AGR
0649
Ej 1

Hemeroteca

055282

OBTENCION DE CARBONATO DE CALCIO A PARTIR DE LA DESCOMPOSICION TERMICA DEL BAGAZO DE CAÑA *(Saccharum officinarum L)* Y VALORACION PRELIMINAR DE POSIBLE USO AGRICOLA

GRUPO DE INVESTIGACION EN GESTION AMBIENTAL SOSTENIBLE (GIGAS)

DANIEL FERNANDO HERRERA MORALES

WILMAR CAMILO GALAN REYES

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 BAGAZO DE CAÑA *(Saccharum officinarum L), Y* VALORACION PRELIMINAR DE POSIBLE USO AGRICOLA

GRUPO DE INVESTIGACION EN GESTION AMBIENTAL SOSTENIBLE (GIGAS)

DANIEL FERNANDO HERRERA MORALES

WILMAR CAMILO GALAN REYES

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

DIRECTORES

ABELARDO PRADA MATIZ

Ing Qco PhD

CAROLL EDITH CORTES

Qco Esp

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

JORGE ENRIQUE MUÑOZ AGUILERA

Director Escuela de Ciencias Agricolas

NYDIA CARMEN CARRILLO

Director programa de Ingenieria Agronomica

Nota de aceptación

_____

_____

_____

_____

_____

Director

_____

Director

_____

Jurado

_____

Jurado

Villavicencio, de 2011

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la vida afrontar con fortaleza cada una de las experiencias que han transcurrido en mi vida permitiéndome crecer personal y profesionalmente

A mis padres *Roselis Herrera R* y *Maria Matilde Morales V* que con su esfuerzo y constante compañia me han animado, aconsejado y bendecido con su amor para alcanzar esta meta y seguir logrando mis sueños, a mis hermanos*Enrique Herrera M, Maria Herrera M y Johana Herrera M* por su amistad y ayuda en esta etapa de mi vida

A cada uno de mis amigos y compañeros de Universidad y de carrera los cuales con sus conocimientos y vivencias han dejado aportes valiosos en mi vida

Al grupo de investigacion en Gestion 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 mi el ansia de la investigacion con miras al bien comun Al final, a cada uno de los educadores que me impartieron sus conocimientos durante la carrera para tener las herramientas necesarias para emprender esta nueva etapa de mi vida

A cada una de las personas que de una u otra manera hicieron parte en mi formación personal y profesional, mis mas gratos agradecimientos

Daniel Fernando Herrera Morales

AGRADECIMIENTOS

Agradecer primero que todo a Dios por escucharme, por darme salud, entendimiento y fortaleza para alcanzar otro logro mas en mi vida

A mis padres *Hernando Galán R Maria Del Carmen Reyes S* por ser esas personas tan maravillosas que con mucho esfuerzo y sacrificio hicieron posible ser quien soy ahora A mis hermanos *Mario A Galan Reyes* Y *Oscar H Galán Reyes* por tener paciencia y estar ahi cuando mas los necesita A mi tio German por ese ejemplo a seguir, por ese apoyo incondicional, el jamas haberle escuchado un no cuando necesitaba un favor A mi tia Herminda que aun con su genio estuvo ahi para ayudarme en lo que ella podia a mi tio Carlos por colaborarme muchas veces a toda mi familia Reyes porque se que de una u otra forma estuvieron ahi para brindarme su apoyo

Al doctor *Abelardo Prada Matiz* por darme la oportunidad de hacer parte del grupo de trabajo "GIGAS", a la especialista *Caroll Edith cortes* y Laurentino Matta que nos apoyaron en el transcurso de este proyecto

Por ultimo un agradecimiento a todas esas personas, compañeros, docentes etc que se me escapan en este momento y que contribuyeron en mi formacion profesional durante mi paso por mi querida universidad de los llanos

Mientras el rio corra los montes hagan sombra y en el cielo haya estrellas debe durar la memoria del beneficio recibido en la mente del hombre agradecido
Virgilio

Camilo Galan Reyes

AGRADECIMIENTOS

Al grupo de investigacion en Gestion Ambiental Sostenible (GiGAS) por hacernos participes de este proyecto y emprender los primeros pasos en el mundo de la investigacion

Al director del laboratorio de Suelos Dr JULIO CESAR MORENO T y el personal del laboratorio de Aguas de la Universidad de los Llanos por brindarnos sus conocimientos y colaboracion con sus instalaciones y materiales para el adecuado desarrollo de nuestro proyecto

A los profesores de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales que compartieron sus conocimientos para formarnos como profesionales integros

TABLA DE CONTENIDO

	Pag
1 RESUMEN	12
2 INTRODUCCION	13
3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
4 OBJETIVOS	15
4 1 OBJETIVO GENERAL	15
4 2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	15
5 REVISION DE LITERATURA	16
5 1 BIOMASA	16
5 2 LA CAÑA DE AZUCAR *(Saccharum officinarum L)*	16
5 2 1 HISTORIA	16
5 2 2 EL CULTIVO DE LA CAÑA EN COLOMBIA	17
5 2 3 DESCRIPCIÓN	18
5 2 4 ZONA DE CULTIVO	19
5 2 5 SECTOR PANELERO EN COLOMBIA	20
5 2 6 DIAGNOSTICO DEL SECTOR PANELERO	21
5 2 7 COMPOSICIÓN	22
5 3 EL BAGAZO DE LA CAÑA DE AZUCAR	23
5 3 1 COMPOSICIÓN	23
5 3 1 1 COMPOSICIÓN QUIMICA	23
5 3 1 2 COMPOSICIÓN MEDIA	24
5 3 1 3 COMPOSICIÓN DE LA FIBRA	24
5 4 PORCENTAJE DE HUMEDAD	24
5 5 CALOR ESPECIFICO Y CAPACIDAD CALORIFICA	25
5 6 USOS DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR	25
5 7 CONSUMO DE RECURSOS NATURALES Y ENERGIA EN LOS TRAPICHES	26
5 7 1 CONSUMO DE AGUA	26
5 7 2 CONSUMO DE AIRE	26
5 7 3 CONSUMO DE COMBUSTIBLES	26
5 7 4 CONSUMO DE ENERGIA EN EL MOLINO	27
5 8 FUENTES PRINCIPALES DE CONTAMINACION	27
5 8 1 VERTIMIENTOS	27
5 8 2 EMISIONES ATMOSFERICAS	28
5 8 3 LODOS	28
5 8 4 BAGAZO	28
5 8 5 CENIZAS	28
5 9 CONTAMINANTES POR COMBUSTION	29
5 9 1 BAGAZO DE CAÑA	29

Pag

6 EL DIOXIDO CARBONO Y EL CARBONATO DE CALCIO 30

7 AVANCES EN LA CAPTURA DE CO_2 EN SOLUCIONES ALCALINAS 31

8 EL CARBONATO DE CALCIO Y EL SUELO 33

9 METODOLOGIA 34

9 1 OBJETO DE ESTUDIO 34

9 2 LOCALIZACIÓN 34
9 3 MATERIALES 34
9 4 SECADO DEL BAGAZO DE CAÑA 34
9 5 COMBUSTION DEL BAGAZO DE CAÑA Y CAPTACIÓN DE DIOXIDO DE CARBONO 35
9 6 OBTENCIÓN DE CARBONATO DE CALCIO 36
9 7 ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN 36
9 7 1 ETAPA I ESTUDIO DE PROCESOS 36
9 7 2 ETAPA II SISTEMATIZACIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS 37
9 7 3 ETAPA III GENERACIÓN DE USO DEL PRODUCTO OBTENIDO 37
9 8 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES 38
9 19 TRATAMIENTO ESTADISTICO 41
9 10 PRUEBA DE POSIBLE USO DEL CARBONATO DE CALCIO ($CACO_3$) OBTENIDO EN SUELOS AGRICOLAS 42

10 RESULTADOS 43

11 DISCUSION DE RESULTADOS 49

12 LA DISPONIBILIDAD DEL HIDROXIDO DEL METAL ALCALINO EN EL MEDIO DE LA REACCION 49

13 LA PRECIPITACION, EL RENDIMIENTO Y LA COMPOSICION QUIMICA DEL CARBONATO DE CALCIOOBTENIDO 51

14 ELEMENTOS PARA EL APROVECHAMIENTO INTEGRAL DEL BAGAZO DE CAÑA 52

15 CONCLUSIONES 54

16 RECOMENDACIONES 55

17 BIBLIOGRAFIA 56

18 ANEXOS 59

LISTA DE FIGURAS

Pag

Figura 1 Region azucarera de Colombia 20

Figura 2 Esquema del horno quemador y del reactor para la captura de los gases de combustion del bagazo de caña 39

Figura 3 Esquema del proceso de combustion termica del bagazo de caña, captacion del dioxido de carbono –CO_2 en soluciones alcalinas y obtencion de carbonato de calcio 40

LISTA DE TABLAS

Pag

Tabla 1 Mediciones directas de los Gases de Combustion con Bagazo como Combustible 29

Tabla 2 Valores de la temperatura en el proceso de combustion de muestras de bagazo de caña 43

Tabla 3 Valores del pH de la solucion alcalina ($NaOH$ +$CaCl_2$) en el proceso de captura de los gases de combustion de bagazo de caña 44

Tabla 4 Masa obtenida de carbonato de calcio por captura de los gases de combustion de bagazo de caña con relacion a la mezcla alcalina 100 g de $NaOH$ y 270 g de $CaCl_2$ 45

Tabla 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 $CaCO_3$ obtenido a partir de la combustion de los materiales seleccionados y con cal Dolomita (Dosis 2 Ton/ha) 46

Figura 6 Resultados del analisis de la composicion quimica del carbonato calcio obtenido por descomposicion termica de bagazo de caña y captura de gases con soluciones alcalinas 48

1 RESUMEN

En el desarrollo del presente proyecto se obtuvo Carbonato de Calcio ($CaCO_3$) a partir de la descomposicion termica del Bagazo de Caña (*Saccharum officinarum L*) y se logro 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 del Carbonato de Calcio ($CaCO_3$) y posible uso del producto (Niveles de aluminio)

