

AGR
0632
EJ I

Hererooteca

044731

**OBTENCION DE CARBONATO DE CALCIO A PARTIR DE LA
DESCOMPOSICION TERMICA DE LA CACARILLA DE ARROZ (*Oriza
sativa*) Y VALORACION PRELIMINAR DE POSIBLE USO AGRICOLA**

**GRUPO DE INYETIGACION EN GESTION AMBIENTAL SOSTENIBLE
(GiGAS)**

**JULIO CESAR AGUIRRE GUTIERREZ
JHOAN SEBASTIAN RICO AGUILERA**

**UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS ORIENTALES
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES
ESCUELA DE CIENCAS AGRICOLAS
PROGRAMA DE INGENIERIA AGRONOMICA
VILLAVICENCIO
2011**

**OBTENCION DE CARBONATO DE CALCIO A PARTIR DE LA
DESCOMPOSICION TERMICA DE LA CACARILLA DE ARROZ (Oriza
sativa), Y VALORACION PRELIMINAR DE POSIBLE USO AGRICOLA**

**GRUPO DE INVETIGACION EN GESTION AMBIENTAL SOSTENIBLE
(GiGAS)**

**JULIO CESAR AGUIRRE GUTIERREZ
JHOAN SEBASTIAN RICO AGUILERA**

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

**DIRECTORES
ABELARDO PRADA MATIZ
Ing Qco PhD
CAROLL EDITH CORTES
Qco Esp**

**UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS ORIENTALES
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES
ESCUELA DE CIENCAS AGRICOLAS
PROGRAMA DE INGENIERIA AGRONOMICA
VILLAVICENCIO
2011**

AUTORIDADES ACADEMICAS

OSCAR DOMINGUEZ

Rector

EDUARDO CASTILLO GONZALEZ

Vicerrector academico

OBED GARCIA DURAN

Decano Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales

JORGE ENRIQUE MUÑOZ AGUILERA

Director Escuela de Ciencias Agricolas

NIDIA CARMEN CARRILLO

Director Programa de Ingenieria Agronómica

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 *Cesar Aguirre A* y *Ana Gutiérrez B* que con su esfuerzo y constante compañía que me han animado aconsejado y bendecido con su amor para alcanzar esta meta y seguir logrando mis sueños a mis hermanos 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 que contribuyen a mi formación

Al grupo de investigación en Gestión Ambiental Sostenible (GiGAS) con su director el doctor *Abelardo Prada Matiz* y la Esp *Caroll Edith Cortes* quienes me permitieron hacer parte de este gran grupo de trabajo y amistad los cuales lograron despertar en mí el ansia de la investigación con miras al bien común. Al final a cada uno de los educadores que me impartieron sus conocimientos durante la carrera para tener los suficientes criterios necesarios 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

Cesar Aguirre Gutiérrez

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios todo poderoso por darme la vida y la oportunidad de estudiar y de salir adelante de regalarme un poco de su sabiduría y don del discernimiento para poder recorrer el camino de la vida como persona de bien y llegar a la meta tan anhelada

Doy gracias a mis hermosos padres *Zuly Aguilera Enciso* y *Cipriano Rico Porras* por traerme a este mundo por darme todo lo que con esfuerzo y dedicación han conseguido, por enseñarme las cosas buenas con ejemplos además por formarme como una persona de bien también agradezco a mis hermanos y familiares

Gracias a *Lina Marcela Sanchez Nuñez* por brindarme su apoyo en el proceso de aprendizaje y desarrollo del trabajo de grado además de recorrer junto a mí el camino de la vida y de estar en los malos y buenos momentos

Con gratitud doy gracias a mis amigos y compañeros por brindarme su apoyo, amistad y respeto por compartir buenos consejos a lo largo del desarrollo de nuestro proyecto y compartir nuestra felicidad de haber hecho parte de tan hermoso trabajo

Al grupo de investigación en Gestión Ambiental Sostenible (GiGAS) con su director el doctor *Abelardo Prada Matiz* y la Esp *Caroll Edith Cortes* quienes me permitieron hacer parte de este gran grupo de trabajo y amistad los cuales lograron despertar en mí el ansia de la investigación con miras al bien común Al final a cada uno de los educadores que me impartieron sus conocimientos durante la carrera para tener los suficientes criterios necesarios para emprender esta nueva etapa de mi vida

A todas y cada una de las personas que me han ayudado de una y otra manera a salir adelante en mi desarrollo integral como profesional mil y mil gracias

Sebastián Rico Aguilera

AGRADECIMIENTOS

Al grupo de investigación en Gestión Ambiental Sostenible (GiGAS) por hacernos partícipes de este proyecto y emprender los primeros pasos en el mundo de la investigación

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 colaboración con sus instalaciones y materiales para el adecuado desarrollo de nuestro proyecto

Al profesor JORGE E MUÑOZ AGUILERA por brindarnos sus amplios conocimientos en los temas de interés en lo relacionado a la naturaleza del suelo y su dinámica

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

TABLA DE CONTENIDO

1	RESUMEN	11
2	INTRODUCCION	12
3	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
4	OBJETIVOS	14
4 1	Objetivo general	14
4 2	Objetivos especificos	14
5	MARCO TEORICO	15
5 1	Arroz (Oryza sativa)	15
5 1 1	Historia	15
5 1 2	El cultivo de arroz en Colombia	15
5 1 3	Sector arrocero en Colombia	16
5 1 4	Diagnóstico del sector arrocero	17
5 1 5	Composición	18
5 2	Cascarilla de arroz	19
5 2 1	Características generales	19
5 2 2	Composición	20
5 2 3	Porcentaje de humedad	21
5 2 4	Calor específico	22
5 3	Uso de la cascarilla de arroz	23
5 4	El dióxido de carbono y el carbonato de calcio	25
5 5	El carbonato de calcio y el suelo	26
6	METODOLOGÍA	27
6 1	Objeto de estudio	27
6 1	Localización	27
6 2	Materiales	28
6 6	Prueba de posible uso del Carbonato de Calcio (CaCO_3) obtenido en suelos agrícolas	31
6 8	Cronograma de actividades	33
6 9	Tratamiento estadístico	36
7	RESULTADOS Y DISCUSION	37
8	CONCLUSIONES	42
9	RECOMENDACIONES	42
10	BIBLIOGRAFÍA La lista es incompleta y mal presentada	43
11	ANEXOS	44

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Composicion quimica del arroz	18
Tabla 2 Composición quimica de la cascarilla de arroz y de las cenizas de la cascarilla de arroz ^{1 2}	19
Tabla 3 Composicion de la cascarilla de arroz	20
Tabla 4 Composicion elemental de la cascarilla de arroz a diferentes porcentajes de humedad en Colombia	21
Tabla 5 Contenido de humedad y poder calorifico inferior de la cascarilla de arroz	22
Tabla 6 Cronograma de actividades	33
Tabla 7 Valores de la temperatura en el proceso de combustión de muestras de cascarilla de arroz, utilizando la alternativa B	37
Tabla 8 Valores del pH de la solución alcalina (NaOH +CaCl ₂) en el proceso de captura de los gases de combustion de la cascarilla de arroz, utilizando la alternativa B	38
Tabla 9 Masa obtenida de carbonato de calcio por captura de los gases de combustión de la cascarilla de arroz con relación a la mezcla alcalina 100 g de NaOH y 270 g de CaCl ₂ utilizando la alternativa B	39
Tabla 10 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 materiales seleccionados y con cal Dolomita (Dosis 2 Ton/h	41

