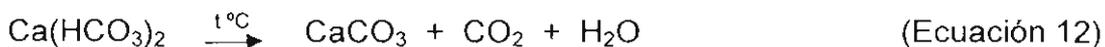
- a. El contacto de la solución de cloruro de Calcio con el (CO_2) debe llevar a la formación del carbonato de calcio (Ecuación 10).



- b. Sin embargo, en las condiciones de los ensayos realizados, el carbonato de calcio puede transformarse en bicarbonato (de calcio), de conformidad con la ecuación 9, puesto que el flujo de CO_2 al medio de la reacción, es constante, (EL CALCIO,1963):



El bicarbonato de calcio es una sal de elevada solubilidad en agua, que sólo se conoce en solución (EL CACIO, 1963), por tanto su separación del medio de la reacción no es posible. Sólo queda como alternativa el calentamiento de la solución (Ecuación 11), pero esto lleva a desprendimiento de dióxido de carbono, hecho que va en contravía de los objetivos del presente trabajo, a pesar que cierta cantidad de carbonato de calcio se precipita.



Ante estos hechos, se hace necesario utilizar hidróxido de sodio (NaOH), de costos, comparativamente, bajos, de solubilidad considerable en agua, para disponer de las cantidades requeridas del metal alcalino en solución, en recipientes de baja capacidad, que haga posible la captura de los gases de combustión, de conformidad con la siguiente Ecuación 12, aunque, en razón que el carbonato de sodio (Na₂CO₃) sea soluble en agua, no se precipite en el medio de la reacción y se requiera de otras etapa para la precipitación proyectada del carbonato de calcio (CaCO₃).



El control del proceso de captura de (CO₂), con soluciones acuosas de (NaOH), de conformidad con los resultados expuestos en la Tabla 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 6,6 – al concluirlo, dados los aceptables coeficientes de variación obtenidos (Tabla 2).

8.2 La precipitación, el rendimiento y la composición química del carbonato de calcio obtenido.

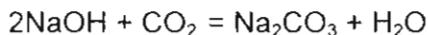
La precipitación del carbonato de calcio al tratar la solución de carbonato de sodio, obtenido en la etapa anterior, con una solución de cloruro de calcio, se logra de conformidad con la siguiente ecuación:



El carbonato de calcio se precipita y el cloruro de sodio se incorpora a la solución acuosa, cuyo volumen se aproxima a los 10 litros de la solución inicial.

Para el cálculo del rendimiento del carbonato de calcio se tuvo en cuenta la masa (100 gramos) de hidróxido de sodio utilizado en la captura del dióxido de carbono, generado por combustión de la cascarilla, en calidad de reactivo límite, en razón

que la masa de madera de yopo, puede ser considerada en exceso, de conformidad con la Ecuación 13.



Con base en los datos reportados por el Laboratorio de Microscopia Electrónica de la Universidad Nacional, sede Medellín, UNALMED, sobre la composición química de la de la madera del árbol de yopo (***Piptadenia opacifolia. Ducke.***), el porcentaje mínimo de carbono podría ser del orden de 14.8%, por tanto, 4 kg de madera de yopo utilizados, en cada ensayo, contendrían 592 g de carbono, los cuales, de conformidad con la Ecuación 1, generarían 2.170 g de (CO₂), que a su vez requerirían 3.946 g de (NaOH) (Ecuación 13); para producir 3.790 g de (CaCO₃).

Teniendo en cuenta que se utilizaron sólo 100 g de (NaOH), estos deben reaccionar con 55 g de (CO₂), para generar 133 g de (Na₂CO₃) y obtener 125 g de (CaCO₃). Puesto que la masa de carbonato de calcio (CaCO₃) obtenido es en promedio de 66,4 g, se puede aceptar que el rendimiento del proceso, dentro de estas consideraciones, es del orden del 53 %.

Es claro que dentro de estos criterios de evaluación no se tiene en cuenta la totalidad del carbono presente en la muestra de la madera del árbol de yopo utilizada. Sin embargo este análisis se adelantará en investigaciones futuras, puesto que la finalidad del presente trabajo consistía en demostrar la posibilidad de capturar el (CO₂) generado en procesos de combustión con soluciones alcalinas, situación que puede considerarse superada y evidenciada claramente por los resultados de la composición química del producto obtenido, expuestos en la Figura 3.