Palabras clave Combustión, bagazo de caña, captura de dioxido de carbono, carbonato de calcio

2 INTRODUCCION

En Colombia el sector azucarero se encuentra ubicado principalmente en el valle geografico del rio Cauca, que abarca 47 municipios desde el norte del departamento del Cauca, la franja central del Valle del Cauca hasta el sur del departamento de Risaralda En esta region hay 218 311 hectareas sembradas en caña para azucar Dichos cultivadores abastecen a los 13 ingenios de la region (FEDEPANELA 1999)

En el año 2010 se produjeron en el pais 2 0 millones de toneladas de azucar a partir de 20,3 millones de toneladas de caña Despues de la extraccion del jugo una tonelada de caña, produce alrededor de 250 a 300 kg de bagazo , el cual contiene 45% de agua, 48 5% de fibras y 2 5% de materia disuelta (principalmente el azucar) En Colombia de los seis millones de toneladas de bagazo producidas al año por los ingenios, un 85% es utilizado como fuente de energia,de esta manera el bagazo ha llegado a ser el principal combustible de las calderas de los ingenios con el fin de generarenergia propia para los procesos productivos, generando contaminacion por las emisiones de Dioxido de Carbono (CO_2) a la atmosfera

Por esta razon se adelanto este proyecto con el fin de realizar procesos de captura de los gases de combustion (CO_2) y obtener un producto, como el (Carbonato de Calcio ($CaCO_3$)) de posibleuso en labores agricolas

3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El aprovechamiento del bagazo de caña (*Saccharum officinarum L*) como fuente de energia en los trapiches es una de las alternativas que recibe amplia aplicacion, en la actualidad el 85% del bagazo es destinado a este fin dentro del este proceso productivo como fuente de energiay en la cogeneracion de energia electrica en algunos ingenios ademas las cenizas ricas en nutrientes son aprovechadas en practicas agronomicas, Sin embargo, los gases de combustion Dioxido de Carbono (CO_2) se descargan *a la atmosfera* generando contaminacion

Por tanto, capturar los gases de combustion y transformarlos en productos aprovechables en labores agricolas como el carbonato de calcio, convertiria a la descomposición termica en un sistema de aprovechamiento integral del bagazo de caña acompañado de *la reduccion de la contaminacion atmosferica* por gases que hoy la generan

4 OBJETIVOS

4 1 OBJETIVO GENERAL

- Obtener carbonato de calcio por captura de los gases de *descomposicion* termica delbagazo de caña (*Saccharum officinarum L*) con soluciones alcalinas y evaluar, de manera preliminar su posible aplicacion en actividades agricolas

4 2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar las condiciones basicas del proceso de descomposicion térmica del bagazo de caña (*Saccharum officinarum L*)

- Capturar los gases de combustion del bagazo de caña (*Saccharum officinarum L*), para transformarlos en carbonato de calcio ($CaCO_3$)

- Evaluar a nivel de laboratorio la eficiencia del carbonato de calcio en su accion ~~de~~ comoneutralizador del aluminio presente en suelos acidos

5 REVISION DE LITERATURA

5 1 BIOMASA

Se considera que la biomasa es una fuente renovable de energia porque provienedel sol A traves del proceso de fotosintesis, la clorofila de las plantas captura energia yconvierte el dioxido de carbono (CO_2) del aire y el agua del suelo en carbohidratos paraformar la materia organica Cuando estos carbohidratos se queman, se transforman en dioxido de carbono y agua, liberando la energia que contienen De esta manera la biomasafunciona como una especie de bateria que almacena energia solar Entonces, se producen de forma sostenida, o sea, en el mismo nivel en que se consume, si los productos de la combustion son capturados (BUN-CA 2002)

El cambio climatico esta intimamente ligado a las pautas de uso de la energia La primera forma de reducir el cambio climatico es modificar las fuentes de energia que se utilizan es aqui donde vienen al caso los energeticos renovables y la energia debiomasa en particular Loscombustibles fosiles el petroleo el carbon y el gas, contribuyen de manera muy importanteal calentamiento del planeta que constituye un riesgo multiple para la agricultura y otrasactividades humanas Ademas, los expertos afirman que las reservas de combustiblesfosiles solo duraran otros 40 o 50 años Estos dos hechos por si solos hacen que la investigacionen materia de fuentes sustitutivas de energia más apremiante que nunca (FAO 1997)

5 2 LA CAÑA DE AZUCAR *(Saccharum officinarium L)*

5 2 1 HISTORIA

La caña de azucar es uno de los cultivos mas viejos en el mundo Se cree que empezo haceunos 3 000 años como un tipo de cesped en la isla de Nueva Guinea y de alli se extendio aBorneo Sumatra e India Otros estudiosos ubican su origen

en la Indochina (Beltran 1984) Hay algunos textos antiguos muy interesantes todos nos inclinan a creer, que fue en las regiones intertropicales del Indostan donde los indios cultivaron por primera vez la caña y que mas tarde la llevaron al norte de la peninsula hasta los 37 grados de latitud boreal, pues se sabe que una de las variedades mas precoces, la caña verde (Anchu), se cultiva desde Patua hasta Bahar y en el reino de Cabul Por otra parte, el azucar constituyo siempre un objeto del rico comercio entre el Indostan y los demas paises del antiguo mundo, sobre todo la Persia y la Arabia Pero tal vez el texto de mas vieja data en el que se hace referencia a la caña dulce es el Codigo de Manu, escrito por el primero de los Manu, personajes heroicos de la India, mas de mil años antes de la era cristiana (Corpoica – Sena, 1998)

El origen exacto de la caña de azucar es todavia materia de investigacion Sin embargo, se considera que éste puede haber sido el archipielago de Melanesia en Nueva Guinea 8 000 a 15 000 años antes de Cristo, de donde se difundio a las islas vecinas la China y la India La dispersion posterior ocurrio hacia Hawai, Africa Oriental Madagascar, el Medio Oriente y el Mediterraneo, y hacia las islas del Atlantico entre ellas las Islas Canarias En 1943 Cristobal Colon en su segundo viaje a America la trajo a las Islas del Caribe particularmente a la isla La Española la cual corresponde hoy a Republica Dominicana y Haiti de donde se difundio posteriormente a Cuba, Puerto Rico Mexico, Colombia y Peru Al Brasil fue introducida por los portugueses alrededor del año 1500 (Corpoica – Sena, 1998)

5 2 2 EL CULTIVO DE LA CAÑA EN COLOMBIA

En Colombia se planto por primera vez en Santa Maria La Antigua del Darien en 1510 Pedro de Heredia fundador de Cartagena, introdujo la caña en la Costa Atlantica alrededorde 1533 y posteriormente Sebastian de Belalcazar fundador de Santiago de Cali la plantoen el Valle del Cauca en su estancia en Yumbo en 1541 Hacia 1550 se fundaron tresingenios a orillas del rio Amaime y desde esta región se envio azucar y miel a Panama en1588 Para 1721 habia en el Valle del

Cauca 33 trapiches en funcionamiento La cañacultivada en ese entonces se denomino criolla, originada de las cañas introducidas por losespañoles Durante su visita a nuestro pais el sabio aleman Alexander Humboldt, recomendo a los hacendados vallecaucanos la variedad Tahiti u Otahiti la cual fueintroducida al Valle del Cauca entre 1802 y 1808 y se esparcio por el territorio Colombiano Un paso importante en el desarrollo azucarero del Valle del Cauca fue el establecimientopor parte de Santiago Eder en 1867 de un molino de 3 masas horizontales, accionado porrueda de hierro que giraba con el impulso de las aguas del rio Nima Se puede afirmar quela moderna industria azucarera Colombiana se inició el 1 de enero de 1901 al inaugurarse enPalmira la fabrica de azucar blanco granulado del actual Ingenio Manuelita con centrifugasy equipos a vapor importados de Escocia, los cuales subieron la capacidad de moliendahasta 50 toneladas de caña cada doce horas (PERAFAN 2009)

5 2 3 DESCRIPCION

La caña de azucar pertenece a la familia de las gramineas Tiene el taño leñoso de unos dosmetros de altura El tallo esta lleno de un tejido esponjoso y dulce del que se extrae elazucar Posee hojas largas, lampiñas y flores purpureas en panoja piramidal (PERAFAN 2009) Aunque lacosecha de la planta se realiza aproximadamente cada año (en las regiones calidas), surapida capacidad de rebrote permite varias cosechas sucesivas a partir de la siembra inicial En nuestro pais, las renovaciones del cultivo se realizan entre cada cuatro y ocho años y escomun encontrar en las zonas paneleras cultivos con mas de 20 años de establecidos Al serun cultivo perenne permite una captura permanente del recurso tropical mas abundante laluz solar, disminuye los costos y los riesgos asociados a la siembra en los cultivossemestrales y anuales y mantiene una cobertura constante sobre el suelo, lo que disminuyelos costos de control de malezas y permite un uso mas eficiente del agua y un mejor control de la erosion (PERAFAN 2009)

5 2 4 ZONA DE CULTIVO

La caña de azucar se cultiva practicamente en todas las regiones tropicales y subtropicalesde la tierra En Colombia se cultiva en forma productiva desde el nivel del mar hasta alturassuperiores a los 2 000 metros en las mas variadas condiciones de temperatura luminosidad, precipitacion y calidad de suelos (RAMOS 2005)

La industria azucarera colombiana esta ubicada en el valle geografico del rio Cauca, entretres y cinco grados de latitud norte en los departamentos de Caldas Cauca, Risaralda yValle del Cauca El valle es angosto (entre 76°22' y 75°31' de longitud oeste) y posee 430mil hectareas planas con una altura sobre el nivel del mar que no supera los mil metros en promedio,en el valle geografico del rio Cauca se encuentran localizados los treceingenios azucareros que fabrican casi todo el azucar producido en Colombia (**ver Fig 1**) (RAMOS 2005)