LISTA DE FIGURAS

- Figura 2** Esquema del horno quemador y del reactor para la captura de los gases de combustión de la cascarilla de arroz 35
- Figura 3** Esquema del proceso de combustión termica de la cascarilla de Arroz, captación del dióxido de carbono- CO₂ en soluciones alcalinas y obtención de carbonato de calcio , trabajando con la alternativa B 34
- FIGURA 4** Esquema de las alternativas A y B para la combustión de la cascarilla de arroz y demás materiales utilizados y posterior captura de gases con soluciones alcalinas 35
- FIGURA 1** Resultados del análisis de la composición química del carbonato calcio obtenido por descomposición térmica de la cascarilla de arroz y captura de gases con soluciones alcalinas 31

1 RESUMEN

En el presente trabajo se obtuvo carbonato de calcio CaCO_3 - por captura de los gases de la descomposición térmica de la cascarilla de arroz (*Oriza sativa*) con soluciones alcalinas y se adelantaron ensayos preliminares de interés agronómico al utilizar el producto como enmienda en suelos ácidos de alto contenido de aluminio en comparación con materiales tradicionales

Palabras clave Combustion, cascarilla de arroz captura de dióxido de carbono carbonato de calcio acidez

2 INTRODUCCION

La cascarilla es el subproducto desecho o residuo de la industria molinera, mas importante de la producción de arroz abundante en las zonas arroceras cuya cantidad generada puede acercarse a una tonelada por hectárea de arroz cultivada en consecuencia los volumenes de cascarilla pueden alcanzar cifras considerables que pasan hacer parte de la problemática social y ambiental regional

Como es de amplio conocimiento el arroz hace parte en gran medida de la alimentación de la humanidad y que en regiones como la Orinoquia, su consumo es mayor y es uno de los productos pilares de la producción que fortalece la economía local Por esta razon han sido amplios los esfuerzos individuales y colectivos realizados con el fin de darle uso apropiado a la cascarilla sin embargo su baja degradabilidad y los contenidos de ciertos componentes quimicos no han permitido introducirla en actividades productivas de importancia

Por otra parte la descomposición térmica de la cascarilla es una alternativa que se debe considerar en razón que permite el aprovechamiento del calor que se genera en diferentes procesos, las cenizas en labores agricolas, siempre y cuando se capturen los gases que se desprenden en la combustión, que contienen fundamentalmente óxidos de carbono y hollin en forma de humo, cuya liberación a la atmósfera genera impactos negativos intensificando problemas ampliamente conocidos -calentamiento global lluvias ácidas cambio climatico

La captura de los gases citados y su posterior transformación en compuestos utiles como lo es el carbonato de calcio, que por su alto contenido de calcio puede ser utilizado en la agricultura como neutralizador del aluminio presente en el suelo

En la Orinoquia se encuentran suelos en los que es posible la aplicación del carbonato de calcio obtenido por la captura de los gases de combustión de la cascarilla de arroz y de esta manera acercarse al aprovechamiento integral de este abundante desecho en la región. Esta es la finalidad y propósito del presente trabajo.

3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La descarga a la atmósfera de los gases de combustión de la cascarilla es una limitante importante para el uso amplio de la cascarilla de arroz como consecuencia de los procesos de contaminación ambiental que se generan a pesar de los beneficios que la descomposición térmica puede ofrecer: el calor y las cenizas que son aprovechadas ampliamente en procesos productivos.

Al mismo tiempo la descomposición térmica de la cascarilla es un proceso sencillo de relativa fácil organización, además en la región de la Orinoquia este desecho abunda lo que lleva a pensar que existen todas las premisas para el desarrollo del proceso.

Por tanto, la captura de los gases de combustión y su transformación en sustancia útil como carbonato de calcio que puede ser aprovechado en labores agrícolas se vislumbra como una actividad importante que permitiría el uso integral de la cascarilla de arroz.

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Obtener carbonato de calcio por captura de los gases descomposición térmica de la cascarilla de arroz (*Oriza sativa*) con soluciones alcalinas y evaluar de manera preliminar, su posible aplicación en actividades agronómicas

4.2 Objetivos específicos

- Determinar las condiciones básicas del proceso de combustión de la cascarilla de arroz
- Capturar los gases de combustión de la cascarilla de arroz (*Oriza sativa*), para transformarlos en carbonato de calcio (CaCO_3)
- Evaluar a nivel de laboratorio la eficiencia del carbonato de calcio en su acción de neutralizador del aluminio presente en suelos ácidos

5 MARCO TEORICO

5 1 Arroz (Oriza sativa)

5 1 1 Historia

El arroz es uno de los cereales que se cultivan desde la antigüedad. El más lejano testimonio que se tiene corresponde al año 2800 a C en que un emperador chino estableció un rito ceremonial para la plantación del arroz. En 1000 años a C era conocido en la India y hacia 400 años a C en Egipto. En la Edad Media el arroz es introducido en el sur de Europa con la invasión de los moros, En España, no se conoce la época en la que se introdujo aunque los musulmanes lo cultivaron con éxito durante el tiempo de ocupación de la Península en Sevilla, Córdoba, Granada, Murcia, Alicante y Tarragona. En Europa se cultiva también en Grecia, Turquía, Rumania, Hungría e Italia, si bien la producción es insuficiente para el consumo lo que ha obligado a importarlo en su mayor parte. En América llega con los conquistadores se cree que en 1694 cuando el capitán de un barco entregó unas semillas al gobernador de Charleston en pago por la reparación de su barco. En el siglo XVIII se cultiva el arroz en el sur de los Estados Unidos el llamado arroz Carolina (UNALMED 2003)

5 1 2 El cultivo de arroz en Colombia

El historiador Fray Pedro Simón en 1961 afirma que en el valle del Magdalena en Colombia hubo siembras en 1580 en área de Mariquita (Tolima) EN el municipio de Prado se cultivó hace 300 años y en 1778 lo introdujeron los Jesuitas a San Jerónimo (Antioquia) (UNALMED 2003)

Otra de las zonas arroceras importantes es la de los llanos en la que se inició la siembra a escala comercial hacia 1908 utilizando como mano de obra a los prisioneros de una colonia penal situada a 130 kilómetros de Bogotá bajo la vigilancia del general Mariano Ospina Chaparro. A lomo de mula se transportó a Bogotá y en 1914 se instaló el primer molino de arroz con capacidad para 4

mil 800 kilos en 24 horas. En 1928 se remonta la historia del cultivo a la costa pacífica con siembras en el bajo Atrato. Los cultivos se intensificaron en áreas de los municipios de Armero, Venadillo, Alvarado y Mariquita en el Tolima y Campoalegre en el Huila (UNALMED 2003).

No obstante el paso del tiempo también le ha dado un lugar de importancia al departamento del Meta hasta el punto que en 1984 cuando se inauguraron las nuevas instalaciones de la planta de Semillas de FEDEARROZ en Villavicencio el sacerdote que las bendijo, Moisés Rodríguez, afirmó, "Si Jesucristo hubiera nacido en los Llanos Orientales las hostias serían el arroz y no de trigo" (UNALMED 2003).

5.1.3 Sector arrocero en Colombia

El arroz es uno de los alimentos más importantes del mundo, con una concentración geográfica alta tanto en niveles de producción como en consumo y exportación (en Asia se produce y consume cerca del 90% del arroz mundial). Dada su importancia y sensibilidad el arroz es uno de los productos más protegidos en el comercio mundial. La mayor distorsión en el mercado mundial del arroz se da por los aranceles a la importación y las ayudas en los precios en los países exportadores (Wailes 2004).

En Colombia el arroz ocupa el primer lugar en términos de valor económico entre los cultivos de ciclo corto. Colombia es el segundo país productor de arroz de América Latina y del Caribe. Colombia es también el país anfitrión del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y del Fondo Latinoamericano para Arroz de Riego (FAO 2004).

