Universidad de La Salle
Ciencia Unisalle

Ingeniería Ambiental y Sanitaria | Facultad de Ingeniería

1-1-2005

Estudio de factibilidad para la utilización de la cascarilla de arroz como insumo en la fabricación de unidades macizas de arcilla para mampostería no estructural

Bibiana Bernal Gutiérrez
Universidad de La Salle, Bogotá

Judy Chaves Malagón
Universidad de La Salle, Bogotá

Follow this and additional works at: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria

Citación recomendada

Bernal Gutiérrez, B., & Chaves Malagón, J. (2005). Estudio de factibilidad para la utilización de la cascarilla de arroz como insumo en la fabricación de unidades macizas de arcilla para mampostería no estructural. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/1281

This Trabajo de grado - Pregrado is brought to you for free and open access by the Facultad de Ingeniería at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Ingeniería Ambiental y Sanitaria by an authorized administrator of Ciencia Unisalle. For more information, please contact ciencia@lasalle.edu.co.

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA UTILIZACIÓN DE LA CASCARILLA DE ARROZ COMO INSUMO EN LA FABRICACIÓN DE UNIDADES MACIZAS DE ARCILLA PARA MAMPOSTERÍA NO ESTRUCTURAL

BIBIANA BERNAL GUTIÉRREZ
JUDY CHAVES MALAGÓN

UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C.
2005

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA UTILIZACIÓN DE LA CASCARILLA DE ARROZ COMO INSUMO EN LA FABRICACIÓN DE UNIDADES MACIZAS DE ARCILLA PARA MAMPOSTERÍA NO ESTRUCTURAL

BIBIANA BERNAL GUTIÉRREZ **41992043**
JUDY CHAVES MALAGÓN **41992053**

Proyecto de Investigación para optar el título de Ingeniero Ambiental y Sanitario

Director
José Alejandro Murad Pedraza
Ingeniero Ambiental y Sanitario

UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C.
2005

Nota de aceptación:

_____

_____

_____

_____

_____

_____
Firma del presidente del jurado

_____
Firma del Jurado

_____
Firma del jurado

Bogotá, 23 de Agosto de 2005

Gracias a DIOS por todo lo que recibimos de Él.

A nuestras familias por el apoyo, amor y compañía incondicional.

A nuestros amigos por el cariño, compañía, sinceridad y apoyo que siempre nos brindaron, el cual fue y será siempre correspondido.

A todas las personas que hemos conocido, de las cuales hemos aprendido y a todos los que, aunque no conocemos, hacen parte de nuestras vidas...

A todos ellos, gracias no solo por ayudarnos a recorrer el camino, sino por compartir con nosotras la alegría de hacerlo.

AGRADECIMIENTOS

Las autoras expresan su agradecimiento a:

José Alejandro Murad Pedraza, Ingeniero Ambiental y Sanitario, Director del proyecto, por aceptar, dirigir, enfocar y orientarnos al desarrollo de los objetivos propuestos y por la calidez humana que siempre nos proyectó.

Ingeniero Jorge Olivo Ruiz de **Ruiz Moreno y Cía. S. en C. Ladrillera Las Tapias**, asesor del proyecto, por su interés desde el planteamiento del trabajo y la colaboración durante el desarrollo del proyecto.

Fernando Alberto Ruiz, Director Comercial de la Ladrillera **Ruiz Moreno y Cía. S. en C. Ladrillera Las Tapias**, por hacer posible la realización del proyecto.

Diana Marcela Moreno Barco, Profesional universitaria Grado 14 de la División de Dirección de Desarrollo Sectorial Sostenible, Grupo Industrial, del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, por su colaboración, apoyo, suministro de información e interés en el trabajo.

Miguel Ángel León, Gerente General y Técnico del Laboratorio de Ensayos de Ingeniería y Calibración **CONCRELAB**, por su amabilidad y colaboración, al brindarnos el acceso a las instalaciones y equipos necesarios para el desarrollo de las pruebas de laboratorio.

Carlos Andrés Vargas, Ingeniero del Departamento de Divisiones de Concretos y Prefabricados, Laboratorio de Ensayos de Ingeniería y Calibración **CONCRELAB**, por su apoyo y colaboración en la realización y análisis de los ensayos propuestos para el desarrollo de la investigación.

Miguel Alberto Fayad Hernández, Ingeniero del Departamento Técnico de la Asociación Nacional de Fabricantes de Ladrillo y Derivados de la Arcilla, **ANFALIT**,

por su interés al apoyarnos en el desarrollo del proyecto y por la generosidad que siempre lo caracterizó.

Paola Fernanda Yate, Centro de documentación, de la Asociación Nacional de Fabricantes de Ladrillo y Derivados de la Arcilla **ANFALIT**, por su amabilidad y colaboración durante el desarrollo del proyecto.

A **Ruiz Moreno y Cía. S. en C. Ladrillera Las Tapias**, por ser la Empresa que acogió el proyecto y contribuyó significativamente en el desarrollo de éste.

De acuerdo con las disposiciones vigentes sobre propiedad intelectual (**artículos 31 de la Ley 23 de 1982, 22 de la Decisión 351 de 1993 de la Comisión del acuerdo de Cartagena y Ley 44 de 1993**), podrán citarse fragmentos que contiene este proyecto de investigación, caso en el cual deberá indicarse la fuente y nombre del autor de la obra respectiva, siempre y cuando tales citas se hagan conforme a los usos honrados y en una medida justificada por el fin que se persiga, de tal manera que con ello no se efectúe reproducción o ejecución no autorizada de la obra citada.

CONTENIDO

pág.

INTRODUCCIÓN

OBJETIVOS

1. MARCO DE REFERENCIA 14

1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO DE MOLIENDA DEL ARROZ 14

1.2 PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LA CASCARILLA DE ARROZ 14

1.3 SITUACIÓN ACTUAL DEL SECTOR ARROCERO 16

1.4 SITUACIÓN ACTUAL DEL SECTOR LADRILLERO 17

1.5 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN LADRILLERA 18

1.6 LADRILLOS Y REQUISITOS COMERCIALES DEL PRODUCTO 21

1.6.1 Propiedades del Ladrillo 21

1.6.2 Propiedades de la Mampostería 22

1.7 MUROS 22

1.8 MARCO LEGAL 23

2. PRESENTACIÓN DE LAS EMPRESAS 27

2.1 RUIZ MORENO Y CÍA. S. EN C. LADRILLERA LAS TAPIAS 27

2.2 LABORATORIO DE ENSAYOS DE INGENIERÍA Y CALIBRACIÓN, CONCRELAB 27

2.3 ASOCIACIÓN NACIONAL DE FABRICANTES DE LADRILLO Y DERIVADOS DE LA ARCILLA, ANFALIT 28

3. PROCESO DE PRODUCCIÓN LADRILLERA 29

3.1 MATERIAS PRIMAS 29

3.1.1 Arcilla 29

3.1.2 Desgrasantes 30

3.1.3 Agua 31

3.2 INFLUENCIA DE LA COMPOSICIÓN DE LA MATERIA PRIMA EN LAS CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO 31

3.2.1 Resistencia Mecánica 31

3.2.2 Porosidad y Contracción 32

3.2.3 Color 33

3.2.4 Eflorescencias 33

3.2.5 Escamados e Hinchamientos 33

3.2.6 Corazón ó Núcleo Negro 34

3.3 DESGRASANTES 34

3.4 ETAPAS DEL PROCESO PRODUCTIVO 36

3.4.1 Extracción 36

3.4.2 Maduración 36

3.4.3 Preparación 36

3.4.4 Moldeo 37

3.4.5 Secado 38

3.4.6 Cocción 39

3.4.7 Vitrificación 39

3.5 ASPECTOS A TENER EN CUENTA DURANTE EL PROCESO 39

3.5.1 Preelaboración 39

3.5.2 Humedad Residual Después del Secado 40

4. METODOLOGÍA 42

5. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DEL PROCESO PRODUCTIVO CON LA ADICIÓN DE CASCARILLA DE ARROZ 45

5.1 PROCESO PRODUCTIVO CON ADICIÓN DE CASCARILLA DE ARROZ 47

5.1.1 Fase producto en verde 47

5.1.2 Fase producto en seco 48

5.1.3 Fase producto cocinado 48

5.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL PROCESO 50

6. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE ENSAYOS DE LABORATORIO 54

6.1 ABSORCIÓN DE AGUA EN UNIDADES 55

6.2 RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE UNIDADES 56

6.3 RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE MURETES 58

6.4 CONCLUSIONES FASE DE LABORATORIO 61

7. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE MANEJO DE CASCARILLA DE ARROZ 68

7.1 DESCRIPCIÓN DE ALTERNATIVAS 68

7.1.1 Quema a Cielo Abierto 69

7.1.2 Tostado 71

7.1.3 Insumo para la Fabricación de Ladrillos 72

7.2 CRITERIOS DE EVALUACIÓN 74

7.2.1 Análisis Económico 74

7.2.2 Análisis Funcional 75

7.2.3 Indicadores de Gestión 76

7.3 DISEÑO DE MATRICES PARA EVALUAR LOS INDICADORES DE GESTIÓN 77

7.4 ORDEN DE ELEGIBILIDAD 83

8. ANÁLISIS ECONÓMICO 84

9. VIABILIDAD TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTAL DE LA UTILIZACIÓN DE LA CASCARILLA DE ARROZ COMO INSUMO EN LA FABRICACIÓN DE UNIDADES MACIZAS DE ARCILLA PARA MAMPOSTERÍA NO ESTRUCTURAL 85

10.CONCLUSIONES 87

11.RECOMENDACIONES 88

BIBLIOGRAFIA

LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1. Composición química de la arcilla. 30

Tabla 2. Pesaje de materiales en las etapas del proceso productivo. 46

Tabla 3. Pérdida de agua durante la etapa de secado. 50

Tabla 4. Pérdida de gramos por cocción en el material. 51

Tabla 5. Humedad residual. 52

Tabla 6. Propiedades físicas de las unidades de mampostería no estructural. 55

Tabla 7. Capacidad de absorción de agua en unidades. 55

Tabla 8. Resistencia mecánica a compresión de unidades. 56

Tabla 9. Resistencia mecánica a compresión de muretes. 60

Tabla10. Características del ladrillo seleccionado. 63

Tabla 11. Gramos de cascarilla en el material. 63

Tabla 12. Zonas de producción ladrillera. 65

Tabla 13. Cascarilla empleada por zona para la fabricación de ladrillos. 66

Tabla 14. Análisis económico de alternativas de tratamiento. 75

Tabla 15. Matriz general para análisis funcional de alternativas. 76

Tabla 16. Valoración cuantitativa conceptual de los indicadores de gestión. 78

Tabla 17. Calificación cualitativa. 79

Tabla 18. Evaluación cuantitativa. Alternativa 1. 81

Tabla 19. Evaluación cuantitativa. Alternativa 2. 82

Tabla 20. Evaluación cuantitativa. Alternativa 3. 83

Tabla 21. Escogencia de la alternativa de manejo. 83

LISTA DE FIGURAS

pág.

Figura 1. Proceso de molienda de arroz. 14

Figura 2. Cascarilla de arroz. 15

Figura 3. Proceso de producción ladrillera. 20

Figura 4. Corazón negro. 34

Figura 5. Diagrama de flujo de la metodología del proyecto. 43

Figura 6. Comportamiento de materiales. 46

Figura 7. Acabado estético de las piezas. 49

Figura 8. Textura acanalada en unidades ensayadas de 25%. 49

Figura 9. Pérdida de agua durante la etapa de secado. 50

Figura 10. Pérdida de gramos por calcinación en el material. 51

Figura 11. Humedad residual. 53

Figura 12. Capacidad de absorción de agua en unidades. 55

Figura 13. Resistencia mecánica a compresión de unidades. 57

Figura 14. Ensayo de compresión de muretes. 58

Figura 15. Murete con unidades de 25%. 59

Figura 16. Resistencia a compresión de muretes. 60

Figura 17. Cascarilla empleada por zonas para la fabricación del ladrillo. 66

LISTA DE ANEXOS

pág.

Anexo A. Propiedades fisicoquímicas de la cascarilla. 93

Anexo B. Principales zonas productoras de arroz en Colombia. 94

Anexo C. Principales zonas de producción ladrillera en Colombia. 94

Anexo D. Costo de alternativas de manejo de la cascarilla de arroz. 95

Anexo E. Alternativas de manejo de la cascarilla de arroz en Colombia. 97

Anexo F. Amortización de la inversión. 104

Anexo G. Registro de datos de ensayos de laboratorio. 105

GLOSARIO

ADOQUINES son ladrillos utilizados para áreas de circulación de vehículos y de personas.

DESGRASANTE agregados que favorecen la migración de las moléculas de agua en el proceso de secado previniendo fracturas.

GRANULOMETRÍA hace referencia a la medida del tamaño de las partículas, hace referencia a la distribución del tamaño de las partículas.

LADRILLOS ALIGERADOS se obtienen mezclando arcilla con aserrín, polvo de corcho u otro material que le brinde porosidad a la pasta. Durante la cocción desaparece la mezcla, permitiendo la obtención de ladrillos porosos.