Es una region que posee las condiciones idoneas para el crecimiento de la caña de azucarbrilio solar permanente e intenso a lo largo del año, caida adecuada de temperatura entre eldia y la noche disponibilidad de agua lluvias adecuadas y fertilidad en los suelos Elcultivo de la caña de azucar se hace en forma continua durante todo el año y no en formaestacional o por zafra como lo es en el resto del mundo Lo anterior hace del Valle del rioCauca una region especial que la situa dentro de las mejores regiones cañeras del mundo (PERAFAN 2009)

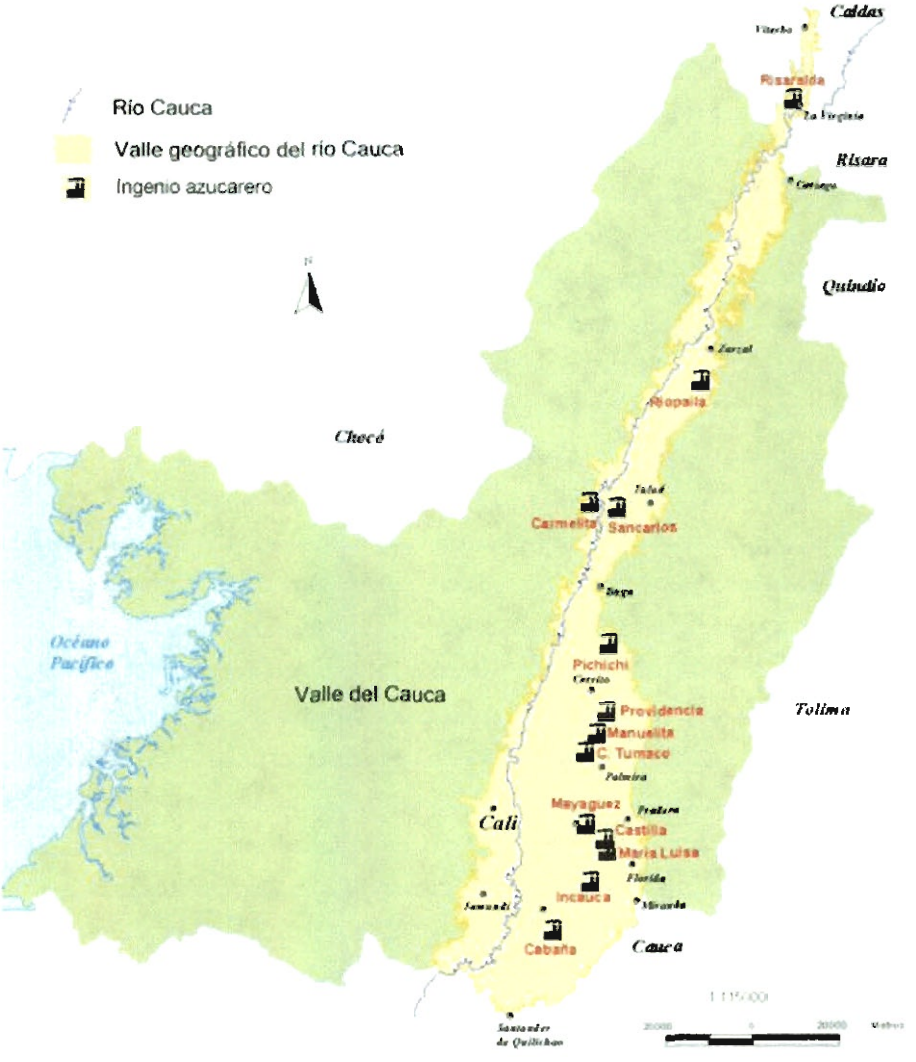


Figura 1. Región azucarera de Colombia. Tomado Centro De Investigación De La Caña De Azúcar De Colombia – Cenicaña.

5.2.5 SECTOR PANELERO EN COLOMBIA

En Colombia existen 17.255 trapiches paneleros que generan algo más de 90.000 empleos directos, reveló Invima. Según el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (Invima), los departamentos de Cundinamarca, Antioquia y Cauca concentran la mayor cantidad de trapiches paneleros (55,4 por ciento del total nacional), seguidos por Caldas, Tolima, Santander y Huila, como

los de mayor participacion De la totalidad reportada 9 266 establecimientos, correspondientes al 53,7 por ciento de los inscritos, tienen una capacidad de produccion inferior a 50 kilos de panela por hora, lo que indica que estos son agroindustrias con una actividad de tipo familiar basada en economia de subsistencia Lo que llamo la atencion de la entidad es que solo 56 trapiches inscritos realizan operaciones de exportacion del producto y estan ubicados principalmente en los departamentos de Cundinamarca, Tolima y Huila "Esto demuestra que aunque la panela es un producto de alto consumo en el mercado nacional, ha tenido un bajo desarrollo en el acceso a los mercados internacionales", dijo la entidad en un informe dado a conocer "La informacion obtenida en este proceso de inscripcion de trapiches, permite conocer la composicion real del sector panelero para diseñar y adoptar politicas publicas orientadas a atender sus expectativas y fortalecer sus potencialidades teniendo en cuenta especialmente que la panela es fundamental en la canasta familiar y que su produccion representa el sustento de miles de familias Hoy, la totalidad del sector panelero del pais pasa por una crisis economica, debido a la sobreoferta del producto en el mercado derivada del incremento de las areas de siembra en varios sitios del pais, como consecuencia de la puesta en marcha de proyectos productivos en las zonas que antes fueron cocaleras (FEDEPANELA 1999)

5 2 6 DIAGNOSTICO DEL SECTOR PANELERO

Cifras de la FAO, 25 paises en el mundo producen panela y Colombia es el segundo despues de laIndia Para el periodo 1998-2002[2] India participo con el 86% de la produccion mundial mientras queColombia con el 13,9%, concentrandose la produccion mundial de panela en estos dos paises (Minagricultura 2009)

El area sembrada se centro en los departamentos de Cundinamarca, Antioquia, Boyaca Santander,Nariño y Caldas con el 70% del total nacional, zonas que a su vez aportaron el 72% de la produccionnacional Cabe anotar que solo tres

departamentos Santander Boyaca y Cundinamarca contribuyencon el 50% de la producción de panela del pais, en especial por los altos rendimientos de la Hoya del RioSuarez (Boyaca y Santander) los cuales se ubican entre 13 y 15 toneladas por hectarea (Minagricultura 2009)

Calculos de la Federacion Nacional de Paneleros, existen en el pais alrededor de23 000 trapiches con capacidad de proceso entre 50 y 300 kg/hora de panela diferencia dada porcondiciones geograficas y de minifundio o de mediana explotacion, lo que a su vez influye en el tipode tecnologia empleada (Fedepanela 1999)

5 2 7COMPOSICION

El tronco de la caña de azucar esta compuesto por una parte solida llamada fibra y una parteliquida, el jugo, que contiene agua y sacarosa En ambas partes tambien se encuentran otrassustancias en cantidades muy pequeñas Las proporciones de los componentes varian de acuerdo con la variedad (familia) de lacaña, edad madurez clima, suelo, metodo de cultivo, abonos, lluvias, riegos, etc Sinembargo, unos valores de referencia general pueden ser (PERAFAN 2009)

- Fibra (11-16%)
- Sacarosa (8-15%)
- Agua (73-76%)

La sacarosa del jugo es cristalizada en el proceso como azucar y la fibra constituye elbagazo una vez molida la caña

Otros constituyentes de la caña presentes en el jugo son
- Glucosa (0,2-0 6%)
- Fructosa (0 2-0,6%)
- Sales (0,3-0,8%)

- Acidos organicos (0,1-0,8%)
- Otros (0,3-0 8%)

Las hojas de la caña nacen en los entrenudos del tronco A medida que crece la caña lashojas mas bajas se secan, caen y son remplazadas por las que aparecen en los entrenudossuperiores Tambien nacen en los entrenudos las yemas que bajo ciertas condicionespueden llegar a dar lugar al nacimiento de otra planta (PERAFAN 2009)

5 3 EL BAGAZO DE LA CAÑA DE AZUCAR

5 3 1 COMPOSICION

El bagazo, fibra residual de la caña de azucar despues de la molienda, es un combustiblenatural para producir vapor en las fabricas azucareras Es de tamaño uniforme con longitudpromedio de 5-7 5 cm y no excede de los 2 cm de ancho El rango de densidad varia entre120-160 Kg/m3 Este consiste de fibra agua, solidos solubles y cenizas pero es importanteconocer su composicion quimica que afecta su uso como combustible y el metodo por elcual puede ser quemado tecnica y economicamente (GONZALES 2006) El bagazo tambien contieneelementos considerados como materia extraña, clasificados como materia extraña mineraly vegetal La primera esta constituida por silicio, magnesio, calcio, sodio, potasio oxidosde azufre, hierro ente otros La segunda por residuos de cosecha como hojas secas overdes, cogollos chusquines y cepas (CARBAJAL 2004)

5 3 1 1COMPOSICION QUIMICA

El bagazo es llamado sucesivamente, por bagazo del 1° terno, 2° terno, etc El bagazo delultimo terno es llamado bagazo final o simplemente bagazo (VILLEGAS 2000)

- Carbono (23%)
- Oxigeno (22%)
- Hidrogeno (3%)
- Cenizas (2%)
- Agua (50%)

5 3 1 2 COMPOSICION MEDIA DEL BAGAZO DE CAÑA

- Humedad (50%)
- Fibra (46%)
- Brix (solidos solubles en agua 2%)
- Impurezas minerales (2%)