Colombia gracias a su ubicación geográfica (la zona tropical) se cultiva arroz dos veces al año con un promedio de cuatro meses en su proceso vegetativo. En el cultivo se generan 65 000 empleos directos, más de 5 000 en la molinería y un gran número de empleos indirectos en el sector urbano. Se considera que la tercera parte de la población rural del país vive del sector arrocero ya que se produce en 211 municipios y vincula otras actividades como la comercialización.

de insumos, la trilla y el transporte las fuentes de crédito la venta de repuestos combustibles, los expendios de mercado y en general toda la actividad que de allí se desprende (Hernandez 2006)

5 1 4 Diagnostico del sector arrocero

En Colombia, los costos de producción también varían según la zona donde se cultive. Las principales zonas aptas para el cultivo son la zona centro (Tolima, Huila Valle del Cauca) la zona de los Llanos (Meta, Casanare, Arauca y Vichada) la zona de la Costa Norte (Cesar Guajira y Magdalena). Esta diferencia de costos de producción depende en gran medida al acceso que tengan las diferentes zonas productoras a la tecnología existente en especial en el sistema de riego. En los últimos años el arroz riego ha representado cerca del 62,6% del área cultivada y 71,3% de la producción mientras el seco mecanizado participó con el 32,2% del área y 27,4% de la producción. El seco manual es el tipo de cultivo menos estudiado y se estima que representa el 4,2% del área y el 1,3% de la producción (Acevedo Quintero, & Salazar, 2004)

El país tiene dos sistemas de producción diferenciados mecanizado y tradicional (o manual). El arroz mecanizado representa el 95 por ciento de la zona de los arrozales y el 98 por ciento de la producción la mayor parte en las llanuras centrales y orientales. Las zonas de arrozales restantes los sistemas tradicionales del arroz de monte emplean casi el mismo número de personas que el sistema mecanizado. Las granjas de arroz mecanizadas son grandes y disponen de unas instalaciones de producción adecuadas mientras que el arroz de monte tradicional se cultiva en combinación con otros cultivos perennes y anuales (FAO 2004)

Las principales cosechas de arroz son de marzo-abril a julio-agosto y la segunda cosecha abarca de agosto-octubre a enero-febrero. Se han empezado a cultivar variedades mejoradas de arroz *indica* (FAO 2004)

El arroz es la principal fuente de calorías y proteínas para las familias de escasos ingresos que representan aproximadamente el 20% de la población del país. La media nacional del consumo per capita en el 2000 fue de 45.3 Kg de arroz descascarillado. Además de la producción local Colombia tiene que importar más arroz para satisfacer su propia demanda. La empanada de tofu y arroz es un conocido aperitivo de este país (FAO, 2004)

5.1.5 Composición

El componente mayoritario del arroz es el almidón y por ello supone una buena fuente de energía. Aporta unas 350 calorías por cada 100 gramos. Aporta un 7 por ciento de proteínas y es rico en vitaminas del grupo B, si se consume integral. Es pobre en minerales especialmente en hierro, calcio y zinc (FAO 2004)

Tabla 1 Composición química del arroz

COMPONENTE	(%)
Agua	(15.5 %)
Proteína	(6.2 g)
Grasa	(0.8 g)
Carbohidratos	(76.9 g)
Fibra	(0.3 g)
Ceniza	(0.6 g)
Calcio	(6.0 mg)
Fosforo	(150 mg)
Hierro	(0.4 mg)
Sodio	(2.0 g)
Vitamina B1	(0.09 mg)

Vitamina B2	(0 03 mg)
Niacina	(1 4 mg)
Calorias	(351)

FUENTE (Kurt 1960)

5 2 Cascarilla de arroz

5 2 1 Características generales

La cascarilla de arroz es uno de los desechos mas importantes de la produccion de arroz y de la producción, en general, de la Orinoquia colombiana. La cantidad de cascarilla que se genera año tras año en la región puede superar las 100 000 ton / año (Wailes 2004)

Por sus propiedades fisico-quimicas tenemos que es un sustrato organico de baja tasa de descomposicion, es liviano de buen drenaje buena aireacion y su principal costo es su transporte por su baja densidad (Wailes, 2004)

Tabla 2 Composicion quimica de la cascarilla de arroz y de las cenizas de la cascarilla de arroz 1,

Componente	%	Componente	%
Carbono	39 1 *	Ceniza de Silice(SiO ₂)	94,1
Hidrogeno	5 2	Oxido de Calcio (CaO)	0,55
Nitrogeno	0 6	Oxido de magnesio (MgO)	0,95
Oxigeno	37 2	Oxido de Potasio	2,10

		(K ₂ O)	
Azufre	0 1	Oxido de Sodio(Na ₂ O)	0,11
Cenizas	17 8	Sulfato	0,06
		Cloro	0,05
		Oxido de titanio (TiO ₂)	0,05
		Oxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)	0,12
		Otros componentes (P ₂ O ₅ F ₂ O ₃)	1,82
Total	100,0	Total	100,0

Fuente 1 Javier Varón Camargo Diseño construcción y puesta a punto de un prototipo de quemador para la combustión continua y eficiente de la cascarilla de arroz El Hombre y la Máquina No 25 Julio - Diciembre de 2005

5 2 2 Composicion

La cascarilla de arroz es un desecho agro-industrial que se produce en altos volúmenes en zonas donde se siembra y se procesa la planta de arroz, este desecho se puede utilizar como fuente de carbonato para la obtención de carbonatos de calcio (Valverde Sarria, & Monteagudo 2007)

Tabla 3 Composicion de la cascarilla de arroz

Elemento	%
Carbono fijo	16 67
Cenizas	17 89
Volátiles	65 47

Fuente Valverde Sarria & Monteagudo, 2007 p 257

Análisis proximal de la cascarilla de arroz en Colombia (Valverde Sarria & Monteagudo, 2007)

Los volátiles tienen un papel importante durante la ignición en las etapas iniciales de la combustión de la biomasa Tanto en el caso de la composición

elemental como de la composición inmediata se debe determinar la humedad de la muestra (Valverde Sarria & Monteagudo 2007)

5 2 2 1 Composición Química

La composición elemental de una sustancia combustible es su contenido (porcentaje en masa) de carbono (C) hidrógeno (H) azufre(S), oxígeno(O) nitrógeno(N) humedad (W) y cenizas o material residual (A) Es la característica técnica más importante del combustible y constituye la base para los análisis de los procesos de combustión entre ellos cálculos de volúmenes de aire gases y entalpía (Valverde Sarria & Monteagudo 2007)

Tabla 4 Composición elemental de la cascarilla de arroz a diferentes porcentajes de humedad en Colombia

Humedad	C	H	O	N	S	Cenizas
8 6	42 5	6 0	36 2	0 21	0 49	14 6
8 9	39 1	5 2	37 2	0 27	0 43	17 8
9 4	33 4	4 3	38 5	0 38	0 32	23 1

Fuente Valverde, Sarria & Monteagudo, 2007 p 257

El porcentaje de cenizas indica la cantidad de materia sólida no combustible por kilogramo del material. En los procesos que incluyen la combustión de la biomasa, es importante conocer el porcentaje de generación de ceniza y su composición, pues en algunos casos ésta puede ser utilizada por ejemplo la ceniza de la cascarilla de arroz como aditivo en la mezcla de concreto o para la fabricación de filtros de carbono activado entre otros (Valverde Sarria & Monteagudo 2007)

5 2 3 Porcentaje de humedad

El contenido de humedad de la cascarilla de arroz cuando sale del descascarador varía entre 5 y 40% luego de estar expuesta a la intemperie, en

epoca no lluviosa la humedad promedio de la cascarilla esta aproximadamente entre el 8 y 15% El contenido de humedad de la biomasa es la relacion de la masa de agua contenida por kilogramo de materia seca Para la mayoria de los procesos de conversion energetica es imprescindible que la biomasa tenga un contenido de humedad inferior al 30% Muchas veces los residuos salen del proceso productivo con un contenido de humedad muy superior que obliga a implementar operaciones de acondicionamiento, antes de ingresar al proceso de conversion de energia (Valverde Sarria & Monteagudo 2007)