8.3 Elementos para el aprovechamiento integral de la Madera del Arbol de Yopo (Piptadenia opacifolia. Ducke).

Los resultados obtenidos en el presente trabajo, que aunque tiene las características de preliminar, permiten considerar posible la captura de los gases de combustión de la madera de yopo, en particular el bióxido de carbono (CO₂), con soluciones de metales alcalinos y su posterior conversión en carbonato de calcio de amplio uso en la producción agrícola.

En estas condiciones, podría plantearse la alternativa de utilizar la descomposición térmica de la madera de yopo como una alternativa de aprovechamiento integral. Puesto que el calor que se genera en el proceso puede ser y es aprovechado en procesos agroindustriales y de alimentos que lo requieran, 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 riego.

8.4 Valoración del Carbonato de Calcio (CaCO₃) Obtenido Producto de la Descomposición Térmica de la Madera del Arbol de Yopo (Piptadenia opacifolia. Ducke), y el Carbonato de Calcio (CaCO₃) 99%, evaluadas en muestras de suelos.

Para realizar la evaluación del Carbonato de Calcio (CaCO₃) obtenido producto de la descomposición térmica de la madera del árbol de yopo (Piptadenia opacifolia. Ducke), y del Carbonato de Calcio (CaCO₃) 99%, se utilizó un suelo (testigo), de la Granja de la Universidad de los Llanos Sede Barcelona. De cada material se aplicó una dosis equivalente a (2Ton/Ha), a partir de ello se valoraron las características Químicas y las posibles reacciones frente a estos productos, prácticas que se efectúan como alternativa para iniciar una labor agrícola.

Tabla No. 6 Contenido de carbono en muestra cruda de madera del árbol de Yopo.

Ensayo	Yopo %
1	18.44
2	48.51
3	48.12
Promedio	38.36
Desviación Estándar	17.25
Error estándar	31.67
Coefficiente de Variación %	44.9
Media Verdadera	38.4 ± 31.7

Laboratorio de Microscopia Electrónica. UNALMED

CONCLUSIONES

- Los gases de combustión generados por la descomposición térmica de la madera del árbol de Yopo (***Piptadenia opacifolia. Ducke***), entre ellos el dióxido de carbono (CO_2), pueden ser capturados con soluciones alcalinas como el hidróxido de Sodio (NaOH).
- La reducción del pH de la solución alcalina al iniciar y concluir el proceso, presenta valores cercanos de (12) hasta el orden de los (6,5) respectivamente, esto puede servir como indicador para el control del proceso de captura de Dióxido de Carbono (CO_2), generado en la combustión.
- El producto básico de la captura de los gases de combustión con soluciones alcalinas y su posterior transformación es Carbonato de Calcio (CaCO_3), presento características similares al Carbonato de Calcio (CaCO_3 99%), lo que nos garantiza que este puede ser una opción viable para el aprovechamiento en fines agrícolas, teniendo en cuenta sus características químicas y posibles reacciones en el suelo.
- La composición química de las cenizas obtenidas durante el proceso de combustión, indica que estas pueden ser de gran utilidad en actividades agrícolas.
- De acuerdo a los resultados obtenidos en el desarrollo y ejecución del presente proyecto, permiten visualizar la posibilidad de utilizar la descomposición térmica de la madera del árbol de Yopo (***Piptadenia opacifolia. Ducke***), como una alternativa de uso, para su aprovechamiento integral en labores agrícolas, en razón que el calor, las cenizas, el Carbonato de Calcio (CaCO_3) producto de la captura de los gases de combustión y las aguas efluentes, ricas en cloruros, pueden ser aprovechadas en procesos productivos.

RECOMENDACIONES

- 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.
- Se debe optimizar la captura de Dióxido de carbono (CO_2) en el proceso de combustión, con el fin de lograr mayor rendimiento en la obtención de Carbonato de Calcio (CaCO_3) con relación al contenido de carbono de la madera de Yopo.
- Precisar el tiempo de combustión de la madera del árbol de Yopo (*Piptadenia opacifolia. Ducke*), ya que es un parámetro básico, en razón para disminuir el coeficiente de variación que se presenta, de esta forma lograr optimizarla y pueda ser una alternativa planteada en mayor escala.
- Para el desarrollo de este tipo de proyectos es necesario contar con el apoyo integral de la Universidad e instituciones vinculadas a este sector, ya que se generan alternativas de desarrollo, que buscan dar soluciones a las necesidades de la región, porque pone la investigación al servicio de los futuros procesos productivos.