LADRILLOS DE ADOBE masa de barro mezclado a veces con paja, moldeada en forma de ladrillo y secada al aire.

LADRILLOS DE FACHADA son aquellos que por su color, acabado y durabilidad pueden quedar expuestos a la intemperie.

MAMPOSTERÍA muro u obra hecha con materiales colocados y ajustados unos con otros.

MATERIALES GRASOS materias primas ricas en arcilla.

UNIDADES MACIZAS también denominadas toletes, son ladrillos aligerados con pequeñas perforaciones que ocupan menos del 25% de su volumen ó que no contienen ninguna perforación.

RESUMEN

Este estudio de factibilidad se orientó en la búsqueda de una alternativa de manejo de cascarilla de arroz que empleara un volumen considerable del residuo además de no generar o aumentar impactos ambientales. Para esto se utilizó la cascarilla como insumo en la fabricación de unidades macizas de arcilla para mampostería no estructural, aprovechando los beneficios que proporciona las propiedades fisicoquímicas (sílice) del residuo agroindustrial, ya que actúa como desgrasante, constituyente importante de la materia prima del producto.

Para el desarrollo de la alternativa se elaboran unidades macizas con diferentes porcentajes en volumen de cascarilla de arroz de 5%, 10% y 25%, las cuales se sometieron a pruebas de laboratorio para evaluar el comportamiento de sus propiedades físicas y mecánicas, donde se encuentra como porcentaje óptimo el 10%.

A partir de los datos obtenidos, se evaluó la viabilidad ambiental, técnica y económica de la alternativa, señalándola como una práctica de **PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA**, aplicable a la industria de la construcción a nivel nacional por todos los beneficios que conlleva su desarrollo.

PALABRAS CLAVES: Insumo
Desgrasante
PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA
Porcentaje óptimo

ABSTRACT

This study of feasibility was guided in the search of an alternative of handling of husk of rice that used a considerable volume of the residual besides not to generate or to increase environmental impacts. This study used the husk like input in the production of solid units of clay for non structural masonry, the benefits that it provides the physiochemical estates taking advantage (silica) of the agroindustrial residual, since it acts as desgrasante, constituent important of the raw material of the product.

For the development of the alternative, solid units are elaborated with different percentages of husk of rice of 5%, 10% and 25%, which underwent laboratory tests to evaluate the behavior of their physical and mechanical estates, where it is as good percentage 10%.

Starting from the obtained data, the environmental, technique and economic viability of the alternative, was evaluated, pointing out her like a practice of CLEANER PRODUCTION, applicable to the construction industry at national level for all the benefits that it bears its development.

PASSWORDS: Input
Desgrasante
CLEANER PRODUCTION
Good percentage

INTRODUCCIÓN

La problemática que se presenta actualmente en Colombia con la cascarilla de arroz, por ser un residuo agroindustrial de difícil biodegradación generado en altos volúmenes, radica en la dificultad o ausencia de alternativas que logren manejar un volumen considerable, con una tecnología accequible y económicamente razonable a las condiciones del país.

Por esta razón, y teniendo en cuenta que este residuo ha sido utilizado en el sector de la construcción, aunque con modificaciones en su composición, se decide implementar el uso de la cascarilla como insumo para fabricación de ladrillos de arcilla, aprovechando sus propiedades fisicoquímicas, las cuales permiten que actúe como desgrasante*, componente fundamental de la materia prima, sin realizar tratamiento previo a su utilización.

En el desarrollo de esta alternativa, se logra la disminución en el consumo de arcilla, obteniendo un incremento en la vida útil de los yacimientos, además de aumentar la producción y mejorar la calidad del producto, lo cual se comprueba con el cumplimiento de requisitos exigidos en la norma NTC 4205 “Unidades de Mampostería de Arcilla Cocida, Ladrillos y Bloques Cerámicos”.

La alternativa de aprovechamiento del residuo a través de una práctica de **PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA,** es evaluada bajo parámetros ambientales, técnicos y económicos que indican la viabilidad de su aplicación en la industria de la construcción en Colombia.

Estableciéndose como una alternativa de manejo idónea por la disminución de impactos ambientales en la fuente generadora, los beneficios económicos al sector ladrillero y la aplicabilidad a nivel nacional.

*Agregados que favorecen la migración de las moléculas de agua en el proceso de secado previniendo fracturas.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el uso de la cascarilla de arroz en la fabricación de unidades macizas de arcilla para mampostería no estructural, orientado a la búsqueda de alternativas técnicas y ambientalmente viables con aplicación en la industria de la construcción en Colombia.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

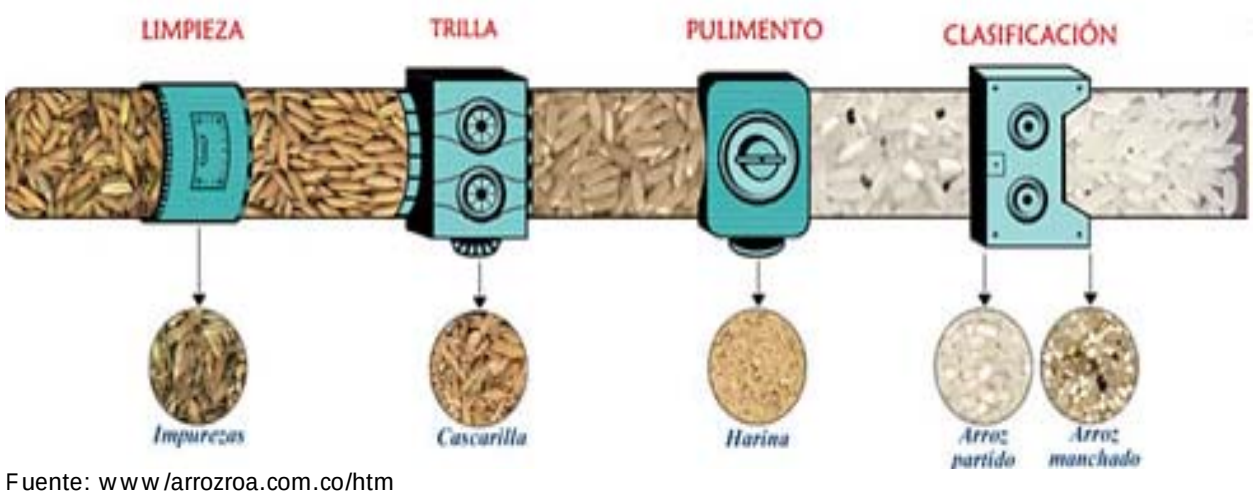
- Hallar en la industria de la construcción una alternativa de solución de la problemática ambiental de la cascarilla de arroz.
- Determinar la factibilidad del uso de la cascarilla de arroz como insumo en la elaboración de ladrillos macizos de arcilla.
- Disminuir el consumo de arcilla en la fabricación de ladrillos macizos con el fin de minimizar el deterioro ambiental, producto de la extracción de ésta materia prima.
- Realizar ensayos en las unidades de mampostería de arcilla exigidos por la norma NTC 4205 “unidades de mampostería de arcilla cocida, ladrillos y bloques cerámicos” con el fin de obtener un producto apto para su comercialización.

1. MARCO DE REFERENCIA

1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO DE MOLIENDA DEL ARROZ

Los eslabones involucrados en la cadena del arroz son relativamente pocos: en primer lugar se encuentra la producción agrícola de arroz, la cual se cosecha en forma de arroz paddy (cáscara) verde; en segundo lugar, el procesamiento industrial, el cual consiste en someter el paddy verde a un proceso de secamiento (paddy seco), el descascarillado (trilla), el pulimento para obtener arroz apto para el consumo y en tercer lugar los procesos de comercialización del arroz.

Figura 1. Proceso de molienda del arroz



Fuente: www/arrozroa.com.co/htm

- Secamiento: El arroz paddy verde pasa a torres de secamiento.
- Pulimento: La cascarilla es separa del arroz blanco.
- Clasificación: Selección del grano para su comercialización.

BIBIANA BERNAL GUTIÉRREZ
JUDY CHAVES MALAGÓN

1.2 PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LA CASCARILLA DE ARROZ

Entre sus propiedades físicas están:

- La longitud de la cascarilla depende de la variedad de arroz y está entre 5-11 mm.
- Su ancho es casi el 30% a 40% de la longitud.
- Su peso depende de su tamaño, aproximadamente 2.5 y 4.8 mg.
- Densidad especifica 1.420 Kg/m^3.
- En cascarillas sin quemar se encuentra una porosidad del 54%.
- Característica de papel de lija por su dureza y la estructura superficial dentada.

Figura 2. Cascarilla de arroz

Fuente: Las autoras. 2005.

Entre sus características químicas están:

- La cascarilla se compone químicamente por carbón, oxígeno, minerales, hidrógeno, nitrógeno.
- Se diferencia de las demás biomasas como la madera, por el mayor contenido de minerales.
- En cuanto a compuestos nutritivos la cascarilla posee proteínas, grasas, fibra, celulosa, hemicelulosa, minerales, azúcar.

- En cuanto a la ceniza que sale después de la quema de la cascarilla, se encuentra que esta es SiO_2 con un bajo contenido de impurezas.

1.3 SITUACIÓN ACTUAL DEL SECTOR ARROCERO

En Colombia el Sector Arrocero, por su volumen de ventas ocupa el segundo puesto (después del café) en la actividad agrícola del país. En los últimos doce años alcanzó su mayor desarrollo, no solo en lo relativo al rendimiento, sino también en producción y en valor comercial. Es necesario mencionar que por ser una de las actividades agrícolas más importantes, su aporte a la generación de empleo es significativo.

Dentro de las zonas de producción de arroz encontramos la región centro que corresponde a los Departamentos de Huila, Tolima, Caldas, Cundinamarca y Boyacá. Cabe mencionar que las áreas sembradas en Huila y Tolima, son menores debido a los altos costos de las tierras con disponibilidad de agua y buena infraestructura, pero en cuanto a producción se registran valores competitivos al resto de las zonas productivas, debido a que la capacidad instalada de la agroindustria arrocera y su tecnología es la mayor del país. En cuanto a los Llanos Orientales otra zona importante, el área cosechada, depende de las lluvias, iniciando las siembras en épocas similares todos los productores, razón por la cual se incrementa el riesgo de que la producción se quede por la gran concentración de producto y la difícil comercialización.

La industria de la molinería de arroz ha venido haciendo inversiones importantes en la disminución de costos de energía y combustible, inversiones para mejorar los rendimientos industriales, disminuir el grano partido y mejorar la presentación del producto final, con el objetivo de desarrollar un sistema que permita bonificar la buena calidad del arroz, y el propósito de estimular a los productores a entregar arroces más limpios recogidos en el momento oportuno, sin mezcla de variedades.

Según censo realizado por FEDEARROZ "El país cuenta con una molinería que posee todos los niveles tecnológicos"[1], donde se tiene en operación cerca de 128 molinosde los cuales se estima que un 30% operan temporalmente, sin suficiencia operativa y económica y responden exclusivamente a la estacionalidad de la cosecha.

La meta de la política arrocera nacional de producir suficiente arroz para el autoabastecimiento, se logro plenamente hasta el inicio de la década de los 90;

[1] MORENO BARCO, Diana Marcela. Elementos para la construcción de un escenario de gestión para la solución del conflicto socioambiental asociado al manejo de la cascarilla de arroz en el municipio de el espinal. Bogotá, D.C. 2003, 128 p. Trabajo de grado (Maestría en Gestión Ambiental para el Desarrollo Sostenible). Pontificia Universidad Javeriana.

donde la producción nacional tuvo que ser complementada por importaciones legales e ilegales para evitar traumatismos fuertes en el mercado del producto.

A partir de esto se importó al país en forma regular 156.000 toneladas de arroz, y de manera inesperada se incrementó su contrabando hacia la Costa Norte. La reacción no se hizo esperar y el resumen de la situación se refleja en el comportamiento de los precios, que para los meses que van corridos en el año 2005, han sido inferiores a los del año 2003, reflejándose en sus niveles de negativos de utilidad.[2]

No siendo la llegada de arroz tanto de Venezuela como de Ecuador, el único inconveniente presentado, se le suma el problema del abaratamiento de la materia prima, gracias a los subsidios recibidos directamente por los productores; ocasionando que el consumo del producto nacional se siga deprimiendo, ahondado la tendencia hacia la baja del arroz comprado y almacenado por más de seis meses.

Ante esta coyuntura comercial desfavorable para el sector que tiene todas las condiciones tecnológicas y sociales para proyectarse a mediano y largo plazo, y desde luego para Colombia, lo único que se espera es asegurar negociaciones y encontrar posibles soluciones a estos inconvenientes.

1.4 SITUACIÓN ACTUAL DEL SECTOR LADRILLERO

La industria de la arcilla cocida o industria cerámica reúne a las empresas que extraen y transforman el material arcilloso de los depósitos naturales con o sin un tratamiento previo de refinación para remover impurezas.