5 2 4 Calor especifico

El poder calorifico por unidad de masa es el parámetro que determina la energia disponible en la biomasa Su poder calorico esta relacionado directamente con su contenido de humedad Un elevado porcentaje de humedad reduce la eficiencia en la combustion debido a que una gran parte del calor liberado se usa para evaporar el agua y no se aprovecha en la reduccion quimica del material (Valverde Sarria & Monteagudo 2007)

Tabla 5 Contenido de humedad y poder calorifico inferior de la cascarilla de arroz

CONTENIDO DE HUMEDAD	PODER CALORÍFICO INFERIOR (PCI) kJ/kg
0	19880
10	17644
20	15412
30	13180
40	10947
50	8715
60	6413

Fuente (Valverde Sarria & Monteagudo 2007 p 257)

Poder calorifico inferior de la cascarilla de arroz en funcion del contenido de humedad

5.3 Uso de la cascarilla de arroz

Debido a los grandes volúmenes generados y acumulados han sido múltiples los ensayos realizados para darle un buen uso y aprovechamiento de la cascarilla de arroz en diferentes campos y por intermedio de diferentes métodos para lograr materiales que se utilicen de manera inmediata y que generen de alguna manera un beneficio social, económico, ambiental o la conjugación de estos. El problema de la mayoría de estos ensayos es que no se han llegado a una etapa de aplicación o en modelos de implementación a gran escala. Todos estos estudios se resumen continuación (Valverde Sarria & Monteagudo 2007)

ESTUDIOS SOBRE ALTERNATIVAS DE USO DE LA CASCARILLA DE ARROZ (García Hernández González & Pava)

- 1 Obtención de etanol por vía fermentativa
 - 2 Tostado de cascarilla para uso como sustrato en el cultivo de flores
 - 3 Generación de energía (Ladrilleras, secado de arroz, cereales)
 - 4 Obtención de concreto
 - 5 Aprovechamiento en compostaje y como lecho filtrante para aguas residuales
 - 6 Fabricación de cemento y cerámicas
 - 7 Fuente de sustancias químicas (carboximetilcelulosa de sodio, dióxido de SiO₂, Nitrógeno de silicio, furfural)
 - 8 Combustión controlada para uso como sustrato en cultivos hidropónicos
 - 9 Producción de aglomerados (tableros)
 - 10 Material aislante en construcción
 - 11 Cama en avicultura, porcicultura y en transporte de ganado
 - 12 Cenizas en cultivos agrícolas (Frutas)
- (García Hernández González & Pava)

Las dificultades que siempre sean encontrados en el desarrollo de estas investigaciones esta relacionadas directamente con las características de la cascarilla de arroz como son, muy baja degradabilidad por su alto contenido de silicio (cerca del 17% Tabla 2) su bajo contenido de elementos quimicos limitan su uso industrial pero con la utilización de tratamiento termico se puede lograr darle un uso adecuado, en este metodo se pueden dar dos posibilidades el tratamiento térmico anaerobico y el tratamiento termico aerobico (Peña & Zambrano 2001)

El tratamiento termico anaerobico, que se realiza en ausencia de aire se obtiene el carbon activado que se puede utilizar en diversos procesos industriales con algunas dificultades debidas algunas propiedades fisicas de los carbones de cascarilla (Peña & Zambrano, 2001)

El tratamiento termico aerobico es decir el sometimiento de la cascarilla a la combustión en presencia del aire en este se generan cantidades importantes de dióxido de carbono – CO₂ que al desprenderse contribuye al incremento de la concentracion de este gas en el aire al realizar esta quema de manera controlada y a combustión plena se logra obtener beneficios ambientales al reducir en gran medida la liberación de esta gas , que esta incluido dentro del grupo de gases y sustancias que generan el efecto invernadero (Peña & Zambrano 2001)

5 3 1 Combustion de la cascarilla y obtencion del carbonato de calcio

La cascarilla de arroz es uno de los desechos más importantes de la produccion de arroz y de la produccion en general, de la Orinoquia colombiana La cantidad de cascarilla que se genera año tras año en la region puede superar las 100 000 ton / año (Martinez Acevedo & Espinal 2005) con el agravante ya citado que por su baja degradabilidad natural se acumula en el ambiente llevando a condiciones extremas (Prada & Cortes 2010)

Por sus propiedades fisico-químicas tenemos que es un sustrato orgánico de baja tasa de descomposición, es liviano, de buen drenaje, buena aireación y su principal costo es su transporte por su baja densidad.

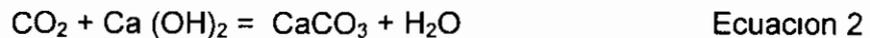
Se debe señalar para una óptima combustión se debe tener una cascarilla con un porcentaje de humedad inferior al 8-10% y donde se asegure una adecuada ventilación (entrada de aire) (Valverde Sarria & Monteagudo 2007).

5.4 El dióxido de carbono y el carbonato de calcio

El dióxido de carbono – CO₂ 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, náuseas, vómito y la exposición puede ser peligrosa (Degremont 1979). Se incluye dentro del grupo de gases y sustancias que generan el efecto invernadero (Hernández 2006) 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 del bagazo de caña y que el hidróxido actúe como agente de captura de CO₂. De igual manera se comportan los hidróxidos de metales alcalinos, las sales de calcio y de otros metales alcalinotérreos (Jodakov 1977).

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 hidróxido 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

5.5 El carbonato de calcio y el suelo

Una misma condición de acidez es decir un mismo pH puede corresponder a deficiencias de bases en diferentes proporciones, por lo que el análisis del porcentaje de saturación de cada catión será el mejor indicador respecto de que correctivo o combinación de ellos se debe utilizar (Magra & 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 neutralización igual a 100, parámetro también 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 moléculas 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 último correctivo es 119. A los efectos prácticos un correctivo con menor valor de neutralización requerirá más cantidad de producto comercial para corregir un determinado nivel de acidez (Magra & 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 extracción a cielo abierto donde su calidad depende de las impurezas que contiene el mineral. El Hidróxido de Calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) cal apagada o cal hidratada es un producto pulverulento que se produce a partir de la hidratación del óxido de calcio y reacciona con mayor velocidad que los carbonatos por su mayor solubilidad (Magra & Ausilio 2004)

El óxido de Calcio (CaO) o cal viva es un producto cáustico que presenta una rápida reacción en el suelo pudiendo provocar la esterilización parcial del mismo. Es un polvo blanquecino que se produce por calcinación de la caliza cálcica y su pureza depende de la calidad del material primario (Magra & Ausilio 2004)

6 METODOLOGIA

6.1 Objeto de estudio

El objeto de estudio es la cascarilla de arroz que se utiliza en los molinos como combustible en las hornillas para el proceso de obtención del arroz blanco del municipio de Villavicencio y sus alternativas posibles en prácticas agrícolas.