5 3 1 3 COMPOSICION DE LA FIBRA

- Celulosa (48%)
- Hemicelulosas
- Lignina (mayor poder calorifico) 12%

5 4 PORCENTAJE DE HUMEDAD

La cantidad de agua existente en un combustible y mas en uno como es el caso delbagazo de la caña de azucar, afecta de forma decisiva su energia disponible El agua puededecirse que existe en dos formas generales agua libre y agua ligada El agua libre oabsorbida, que es la forma predominante se libera con gran facilidad y es estimada en lamayor parte de los metodos usados para el calculo del contenido en agua El agua ligada sehalla combinada o absorbida Se encuentra en los alimentos como agua de cristalizacion (enlos hidratos) o ligadas a las proteinas Estas formas requieren para su eliminacion en formade vapor, un calentamiento de distinta intensidad Parte de la misma permanece ligada alalimento incluso a temperaturas que lo carboniza (CASTILLO 2005)

5 5 CALOR ESPECIFICO Y CAPACIDAD CALORÍFICA

El calor especifico de combustion es la propiedad mas importante de los combustibles ypara el caso del bagazo depende principalmente de la humedad, el contenido de azucar elcontenido de cenizas y en cuarto grado, de la variedad de caña (Rubio y Sarria 1994)

El calor especifico (s) de una sustancia es la cantidad de calor necesaria para elevar ungrado Celsius la temperatura de un gramo de la sustancia y la capacidad calorifica (C) deuna sustancia es la cantidad de calor necesario para elevar un grado Celsius la temperaturade una cantidad determinada de sustancia (CACERES 2002)

El calor especifico es una propiedad intensiva (no depende de la cantidad de sustanciapresente), en tanto que la capacidad calorifica es una propiedad extensiva (si depende de lacantidad de sustancia presente) Si se conoce el calor especifico y la cantidad de una sustancia entonces el cambio en latemperatura de una muestra (Δt) indicara la cantidad de calor (q) que se ha absorbido oliberado en un proceso en particular (CACERES 2002)

El signo convencional de q es igual que para el cambio de entalpia a presion constante, quees positivo para procesos endotermicos y negativo para procesos exotermicos (Rubio y Sarria 1994) El bagazo tiene un alto poder calorifico para producir energia pues cada libra con un 50%de humedad alcanza las 3,000 btu (medida calorica britanica) Al usarlo como combustiblen les permite ahorrar cada mes dos millones 800 mil colones (CACERES 2002)

5 6 USOS DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR

El bagazo se utiliza, como combustible, abono pienso cama para aves de corral, como cubierta protectora de la tierra recien sembrada y mezclado con el estiercol,

como abono carbonizado y comprimido en ladrillos mezclado con lodo para lubricante de perforadoras en pozos petroleros, unido a otros materiales en la elaboracion de ladrillos refractarios, la fibra del mismo se usa para obtener celulosa, papel, carton, explosivos tablas o moldes aglomerados (en fibra integra o en particulas) por fermentacion anaerobica para obtener metano, por hidrolisis acida de la xilana para obtener furfural (furfuraldehido), que sirve para refinar aceites lubricantes y para manufacturar plasticos, como relleno para asfalto o plásticos como extensor de plasticos termoestables, para hacer viscoso el rayon y otros plasticos asi como otros usos en menor escala (Gonzalez 2000)

5 7CONSUMO DE RECURSOS NATURALES Y ENERGIA EN LOS TRAPICHES

Los recursos naturales que se consumen durante el proceso de la Fabricacion de la Panela son El agua, el aire y los combustibles A continuacion se muestran las cantidades que se consumen de cada uno de estos recursos y el consumo de energia por tonelada de panela producida (Fedepanela 1999)

5 7 1 CONSUMO DE AGUA Se utiliza aproximadamente 1m^3 diarios para lavar las gaveras, 2 m^3 para lavar las pailas de la hornilla cada vez que termina la molienda (aproximadamente cada 5 dias) (Fedepanela, 1999)

5 7 2 CONSUMO DE AIRE Se necesita adicionar a la camara de combustion de la hornilla 17 076 toneladas de aire por tonelada de panela producida, con un porcentaje exceso de aire de 73,67% (Fedepanela 1999)

5 7 3 CONSUMO DE COMBUSTIBLES Cuando hay un balance positivo de bagazo, solo se utiliza como combustible este, con un promedio de 1 8 toneladas de bagazo por tonelada de panela Otro caso es un balance de bagazo negativo, la energia que falta adicionar a la hornilla la proporcionan otros combustibles como madera llanta de coche, guadua y otros Tomando un caso en el que se tenga un desbalance de bagazo de -53 5 Kg / h El 60% de la energia faltante de los 53,5 Kg de bagazo la aportara la madera y el 40% la aportara la llanta de coche Para producir una tonelada de panela se utilizo como combustible (Fedepanela 1999)

- 1 348 toneladas de Bagazo
- 0,511 toneladas de Madera
- 0 231 toneladas de Llanta

5 7 4 CONSUMO DE ENERGIA EN EL MOLINO En los molinos, el consumo de energia electrica depende del % de fibra de la caña de azucar, diametro, longitud y velocidad de las masas, aberturas de entrada y salida del molino El diametro y longitud son variables de diseño, porque vienen definidas desde la fabrica del molino La velocidad la abertura de entrada y salida son variables de operacion, que pueden ser manipuladas por el usuario Para un molino de convencional se consume en promedio 37 34 Kw/h por tonelada de panela producida (Fedepanela 1999)

5 8 FUENTES PRINCIPALES DE CONTAMINACION

5 8 1 VERTIMIENTOS La carga de materia organica aportada por los trapiches en Colombia en promedio es de 9 500 Kg DBO_5 / dia la cual se debe a las siguientes fuentes de contaminacion (Fedepanela, 1999)

- Para limpiar las pailas, durante el tiempo que no se esta moliendo, se les agrega agua donde al contacto con los restos de jugo de la ultima molienda atraen la presencia de animales y se presentan altos indices de fermentacion y contaminacion, pues solo se retira cuando se va a iniciar la siguiente molienda Este lavado se realiza aproximadamente cada 5 dias con 2 m^3 de agua
- Para las aguas de lavado de las gaveras se utiliza en promedio 1m^3 de agua limpia al dia, siendo utilizadas para varias cochadas y sin ser renovadas constantemente por esto se forma un caldo de cultivo para el desarrollo de microorganismos que al estar en contacto con el producto lo contaminan

A los vertimientos no se les hace ningun tipo de tratamiento para reducir su carga contaminante (Fedepanela 1999)

5 8 2EMISIONES ATMOSFERICAS Producidas durante la combustion incompleta del bagazo humedo en la camara de combustion de la hornilla Si el balance del bagazo es un valor negativo, se debe recurrir a otros combustibles, tales como la leña, llantas, carbon mineral los cuales producen graves problemas de contaminacion debido a que durante su combustion se producen gases toxicos como el monoxido de carbono, dioxido de azufre oxidos de nitrogeno, dioxido de carbono y vapor de agua (Fedepanela, 1999)

5 8 3 LODOS Son impurezas especialmente de la molienda, arena, bagacillo que se obtienen en la limpieza de los prelimpiadores, la cual se realiza retirandolos tapones y agregando abundante agua limpia con una lechada de cal para evitar la fermentacion, por la gran cantidad de materia organica que se encuentra en estos lodos Esta actividad se realiza cada 12 horas (Fedepanela, 1999)

5 8 4 BAGAZO Es el residuo que queda despues de la molienda de la caña de azucar, compuesto por fibra leñosa mezclada con jugo residual Este no se desecha sino que es utilizado en la hornilla panelera como combustible y si el balance del bagazo es positivo quiere decir que sobra bagazo y generalmente al descomponerse lo mezclan con cenizas para utilizarlo como abono en las tierras o materia prima en la fabricacion de celulosa, papel etc La cantidad promedio de bagazo producido por la molienda es de 2 75 toneladas por tonelada de panela (Fedepanela 1999)

5 8 5 CENIZAS Provienen del combustible y es producto de la combustion En ocasiones se mezcla con el bagazo descompuesto para ser utilizado como abono La cantidad de cenizas para el caso tratado en que se utiliza como combustible una mezcla de bagazo, madera y llanta es de 42,33E-3 toneladas por tonelada de panela producida (Fedepanela 1999)

5 9 CONTAMINANTES POR COMBUSTION

Al utilizar como combustible la mezcla de bagazo, madera y llanta, se obtienen contaminantes tanto en emisiones atmosfericas como los gases de combustion y en residuos solidos las cenizas (Fedepanela, 1999)

5 9 1 BAGAZO DE CAÑA

En la tabla encontramos unas mediciones de los gases de combustion utilizando solo como combustible bagazo (Fedepanela, 1999)

Tabla 1 Mediciones directas de los Gases de Combustión con Bagazo como Combustible

Concentracion CO_2 (%molar)	10
Concentracion CO (%molar)	1 9
Concentracion O_2 (%molar)	11
Temperatura de salida de los Humos (°C)	532
Dif de presion de los humos (mm H_2O)	0,55

FUENTE Fedepanela 1999

Para la produccion de una tonelada de panela se arrojan 431 Kmol de humos por 1,348 ton de bagazo equivalentes a **12,76 toneladas** de humos de los cuales **1,295 ton en CO_2, 0,246 ton en CO** (Fedepanela, 1999)

TOTAL

Por tonelada de *panela*

- Consumo de Bagazo (ton) = 1 348
- Consumo de Madera (ton) = 0 511

- Consumo de Llanta = 0,231
- Aire Alimentado (ton) = 21,19
- Humos secos producidos (ton) = 21 12
- CO_2 producido (ton) = 2,876
- CO producido (ton) = 0,246
- SO_2 producido(Kg) = 9,25
- Cenizas producidas (Kg) = 42,33

Como se observa la contaminacion por la combustion es grande y afecta a la comunidad cercana al trapiche (Fedepanela 1999)

6 EL DIOXIDO CARBONO Y EL CARBONATO DE CALCIO

El dioxido 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 inhalacion produce asfixia y la exposicion 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 combustion de materiales que contienen carbono (Ecuacion 1)

$$C + O_2 = CO_2 \qquad \text{Ecuacion 1}$$

Dentro de las reacciones tipicas del dioxido se encuentra la reaccion con el hidroxido de calcio, en medio acuoso (Jodakov, 1977) En esta reaccion se obtiene carbonato de calcio, de conformidad con la siguiente ecuacion

$$CO_2 + Ca(OH)_2 = CaCO_3 + H_2O \qquad \text{Ecuacion 2}$$

La ecuacion admite deducir que es posible obtener carbonato de calcio a partir de materiales que por combustion generen dioxido de carbono, como es el caso del bagazo de caña y que el hidroxido actue 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 alcalinotérreos (Melnik, 1975)