Esta industria es representativa principalmente en Cundinamarca, Norte de Santander y Antioquia, aunque se encuentran algunos desarrollos en el Valle, la Costa Atlántica y Boyacá, entre otros. Actualmente no se conoce exactamente el número de industrias existentes en nuestro país; este es un sector en el cual predomina la informalidad.

Bogotá representa el 60% de la producción nacional de ladrillo, bloques, tejas, tubos, adoquines, baldosas, enchapes, entre otros, siendo sus principales productos el bloque y el tolete (ladrillo macizo) que llegan a ser el 72% de toda la producción Distrital.[3]

[2] HERNÁNDEZ LOZANO, Rafael. Control al contrabando y firmeza en las propuestas en el TLC para proteger producción arrocera. En: Revista Arroz, FEDEARROZ. Vol 53 Nº 455. Ibagué, Marzo – Abril de 2005.

[3] INDUSTRIA CERÁMICA. Planes de acción para mejoramiento ambiental. Manual para empresarios de la PYME. Bogotá. Primera edición, 1999.

Productos como tejas, tabletas y baldosas se generan principalmente en el Norte de Santander, donde se han especializado en la producción de material vitrificado reconocido tanto nacional como internacionalmente.

El sector industrial ladrillero a nivel nacional incrementó sus volúmenes de producción en los años 80´s hasta 1995, año en que se comenzó a evidenciar la caída de la construcción. Entre 1993 y 1995, se dieron importantes procesos de reconversión tecnológica que buscaban optimizar procesos y aumentar la capacidad instalada, situación que causó un sobredimensionamiento para las necesidades reales actuales de la construcción.

Actualmente Colombia cuenta con un total de 1.924 unidades productoras de ladrillo, de las cuales 88%, es decir 1.694 se encuentran en operación, lo que muestra la amplia capacidad instalada que tiene el país para producir ladrillo de muy alta calidad.[4]

1.5 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN LADRILLERA

- EXTRACCIÓN DE ARCILLAS: mediante estudios geológicos, una vez determinada la calidad de las arcillas de la cantera, se procede a su extracción utilizando para ello maquinaria pesada. La extracción se efectúa, regularmente, mediante explotación a cielo abierto y se somete a algunos procesos, para obtener el material listo para su aplicación.

- MOLIENDA Y REFINADO DE ARCILLAS: a fin de purificar y disminuir la granulometría de las arcillas, aumentando su plasticidad y mejorando su calidad, esta es sometida al paso por varios molinos.

- AMASADO: cada arcilla y cada pieza requiere de una humedad ideal de moldeo. Este proceso permite la adición de agua necesaria para homogenizar la mezcla y lograr una humedad aproximada de 18% a 22%, porcentaje con el cual se extruye* en estas máquinas.

- EXTRUSIÓN Y MOLDEO: la arcilla preparada es pasada por una extrusora donde asume una forma bien determinada mediante una boquilla, la cual presenta variaciones según el objeto moldeado. El material se fracciona en el tamaño deseado de las piezas teniendo en cuenta las dimensiones necesitadas, esto se

[4] http//www.constru.web.co/empresas/anfalit_nuevo/estadisticas.htm Jaramillo Botero.

*El proceso de extrusión consiste en dar forma a una masa plástica, haciéndola salir por una abertura especialmente dispuesta.

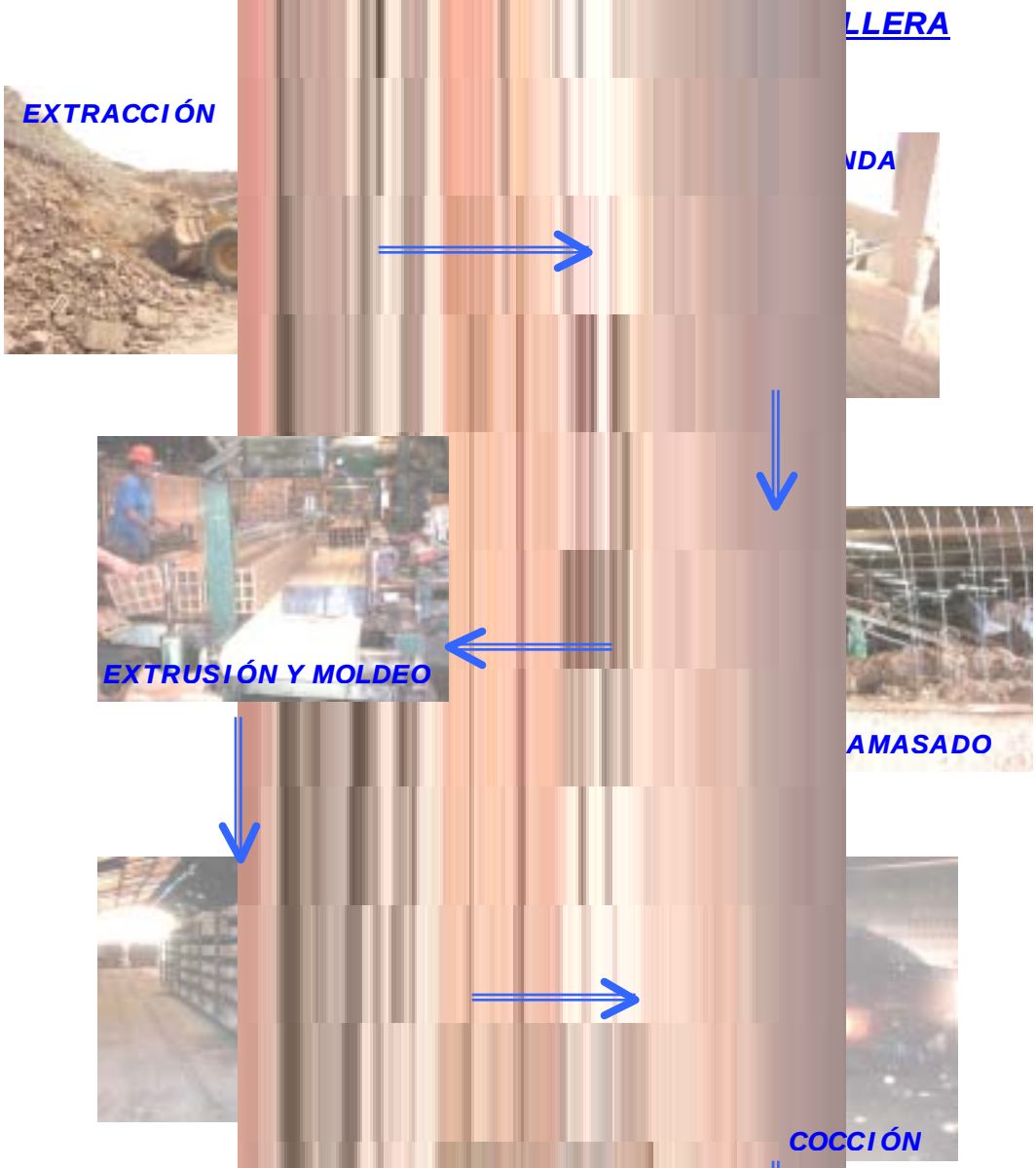
hace con una máquina cortadora. Los ladrillos macizos son moldeados en una extrusora sin vacío (galletera).

- SECADO: El secado de las piezas se efectúa por evaporación de la humedad hasta alcanzar una humedad aproximada del 5% antes de cocinarlo, necesaria para una buena calidad del producto final. El secadero utiliza fuentes de calor y corrientes de aire producidos por medio de máquinas.

- COCCIÓN: una vez secados son transportados a los hornos para su cocción. Aquí termina el proceso productivo propiamente dicho.

- ALMACENAMIENTO Y EMPAQUE: una vez cocinados los productos, son clasificados, empacados y almacenados para su suministro. Se hace necesario además un control de calidad.

Figura 3. Proceso de



Fuente: Las autoras. 2005.

1.6 LADRILLOS Y REQUISITOS COMERCIALES DEL PRODUCTO

1.6.1 PROPIEDADES DEL LADRILLO

Las propiedades físicas y mecánicas más importantes del ladrillo son: forma y dimensiones, resistencia a la compresión, módulo de ruptura*, capacidad de absorción de agua y tasa inicial de absorción**.

Según la norma NTC 4205 "Unidades de Mampostería de Arcilla Cocida, Ladrillos y Bloques Cerámicos", de acuerdo con la disposición de sus perforaciones y del volumen que estas ocupen, las unidades de mampostería de arcilla cocida son de tres tipos: Perforación vertical (ladrillos y bloques) (PV); perforación horizontal (bloques) (PH) y macizos (M).

Para la unidad de mampostería de perforación vertical las perforaciones son perpendiculares a la cara o superficie en que se asientan en el muro. En el caso de las unidades de perforación horizontal las celdas son paralelas a la cara o superficie en que se asientan en el muro. Las unidades macizas son ladrillos aligerados con pequeñas perforaciones que ocupan menos del 25% de su volumen ó que no contienen ninguna perforación.

La Resistencia a la compresión es el máximo esfuerzo a que se puede someter a la unidad de mampostería por medio de una carga que aumenta gradualmente, aplicada al plano sobre el cual se va a sentar la unidad.[5]

El procedimiento para llevar a cabo el ensayo está dado en la NTC 4017 "Métodos para Muestreo y Ensayos de Unidades de Mampostería de Arcilla". Este procedimiento consiste a grandes rasgos en: alisada de las caras de carga (refrentado) con una mezcla de azufre y arcilla. Luego se coloca la muestra en una máquina universal de compresión donde es aplicada la carga. La resistencia a la compresión se obtiene como la carga máxima registrada por la máquina dividida en el área de la muestra.

*Ensayo de flexión, el cual se requiere solo para adoquinería (pisos).

**En Colombia no se presentan ciclos de congelamiento y descongelamiento, por lo tanto no es una propiedad importante para medir la calidad del ladrillo de uso nacional. Aún así, el valor de la tasa inicial de absorción para el ladrillo es muy bajo, lo cual se ve reflejado en el buen comportamiento de la mampostería.

[5] ANFALIT, Estudio Sobre la Utilización Estructural del Ladrillo de Arcilla Producida en el País. En: Boletín Técnico Nº 15. Bogotá D.C. Septiembre de 1982. 23 p.

La capacidad de absorción de agua del ladrillo está relacionada con la durabilidad del mismo y con su capacidad para formar una buena adherencia con el mortero.

La norma NTC 4017 describe el método para medir la absorción de agua así: primero, se sumerge la muestra por 24 horas en agua fría. Se toma la cantidad de agua absorbida como un porcentaje del peso de la unidad seca. Luego la unidad se sumerge en agua hirviendo por 5 horas y nuevamente se toma la cantidad absorbida como un porcentaje de la unidad seca.

1.6.2 PROPIEDADES DE LA MAMPOSTERÍA

Con el fin de poder hacer diseños estructurales es necesario conocer algunas propiedades mecánicas del conjunto que nos permitan determinar los niveles de solicitación que se le pueden permitir a la estructura de mampostería. El más conocido de estos valores es la resistencia a la compresión.

1.6.2.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Corresponde al máximo esfuerzo que resiste un conjunto de mampostería o murete al ser sometido a compresión.

La determinación de la resistencia debe hacerse con muretes elaborados con los mismos materiales y condiciones que van a tener en la estructura.[6]

1.7 MUROS

Son los elementos que dividen los espacios en una vivienda. Según la función estructural que desempeñan los muros en una vivienda se clasifican:[7]

- **Muros confinados estructurales:** Son aquellos que soportan las losas y techos además de su propio peso y resisten las fuerzas horizontales causadas por un sismo o el viento.

[6] ICONTEC, NTC 3495 "Método de Ensayo para Determinar la Resistencia a la Compresión de Muretes de Mampostería". Bogotá D.C. Mayo 30 de 2003.
[7] SENA DE ANTIOQUIA, Centro de la Construcción: Muros Divisorios y de Carga. En: Boletín Técnico Nº 15. Guía de Estudio Nº 8. 47 p.

- **Muros de rigidez**: Son los que soportan su propio peso pero ayudan a resistir las fuerzas horizontales causadas por sismos en la dirección contraria a los muros estructurales no considerándose para el soporte de losas y techos.

- **Muros no estructurales**: Son los muros que solo sirven para separar espacios de la vivienda y no soportan mas carga que la de su propio peso. Según el sitio donde se colocan los muros, se pueden llamar de fachada (los del frente de la casa) divisorios los que separan un espacio de otro y medianeros los que separan una construcción de otra.

1.8 MARCO LEGAL

DECRETO LEY 2811 DE 1974

Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección del Medio Ambiente. En el cual se establece prevenir y controlar los efectos nocivos de la explotación de los recursos naturales no renovables sobre los demás recursos, considerando los factores que deterioran el ambiente.

LEY 99 de 1993

Ley por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental -SINA- y se dictan otras disposiciones

El cual promueve la gestión del medio ambiente y de los recursos naturales renovables, la recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables y el medio ambiente de la Nación a fin de asegurar el desarrollo sostenible.

DECRETO 883 de 1997

Ministerio del Medio Ambiente, Por el cual se regulan de manera general algunas actividades y se define un instrumento administrativo para la prevención o el control de los factores de deterioro ambiental.