BIBLIOGRAFIA

1. ACERO D, LUIS E. Plantas Útiles de la Cuenca del Orinoco, Segunda Edición.2005. Bp Exploration Company (Colombia) Limited, Ecopetrol y Corporinoquia.
2. AJNAZAROVA L., KAFAROV, V. Optimización de experimentos en la ciencia y tecnología químicas. Moscú. Vyschaya Shkola. 1978. 215 p. En ruso.
3. AMEZQUITA E, CALDERON F, ESTRADA E, GALIANO S, GARCIA A, GUERRERO R, HANKE F, LORA R, LUNA C, MALAGON D, MEJIA L, MONTENEGRO H, MUNEVAR F, ROJAS A. Fundamentos para la Interpretacion de Analisis de Suelos, Plantas y Aguas para Riego. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Editado e Impreso por Montoya y Araujo Ltda. Bogotá 1991.
4. CANADELL JG, LE QUER`RE C, RAUPACH MR, FIELD CB, BUITENHUIS ET, CIAIS P, et. Al. Contributions to accelerating atmospheric CO2 growth from economic activity, carbon intensity and efficiency of natural sinks. Proc.Natl. Acad. Sci. 2007. 104 (47): 18866–18870.
5. CARVAJAL L, LOPEZ C, PATARROYO J, GUALDRON A, JIMENEZ M, GARZON A. Composición Florística y estructural del Bosque de Galería Puerto López Meta, Estudio de propiedades Físico – Mecánicas de cinco Especies Maderables, Catalogo Ilustrado de Especies; Corporación para el desarrollo Sostenible del Area de Manejo Especial la Macarena (CORMACARENA), Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Policromía Digital, Bogotá Agosto de 2007.

6. CLAVIJO J, LORA R, MALAVOLTA E, ZAPATA R, ESPINOSA J, AMEZQUITA E, LEON A, GUERRERO R, MUÑOZ R, BURBANO H, SANCHEZ L, VILLAR H, BARRERA L, GARCIA A. Fertilidad de Suelos Diagnostico y Control. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Nueva Edición 1994. Editorial Guadalupe LTDA. Santa Fe de Bogotá Colombia 1994.
7. Centro De Documentación Corporación Para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial la Macarena (2010).
8. Centro De Documentación Corporación Para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial la Macarena (2001).
9. DEGREMONT. 1979. Manual técnico del agua. Cuarta edición, España
10. El Calcio. Enciclopedia química. 1963. Moskva. P.370-383. En ruso.
11. GABDAN J.; M. BLASCO Y R. GUERRERO. El Calcio en los suelos volcánicos del altiplano de Pasto. Universidad de Nariño. Revista de Ciencias Agrícolas. 4 (1): 5-12. 1972.
12. JODAKOV V. Química inorgánica. Moscú 1977.
13. LACKNER KS, GRIMES P, ZIOCK HJ. Capturing carbon dioxide from air. In: 24th Annual Technical Conference on Coal Utilization, 1999. Clearwater, FL.
14. MAHMOUDKHANI M, KEITH DW. Low-energy sodium hydroxide recovery for CO₂ capture from atmospheric air—Thermodynamic analysis. Int. J. Greenhouse Gas Control 2009, doi:10.1016/j.ijggc.2009.02.003.

15. MELNIK B. Manual de ingeniería. Tecnología de la sustancias inorgánicas, 1975. Jimia, Moscú. En ruso.
16. NIKULSHINA V, GALVEZ, ME, STEINFELD A. Kinetic analysis of the carbonation reactions for the capture of CO₂ from air via the Ca(OH)₂-CaCO₃-CaO solar thermochemical cycle. Chemical Engineering Journal. 2007. 129: 75-83.
17. PRADA A, CORTES C, COHECHA E. Obtención de Carbonato de Calcio a partir de la Descomposición Térmica de Cascarrilla de Arroz y Valoración preliminar de A ternativas de posible Uso en Cultivos Agrícola. Grupo De Investigacion Gestion Ambiental Sostenible – Gigas. Universidad De Los Llanos – Unillanos. Febrero 2011.
18. OTALVARO S, NOEL A. Identificación y Caracterización de Arboles y Arbustos con Potencial Forrajeras en los Municipios de San Luis de Cubarral, el Dorado y Guamal (Meta). 2001.
19. Reactivos y Productos químicos. MERCK. Bogotá. Colombia.2007.
20. SCHICKENDANTZ F, Catalogo Razonado de las Plantas Medicinales de Catamarca. Anales Circulo Med. Argentina 5. 1881 -1882 Annotated Systematic List, whith vernacular name.
21. SPECTOR NA, DODGE BF. Removal of carbon dioxide from atmospheric air. Trans. Am. Inst. Chem. Eng. 1946. 42]: 827-848. Comentado en: Mahmoudkhani M, Keith DW. Low-energy sodium hydroxide recovery for CO₂ capture from atmospheric air—Thermodynamic analysis. Int. J. Greenhouse Gas Control 2009, doi:10.1016/j.ijggc.2009.02.003.