El carbonato de calcio – $CaCO_3$ conocido como caliza, presenta baja solubilidad en agua – 0 013g/100 g de agua (Merck, 2007), caracteristica que permite separarlo, en forma de precipitado del medio de la reaccion de conformidad con la Ecuacion 2

Sin embargo el hidroxido de calcio de igual manera, presenta baja solubilidad en agua, lo que dificulta que en la solucion se disponga de la masa estequiometrica 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 podrian utilizar en los procesos de captura de dioxido de carbono

7 AVANCES EN LA CAPTURA DE CO_2 EN SOLUCIONES ALCALINAS

Para evitar 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 CO_2, uno de los gases de efecto invernadero mas importante, ha presentado un incremento de 280 a mas de 380 ppm desde el inicio de la epoca preindustrial hasta la epoca actual con el agravante, que cada año aumenta en cerca de 2 ppm, en consecuencia, segun lo reportado (Canadell et al 2007) el aumento de las emisiones globales de CO_2 alcanza el 3 3% anual, aproximadamente

Como respuesta a esa preocupacion global, han surgido alternativas de solucion tales como la absorcion de dioxido de carbono de la atmosfera 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 separacion criogenica del aire

A finales de 1990 Lackner et al , sugirieron el lavado de CO_2, a gran escala, captado del aire, tecnica que consiste en la depuracion por via humeda en la que el CO_2 absorbido en una solucion de hidroxido de sodio -, NaOH-, despues de reaccionar produce carbonato de sodio Na_2CO_3 y un exceso de hidroxido El exito de esta operacion depende en gran medida de la eficiencia del contacto entre el CO_2 e hidroxido de sodio (Mahmoudkhani, 2009)

Dentro de las propuestas de captura, tambien aparecen las reacciones del CO_2 con sales de aminoacidos y potasio, tales como la la glicina y la taurina en soluciones acuosas, debido a que su naturaleza ionica les da propiedades de baja volatilidad, alta tension superficial y alta resistencia a la degradacion oxidativa (Vaidya, 2010) Otra propuesta corresponde a la captura de CO_2 empleando como sistemas de carbonatacion el oxido de calcio (CaO) y el hidroxido de calcio ($Ca(OH)_2$) por separado Se determino que con el oxido la tasa de carbonatacion esta asociada a un modelo de cinetica que incluye la reaccion quimica intrinseca seguida por la difusion dentro de la particula, en el caso de hidroxido el proceso de carbonatacion esta menos impedido por la difusion catalizada por la formacion de agua, y su tasa de captura se ajusta a un modelo de cinética quimica controlada en la interfaz solida 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 combustion de materiales de origen vegetal con diferentes contenidos de carbono que, como la cascarilla de arroz, se utilizan ampliamente en procesos de produccion en condiciones de la Orinoquia colombiana dentro de los cuales la captura con soluciones alcalinas podria presentarse como alternativa Este trabajo aporta elementos que podrian servir de soporte para construir soluciones en este campo y aprovechar de manera integral el bagazo de caña y otros desechos vegetales de la produccion agricola

8 EL CARBONATO DE CALCIO Y EL SUELO

Una misma condicion de acidez es decir un mismo pH puede corresponder a deficiencias de bases en diferentes proporciones, por lo que el analisis del porcentaje de saturacion de cada cation sera el mejor indicador respecto de que correctivo o combinacion de ellos se debe utilizar (Gustavo y Ausilio 2004)

El carbonato de calcio puro es el producto de referencia de todos los materiales utilizados para el encalado de suelos y por ello se le asigna un valor de neutralizacion igual a 100, parametro tambien conocido como equivalente carbonato de calcio El peso molecular del carbonato de calcio es 100 y el correspondiente al carbonato de magnesio es 84, ambas moleculas neutralizan dos hidrogeniones pero debido al diferente peso molecular se requieren 119 kg de $CaCO_3$ para igualar el efecto de 100 kg de $MgCO_3$ puro por ello el equivalente carbonato de calcio para este ultimo correctivo es 119 A los efectos practicos un correctivo con menor valor de neutralizacion requerira mas cantidad de producto comercial para corregir un determinado nivel de acidez (Gustavo y Ausilio 2004)

El carbonato de calcio o de calcio y magnesio puro no se encuentra en el mercado, por lo que se utiliza la molienda del producto obtenido de yacimientos con extraccion a cielo abierto donde su calidad depende de las impurezas que contiene el mineral El Hidroxido de Calcio ($Ca(OH)_2$), cal apagada o cal hidratada, es un producto pulverulento que se produce a partir de la hidratacion del oxido de calcio y reacciona con mayor velocidad que los carbonatos por su mayor solubilidad (Gustavo y Ausilio 2004)

El oxido de Calcio (CaO) o cal viva es un producto caustico que presenta una rapida reaccion en el suelo pudiendo provocar la esterilizacion parcial del mismo Es un polvo blanquecino que se produce por calcinacion de la caliza calcica y su pureza depende de la calidad del material primario (Gustavo y Ausilio 2004)

9 METODOLOGIA

9 1 OBJETO DE ESTUDIO

El objeto de estudio es el bagazo de caña que se utiliza en los trapiches como combustible en las hornillas para el proceso de obtencion panela del municipio de Villavicencio y susposibles alternativas en practicas agricolas

9 2 LOCALIZACION

Los ensayos de combustion del bagazo de caña, captura de gases de combustion con soluciones alcalinas y la separacion del carbonato de calcio obtenido en el proceso, se realizaron en la Granja y 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 del carbonato de calcio obtenido se determino en el laboratorio de microscopia electronica de la Universidad Nacional sede Medellin- UNALMED

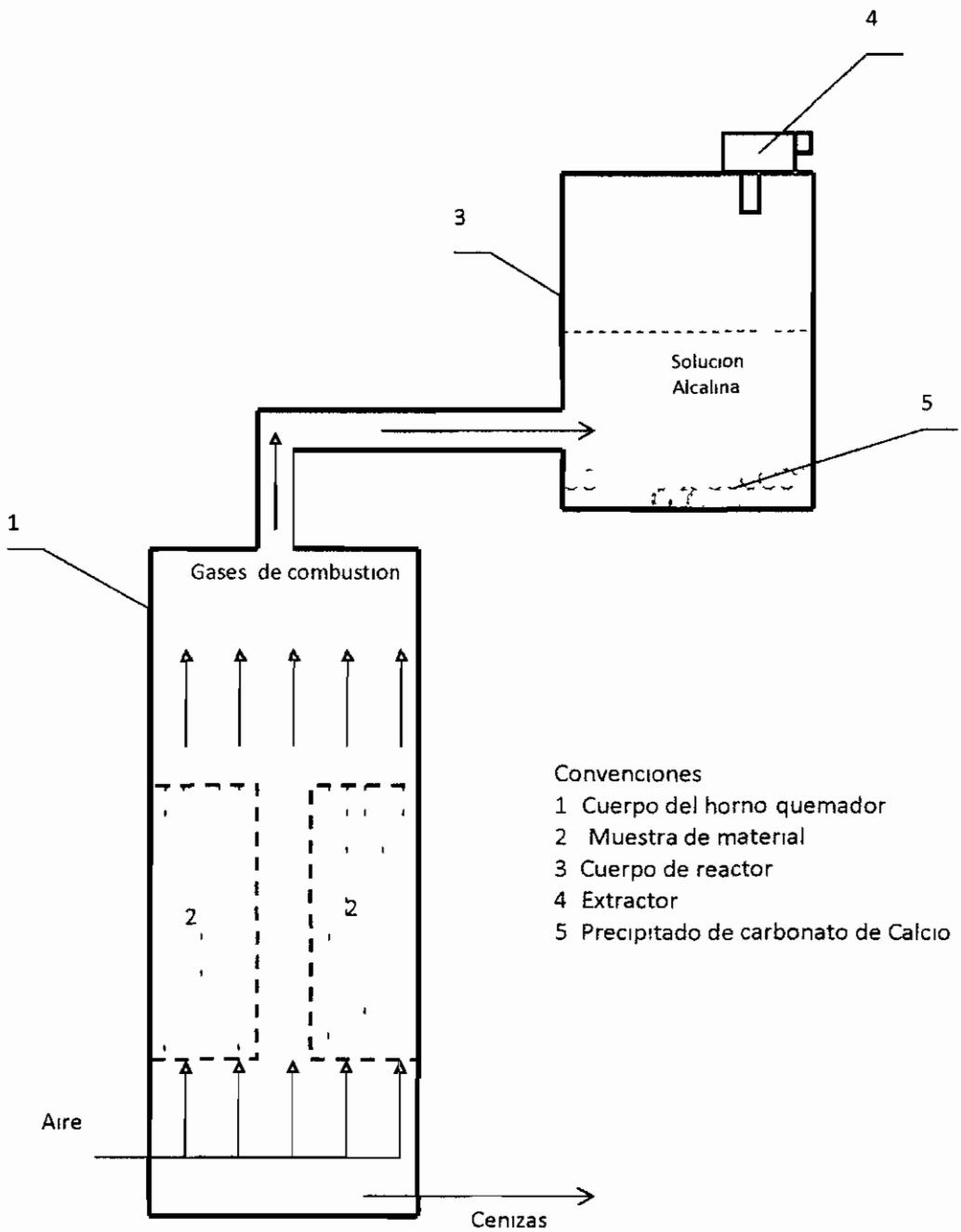
9 3 MATERIALES

En el desarrollo del proyecto se emplearon elementos necesarios para la construccion del sistema de combustion y posterior captura de los gases (Figura2), compuesto fundamentalmente por materiales reciclables (tanques canecas y tubos de chatarreria)