Proyectos industriales: Ampliación de unidades de procesos productivos, siempre y cuando los posibles efectos sobre el entorno y los nuevos riesgos tecnológicos no superen la capacidad de control ambiental ejercida a través de los procesos mismos, o mediante sistemas de tratamiento existentes en el momento de ejecución del proyecto.

POLÍTICA NACIONAL DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA PML

Herramienta de la problemática ambiental de los sectores productivos, que busca fundamentalmente prevenir la contaminación en su origen, en lugar de tratarla una vez generada, con resultados significativos para la construcción de las posibilidades reales de sostenibilidad y competitividad sectorial; al igual se presenta las generalidades de la problemática ambiental asociada a los sectores productivos a nivel nacional, enmarcada en el contexto internacional.

DECRETO 1713 de 2002

Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo y la Gestión Integral de Residuos Sólidos.

CAPITULO VII. Artículo 69. Recuperación en los PGIRS. Los municipios y distritos superiores a 8.000 usuarios del servicio público, al elaborar el respectivo Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos, están en la obligación de analizar la viabilidad de realizar proyectos sostenibles de aprovechamiento de residuos; en caso de que se demuestre la viabilidad y sostenibilidad de los proyectos, el Municipio y Distrito tendrá la obligación de promoverlos y asegurar su ejecución acorde con lo previsto en este decreto.

Artículo 80. Fortalecimiento del aprovechamiento. Con el objeto de fomentar y fortalecer el aprovechamiento de los residuos sólidos, en condiciones adecuadas para la salud y el medio ambiente, el Ministerio del Medio Ambiente en coordinación con el Ministerio de Desarrollo Económico podrá, con apoyo de la industria y la participación de las universidades y/o Centros de investigación, adelantar estudios de valoración de residuos potencialmente aprovechables, con el fin de promocionar la recuperación de nuevos materiales, disminuir las cantidades de residuos a disponer y reunir la información técnica, económica y empresarial necesaria para incorporar dichos materiales a los procesos productivos.

DECRETO 948 DE 1995

Se reglamenta la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire. Norma de calidad del aire, que prohíbe las quemas a cielo abierto. Capitulo III de las emisiones contaminantes, artículo 29.

Artículo 29: Quemas abiertas.

Queda prohibido dentro del perímetro urbano de ciudades, poblados y asentamientos humanos, y en las zonas aledañas que fije la autoridad competente, la práctica de quemas abiertas. Ningún responsable de establecimientos comerciales, industriales y hospitalarios, podrá efectuar quemas abiertas para tratar sus desechos sólidos. No podrán los responsables del manejo y disposición final de desechos sólidos, efectuar quemas abiertas para su tratamiento.

DECRETO 02 DE 1982

Capítulo II de las normas de calidad del aire y sus métodos de medición. Determina las concentraciones máximas de contaminantes.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 4205

“Unidades de mampostería de arcilla cocida, ladrillos y bloques cerámicos”. Esta norma establece los requisitos que deben cumplir los ladrillos y bloques cerámicos utilizados como unidades de mampostería y fijan los parámetros con que se determinan los distintos tipos de unidades.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 4017

“Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería de arcilla”. Este método de ensayo comprende los procedimientos para la elaboración y ensayo de muretes de mampostería, y los procedimientos para determinar la resistencia a la compresión de la mampostería.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 3495

Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de muretes de mampostería. Este método de ensayo comprende los procedimientos para la elaboración y ensayo de muretes de mampostería, y los procedimientos para determinar la resistencia a la compresión de estos.

RESOLUCIÓN No 1434 DE OCTUBRE DE1999

Emanada por Cortolima, mediante la cual se resolvió suspender inmediatamente la actividad consistente en suministro y disposición final para la quema de cascarilla de arroz, que se venia realizando en el Departamento del Tolima.

RESOLUCIÓN No 1047 DE 2003, CORTOLIMA

Mediante la cual se adoptó el formato de certificado para la movilización y manejo de la cascarilla de arroz tostada o procesada por las empresas y proyectos licenciados o permisionados por la Corporación.

2. PRESENTACIÓN DE LAS EMPRESAS

2.1 RUIZ MORENO Y CÍA. S. EN C. LADRILLERA LAS TAPIAS

El Mochuelo se localiza en la margen izquierda del río Tunjuelito y es aquí donde se encuentra una parte representativa de la industria ladrillera de Bogotá. La zona ladrillera se encuentra dentro del perímetro urbano y parte rural de Ciudad Bolívar sector A, y comprende parte de los barrios San Joaquín y la vereda Mochuelo Bajo.

El origen de la Ladrillera Las Tapias se remonta al año de 1969, adquiriendo terrenos ubicados en el barrio Santa Librada e instalando posteriormente una oficina en el barrio Teusaquillo para facilitar al cliente la compra de los productos.

En 1989, con el deseo de ampliar la compañía, responder a las necesidades del mercado y generar empleo, inicia el montaje de la planta TAPIAS 2, localizada en el barrio Mochuelo, la cual se puso en marcha hacia el mes de abril de 1992.

En 1993 se inicia la construcción de TAPIAS 3, denominada Ciprés, también localizada en Mochuelo, la cual entró en funcionamiento hacia junio de 1996.

Ruiz Moreno y Cía. S. en C. Ladrillera Las Tapias, entra al año 2002 con una organización administrativa óptima y además cuenta con procesos adecuados, controles de calidad excelentes, buena preparación de la arcilla, secado artificial, sistema de movimiento de material sobre rieles y otras herramientas en su proceso productivo, lo cual garantiza al cliente un excelente producto. La mayor representatividad está en la producción de fachadas, divisorios, estructurales, adoquines y productos especiales.

2.2 LABORATORIO DE ENSAYOS DE INGENIERÍA Y CALIBRACIÓN, CONCRELAB

Acreditado por la Superintendencia de Industria y Comercio como laboratorio de Ensayo.

La Misión de la empresa es colaborar con la ingeniería colombiana en la ejecución de los proyectos y obras que el país requiere para su desarrollo.

Contribuir en la construcción de importantes obras civiles, asesorando a los constructores en la selección de materiales y en la realización de pruebas y ensayos de acuerdo con Normas Técnicas Colombianas e Internacionales.
Realizar los diseños, ensayos y calibraciones con el más alto grado de ética profesional e imparcialidad, de acuerdo con los lineamientos de la norma ISO/EC 17025*.

2.3 ASOCIACIÓN NACIONAL DE FABRICANTES DE LADRILLO Y DERIVADOS DE LA ARCILLA, ANFALIT

La Asociación Nacional de Fabricantes de Ladrillo y Derivados de la Arcilla, es una entidad sin ánimo de lucro, que surgió de un grupo de empresarios preocupados por su sector, ante la necesidad de crear una institución para representar, defender y propender por el desarrollo de la industria ladrillera y de derivados de la arcilla, incluyendo los intereses tanto industriales como comerciales de sus afiliados, con una cobertura a nivel nacional.

ANFALIT representa la industria dedicada a la fabricación de ladrillo y otros productos derivados de la arcilla, un sector que se ha preocupado por adoptar nuevas técnicas de explotación, utilizando las maquinarias adecuadas y los profesionales necesarios dentro de su labor cotidiana, en procura de que la actividad minera se realice dentro de las condiciones ambientales y de higiene y seguridad industrial, que incluyen tanto la adopción de nuevas tecnologías como la ejecución de programas de salud ocupacional, el mantenimiento de maquinarias y equipos, la capacitación, los servicios médicos y la dotación de los elementos de protección personal, todo desde un claro concepto de desarrollo sostenible.

La Asociación propende por la utilización de los productos derivados de la arcilla destacando las ventajas que ofrecen.

* Requisitos generales para la competencia de laboratorios de Ensayo y Calibración.

3. PROCESO DE PRODUCCIÓN LADRILLERA

3.1 MATERIA PRIMA

3.1.1 ARCILLAS

Composición típica:

SiO_2 (sílice)	61.8%
Al_2O_3 (alúmina)	17.5%
Fe_2O_3 (óxido férrico)	7.4%
CaO (óxido de calcio)	2.1%
K_2O (óxido de potasio)	4.1%
MgO (óxido de magnesio)	0.4%
Varios	6.7%
	100%

La arcilla es el producto de la descomposición de ciertas rocas ígneas antiguas y se presenta en terrenos estratificados generalmente en capas muy regulares, con tamaño de partícula menor de 2μ, constituido por minerales arcillosos, y fragmentos de rocas y otros minerales como cuarzo, llamado también sílice libre (SiO_2) comúnmente conocido como arena silícea, carbonatos de calcio y magnesio, $CaCO_3$ y $MgCO_3$, óxidos metálicos, feldespatos y micas. El óxido de hierro (Fe_2O_3), está frecuentemente presente en el mineral arcilloso y constituye el principal agente colorante de éste.

Además contiene sustancias químicas diversas como sulfatos y sulfuros (piritas), cloro y flúor y compuestos orgánicos que no deben utilizarse nunca. En el material para ladrillos su porcentaje es insignificante.

Algunas de las arcillas más comúnmente encontradas en depósitos arcillosos en Colombia son la **Caolinita**, la **Illita** y la **Montmorillonita**.

Tabla 1. Composición química de las arcillas

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS ARCILLAS		
CAOLINITA	**ILLITA**	**MONTMORILLONITA**
SiO_2 46.5%	SiO_2 55%	SiO_2 48-56%
Al_2O_3 39.6%	Al_2O_3 27-29%	Al_2O_3 11-22%
H_2O 13.9%	H_2O 8-9%	H_2O 12-14%
	K_2O 2-8%	MgO 3-8%
	MgO variable	

Fuente: Industria cerámica. Planes de acción para mejoramiento ambiental. 1999.

La caolinita tiene la menor capacidad de absorción de agua de las tres, por eso los caolines no son muy plásticos y no confieren fuerte resistencia mecánica a la pasta. La mayor capacidad de absorción de agua la tiene la montmorillonita, la cual es por lo tanto la más plástica, pero, al perder el agua absorbida, disminuye fácilmente de tamaño y produce agrietamiento por lo que su presencia debe ser cuidadosamente controlada y dosificada para evitar problemas en el proceso de secado.

En la industria ladrillera se prefieren suelos con más del 30% de material arcilloso; menores porcentajes indican poca plasticidad del suelo, dificultando el moldeo por extrusión y por ende el secado.

Si la pasta contiene alta proporción de materiales silíceos, la plasticidad disminuye, deteriorando la textura y forma del producto terminado; sin embargo, en la industria ladrillera no se considera óptimo un suelo de alta plasticidad (bajo contenido de arena o minerales silíceos), debido a altas pérdidas de producción en secado y cocción (por contracción o ruptura). La utilización de desgrasantes como chamota (cerámica cocida) o arenas reducen las pérdidas ocasionadas por un suelo de alta plasticidad.

3.1.2 DESGRASANTES

Los desgrasantes, son agregados que favorecen la migración de las moléculas de agua en el proceso de secado previniendo fracturas. A través de los tiempos y de las regiones se han utilizado diferentes sustancias como desgrasantes, desde pedazos de carbón de madera, estiércol y paja, hasta rocas volcánicas, conchas molidas y arena de río. En la actualidad, el manejo del desgrasante es uno de los aspectos más importantes, pues según la temperatura de cocción del objeto cerámico, el desgrasante tomará parte activa en las reacciones que suceden en el proceso de

cocción y contribuirá activamente en la formación de las características finales del artefacto. Como desgrasantes más utilizados están la sílice y los feldespatos.

Sílice: Generalmente es el mineral constituyente de las arenas cuarzosas y se encuentra en tamaño suficientemente grande como para separarla por sedimentación. En la industria cerámica se añade finamente molida y sirve como desgrasante de arcillas muy plásticas que contribuyen a disminuir las contracciones en el proceso de secado.

Feldespatos: Son aluminosilicatos, minerales agregados en forma de polvo muy fino a la pasta cerámica que se comportan como desgrasantes en el proceso de secado y como fundentes* en el proceso de cocción.

3.1.3 AGUA

El principal líquido usado en la industria cerámica es el agua; generalmente se trata con indiferencia la calidad de esta materia prima por considerarla abundante y barata.

3.2 INFLUENCIA DE LA COMPOSICIÓN DE LA MATERIA PRIMA EN LAS CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO

3.2.1 RESISTENCIA MECÁNICA

La base fundamental de la resistencia mecánica está siempre vinculada tanto a la composición mineralógica de la materia prima, como al proceso de producción.

Las arcillas confieren al producto un fuerte poder de cohesión, creciendo al aumentar su cantidad. Esta unión es tanto mayor cuanto más pequeñas sean las partículas elementales de las arcillas y por tanto su última forma granulométrica.

Se sabe que si un cuerpo se divide sucesivamente en partes cada vez más pequeñas, la superficie exterior total de éstas aumenta notablemente. Las superficies de contacto de las partículas de arcilla son las que desarrollan las fuerzas de unión, la actividad química, el intercambio iónico, la mayor afinidad con el agua, por lo que a este respecto tienen mayor importancia las montmorillonitas que las illitas y caolinitas.