22. VAIDYA PD, KONDURU P, VAIYANATHAN M, KENIG, EY. Kinetics of Carbon Dioxide Removal by Aqueous Alkaline Amino Acid Salts. *Industrial & Engineering Chemistry Research* 2010 49 (21): 11067-11072
23. YAGODIN B, SMIRNOV P, PETERBURGSKI A. Agroquímica I. Primer Tomo. Editorial Mir Moscú 1986. Moscú Rusia.

ANEXOS

Anexo 1



Foto No. 1 Corteza del árbol de yopo (*Piptadenia opacifolia*, Ducke)



Foto No. 2 Horno Quemador

Modelo Experimental

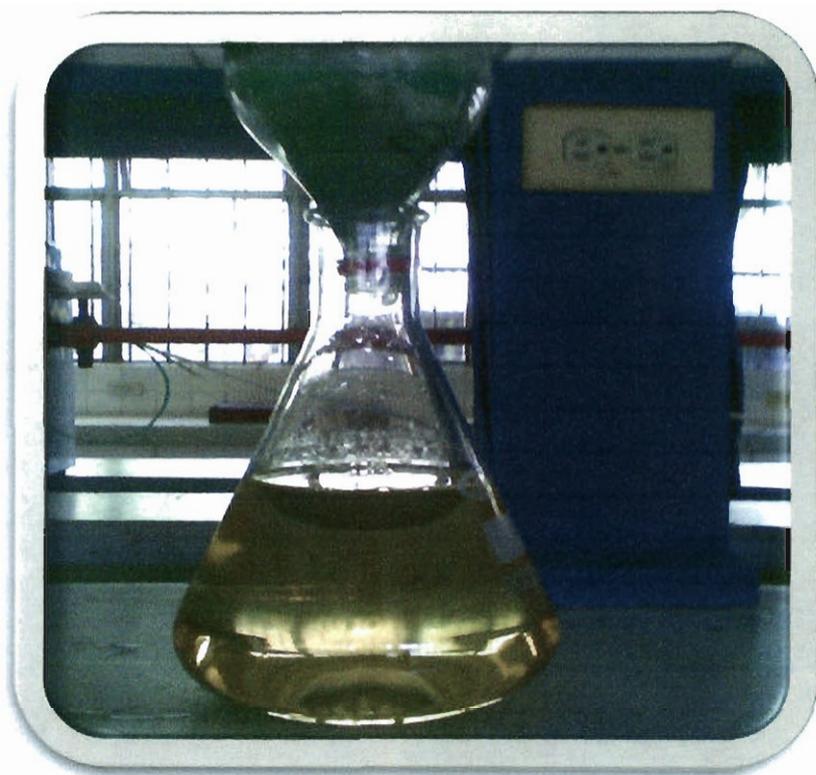


Foto No. 3 Filtración de la Solución



Foto No. 4 Carbonato Calcio (CaCO_3) Humedo

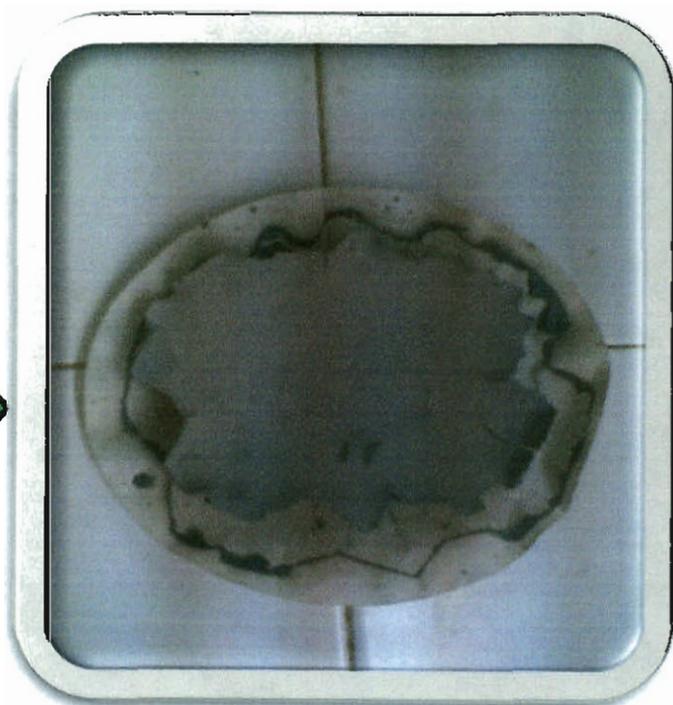


Foto No. 5 Carbonato Calcio Seco



Foto No. 5 Carbonato de Calcio de la madera del árbol de Yopo



Foto No.6 Evaluación del Carbonato de Calcio en muestras de suelo

Anexo 2.



UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS
 Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales
 Escuela de Ciencias Agrícolas
 LABORATORIO DE SUELOS



Fecha de recibido		
Día	Mes	Año
24	01	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
050	1	FAr	3.1	0.3	4.2	4.25	0.40	0.10	0.12	0.06
051	2	FArL	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

NOTA: ^R = ANÁLISIS REPETIDO

PROYECTO: TESTIGO

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)	FECHA ENTREGA		
		DIA	MES	AÑO
		01	02	2011

JULIO CESAR MORENO TORRES
 Director Laboratorio de Suelos

Km. 12 vía Puerto López, Vereda Barcelona, Tel. (098) 6616800, ext. 119
 E-Mail laboratoriodesuelos@unillanos.edu.co, labsuelosunillanos@yahoo.com

Anexo 3.



UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS
 Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales
 Escuela de Ciencias Agrícolas
 LABORATORIO DE SUELOS



Fecha de recibido		
Día	Mes	Año