Adicionalmente se utilizaron los reactivos propios del analisis de aguas y de muestras liquidas de acuerdo con el Standard Methods, asi como sustancias para la captura del CO_2, tales como Hidroxido de Sodio (NaOH), y para la precipitacion

del carbonato de calcio se empleo cloruro de calcio ($CaCl_2$) todos estos reactivos de captura y de precipitacion eran grado comercial

Figura 2 Esquema del horno quemador y del reactor para la captura de los gases de combustión del bagazo de caña



9 4 SECADO DEL BAGAZO DE CAÑA

Para el secado, del bagazo de caña se extendio en capas delgadas en un espacio techado y aireado sobre una superficie plana, cubierta con papel periodico como material adsorbente de la humedad En los ensayos se utilizaron muestras con humedad inferior al 8%

9 5 COMBUSTION DEL BAGAZO DE CAÑA Y CAPTACION DE DIOXIDO DE CARBONO

Para la combustion del bagazo de caña, 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 2) en la parte intermedia - se ubica la **cámara de combustión** 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 **evacuación 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 compactacion manual del bloque de bagazo de caña 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 tres kilogramos de bagazo de caña

Los gases de combustion se conducen por el tubo de dos pulgadas de la parte superior del horno-quemador a una caneca metalica de 25 litros de capacidad que

hace las veces de reactor en la que se deposita una mezcla de solucion alcalina, preparada con 100 gramos de hidroxido de sodio (NaOH) y 270 g de cloruro de calcio ($CaCl_2$) disueltos en 10 litros de agua

La reaccion se controla por medio de la valoracion del pH de la solucion alcalina al iniciar y al terminar el proceso de combustión Para lograr contacto entre los gases de combustion y la solucion alcalina, en la parte superior del reactor se conecta en condiciones de hermetismo, un extractor de gases La solucion producto de esta reaccion se traslada al laboratorio para la cuantificacion de carbonatos, bicarbonatos, alcalinidad dureza calcica dureza total y pH, como parametros de seguimiento de la reaccion de captura de CO_2

9 6 OBTENCION DE CARBONATO DE CALCIO

En solución de hidroxido de sodio, utilizada en la captura de gases de combustion en el reactor (Figura 2) se agrega la cantidad estequiometrica de cloruro de calcio ($CaCl_2$) para la precipitacion del carbonato de calcio (Figura 2), luego la muestra se filtra al vacio, se seca en estufa a 45°C durante 24 horas, se pesa y se recolecta en bolsas plasticas

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 VaccunDesk en el Laboratorio de Microscopia Avanzada de la Universidad Nacional sede Medellin - UNALMED De manera similar, en este laboratorio, se analizaron las muestras crudas del material utilizado (bagazo de caña) lo que permite establecer los contenidos minimos de carbono, susceptible de participar en la combustion y posible transformacion en Carbonato de Calcio ($CaCO_3$)

9 7ETAPAS DE LA INVESTIGACION

9 7 1ETAPA I ESTUDIO DE PROCESOS

Actividad 1 Recolección del material, y posterior secado del mismo

Actividad 2 Establecimiento de la cantidad optima del bagazo de caña para lograr la combustion plena en condiciones del experimento

Actividad 3 Establecer las condiciones para la produccion de carbonato de calcio a partir del dioxido de carbono, obtenido por combustion del bagazo de caña

Actividad 4 Comparar el producto obtenido de la combustion del bagazo de caña (carbonato de calcio), con los carbonatos comercialmente usados en las practicas agricolas

9 7 2 ETAPA II SISTEMATIZACION Y PROCESAMIENTO DE DATOS

Actividad 5 Sistematizacion y analisis de la informacion obtenida en las actividades 1, 2, 3 y 4

9 7 3 ETAPA III GENERACION DE USO DEL PRODUCTO OBTENIDO

Actividad 6 Seleccion y establecimiento de un suelo agricola para comparar las posibilidades de uso del carbonato obtenido con el carbonato de calcio comercial

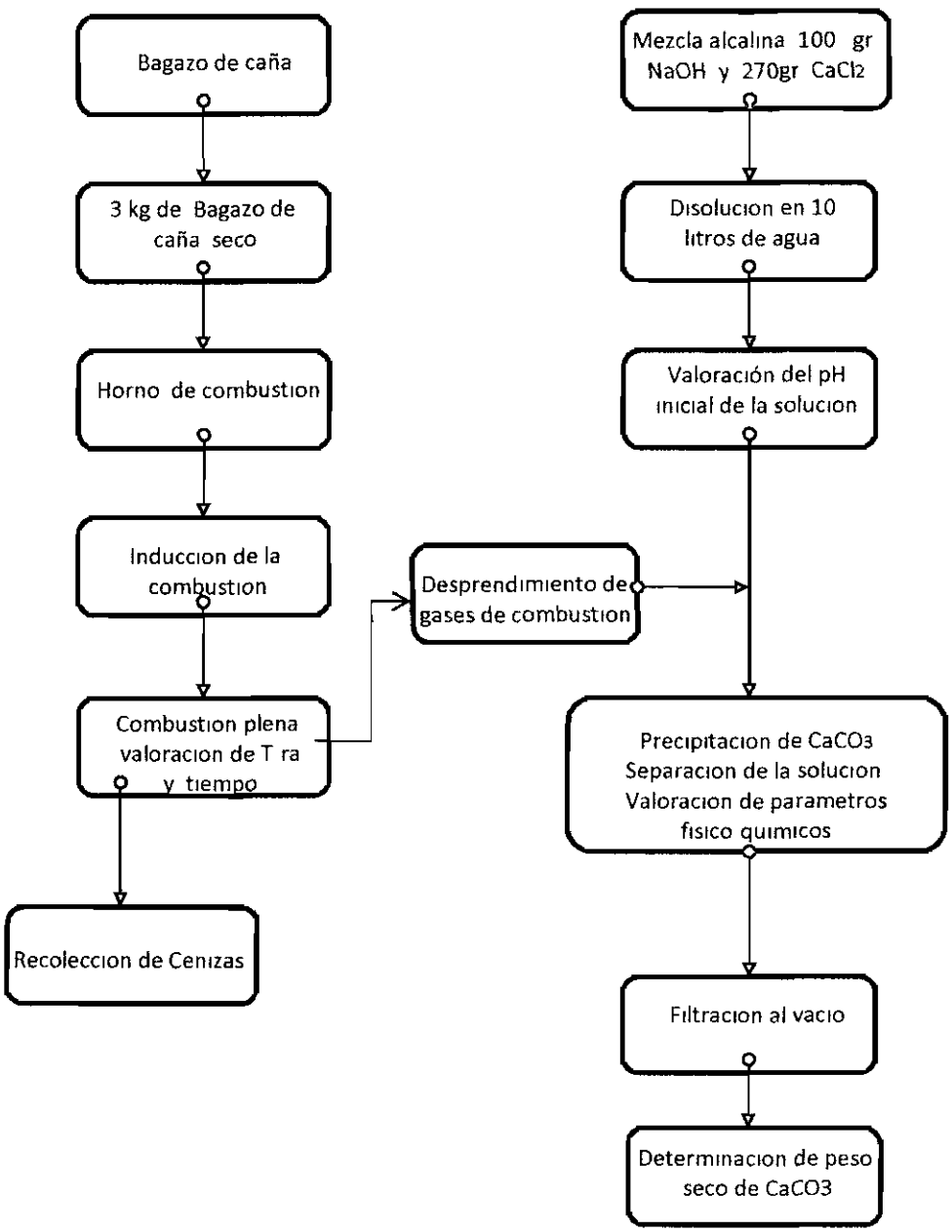
Actividad 7 Analisis de resultados de la actividad 6

Actividad 8 Divulgacion de los resultados

9 8CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

ACTIVIDAD	SEMANAS												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1 Seleccion y adecuacion del material objeto de trabajo	X	X	X										
2 Definicion de la masa del material para la combustion en condiciones del experimento	X	X	X										
3.Determinacion de la temperatura y la duracion del proceso de combustion del materia		X	X	X	X								
4 Definicion de la relacion soluto (Cloruro de Calcio ($CaCl_2$) e Hidroxido de Sodio (NaOH)) y solvente (H_2O) para la captura de los gases de combustion		X	X	X	X								
5 Definicion de la relacion soluto (Cloruro de Calcio ($CaCl_2$) e Hidroxido de Sodio (NaOH)) y solvente (H_2O) para la captura de los gases de combustion		X	X	X	X								
6 Valoracion del rendimiento y composición quimica del carbonato obtenido						X	X						
7 Valoracion de la aplicacion 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

Figura 3 Esquema delprocesode combustion térmica del bagazo de caña, captación del dióxido de carbono –CO_2 en soluciones alcalinas y obtención de carbonato de calcio



9 9TRATAMIENTO ESTADISTICO

Los datos obtenidos de los analisis de laboratorio se procesaron utilizando los metodos de la estadistica descriptiva, por medio de la media verdadera con niveles del 95% de confianza, con base en la ecuacion siguiente (Ajnazarova, 1978)

$$MV = MC \pm S\frac{T}{\sqrt{N}}$$ Ecuacion 3

Donde

S- desviacion estandar,

MV- media verdadera

MC- Media calculada (promedio aritmetico),

T- Parametro estadistico

N- numero de ensayos

Se calcula el error estandar – EE- y el coeficiente de variacion –CV- con base en las ecuaciones 4 y 5

$$EE = S\frac{T}{\sqrt{N}},$$ Ecuacion 4

$$CV = \frac{S}{MC}\ 100$$ Ecuacion 5

| Donde

S- desviacion estandar

MC- Media calculada (promedio aritmetico),

T- Parametro estadistico

N- numero de ensayos

9 10PRUEBA DE POSIBLE USO DEL CARBONATO DE CALCIO ($CACO_3$) OBTENIDO EN SUELOS AGRICOLAS

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

10 RESULTADOS

Resultados obtenidos de la captura de gases de combustion del bagazo de caña y separacion del carbonato de calcio se exponen de la siguiente manera