* Sustancia que se mezcla con otra para facilitar la fusión de ésta.

Se ha comprobado que las cantidades del componente "arcilla" no deben superar ciertos límites, porque junto al aumento de la resistencia mecánica, que puede alcanzar valores también muy superiores a los necesarios, pueden tener dificultades en el tratamiento productivo en el secado y en la cocción.

La resistencia mecánica del producto depende básicamente de:

- Los porcentajes de los componentes arcillosos y su dimensión granulométrica, dado que los enlaces están influenciados notablemente por la subdivisión y finura granulométrica y por la gran reactividad superficial, que promueve y acelera las reacciones de cocción.

- La regularidad de secado por el desarrollo de fuerzas de atracción equilibradas, sin esfuerzos de tensiones o fisuras evidentes.

- La regularidad del proceso de cocción, como un correcto precalentamiento y enfriamiento del material, para evitar roturas del material.

- La forma de la pieza, elemento que puede influir en la regularidad del secado.

- La cantidad de agua y su distribución en la pasta. La cantidad de agua de moldeo, en el caso en que esta se añada durante el amasado, efectúa una penetración a nivel de las partículas elementales y como consecuencia una acción de subdivisión granulométrica mayor que la original, que por lo dicho anteriormente, sólo mejorará si la cantidad de agua y el tiempo de amasado son los adecuados.

- Los porcentajes y dimensiones granulométricas de los componentes inertes (desgrasantes) y su homogenización en la masa.

3.2.2 POROSIDAD Y CONTRACCIÓN

Durante la cocción, la porosidad aumenta, como consecuencia del desprendimiento de los gases debidos a la combustión de la materia orgánica y a la descomposición de los carbonatos de magnesio y de calcio. El agua se convierte en vapor; la evaporación puede ser más o menos rápida y las cantidades de vapor son fácilmente evacuadas o no, en función de la porosidad y del espesor de lo productos. En caso de excesiva acumulación de vapor se originan exfoliaciones y escamas en la superficie; el fenómeno se nota poco en materias primas porosas, con espesores finos y para aumentos lentos de temperatura; en caso contrario puede resultar peligroso. Además el material comienza a reducirse de tamaño por efecto de la pérdida de agua,

provocando la contracción del material, que dependiendo de la regularidad con que se realice y de la porosidad existente, puede inducir a la formación de fisuras.

El calentamiento posterior y el mantenimiento de la temperatura máxima de cocción, provocan siempre la reducción de la porosidad y el incremento de la contracción.

La porosidad final del ladrillo cocido está influenciada por lo tanto por:

- La porosidad inicial en seco.
- La composición mineralógica y la finura granulométrica.

En general las únicas posibilidades de modificación de la porosidad son prácticamente las mismas que sirven para la modificación de la resistencia mecánica, es decir, la corrección de la pasta con el incremento del componente “arcilla” o de los fundentes, si se quiere reducir la porosidad, o viceversa, aumentando el porcentaje del desgrasante.

3.2.3 COLOR

El grado de color rojo depende de la cantidad de óxido de hierro presente y la uniformidad de la coloración se obtiene con su fina y regular subdivisión.

3.2.4 EFLORESCENCIAS

En las superficies exteriores de los ladrillos y de las paredes se forman depósitos de sales que presentan colores y manchas no deseadas. La mayor parte de eflorescencias se deben a impurezas como sulfatos (potasio, sodio, calcio, magnesio, hierro).

3.2.5 ESCAMADOS E HINCHAMIENTOS

La adición de desgrasante logra siempre eliminar este inconveniente.

3.2.6 CORAZÓN O NÚCLEO NEGRO

Con este nombre se denominan las manchas negras o grises que permanecen en el interior del espesor de los tabiques del producto, después de la cocción.

La masa del material no se oxida totalmente a causa de la combustión de sustancias orgánicas comprendidas en el material en mucha o poca cantidad.

Para la formación del corazón negro concurren de manera decisiva tanto la baja porosidad del material como la velocidad de cocción. Este no representa más que un efecto estético, especialmente si aparece en la superficie.

La adición de desgrasantes logra a menudo eliminar totalmente el núcleo o corazón negro.

Figura 4. Corazón negro

Fuente: Las autoras. 2005.

3.3 DESGRASANTES

Los desgrasantes están generalmente por gránulos que permanecen inertes en la fase de secado y que tal vez, reaccionan en la fase de cocción con la masa formando nuevos componentes. Se usan generalmente:

- Arenas.

- "Chamotas" es material desechado después de la cocción y molido a continuación. La chamota tiene en general un comportamiento inerte en el secado; sólo a las temperaturas de cocción (superiores a 900ºC), si está finamente molida, puede reaccionar con el material arcilloso, favoreciendo elevadas propiedades de resistencia mecánica.

- Aserrín de madera: mezclado con el material facilita el secado reduciendo la duración del mismo, influye favorablemente en la economía de cocción dado que permite quemando, disminuir los consumos de combustible. La alta porosidad del producto cocido con aserrín disminuye la resistencia a la compresión del producto, pero permite mejorar las características aislantes.

- Cenizas volantes: material inerte como la arena, pero muy ligero, procedente de los hornos de las centrales termoeléctricas, contiene partes de combustible en pequeñas cantidades.

Básicamente los desgrasantes se usan para reducir:

- Una excesiva contracción en el secado y por lo tanto, la dificultad del secado.

- La formación de fisuras tanto en secado como en cocción.

- Hinchamiento o formación de escamas en cocción.

- La formación de corazón negro.

Es necesario considerar que el uso de desgrasantes puede presentar algunos inconvenientes, como:

- Disminución de la resistencia mecánica debido a las discontinuidades introducidas en la cadena de elementos aglomerantes. Existe, por lo tanto, un límite de adición de desgrasante, determinado por la mínima resistencia admisible del producto.

- Contracciones del material en el horno durante el enfriamiento y fisuras capilares con empleo de desgrasantes silíceos.

- Acción abrasiva de los componentes inertes silíceos en las partes metálicas de las máquinas.

- Costos más elevados en aparatos de mezclado, dada la necesidad de homogeneizar el porcentaje de desgrasante en la pasta.

3.4 ETAPAS DEL PROCESO PRODUCTIVO

3.4.1 EXTRACCIÓN

En Colombia se realiza la explotación de minerales arcillosos que va desde la más tecnificada hasta la explotación por derrumbes realizadas en los chircales artesanales de bajo volumen de producción y con procesos de fabricación rudimentaria.

El método utilizado (a cielo abierto) inicia con un descapote, limpieza de la sobrecarga del suelo, retiro del material vegetal y de desecho, guardando especial cuidado en la profundidad alcanzada por las raíces de las plantas que puedan estar inmersas en el material a procesar y ocasionen un fuerte impacto en la calidad del material.

El material extraído se transporta y se dispone en patios de acopio, donde inicia el proceso de maduración de la arcilla.

3.4.2 MADURACIÓN

Cuando se desea incrementar la plasticidad de una arcilla, ésta se acumula humedeciéndola intempéricamente por un período de tiempo determinado, el cual recibe el nombre de maduración o maceración (remojo, inmersión).

3.4.3 PREPARACIÓN

Denominada también preelaboración, es el proceso por el cual el material se reduce de tamaño y humecta para posteriormente ser sometido a moldeo a presión. Este proceso puede llevarse a cabo por vía húmeda o seca.

La preparación del suelo arcilloso puede realizarse por vía húmeda, la más utilizada en ladrillería, en donde la arcilla se reduce de tamaño, para posteriormente humectarla hasta formar una pasta homogénea en la mezcladora.

La preparación por vía seca implica el presecado de las materias primas para su posterior trituración, separación, clasificación de partículas, dosificación, mezclado, humectación y homogenización. Es una operación costosa en donde se debe prestar especial atención al contenido de humedad.

La preelaboración consiste en una serie de operaciones destinadas a conducir a la materia prima, del estado en el que se encuentran después de la excavación, a una condición final, en la cual se alcancen simultáneamente:

- Subdivisión de los varios componentes en partes pequeñas, a fin de que en el mezclado la homogeneidad se extienda también a las fracciones granulométricas más pequeñas.

- Humectación uniforme y en cantidad suficiente para obtener un óptimo moldeado.

Para los materiales plásticos, con humedades comprendidas por término medio entre el 15% y 30%, se efectúan operaciones normalmente catalogadas con el término "preelaboración en húmedo". Los materiales duros son tratados con procedimientos denominados de "preelaboración en seco".

El proceso de alimentación y dosificación de los materiales se realiza a través de una máquina dosificadora llamada cajón alimentador o dosificador. La toma del material por una máquina y la alimentación en la siguiente está encomendada a cintas transportadoras (bandas móviles).Las cantidades de materia prima a alimentar están reguladas por la velocidad de la cinta.

La humectación se verifica mediante boquillas rociadoras instaladas en varios puntos de la bañera, mandadas por válvulas.

3.4.4 MOLDEO

Por moldeo se entiende aquel proceso por el cual la materia prima asume una forma bien determinada. El moldeo por extrusión, denominado moldeo por vía húmeda, es la técnica más usada y se realiza a presión a través de una boquilla. El equipo utilizado presenta variaciones en la boquilla de acuerdo con el objeto moldeado (bloque, teja, tubo, etc).

- Extrusión blanda: de 22% a 26% de agua

- Extrusión semidura: de 16% a 21% de agua

- Extrusión dura: de 12% a 15% de agua

Semihúmeda se elige para la fabricación de ladrillos macizos o perforados con un porcentaje máximo de orificios hasta el 20% al 25%.

Con el prensado en húmedo se obtienen productos de formas variables como tejas y remates.

Para prensado en seco (3% a 5% humedad) el material se vierte en moldes y se somete a compresión imprimiéndoles elevadas presiones. Los productos aquí obtenidos tienen dimensiones relativamente modestas; son ladrillos macizos con porcentaje máximo de orificios del 10%. Con tal método de prensado se obtienen medidas muy precisas como consecuencia de las menores variaciones de volumen debido a la falta de contracción en secado, pero son materiales con mayor peso, lo que dificulta su puesta en obra y su comportamiento ante movimientos sísmicos.

Algunas de las modalidades sólo se utilizan en casos limitados (prensado en seco y moldeo con pasta blanda), otras en cambio (extrusión y prensado en húmedo), se adoptan casi universalmente.

3.4.5 SECADO

Proceso mediante el cual se extrae a la pieza cerámica la cantidad de agua propia de la arcilla, más la que se adicionó en la fase de moldeo. El secado es la fase más delicada y trascendente durante el proceso de fabricación, gracias a que es en esta etapa del proceso donde se genera el mayor porcentaje de pérdida de producción debido a fisuras, contracciones, demoras y deformaciones.

Para determinar la velocidad de secado se hace necesario conocer las características químicas y físicas de las arcillas. La velocidad de secado más adecuada es la que consigue el producto en el menor tiempo, sin que presente rupturas por contracción.

El secado en la industria ladrillera puede ser natural o artificial. En el primero se dejan los productos cerámicos en grandes áreas, bajo cubierta o al aire libre. Los productos son secados por la acción del viento, por lo tanto el tiempo de secado depende de las condiciones atmosféricas de la planta. Este tipo de secado tiene un tiempo de duración de 8 a 12 días, que impide un alto ritmo de producción.

En los secaderos artificiales el material presecado al aire se introduce en unas cámaras donde penetra aire caliente y se distribuye con la ayuda de ventiladores. La temperatura varía de 30 a 120ºC y la desecación dura de 20 a 24 horas.

3.4.6 COCCIÓN

Es el proceso final de transformación de la arcilla en una pieza sólida con forma, color, textura, dimensiones y dureza definitiva, lograda mediante la exposición de las piezas, previamente moldeadas y secas, a elevadas temperaturas.

Las fases de cocción son tres: precalentamiento, cocción y enfriamiento. En la etapa de precalentamiento se elimina la humedad de las piezas mediante el incremento de la temperatura cuando se alcanzan los 100ºC.

En la cocción se completan las reacciones químicas, los ladrillos sufren una ligera contracción y adquieren una estructura característica que da fuerza al ladrillo terminado. La temperatura de cocción oscila entre 900-1100ºC y fundamentalmente depende de la naturaleza de la arcilla, del tipo de horno utilizado, del tiempo de exposición al fuego y de la forma de la pieza a hornear.

En la etapa de enfriamiento la temperatura desciende hasta la atmosférica o ambiente y debe realizarse de una manera paulatina, ya que puede originar contracciones o fisuras en los ladrillos; además un descenso progresivo es importante para la dureza, tenacidad y colorado de las piezas vitrificadas.

3.4.7 VITRIFICACIÓN

Se denomina vitrificación al proceso cerámico por el cual los materiales conforman un capa vítrea superficial, para así generar productos cerámicos impermeables, más resistentes al rayado, incrementar la resistencia mecánica, haciéndolas más inertes químicamente, brillante y agradable al tacto y a la vista. Puede lograrse simplemente adicionando sal y bórax al horno cuando éste ha dado punto (1050°C).