24	01	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	CACIONES meq/100g suelos				
						Al	Ca	Mg	K	Na
047	1	ArL	2.9	1.9	4.7	0.25	6.20	Trazas	0.11	0.12
048	2	ArL	3.0	0.3	6.0	0.20	9.30	Trazas	0.14	0.16
049	3	ArL	3.0	0.3	5.7	0.15	6.40 ^R	Trazas	0.11	0.11

NOTA: ^R = ANÁLISIS REPETIDO

PROYECTO: YOPO

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)	FECHA ENTREGA		
		DIA	MES	AÑO
		01	02	2011
JULIO CESAR MORENO TORRES Director Laboratorio de Suelos				

Km. 12 vía Puerto López, Vereda Barcelona, Tel. (098) 6616800, ext. 119
 E-Mail laboratoriolodesuelos@unillanos.edu.co, labsuelosunillanos@yahoo.com

Anexo 4.



UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS
Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales
Escuela de Ciencias Agrícolas
LABORATORIO DE SUELOS



Fecha de recibido		
Día	Mes	Año
24	01	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
041	M 1	ArL	3.0	0.3	5.7	0.30	6.20 ^R	Trazas	0.11	0.10
042	M 2	FArL	2.8	0.3	5.7	0.20	6.60	0.10	0.11	0.11
043	M 3	FArL	2.7	0.7	5.5	0.20	5.70	0.15	0.13	0.10

NOTA: ^R = ANÁLISIS REPETIDO

PROYECTO: **CARBONATO 99%**

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)	FECHA ENTREGA		
		DIA	MES	AÑO
		01	02	2011

JULIO CESAR MORENO TORRES
Director Laboratorio de Suelos

Km. 12 vía Puerto López, Vereda Barcelona, Tel. (098) 6616800, ext. 119
E-Mail laboratoriodesuelos@unillanos.edu.co, labsuelosunillanos@yahoo.com

Anexo 5.



UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS



**Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales
Escuela de Ciencias Agrícolas
LABORATORIO DE SUELOS**

ANÁLISIS FÍSICO DE SUELOS

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

Bizarro P.R.

**Km. 12 vía Pto López, Vereda Barcelona Tel. (098) 6616800, EXT. 119
E-Mail laboratoriodesuelos@unillanos.edu.co**