En las tablas 2 3, 4 - los datos de los ensayos en los que se utilizo como solucion alcalina 100 gramos de NaOH en diez litros de agua y en la Figura 3 –los resultados del analisis de la composicion quimica del carbonato calcio obtenido

En las tablas, se expone el valor de la caracteristica evaluada en cada ensayo, el promedio, la desviacion estandar, el error estandar y el coeficiente de variacion, calculados de conformidad con las ecuaciones 3, 4 y 5 El valor procesado se presenta en forma de la media verdadera

Tabla 2 Valores de la temperatura en el proceso de combustión de muestras de bagazo de caña

Ensayo	Temperatura °C
1	695
2	715
3	717
4	712
5	705
Promedio	709
Desviacion estandar	9
Error estandar	10
Coeficiente de variacion, (%)	1,3
Media Verdadera %	709 ± 10

La temperatura alcanzada en el presente trabajo, para la combustion del bagazo de caña se realiza con facilidad, sin que sea necesario recurrir a la introduccion permanente de aire a la zona del proceso, en promedio del orden de 709°C (Tabla 2) con humedades inferiores al (8%) que facilitan aunmas su combustion

Tabla 3 Valores del pH de la solución alcalina ($NaOH + CaCl_2$) en el proceso de captura de los gases de combustión de bagazo de caña

Ensayo	pH, inicial	pH, final
1	11 3	6,4
2	11,4	6 8
3	11,3	6,5
4	11 8	6 7
5	11,9	6,5
Promedio	11,5	6 6
Desviacion estandar	0,3	0,2
Error estándar	0,3	0,2
Coeficiente de variacion, (%)	2,5	2,5
Media Verdadera, °C	11 5 ±0,3	6,6 ±0 2

Al momento de hacer la mezcla de la solucion alcalina ($NaOH + CaCl_2$) se presentan valores promedios de pH 11,5 lo que nos indica la gran concentracion de bases o sales que alli se estan produciendo Al finalizar la combustion se

obtenian valores de pH promedios de 6 6 el cual se debe a la reaccion del CO_2 con la solucion el pH baja por la presencia de $CaCO_3$

Tabla 4 Masa obtenida de carbonato de calcio por captura de los gases de combustión de bagazo de caña con relación a la mezcla alcalina 100 g de NaOH y 270 g de $CaCl_2$

Ensayo	Masa, g	Rendimiento
1	124 8	99,8
2	171,8	137 4
3	150,8	120,6
4	112 5	90,0
5	128 7	103,0
Promedio	137,7	110,2
Desviacion estandar	23,54	18,8
Error estándar	27 1	21,6
Coeficiente de variacion, (%)	17 1	13,7
Media verdadera,	137 7 ± 27,1	110,2 ± 21,6

Se exponen los datos relacionados con el proceso de combustion de las muestras de bagazo de caña y la obtencion de carbonato de calcio, tras la captura con soluciones preparadas conjuntamente con NaOH y $CaCl_2$, mostrando un

rendimiento promedio de un 110 2 % siendo este un valor muy aceptable para el proyecto

Tabla 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 $CaCO_3$ obtenido a partir de la combustión de los materialesseleccionados y con cal Dolomita (Dosis 2 Ton/ha)

Ensayo	Muestra del suelo testigoAl, meq/100g suelo	Bagazo de caña,Al,meq/100g suelo	Cal Dolomita, Al, meq/100g suelo
1	4,25	0,15	0,70
2	3 90	0 20	0,95
3	4 00	0,20	0,90
Promedio	4 05	0 18	0 83
Desviacion estandar	0,18	0,03	0,13
Error estandar	0 33	0,05	0 24
Coeficiente de variacion (%)	4,5	15,8	15,1
Media Verdadera	4 05 ± 0,33	0,18 ± 0,05	0,85 ± 0 24

Fuente Universidad de los Llanos, Laboratorio de suelos, 2010

Al comparar la cal Dolomita con el carbonato de calcio obtenido a partir de la descomposicion termica del bagazo de caña, se observa como el calcio actua neutralizando el aluminio Pero el resultado mas representativo es como el carbonato calcio actua cuatro veces mas rapido que la cal Dolomita

Figura 4. Resultados del análisis de la composición *química del carbonato* calcio obtenido por descomposición térmicade bagazo de caña y captura de gases con soluciones alcalinas

Spectrum processing:

Peaks possibly omitted: 2.140, 9.710 keV

Processing option: All elements analyzed (Normalised)

Number of iterations = 4

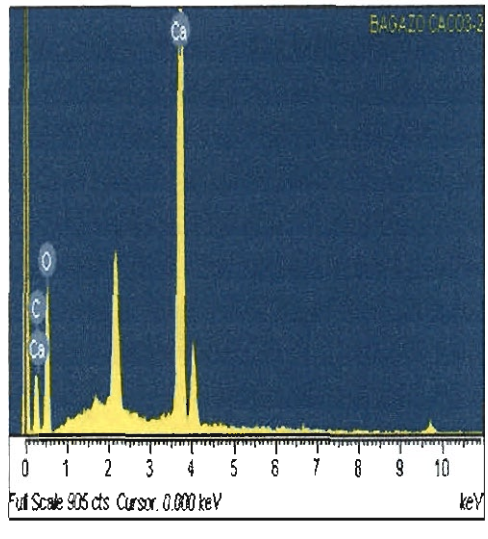
Standard:

C CaCO3 1-Jun-1999 12:00 AM

O SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM

CaWollastonite 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight %	Atomic %
C K	5.79	10.89
O K	42.39	59.89



Laboratorio de Microscopia Electrónica. UNALMED

Estos resultados se repitieron para todas las muestras, los cuales después de procesados confirman que correspondían a carbonato de calcio producto de la captura de CO_2 en solución de NaOH y posterior reacción con $CaCl_2$.

11 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El análisis de los resultados obtenidos en el proceso de la captura de los gases de combustión del bagazo de caña 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.

12LA DISPONIBILIDAD DEL HIDRÓXIDO DEL METAL ALCALINO EN EL MEDIO DE LA REACCIÓN.

Enel presente trabajo se parte del hecho establecido que para la captura del dióxido de carbono, principal componente de los gases de combustión del bagazo de caña, 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 6 (si el metal es alcalino) y con la ecuación 7 (si el metal es alcalinotérreo).

$$2\ Me\ (OH) + CO_2 = Me_2CO_3 + H_2O \qquad \text{Ecuación 6}$$

$$Me\ (OH)_2 + CO_2 = MeCO_3 + H_2O \qquad \text{Ecuación 7}$$

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.

La disponibilidad del metal en la solución la determina la solubilidad del hidróxido en agua, por esta razón, la baja solubilidad del hidróxido de calcio en agua se convierte en obstáculo para utilizarlo como agente que permita la captura de CO_2, puesto que para disponer de las cantidades estequiométricamente necesarias, se requiere volúmenes altos de agua y, por tanto, recipientes de gran tamaño, lo que dificulta la organización del proceso desde el punto de vista práctico.

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 8).

$$CaCl_2 + CO_2 + H_2O = CaCO_3 + 2HCl \qquad \text{Ecuación 8}$$

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):

$$CaCO_3 + CO_2 + H_2O = Ca(HCO_3)_2 \qquad \text{Ecuación 9}$$

El bicarbonato de calcio es una sal de elevada solubilidad en agua, que sólo se conoce en solución (El calcio, 1963), por tanto su separación del medio de la reacción no es posible. Sólo queda como alternativa el calentamiento de la solución (Ecuación 10), 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.

$$Ca(HCO_3)_2 \xrightarrow{t\,°C} CaCO_3 + CO_2 + H_2O \qquad \text{Ecuación 10.}$$

Ante estos hechos, se hace necesario utilizar hidróxido de sodio (NaOH), de costos, comparativamente, bajos, de solubilidad considerable en agua, para disponer de 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 11), aunque, en razón que el carbonato de sodio (Na_2CO_3) 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 ($CaCO_3$).

$$2NaOH + CO_2 = Na_2CO_3 + H_2O \qquad \text{Ecuación 11.}$$

El control del proceso de captura de CO_2, con soluciones acuosas de NaOH, de conformidad con los resultados expuestos en la Tabla 3, es una actividad relativamente sencilla, en la que de indicador puede servir el valor del pH de la solución, con valores del orden de 11,5 unidades al iniciar el proceso y de 6,6 – al concluirlo, dados los aceptables coeficientes de variación obtenidos (Tabla 3).

13 LA PRECIPITACIÓN, EL RENDIMIENTO Y LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CARBONATO DE CALCIOOBTENIDO.

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:

$$Na_2CO_3 + CaCl_2 = \mathbf{CaCO_3}\downarrow + 2\,NaCl; \qquad \textit{Ecuación 12}$$

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 del bagazo de caña, en calidad de reactivo límite, en razón que la masa de bagazo de caña puede ser considerada en exceso, de conformidad con la Ecuación 11.

$$2NaOH + CO_2 = Na_2CO_3 + H_2O$$

Con base en los datos reportados por el Laboratorio de Microscopia Electrónica de la Universidad Nacional, sede Medellín, UNALMED, sobre la composición química bagazo de caña cruda, el porcentaje mínimo de carbono podría ser del orden de 48%, por tanto,1 kg de bagazo de caña utilizados, en cada ensayo, contendrían 592 g de carbono, los cuales, de conformidad con la Ecuación 1, generarían 2.170 g de CO_2, que a su vez requerirían 3.946 g de NaOH (ecuación 11); para producir 3.790 g de $CaCO_3$.

Teniendo en cuenta que se utilizaron sólo 100 g de NaOH, estos deben reaccionar con 55 g de CO_2 para generar 133 g de Na_2CO_3 y obtener 125 g de $CaCO_3$. Puesto que la masa de carbonato de calcio ($CaCO_3$) obtenido es en promedio de 137,7 g, se puede aceptar que el rendimiento del proceso, dentro de estas consideraciones, es del orden del 110,2 %.