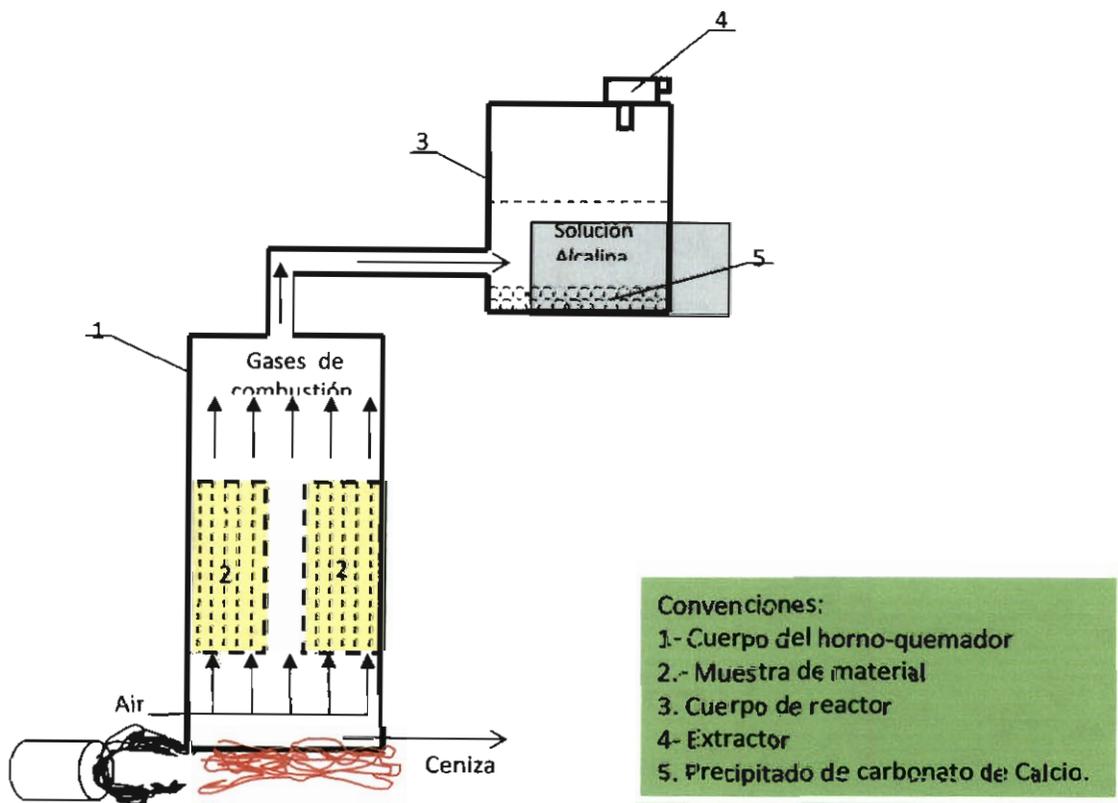
6.1 Localización

Los ensayos de combustión de la cascarilla de arroz, captura de gases de combustión con soluciones alcalinas y la separación del carbonato de calcio obtenido en el proceso se realizaron en la Granja y en los laboratorios de análisis de aguas y de Suelos de la Universidad de los Llanos, sede Barcelona ubicada en Villavicencio Meta, kilómetro 7 vía a Puerto López. Localizada a 384 m s n m latitud, 04°04'26.08" longitud, 73°34'50.52" oeste. Además se realizaron los análisis del producto obtenido en la descomposición térmica del arroz en el laboratorio de microscopía electrónica de la universidad nacional sede Medellín.

6.2 Materiales

En el desarrollo del proyecto se emplearon elementos necesarios para la construcción del sistema de combustión y posterior captura de los gases (Figura 2), Cascarilla, Horno, Ventilador, compuesto fundamentalmente por materiales reciclables (tanques, canecas y tubos de chatarrería).

Figura 1. Esquema del horno quemador y del reactor para la captura de los gases de combustión de la cascarilla de arroz.



Adicionalmente, se utilizaron los reactivos propios del análisis de aguas y de muestras líquidas de acuerdo con el Standard Methods, así como sustancias para la captura del CO₂, tales como: Hidróxido de Sodio (NaOH), y para la precipitación del carbonato de calcio se empleo cloruro de calcio (CaCl₂), todos estos reactivos de captura y de precipitación eran grado comercial

Otros materiales: pH metro, termocupla, libreta de apuntes, extractor, ACPM, Mecheras, Cascos, Guantes, Baldes, Pala, erlenmeyer sencillo, Embudo y recipiente de plástico artesanal para filtración, Papel filtro, Balanza electrónica, Estufa o mufla, Vaso de precipitado, Bolsas de recolección.

6.3. Secado de la cascarilla de arroz

Para el secado, de la cascarilla de arroz se extendió en capas delgadas, en un espacio techado y aireado, sobre una superficie plana, cubierta con papel periódico como material adsorbente de la humedad. En los ensayos se utilizaron muestras con humedad inferior al 8%.

6.4. Combustión de la cascarilla de arroz y captación de dióxido de carbono

Para la obtención del carbonato de calcio, se realizó con un modelo diseñado en trabajos anteriores por integrantes de este grupo de investigación como son Zulay Tafur S. y Oscar Álvarez C. donde presentaron como proyecto EPI, su obtención; con un modelo donde se capturaba el dióxido de carbono (CO₂), que fluye por un tubo de dos pulgadas unido a la parte superior del horno y que une a un recipiente, en que se ha depositado una solución de 100g de hidróxido de sodio (NaOH) y con 270 gramos de Cloruro de Calcio (CaCl₂), disuelto en 6 litros de agua, que sirve de medio para la captura del dióxido de carbono (CO₂). Se realizan los respectivos pasos de decantación, filtración, se seca en estufa 70 °C durante 24 horas, se pesa y se recolección en bolsa.

Para la combustión de la cascarilla de arroz, se utilizo un horno-quemador, en forma de cilindro metálico de cerca de 30 cm. de diámetro 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 metálico con **agujeros** de media pulgada de diámetro; en la parte inferior – un espacio para la **entrada de aire**, y, en la parte superior – un **tubo metálico** de dos pulgadas, para la **evacuación de gases** de combustión. Como se observa en la Figura 2.

La cámara de combustión del horno-quemador dispone, además, de un orificio de dos pulgadas de diámetro en el centro, que posibilita, que al ubicar un cilindro compacto o trozo de madera dentro de él y luego de retirarlo tras la compactación manual de la cascarilla de arroz, se forme un corredor para el paso del aire, de abajo hacia arriba.

Una vez completo el montaje se inicia la combustión, induciéndola, en la parte superior de la cámara de combustión, con ACPM y garantizando la ventilación desde la parte inferior del horno. En cada ensayo se utilizan cerca de cuatro kilogramos de cascarilla de arroz.

Los gases de combustión se conducen por el tubo de dos pulgadas, de la parte superior del horno-quemador, a una caneca metálica de 25 litros de capacidad que hace las veces de reactor, en la que se deposita una mezcla de solución alcalina, preparada con 100 gramos de hidróxido de sodio (NaOH) y 270 g. de cloruro de calcio (CaCl_2), disueltos en 6 litros de agua.

La reacción se controla por medio de la valoración del pH de la solución alcalina, al iniciar y al terminar el proceso de combustión. Para lograr contacto entre los gases de combustión y la solución alcalina, en la parte superior del reactor se conecta, en condiciones de hermetismo, un extractor de gases. La solución producto de esta reacción se traslada al laboratorio para la cuantificación de carbonatos, bicarbonatos, alcalinidad, dureza cálcica, dureza total y pH, como parámetros de seguimiento de la reacción de captura de CO_2

6.5. Obtención de carbonato de calcio.

En solución de hidróxido de sodio, utilizada en la captura de gases de combustión, en el reactor (Figura 2) se agrega la cantidad estequiométrica de cloruro de calcio (CaCl_2), para la precipitación del carbonato de calcio (Figura 2), luego la muestra se filtra al vacío, se seca en estufa a 70°C durante 24 horas, se pesa y se recolecta en bolsas plásticas.

6.6 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.

6.7 Etapas de la investigación.

6.7.1 I Etapa: estudio de procesos.

Actividad 1. Recolección del material, y posterior secado del mismo.

Actividad 2. Establecimiento de la cantidad de la cascarilla de arroz para lograr la combustión plena en condiciones del experimento.

Actividad 3. Establecer las condiciones para la producción de carbonato de calcio a partir del dióxido de carbono, obtenido por combustión de la cascarilla de arroz.

Actividad 4. Comparación el producto obtenido de la combustión de la cascarilla de arroz (carbonato de calcio), con los carbonatos comercialmente usados en las prácticas agrícolas.

6.7.2 II Etapa: sistematización y procesamiento de datos.

Actividad 6. Sistematización y análisis de la información obtenida en las actividades 1, 2, 3, 4 y 5.