3.5 ASPECTOS A TENER EN CUENTA DURANTE EL PROCESO PRODUCTIVO

3.5.1 PREELABORACIÓN

Las operaciones previas al moldeo son las que realmente permiten configurar la estructura de la pieza en verde, pureza, tamaño, forma y propiedades superficiales y adicionalmente se puede agregar los aditivos necesarios para la modificación de la plasticidad de la mezcla.

El objetivo del mezclado y la homogenización de la materia prima es formar una única mezcla que sea en todo momento constante. La homogeneidad será tanto mejor cuanto más finas sean las partículas, es decir, cuanto más intensa sea la molturación. Los mejores resultados relativos a producción se obtienen cuando la humedad está comprendida entre el 15% y 20% [8].

3.5.2 HUMEDAD RESIDUAL DESPUÉS DEL SECADO

Después del moldeado del material es necesario realizar el secado como proceso de preparación a la siguiente etapa de cocción. La cantidad de agua empleada en el moldeado no se elimina completamente pero el proceso se considera finalizado, aunque en la masa del producto quedan pequeños contenidos de humedad.

Así pues se define un material seco cuando se mantiene el peso constante después de un tratamiento prolongado a 75ºC.

La exposición durante varias horas al ambiente favorece la estabilización del equilibrio de humedad entre el medio ambiente y el producto. Un secado excesivo, reduce drásticamente la resistencia.

Si debido a la velocidad de calentamiento, a la escasa porosidad del producto o bien al espesor importante de los tabiques, no se produce la evacuación del vapor de agua, la tensión a que queda sometido el material puede hacerlo estallar por algunas paredes del mismo.

No es fácil preestablecer cual es el valor más adecuado de humedad residual, la cual está relacionada con:

- La materia prima, su composición granulométrica, el tipo de producto de acuerdo al porcentaje de orificios, espesor de los tabiques, etc.
- El tipo de secadero.
- La temperatura del horno en el punto de entrada del producto y la velocidad de desplazamiento.
- Las condiciones higrométricas del ambiente.

[8] FACINCANI, Ezio. Tecnología Cerámica de los Ladrillos. 1993. 196 p.

- Las máquinas de manipulación como modo de transporte y tratamiento de productos secos.

4. METODOLOGÍA

En este proyecto de investigación la información fue recopilada por medio de análisis documental y observación directa. Para el análisis de esta información fue necesario contar con la participación y asesoría de personal calificado en el tema.

La información recolectada en la Federación Nacional de Arroceros, FEDEARROZ, sirve como base para la obtención de datos de producción de arroz, el proceso productivo de la industria arrocera y la situación de la misma. En la Federación Nacional de Industriales del Arroz, INDUARROZ, se encontró la información relacionada con la producción de cascarilla de arroz en el país, además de alternativas de utilización de la misma aunque de manera muy general.

En cuanto a la cascarilla de arroz es necesario valorar el acceso a la información, ya que fue difícil su obtención, debido a la información muy restringida y poco completa. Aún así, fue posible encontrar las alternativas de manejo de cascarilla de arroz definitivamente más representativas para el sector arrocero.

A partir de esta información se realiza una matriz donde se muestran el manejo y aspectos técnico, económico y ambiental de cada una de las alternativas, relacionándolo de manera conjunta con la alternativa objeto de este proyecto de investigación; estableciendo así las ventajas y desventajas de cada una de estas, especificando cuales son las más viables y representativas tanto para el sector arrocero como para el país.

Respecto a la información sobre el sector industrial ladrillero fue posible contar con el apoyo de la Asociación Nacional de Fabricantes de Ladrillo y Derivados de la Arcilla, ANFALIT, y la participación y asesoría de la ladrillera Las Tapias que se encargó de la fabricación de estas unidades.

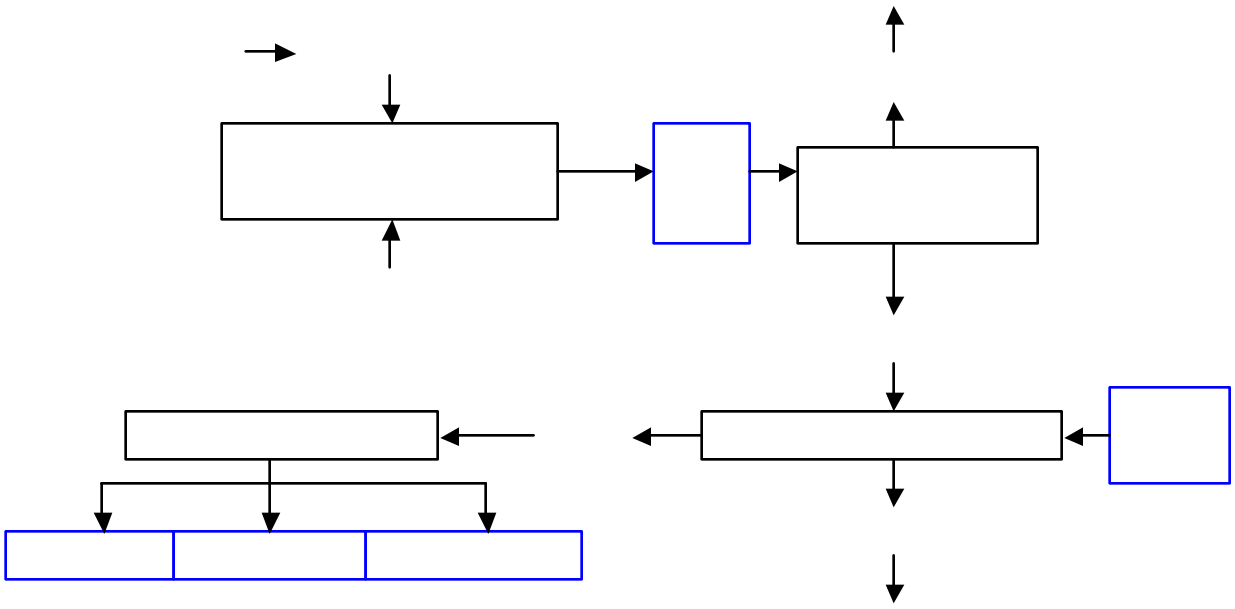
Con las piezas fabricadas se prosigue a la realización de los ensayos especificados en este estudio para las unidades de mampostería, establecidas en la norma NTC 4205 “unidades de mampostería de arcilla cocida, ladrillos y bloques cerámicos”. Para esto fue necesario contar con la intervención de un laboratorio acreditado por la Superintendencia de Industria y Comercio, con el fin de obtener resultados confiables. El laboratorio participante fue CONCRELAB, Laboratorio de Ensayos de Ingeniería y Calibración, donde se contó con asesoría de personal especializado en las pruebas de estos materiales.

Con los resultados obtenidos en cuanto a propiedades mecánicas de los materiales ensayados, se realizaron comparaciones con otros datos proporcionados por el laboratorio sobre unidades cerámicas macizas, con el propósito de establecer si los niveles de calidad de los materiales eran superiores a los máximos exigidos por las normas ó superaban los valores encontrados en historiales, para los que no se encuentra un valor determinado para su cumplimiento; y así determinar la viabilidad técnica de la implementación de esta alternativa de estudio.

Con los datos obtenidos sobre producción de cascarilla de arroz, el porcentaje o volumen empleado para la realización de esta alternativa, las propiedades tanto físicas como mecánicas del nuevo material y la conveniencia para la industria ladrillera, se realizó una proyección anual de costos con el fin de determinar la viabilidad ambiental y económica en cuanto a la implementación o el desarrollo de la alternativa en el país.

Para tener una visión más clara de la realización del estudio, se ilustra en un diagrama de flujo el siguiente proceso:

Figura 5. Diagrama de flujo de metodología del proyecto



Fuente: Las autoras. 2005.

La cascarilla de arroz es utilizada como insumo en el proceso de fabricación de ladrillos de arcilla. Para este proyecto se elaboran ladrillos cerámicos macizos, para los cuales se realizaron 3 ensayos donde se agregaban diferentes porcentajes de cascarilla de arroz (5%, 10% y 25%) a los cuales se les realizó un seguimiento y un control en cuanto a las propiedades a evaluar para estas unidades, especificadas en este proyecto, durante el proceso de producción hasta la obtención del producto listo para su distribución. En el caso de ser un ladrillo que cumple con las condiciones hasta ahora evaluadas como ausencia de defectos superficiales (corazón negro, fisuras o grietas, etc.), el producto es ensayado en el laboratorio para verificar el cumplimiento de otros aspectos como resistencia mecánica a la compresión y absorción de agua, propiedades fundamentales para evaluar en unidades de mampostería de arcilla según la NTC 4205. Finalmente para las unidades ensayadas que cumplen con las propiedades anteriormente mencionadas, se evalúan los factores que influyen en la viabilidad técnica, ambiental y económica para el desarrollo de esta alternativa de uso de la cascarilla de arroz en el país; confrontando y evaluando de manera conjunta con las alternativas de mayor importancia en cuanto a manejo que se le da a este residuo a nivel nacional, con el propósito de establecer un orden de elegibilidad para la selección de la alternativa a implementar.

5. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DEL PROCESO PRODUCTIVO CON LA ADICIÓN DE CASCARILLA DE ARROZ

El material utilizado fue el tolete de arcilla (sin perforaciones), considerado como pieza de uso intensivo en la industria de la construcción en Colombia y de fácil consecución en el mercado de la ciudad de Bogotá[9].

Primero fue necesario conocer el proceso productivo de la ladrillera, con el fin de evaluar las etapas del proceso y describir las observaciones o alteraciones en el desarrollo de la actividad de producción del material, objeto de estudio, con la adición de la cascarilla de arroz a la materia prima. Comenzando de ésta forma a evaluar la factibilidad técnica de desarrollo de ésta alternativa.

Se realiza entonces un primer ensayo, en el cual es adicionado a la materia prima un volumen de cascarilla de arroz correspondiente al 5% del total empleado para la fabricación de dichas unidades. Simultáneamente se realiza el ensayo de adición de cascarilla de arroz para obtener unidades con el 10% en volumen en su composición.

Se toman los pesos del material obtenido y se comparan con los pesos del material patrón, que en este caso corresponde a las unidades tradicionales de la ladrillera, las cuales fueron elaboradas el mismo día en que se realizaron estos ensayos, con el fin de no tener alguna alteración en los datos que se puede presentar por la diferencia en los días de elaboración de las piezas, es decir se realizaron en las mismas condiciones que las piezas con cascarilla de arroz en su composición.

Por razones de cronograma de producción para la Ladrillera Las Tapias, no fue posible elaborar las unidades con el 25% de cascarilla de manera simultánea.

El promedio de los pesos de las unidades ensayadas con cascarilla en su composición se encuentra registrado en la siguiente tabla.

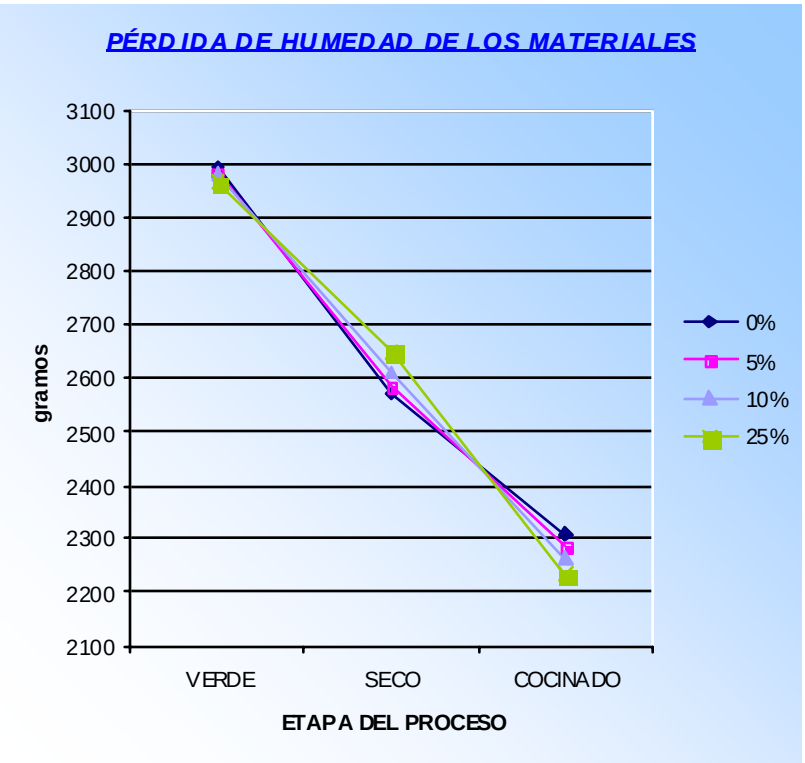
[9] INDUSTRIA CERÁMICA. Planes de acción para mejoramiento ambiental: Manual para empresarios de la PYME. Bogotá, D.C. Primera edición, 1999.