Es claro que dentro de estos criterios de evaluación no se tiene en cuenta la totalidad del carbono presente en la muestra del bagazo de caña 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 CO_2 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.

14 ELEMENTOS PARA EL APROVECHAMIENTO INTEGRAL DEL BAGAZO DE CAÑA.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo, que aunque tiene las características de preliminar, permiten considerar posible la captura de los gases de combustión bagazo de caña, en particular el bióxido de carbono 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 del bagazo de caña como una alternativa de aprovechamiento integral de este abundante residuo de la producción de zonas paneleras y de ingenios azucareros, etc. 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.

15 CONCLUSIONES.

- Los gases producidos por la combustión térmica del bagazo de caña, entre ellos el dióxido de carbono (CO_2), pueden ser capturados con soluciones alcalinas.

- *La mezcla de compuestos alcalinos* (NaOH y $CaCl_2$), permiten incremento en la obtención de carbonato de calcio - CaCO3 que se obtiene en una sola etapa.
- El carbonato de calcio obtenido puede ser utilizado como correctivo en el suelo en dosis más altas

16 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.

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 el bagazo de caña.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo permiten visualizar la posibilidad de utilizar la descomposición térmica bagazo de caña como una alternativa para su aprovechamiento integral, en razón que el calor, las cenizas, el carbonato de calcio producto de la captura de los gases de combustión pueden ser aprovechadas en procesos productivos.

17 BIBLIOGRAFIA

- AJNAZAROVA L., KAFAROV V. Optimización de experimentos en la ciencia y tecnología químicas. *Moscú. VyschayaShkola. 1978. 215 p.* En ruso.

- Beltrán, E. H. 1984. Ayer, hoy y mañana de la caña de azúcar en Colombia. Cali, Colombia.153 p.

- BUN-CA 2002 Manuales sobre energía renovable: Biomasa/ BiomassUsers Network (BUN-CA). -1 ed. -San José, C.R.:BiomassUsers Network (BUN-CA), 2002. 42p. [consultado 03 Mayo 2011]. Disponible en:http://www.bun-ca.org/publicaciones/BIOMASA.pdf

- CACERES M. 2002. Medio Ambiente Energía Limpia. [consultado 14 Mayo 2011]. disponible en:

http://www.elsalvador.com/hablemos/Ediciones/012002/medioambiente.htm

- Canadell JG, Le Que´ré 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.

- Carbajal 2004 Efecto de la cenizas en el poder calorífico superior del bagazo de caña de azúcar. Ing. Arbey Carbajal, Ing. Adolfo Gomez, ing. Carlos Briceño. *Carta semestral cenicaña.* Año 26 No. 4 Cali, Colombia 2004.

- CASTILLO T 2005: Bioquímica de los alimentos. Determinación de humedad. [consultado 03 Mayo 2011]. disponible en:http://www.monografias.com/trabajos15/determinacionhumedad/determinacion-humedad.shtml

- CORPOICA – SENA. *1998. Manual de caña de azúcar para la producción* de panela. Bucaramanga (Colombia). 145 pp.

- El calcio. Enciclopedia química.1963. Moskva. P.370-383. En ruso.

- FAO- departamento de desarrollo sostenible (SD) de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentacion. Diciembre 1997.[consultado 14 Mayo 2011]. Disponible en: http://www.fao.org/sd/spdirect/EGre0034.htm

- Federación nacional de productores de panela – FEDEPANELA. Guía ambiental.1999.
- Gonzales Pérez F. 2006: El bagazo como combustible y su relación con los principales factores agroindustriales. Fuentes de energía en la industria de la caña de azúcar. Mundo eléctrico. Revista especializada del sector eléctrico. Abril – Junio del 2006 Vol.20 No.63. Bogotá, Colombia.
- González J.E 2000. Azúcar y Producción.[consultado 14 Mayo 2011]. Disponible en:http://www.medspain.com/ant/n12_may00/BAGAZOSIS.htm
- Gustavo M, Ausilio A. Revista agromensajes de la facultad 13. Cátedra de edafología. 2004. Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Rosario.[consultado 14 Mayo 2011]. Disponible en: http://www.fcagr.unr.edu.ar/Extension/Agromensajes/13/9AM13.htm
- Hernández G. El efecto de invernadero. 2001.[consultado 14 Mayo 2011].Disponible en: http://www.aie.org.ar/downloads/invernadero.pdf
- Jodakov V. Química inorgánica. Moscú 1977.
- 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
- Melnik B. Manual de ingeniería. Tecnología de la sustancias inorgánicas, 1975. Jimia, Moscú. En ruso.
- Minagricultura 2009: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Documento- EL SECTOR PANELERO COLOMBIANO. [Consultado 14 Mayo 2011]. Disponible en:http://www.minagricultura.gov.co/archivos/Sector%20Panelero%20Colombiano.pdf
- Nikulshina V, Gálvez 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
- O.G. RAMOS 2005: La caña de azúcar en la cultura Colombiana. [Consultado 14 Mayo 2011]. Disponible en:http://www.cenicana.org/agroindustria/region_Azucar.php. Mayo 08 de 2011

- PERAFAN F. 2009 La caña de azúcar en el valle del cauca Cali Colombia 2009. [Consultado 14 Mayo 2011]. Disponible en:http://www.perafan.com/azucar/ea02cana.html Mayo 03 de 20011

- Rubio González, A. M. «Incremento de la eficiencia térmica de la caldera RETAL de 45 t/h mediante modificaciones de la aerodinámica del horno». Tesis Doctoral. UCLV, 1994. Sarría López, B. «Aerodinámica de la zona de flujo inverso que se crea en una cámara de combustión que combina un estabilizador rotatorio y un turbulizador estático tangencial». Tesis en Opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas. UCf, 1994. Disponible en http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar21/HTML/articulo02.m

- 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—

- Tepe JB, Dodge BF. Absorption of carbon dioxide by sodium hydroxide solutions in a packed column. Trans. Am. Inst. Chem. Eng. 1943. 39: 255–276 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

- Vaidya PD, KonduruP,Vaidyanathan M, Kenig EY. Kinetics of Carbon Dioxide Removal by Aqueous Alkaline Amino Acid Salts. *Industrial & Engineering Chemistry Research* 2010 *49* (21): 11067-11072

- VILLEGAS, PEDRO J. *Aprovechamiento de residuos fibrosos de la industria azucarera mediante procesos de conversión térmica.* Tesis de doctorado. Santa Clara: Universidad Central de Las Villas, 2000. [Consultado 14 Mayo 2011].Disponibleen:

  http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar05/HTML/articulo01.htm

18 ANEXOS.

REGISTRO FOTOGRAFICO DE LA DESCOMPOSICION TERMICA DEL BAGAZO DE CAÑA Y OBTENCION DE CARBONATO DE CALCIO.

Foto 1. Muestra de bagazo para descomposición térmica

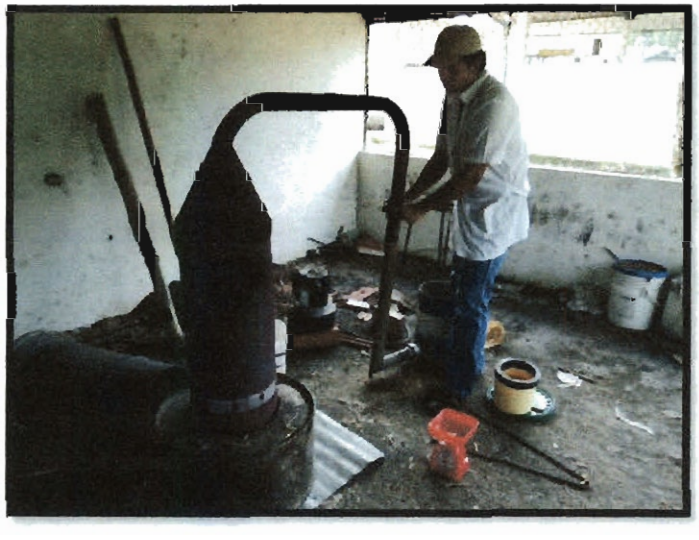


Foto 2. Modelo del horno quemador

Foto 3. Combustión plena bagazo de caña

Foto 4. Cenizas residuo de la combustión plena

Foto 5. Obtención de carbonato de calcio al finalizar la combustión plena.

Foto 6. Filtrado del carbonato de calcio

Foto 7. Secado carbonato de calcio obtenido

Foto 8. Utilización del carbonato de calcio como enmienda

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	FArL	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

PROYECTO: TESTIGO

M.O. Walkleyblack

S: Fosfato monobásico de calcio

Cationes: AcNH4, 1N pH 7.0

Elementos Menores: DTPA.

AL: KCL1N

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

Fecha de recibido

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

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
038	1	FArL	3.0	0.3	5.4	0.15	6.15	0.25	0.15	0.23
039	2	FArL	3.1	0.1	5.3	0.20	6.15	0.10	0.11	0.24
040	3	ArL	2.7	0.3	5.4	0.15	6.10	Trazas	0.11	0.22

PROYECTO: BAGAZO DE CAÑA

M.O. Walkleyblack

S: Fosfato monobásico de calcio

Cationes: AcNH4, 1N pH 7.0

Elementos Menores: DTPA.

AL: KCL1N

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

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
118	1	FArL	3.5	2.7	5.1	0.70	2.10	0.80	0.15	0.04
119	2	FArL	3.6	2.7	5.1	0.95	1.85	0.75	0.13	0.02
120	3	ArL	3.4	2.9	5.1	0.05	1.75	0.70	0.13	0.03

PROYECTO: CAL DOLOMITA

			FECHA ENTREGA		
M.O. Walkleyblack					
S: Fosfato monobásico de calcio	B: en frío HCL 0.05 M				
Cationes: AcNH4, 1N pH 7.0	p: Bray II		DIA	MES	AÑO
Elementos Menores: DTPA.	pH 1:1 (Suelo : Agua)	JULIO CESAR MORENO TORRES			
AL: KCL1N		Director Laboratorio de Suelos			