6.7.3 III. Etapa: generación de uso del producto obtenido.

Actividad 7. Selección y establecimiento de un suelo agrícola para comparar las posibilidades de uso del carbonato obtenido con el carbonato de calcio comercial.

Actividad 8. Análisis de resultados de la actividad 6.

Actividad 9. Divulgación de los resultados.

6.8 Cronograma de actividades

Tabla 6: Cronograma de actividades

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Actividad												
1. Establecimiento de las condiciones para la combustión plena de la cascarilla de arroz		■	■	■	■	■						
2. Determinación de la cantidad de dióxido de carbono obtenido por unidad de masa de cascarilla de arroz			■	■	■	■	■	■	■			
3. Establecimiento condiciones optimas para la producción de carbonato de calcio a partir de la descomposición térmica de la cascarilla de arroz.						■	■	■	■	■	■	
4. Sistematización y análisis de la información obtenida en las actividades 1,2,3,4 y 5.	■	■	■	■								
5. Selección y establecimiento de un suelo agrícola para comparar las posibilidades de uso del carbonato obtenido con el carbonato de calcio comercial (cal Dolomita).	■	■	■									
6. Análisis de resultados de la actividad				■	■	■	■					
7. Divulgación de los resultados.								■				
8. Informe Final								■				

Figura 2. Esquema del proceso de combustión térmica del bagazo de caña, captación del dióxido de carbono- CO₂ en soluciones alcalinas y obtención de carbonato de calcio., trabajando con la alternativa B.

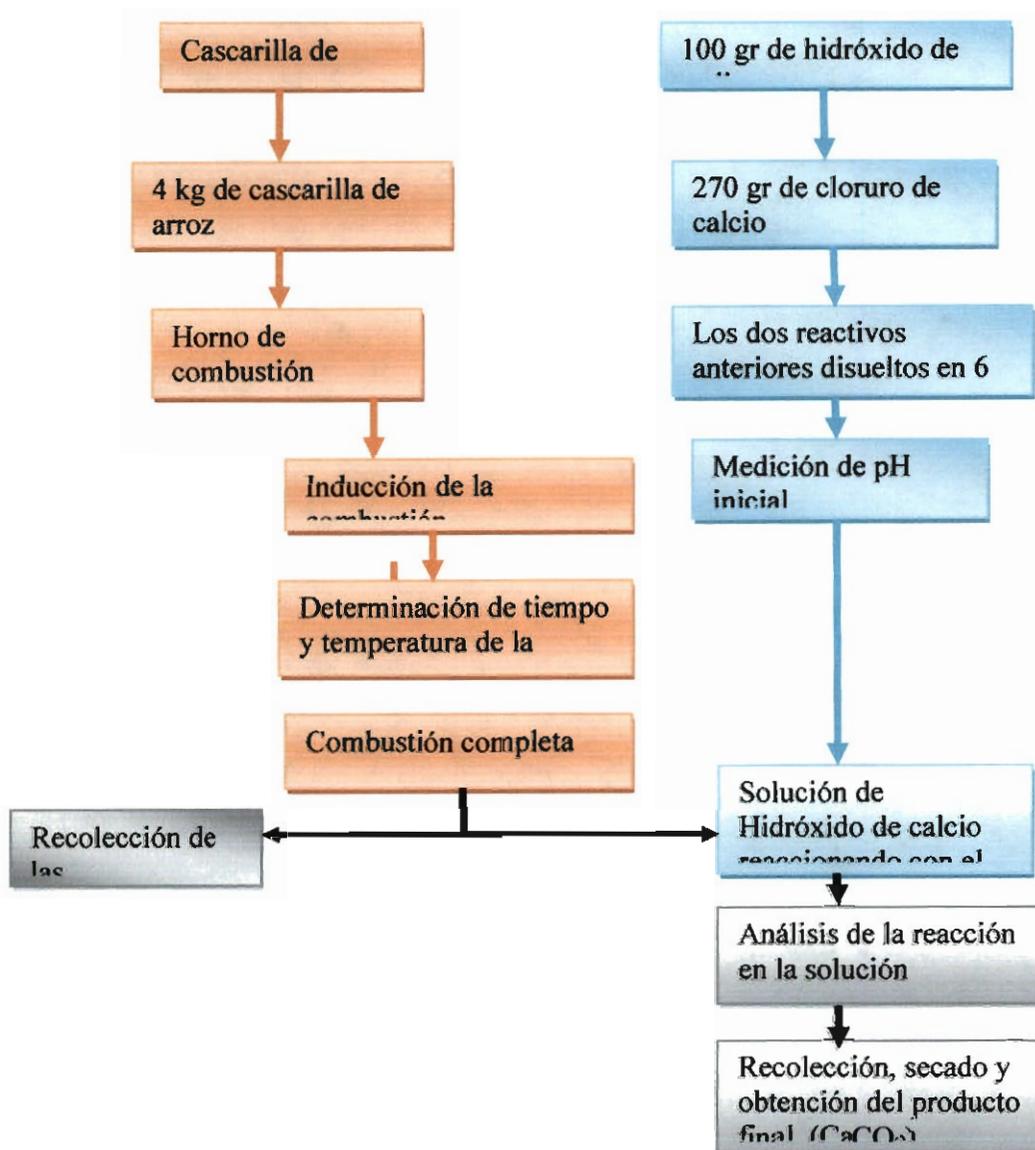
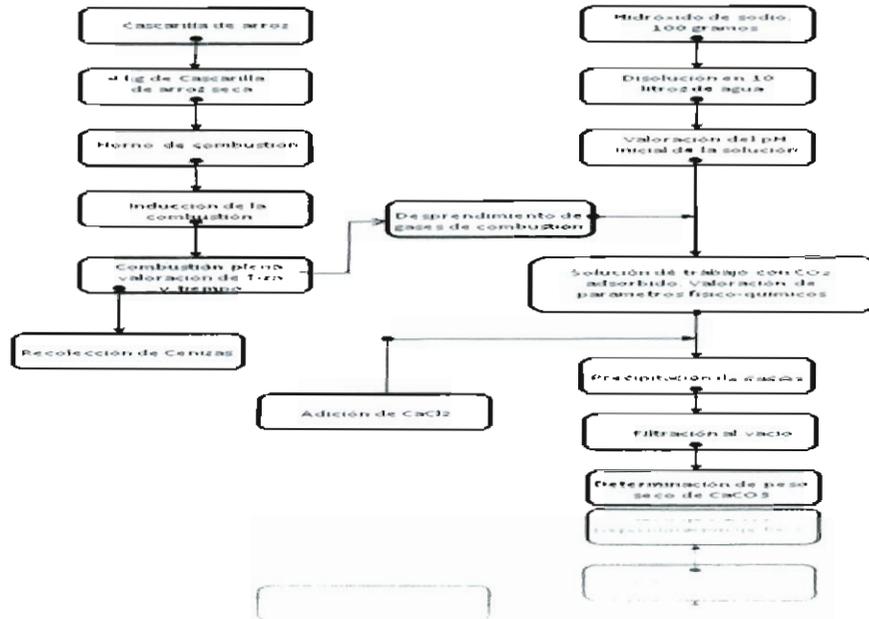
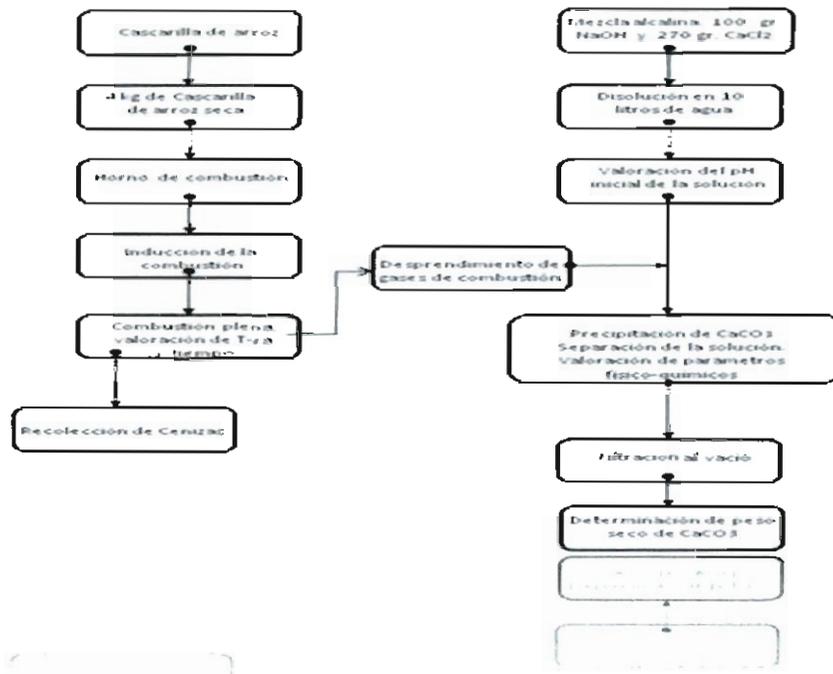