Tabla 2. Pesaje de materiales en las etapas del proceso productivo

PESAJES	ETAPAS DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN		
	VERDE* (gramos)	SECO** (gramos)	COCINADO*** (gramos)
M1 (sin cascarilla)	2990	2570	2310
M2 (con 5%)	2985	2585	2285
M3 (con 10%)	2980	2610	2265
M4 (con 25%)	2965	2648	2233

Fuente: Las autoras. 2005.

Figura 6. Pérdida de humedad de los materiales durante el proceso



Fuente: Las autoras. 2005.

* El producto en verde hace referencia a la unidad obtenida del moldeo. Correspondiente al peso del ladrillo recién salido de la extrusora

** Peso de las unidades que salen del secadero, previo a la entrada al horno para realizar su proceso de cocción.

***Peso del producto que sale del horno, después de ser sometido a enfriamiento, es decir, el peso del material listo para su distribución.

Se presenta en general un comportamiento normal de las unidades ensayadas, observándose disminución en los pesos de los materiales en verde, por el aligeramiento que aporta la cascarilla de arroz. El volumen de cascarilla empleado es un factor de proporcionalidad para la retención de humedad, por lo tanto el peso promedio para las unidades ensayadas con 25%, en la etapa de secado, es mayor. Finalmente, para el producto en la etapa de cocción, se observa una disminución en el peso, lo que se refleja en el aligeramiento del material.

5.1 PROCESO PRODUCTIVO CON ADICIÓN DE CASCARILLA

La cascarilla fue adicionada al proceso en el molino para su molienda y mezcla con material arcilloso previamente a la fase de humedecimiento, pero se presentaron problemas en la máquina debido a la textura fibrosa característica de este residuo. Razón por la cual se resuelve adicionar la cascarilla en la fase de humedecimiento de la materia prima, previamente al proceso de moldeado, de allí, que según análisis y observaciones realizadas, se concluya que:

La cascarilla de arroz debido a sus dimensiones granulométricas y a su aspecto fibroso presentó dificultad para obtener un grado de finura adecuado. Además por ser agregada la cascarilla en la banda transportadora que alimenta la amasadora, como se explicó anteriormente, el tiempo de mezcla con los otros materiales se ve reducido.

Por esta razón, al pasar directamente al moldeo el residuo no se encuentra distribuido uniformemente en el material consolidado, presentándose discontinuidad en la superficie de contacto de las partículas por su inadecuada homogenización, ocasionando una disminución en la resistencia del material, ya que la pérdida de agua no se realiza de modo relativamente uniforme en todo el conjunto de la pieza provocando roturas o tensiones desequilibradas.

5.1.1 Fase producto en verde

El producto en verde presenta un acabado estético, sin fisuras debidas al moldeo; sus caras tienen apariencia lisa, al igual que el blanco a excepción de las caras de corte donde se observa una textura acanalada debida a la presencia de cascarilla que ocasiona su adherencia a los hilos de la cortadora generando el corte característico de estas muestras. El rasgado es más evidente en las muestras de 10% y 25%.

Al observar el interior de las muestras, la cascarilla no presentaba ninguna modificación, conservando sus dimensiones originales, ya que esta fue agregada al mezclador donde era evidente que no presentara alteraciones en su tamaño.

5.1.2 Fase producto en seco

Hubo una disminución en el tiempo de secado, gracias a la facilidad de salida del agua por los canales de drenaje (porosidad) que forma la cascarilla al interior del material.

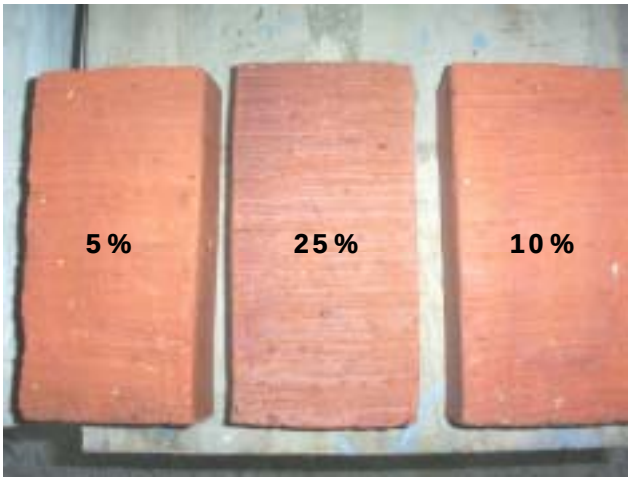
Un aspecto importante y decisivo en el proceso de producción ladrillera es la no formación de fisuras en el secado, lo cual no se observó en ninguna de las unidades ensayadas, presentando sus caras lisas, a excepción de las caras de corte que conservaban la apariencia acanalada conseguida en el producto en verde.

5.1.3 Fase producto cocinado

Al salir del horno, las unidades de 25% de cascarilla en su contenido presentan fisuras en sus aristas, siendo esto un evidente daño estético en las piezas. Las unidades de 5% y 10%, además del blanco, presentan un buen acabado estético, a pesar de las acanaladuras, lo cual es benéfico para la adherencia de las piezas con el mortero de pega, mejorando su puesta en obra.

Las unidades no presentan ningún tipo de defecto estético propio de piezas cerámicas tales como escamados, hinchamientos y corazón negro, como se observa en la figura 7.

Figura 7. Acabado estético de las piezas



Fuente: Las autoras. 2005.

Figura 8. Textura acanalada en unidades ensayadas de 25%

Fuente: Las autoras. 2005.

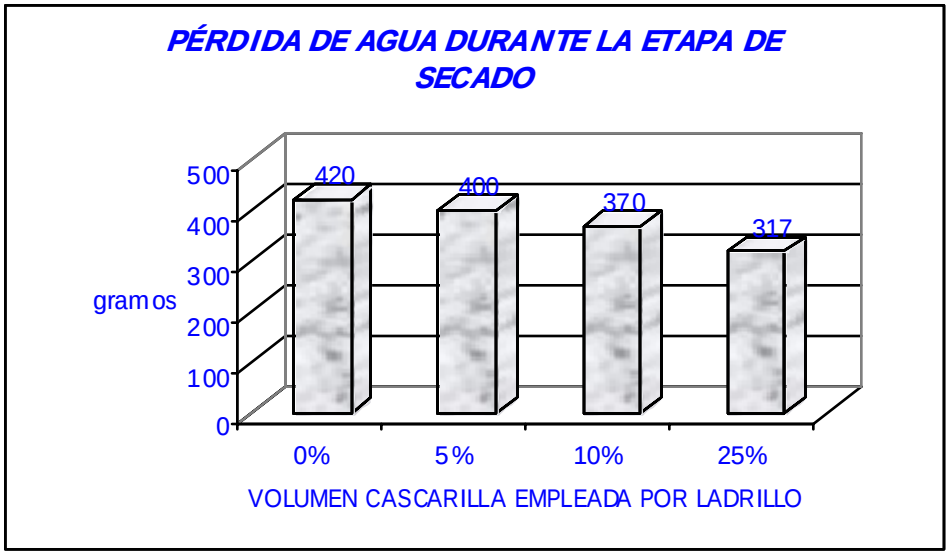
5.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL PROCESO

Tabla 3. Pérdida de agua durante la etapa de secado.

FASE	VOLUMEN CASCARILLA EMPLEADA POR UNIDAD CERÁMICA			
	0%	5%	10%	25%
VERDE	2990 g	2985 g	2980 g	2965 g
SECO	2570 g	2585 g	2610 g	2648 g
PÉRDIDA DE AGUA*	420 g	400 g	370 g	317 g

Fuente: Las autoras. 2005.

Figura 9. Pérdida de agua durante la etapa de secado.



Fuente: Las autoras. 2005.

Se observa que los pesos de los materiales en verde son menores al aumentar el contenido de cascarilla de arroz en las unidades, lo que demuestra que la cascarilla de arroz se comporta como aligerante** en el proceso; ayudando así en el ahorro de materia prima y en la facilidad de manipulación del material para su puesta en obra.

Para el peso de los materiales en seco se presenta una disminución en la pérdida de agua con respecto a la que no posee cascarilla en su composición, al aumentar el porcentaje de cascarilla de arroz en el contenido de las unidades.

* La pérdida de agua hace referencia a la cantidad de agua que es evaporada en el proceso de secado

** Material que aporta porosidad, y por lo tanto aligera el producto

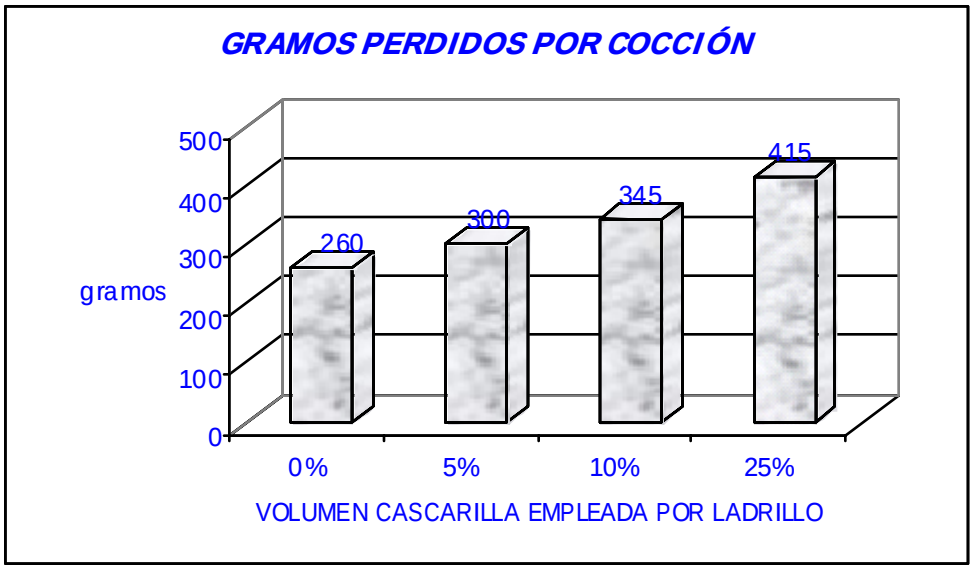
Esto se debe a los espacios formados por la cascarilla de arroz en el material donde el agua se acumula en estos poros para posteriormente salir por los canales formados por la misma, facilitando el drenaje.

Tabla 4. Pérdida de gramos por cocción en el material.

FASE	VOLUMEN CASCARILLA EMPLEADA POR UNIDAD CERÁMICA			
	0%	5%	10%	25%
SECO	2570 g	2585 g	2610 g	2648 g
COCINADO	2310 g	2285 g	2265 g	2233 g
GRAMOS PERDIDOS POR COCCIÓN*	260 g	300 g	345 g	415 g

Fuente: Las autoras. 2005.

Figura 10. Pérdida de gramos por calcinación en el material.



Fuente: Las autoras. 2005.

Se observa una disminución del peso del material cocinado a medida que aumenta el volumen de la cascarilla agregado.

Los gramos perdidos por cocción (materia prima) en piezas cerámicas corresponde aproximadamente a 11.3% del peso final del ladrillo patrón, es decir 260 g.

* Pérdida por cocción: es la pérdida de peso por ignición a 1000°C. Constituida por eliminación de agua, materia orgánica y posibles óxidos adheridos al mineral.

Se observa un aumento de gramos perdidos por cocción para las unidades ensayadas que corresponde esencialmente a la cantidad de agua que fue retenida por la cascarilla y no se evacuó durante el proceso de secado, pero que durante la cocción del material se hizo efectivo su drenaje, que a la vez fue facilitado por los canales capilares formados por la cascarilla al interior del material. Este aumento es directamente proporcional al volumen de cascarilla de arroz agregado, debido a la pérdida de ésta en el material durante este proceso.

Para el material seco se observa un aumento en peso a medida que aumenta el volumen de la cascarilla de arroz adicionado. Esto se debe a la retención de agua en los poros formados en las unidades por la presencia de dicho material.

En el proceso de cocción se presenta contracción del material, reduciendo su peso. Para las unidades de 25%, el material se contrae de manera irregular, ocasionando fisuras, lo que explica esta drástica disminución en el peso.