FIGURA 3. Esquema de las alternativas A y B para la combustión de la cascarilla de arroz y demás materiales utilizados y posterior captura de gases con soluciones alcalinas.

ALTERNATIVA A:



ALTERNATIVA B:



6.9 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 (Valverde, Sarria, & Monteagudo, 2007):

$$MV = MC \pm S \frac{T}{\sqrt{N}} \quad \text{Ecuación 3}$$

Dónde:

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:

$$EE = S \frac{T}{\sqrt{N}}; \quad \text{Ecuación 4}$$

$$CV = \frac{S}{MC} \cdot 100; \quad \text{Ecuación 5}$$

| Donde:

S- desviación estándar

MC- Media calculada (promedio aritmético);

T- Parámetro estadístico;

N- número de ensayos.

7. RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados de los parámetros determinados durante el proceso de combustión y captura del dióxido de carbono CO₂, tales como, el valor del pH de la solución alcalina (NaOH +CaCl₂) en el proceso de captura, la temperatura máxima de combustión, (tabla 7), cantidad de carbonato obtenido (tabla 9), se describen a continuación

Los datos de los ensayos en los que se utilizó como solución alcalina 100 gramos de NaOH, más 270 gramos de CaCl₂ en seis litros de agua, se les dan el modelo estadístico, donde se extrae, el promedio, la desviación estándar, el error estándar y el coeficiente de variación. El valor procesado se presenta en forma de la media verdadera.

Tabla 7: Valores de la temperatura en el proceso de combustión de muestras de cascarilla de arroz, utilizando la alternativa B.

Ensayo	Temperatura °C
1	907
2	973
3	932
4	1031
5	947
Promedio	958
Desviación estándar	47
Error estándar	54
Coeficiente de variación, (%)	4,9
Media Verdadera, %	958±54

En la medida que se producía las quemadas de la cascarilla de arroz, se comprobó que el proceso de combustión, es muy complejo, a comparación de otros desechos vegetales, que requiere de exceso de oxígeno (aire) para lograr la combustión plena, donde no se produzca hollín indicador de combustión incompleta, donde se pueda capturar los gases y obtener el carbonato de calcio.

Al igual, la temperatura máxima de combustión se encuentra estrechamente relacionada con el porcentaje de humedad de la cascarilla utilizada en cada ensayo, el promedio de la temperatura registrada en el presente trabajo es del orden de 958°C (Tabla 7), con humedades inferiores al (8%) que facilitan aún más su combustión.

Tabla 8: Valores del pH de la solución alcalina (NaOH +CaCl₂) en el proceso de captura de los gases de combustión de la cascarilla de arroz, utilizando la alternativa B.

Ensayo	pH, inicial	pH, final
1	11.4	7.2
2	11.2	8.7
3	11.2	6.8
4	11.5	7.1
5	11.3	7.8
Promedio	11.3	7.5
Desviación estándar	0.1	0.7
Error estándar	0.1	0.9
Coeficiente de variación, (%)	1.2	10.0
Media Verdadera, °C	11.33±0.1	7.5±0.9

☐

Como se observa en la tabla 8 pasar de un pH alcalino alrededor de (11,3) en la solución de entrada (NaOH +CaCl₂) por la concentración de bases, a un pH alcalino alrededor de (7,5) en la solución final después de la combustión, indica

que la reacción de captura de CO_2 se ha llevado a cabo, y por consiguiente hay presencia de carbonato ($\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NaHCO}_3$) en la solución.

Tabla 9: Masa obtenida de carbonato de calcio por captura de los gases de combustión de la cascarilla de arroz con relación a la mezcla alcalina: 100 g. de NaOH y 270 g. de CaCl_2 , utilizando la alternativa B.

Ensayo	Masa, g	Rendimiento
1	80,8	64,7
2	116,0	92,9
3	96,7	77,4
4	121,0	96,9
5	103,1	82,5
Promedio	103,6	82,9
Desviación estándar	16,0	12,0
Error estándar	18,4	13,6
Coefficiente de variación, (%)	15,5	15,5
Media verdadera,	$103,6 \pm 18,4$	$82,9 \pm 13,6$

En el proceso de combustión con la solución, mezcla de (NaOH) como reactivo inicial, y con CaCl_2 como reactivo usado para la precipitación del carbonato de calcio, se observó un incremento en la obtención de (CaCO_3), en los trabajos anteriores en promedio registrado fue de 83,06 gramos, en nuestro trabajo el promedio fue de 103,6 gramos, al igual, el rendimiento promedio de este trabajo un 82,9%, de la obtención de carbonato de calcio, en comparación con los ensayos realizados en anteriores trabajos donde se utilizaba los reactivos por separado, donde el promedio registrado fue del 66.4 %, lo que significa que el rendimiento tubo un aumento significativo, comparación con utilización de los reactivos por separado.

FIGURA 4. Resultados del análisis de la composición química del carbonato calcio obtenido por descomposición térmica de la cascarilla de arroz y captura de gases con soluciones alcalinas

Spectrum processing :

Peaks possibly omitted : 1.660, 2.142, 2.425 keV

Processing option : All elements analyzed (Normalised)

Number of iterations = 2

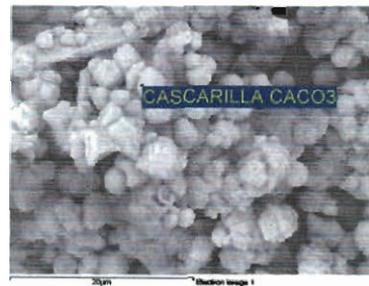
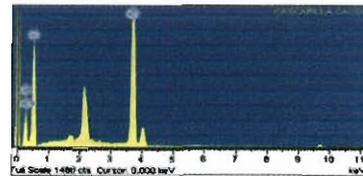
Standard :

C CaCO₃ 1-Jun-1999 12:00 AM

O SiO₂ 1-Jun-1999 12:00 AM

Ca Wollastonite 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight %	Atomic %
C K	5.53	11.09
O K	35.53	53.49
Ca K	58.94	35.42
Totals	100.00	



Laboratorio de Microscopia Electrónica. UNALMED

Tabla 10: 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/h)

Ensayo	Muestra del suelo testigo Al, meq/100g suelo	Cascarilla de Arroz, Al, meq/100g suelo	Cal Dolomita, Al, meq/100g suelo
1	4.25	1.95	0.70
2	3.90	2.20	0.95
3	4.00	2.10	0.05
Promedio	4,05	2,08	0,57
Desviación estándar	0,18	1,88	0,46
Error estándar	0,33	0,23	0,85
Coefficiente de variación, (%)	4,45	6,04	81,98
Media Verdadera	4,05±6,60	2,08±0,23	0,57±0,85

Fuente: Universidad de los Llanos, Laboratorio de suelos, 2011

Al comparar la carbonato testigo, con el carbonato de calcio obtenido a partir de la descomposición térmica de la cascarilla de arroz, se observa cómo el calcio actúa neutralizando el aluminio, con una eficiencia del 50 %, con respecto al carbonato testigo.

8. CONCLUSIONES

- Los gases producidos por la combustión térmica, pueden ser capturados en medios alcalinos.
- La mezcla de compuestos alcalinos (NaOH y CaCl₂), 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

9. ECOMENDACIONES

- Se hace necesaria valorar la concentración del dióxido de carbono (CO₂) generado durante el proceso de combustión, ya que este gas es un indicador directo del rendimiento en la posible obtención de carbonato de calcio (CaCO₃) durante el proceso.
- Mejorar el mecanismo de captura de gases.
- Socializar y divulgar proyectos como este, con mira hacia el desarrollo investigativo y el bien común

10. BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, X., Quintero, L., & Salazar, M. (2004). Costo de Producción de Arroz en Colombia. *Observatorio Agrocadenas Colombia*.
- Degremont. (1979). *Manual técnico del agua*. Bilbao: Degremont.
- FAO. (2004). *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación*. Recuperado el 22 de Junio de 2011, de <http://www.fao.org/rice2004/es/p3.htm>
- García, G., Hernández, M., González, J., & Pava, H. (s.f.). *Formulación y evaluación del programa de producción más limpia (pml) para la industria Arroz Diana del Tolima S.A.* Universidad de la Sabana.
- Hernandez, R. (31 de Enero de 2006). Análisis estructural del sector arrocero colombiano en el período 1995- 2005. *El Colombiano*, pág. 1B.
- Jodakov, V. (1977). *Química orgánica*. Moscú.
- Kurt, F. (1960). *El molino de arroz*. Guayaquil: Royal print.
- Magra, G., & Ausilio, A. (2004). Corrección de la acidez de los suelos . *Agromensajes*
- .
- Martínez, C., Acevedo, G., & Espinal, G. (2005). La cadena del arroz y dinámica. *Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Observatorio Agrocadenas Colombia*.
- Merck. (2007). *Reactivos y Productos químicos* . Bogotá.
- Peña, C., & Zambrano, F. (2001). *Hormigón celular con la utilización de materiales locales*. Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Prada, A., & Cortes, C. (2010). La descomposición térmica de la cascarilla de arroz: una alternativa de aprovechamiento integral. *Orinoquia*, 155-170.
- UNALMED. (2003). *Antropología alimentaria, El arroz*. Bogota.
- Valverde, A., Sarria, B., & Monteagudo, J. (2007). Análisis comparativo de las características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz. *Scientia et Technica*, 255-260.
- Varón, J. (2005). Diseño, construcción y puesta a punto de un prototipo de quemador para la combustión continua y eficiente de la cascarilla de arroz. *El hombre y la máquina* .

- Wailes, E. (2004). *Global Agricultural Trade and Developing Countries* . Washington D.C: The World Bank.

11. ANEXOS

REGISTRO FOTOGRAFICOS DESCOMPOSICION TERMICA DE CASCARILLA DE ARROZ Y OBTENCION DE CARBONATO DE CALCIO



Foto 1. Secado de la cascarilla



Foto 2. Modelo antiguo de quema.

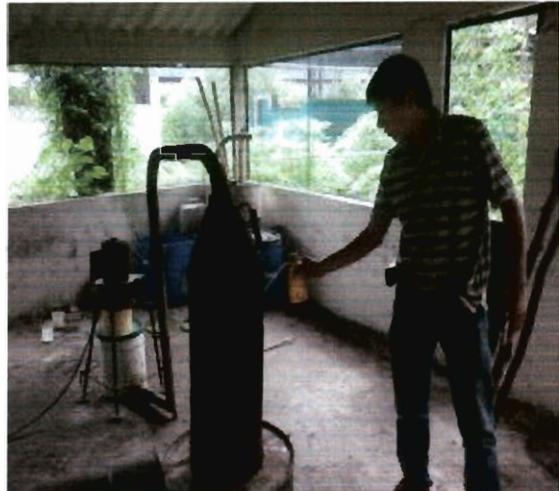


Foto 3. Modelo nuevo de quema



Foto 4. Compactación de la cascarilla



Foto 5. Combustión plena de la cascarilla de arroz



Foto 6. Toma de la temperatura en combustión plena



Foto 7. Cenizas residuo de la combustión plena

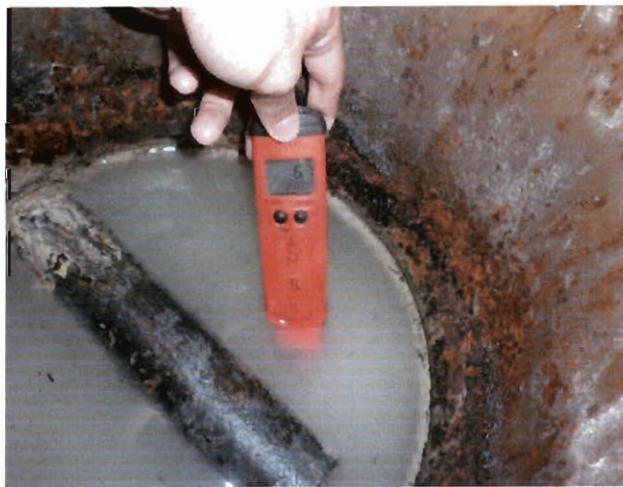


Foto 8. Medición de pH de la solución al finalizar el proceso de combustión.



Foto 9. Obtención de carbonato de calcio al finalizar la combustión plena.



**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. Walkley black S: Fosfato monobásico de calcio Cationes: AcNH ₄ , 1N pH 7.0 Elementos Menores: DTPA. AL: KCLIN		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	

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

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



Fecha de recibido		
Día	Mes	Año
01	02	2011

ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS											
SOLICITANTE: ABELARDO PRADA MATIZ				FINCA: GRANJA UNILLANOS			VEREDA: BARCELONA				
MUNICIPIO: VILLAVICENCIO				DEPARTAMENTO: META							
Muestra Lab. No.	LOTE No.	Text. Tacto	M.O. %	P. ppm	pH 1:1	CATIONES meq/100g suelos					
						Al	Ca	Mg	K	Na	
115	1	ArL	3.4	3.5	5.0	1.95	1.70 ^R	Trazas	0.15	0.05	
116	2	ArL	3.2	2.7	5.0	2.20	1.70 ^R	Trazas	0.13	0.05	
117	3	ArL	3.3	1.9	4.8	2.10	1.60	Trazas	0.14	0.06	
NOTA: ^R = ANÁLISIS REPETIDO											
PROYECTO: CARBONATO DE LA CASCARILLA DE ARROZ											
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)		JULIO CESAR MORENO TORRES Director Laboratorio de Suelos				FECHA ENTREGA			
								DIA	MES	AÑO	



Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos
Naturales

Escuela de Ciencias Agrícolas

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

Fecha de recibido		
Día	Mes	Año
01	02	2011

ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS											
SOLICITANT E: 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	
118	4	FARL	3.5	2.7	5.1	0.70	2.10	0.80	0.15	0.04	
119	5	FARL	3.6	2.7	5.1	0.95	1.85	0.75	0.13	0.02	
120	6	FARL	3.4	1.9	5.1	0.05	1.75	0.70	0.13	0.03	
PROYECTO: CAL DOLOMITA											
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)		JULIO CESAR MORENO TORRES Director Laboratorio de Suelos				FECHA ENTREGA			
								DIA	MES	AÑO	
								15	02	2011	

Anexo 3: Análisis de suelos de muestras seleccionadas