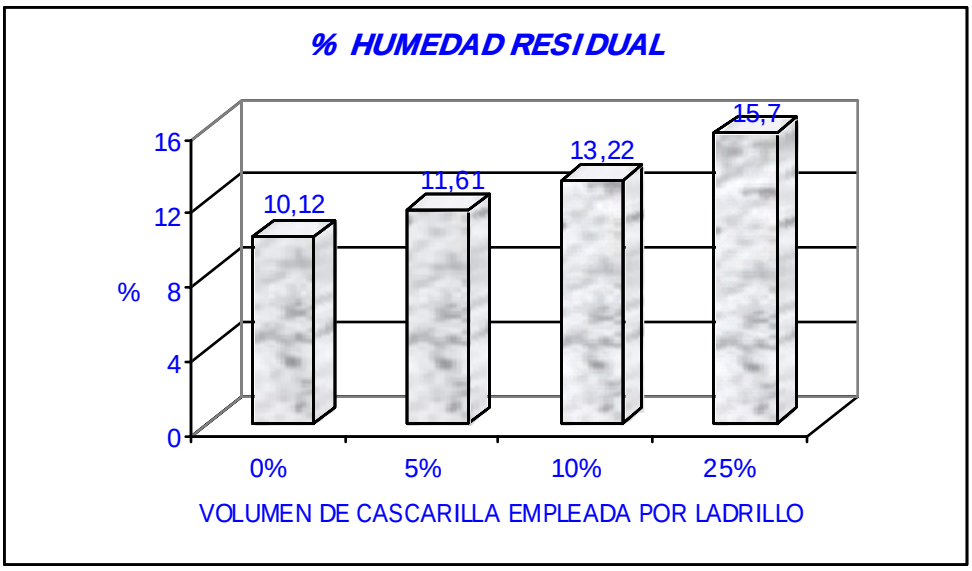
Esta contracción irregular se debe a la mayor cantidad de agua retenida, el considerable volumen de cascarilla de arroz agregado, su granulometría, su inadecuada distribución en el material, lo que ocasiona, en el proceso de cocción, un acelerado drenaje del agua en zonas de mayor concentración de cascarilla de arroz, generando zonas de mayor contracción que otras, lo que se evidencia en la formación de fisuras.

Tabla 5. Humedad residual.

FASE	VOLUMEN CASCARILLA EMPLEADA POR UNIDAD CERÁMICA			
	0%	5%	10%	25%
SECO	2570 g	2585 g	2610 g	2648 g
COCINADO	2310 g	2285 g	2265 g	2233 g
% HUMEDAD RESIDUAL	10.12%	11.61%	13.22%	15.7%

Fuente: Las autoras. 2005.

Figura 11. Humedad residual.



Fuente: Las autoras. 2005.

La Humedad residual es la humedad contenida en el material aún después del secado, antes de ser sometido a cocción.

Se puede observar que los porcentajes de humedad residual contenidos en las piezas aumentan a medida que se eleva el contenido de cascarilla de arroz, ratificando así la teoría sobre la retención de agua por parte de los materiales, debido a la porosidad formada, resultado de la presencia de cascarilla.

6. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Después de la realización de la prueba industrial, donde fue preciso integrar al proceso tecnológico la adición de un nuevo material (cascarilla de arroz) para la producción de las unidades cerámicas objeto de este estudio, a fin de ensayar la adaptabilidad práctica, examinando los resultados obtenidos en los productos a escala natural en cada una de las fases del proceso productivo; se efectúan las pruebas de laboratorio, realizadas en ambientes especializados, para la obtención de datos característicos del producto acabado.

El material utilizado fue el tolete de arcilla, es decir unidades macizas (sin perforaciones), considerado como pieza de uso intensivo en la industria de la construcción en Colombia y de fácil consecución en el mercado de la ciudad de Bogotá.

Para el control de calidad y para el conocimiento de las variaciones de las propiedades se realizan observaciones que permitan evaluar las características tanto físicas como mecánicas de los materiales, las cuales serán estimadas a partir de la realización de pruebas de laboratorio que permitan la obtención de datos correspondientes a la valoración de tales propiedades como la resistencia mecánica a la compresión y capacidad de absorción de agua, objeto de determinación para las unidades en este proyecto de investigación.

Para responder a los requisitos comerciales de aceptación de los productos es necesario evaluar aspectos físicos tales como el número y tipo de fisuras presentes en las muestras, escamados o hinchamientos tanto en las aristas como en las caras de corte de las piezas, presencia de manchas superficiales indeseadas como corazón negro. Después de verificar si estos defectos son o no aceptados, de acuerdo a su consecución en el mercado y a las exigencias del consumidor, se procede a realizar las pruebas de laboratorio que van a determinar si definitivamente estos productos responden a los requisitos expresados en las normas de aceptación, como garantía de mantenimiento de tales requisitos en el tiempo, demostrando de ésta forma la calidad de la producción.

Tabla 6. Propiedades físicas de las unidades de mampostería no estructural

TIPO	Resistencia mínima a la compresión MPa (kgf/cm^2)		Absorción de agua máxima en %			
			Interior		Exterior	
	Promedio 5 U	Unidad	Promedio 5 U	Unidad	Promedio 5 U	Unidad
M	14.0 (140)	10.0 (100)	17	20	13.5	14

FUENTE: NTC 4205 "Unidades de mampostería de arcilla cocida, ladrillos y bloques cerámicos"

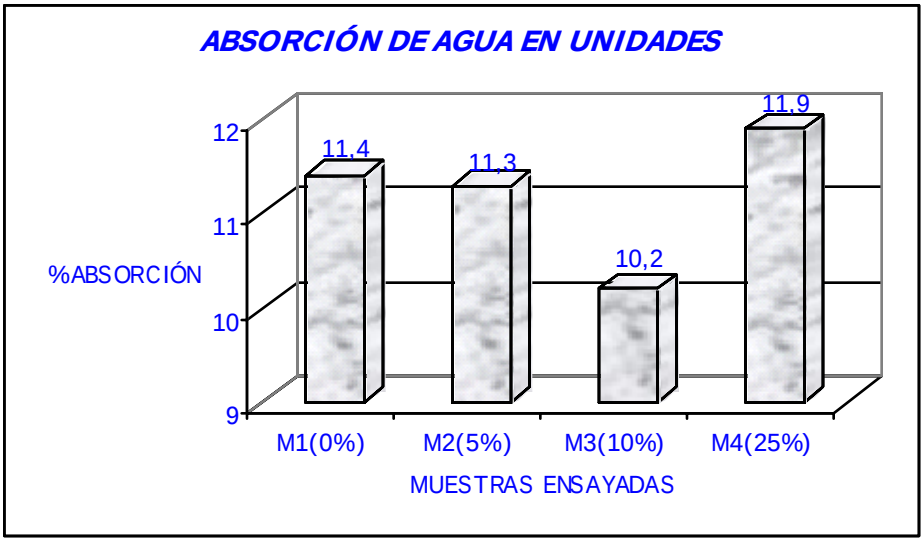
6.1 ABSORCIÓN DE AGUA EN UNIDADES

Tabla 7. Capacidad de absorción de agua en unidades

ABSORCIÓN (%)				
	M1 (0%)	M2 (5%)	M3 (10%)	M4 (25%)
Unidades	11.4	11.6	9.4	9.7
	11.5	11.4	11.2	12.7
	11.2	11.5	10.3	9.5
	11.6	11.3	9.6	13.9
	11.2	10.9	10.4	13.5
Promedio 5U	**11.4**	**11.3**	**10.2**	**11.9**

Fuente: Las autoras. 2005.

Figura 12. Capacidad de absorción de agua en unidades



Fuente: Las autoras. 2005.

Al no presentar fisuras capilares no hay retención de agua en dichas celdas, por lo tanto la absorción de agua se presenta en menor proporción para las unidades de 5% y 10%, en comparación con las unidades que no contienen cascarilla en su composición. Caso contrario se presenta en las unidades de 25%, debido a la incorrecta homogenización para la cantidad de desgrasante adicionado en este ensayo, además del tamaño de la cascarilla que afecta la granulometría de la materia prima ocasionando fisuras debido a la irregular contracción que se presenta durante los procesos de secado y cocción.

Los mejores resultados en cuanto a comportamiento de materiales en obra, se encuentran reflejados en menores valores de absorción de agua, lo cual se relaciona con la durabilidad del ladrillo y su capacidad de formar una buena adherencia con el mortero, sin afectar su calidad debido a la absorción de agua por parte de la unidad, lo cual se podría presentar si los resultados arrojados en las pruebas sobrepasaran la norma.

En general los resultados obtenidos en cuanto a capacidad de absorción de agua de unidades macizas de arcilla son excelentes, ya que además de cumplir con la norma, se comprueba que la adición de cascarilla en los ladrillos mejora sus características, observando de esta manera que el valor de 10.2% de absorción de agua es el más bajo presentado en estos ensayos y por consiguiente el mejor resultado obtenido para esta prueba.

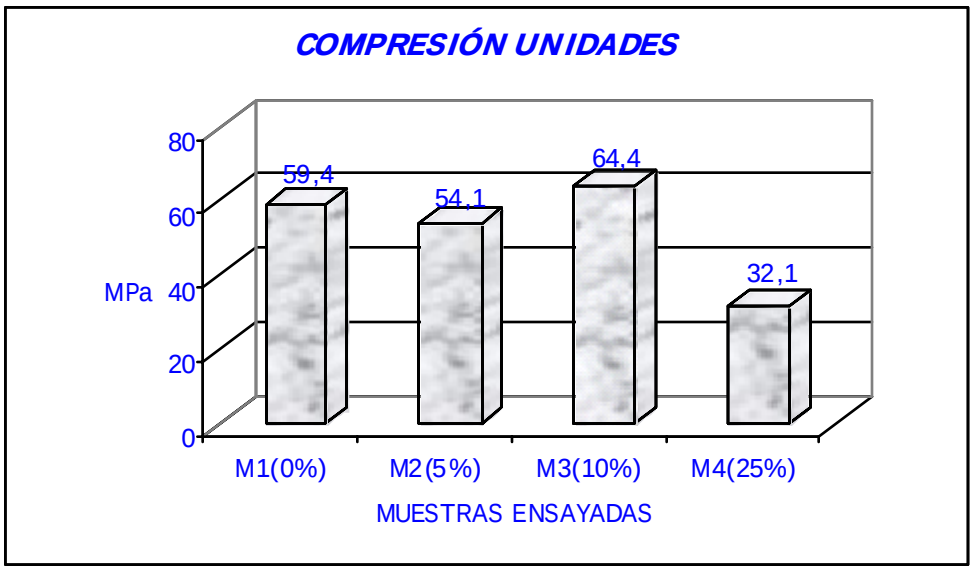
6.2 RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE UNIDADES

Tabla 8. Resistencia mecánica a compresión de unidades

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kgf/cm^2 ó Pa x 10^4)				
	M1 (0%)	**M2 (5%)**	**M3 (10%)**	**M4 (25%)**
Unidades	63.7	67	83.1	33.2
	54.3	49.7	62.3	31.6
	59.5	41.3	59.3	37.2
	52.4	55.1	65.1	28.8
	67.3	57.2	52.5	29.5
Promedio 5U	**59.4**	**54.1**	**64.5**	**32.1**

Fuente: Las autoras. 2005.

Figura 13. Resistencia mecánica a compresión de unidades



Fuente: Las autoras. 2005.

Para la resistencia a compresión de unidades macizas de arcilla es preciso tener en cuenta que en la práctica se encuentran valores de 43.9 MPa, 32.1 MPa, 28.2 MPa y 33.2 MPa, los cuales, aunque muy variados, son aceptados, ya que se emplean en obras de construcción.

A mayor resistencia a compresión, los muros levantados en construcción van a presentar un mejor comportamiento ante fuerzas ejercidas sobre ellos, además de un buen comportamiento sísmico.

Los resultados aquí obtenidos logran sobrepasar los máximos encontrados en la práctica a excepción de las unidades de 25% de cascarilla de arroz en su composición, para las cuales el valor obtenido es muy bajo en comparación con las otras unidades ensayadas; aún así este resultado se encuentra en el rango de los valores hallados en historiales.

La mejor resistencia a compresión la presentan las unidades de 10% de cascarilla de arroz en su composición, alcanzando a duplicar el valor logrado por las unidades de 25% y superando el valor arrojado por las unidades tradicionales o propias de la ladrillera, las cuales no tienen ningún cambio en su composición original, logrando demostrar de esta manera que la adición de cascarilla en el material mejora las propiedades de resistencia mecánica a compresión.

Se observa una disminución en la resistencia a compresión por parte de las unidades ensayadas con el 5% de cascarilla, con respecto a las unidades tradicionales, con el consiguiente aumento en resistencia del material por parte de las unidades con 10% de cascarilla de arroz en su composición, demostrando que es importante realizar ensayos continuos donde sea posible determinar el valor óptimo de desgrasante a ser adicionado en la fabricación de dichas unidades.

Debido a que la pérdida de agua no se realizó de modo relativamente uniforme en todo el conjunto de la pieza para las unidades del 25%, se provocan tensiones desequilibradas que reducen la resistencia del material, lo que se refleja en el menor valor obtenido para estas unidades ensayadas.

Figura 14. Ensayo de compresión de unidades

Fuente: Las autoras. 2005.

6.3 RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE MURETES

Las pruebas de laboratorio realizadas a las unidades de arcilla para mampostería (resistencia mecánica a la compresión y capacidad de absorción de agua) evalúan las propiedades de dichas unidades, brindando un parámetro de calidad de las piezas.

Con el fin de poder tener un concepto del comportamiento del diseño estructural del muro, fue preciso conocer las propiedades del conjunto que permitan determinar niveles de calidad que se le puedan permitir a la estructura de mampostería. El más conocido de estos valores es la resistencia a la compresión de muretes que corresponde al máximo esfuerzo que resiste un conjunto de mampostería (murete) al ser sometido a compresión.

Figura 15. Murete con unidades de 25%

Fuente: Las autoras. 2005

Las siguientes son variables que se consideran que afectan en un grado importante el comportamiento de los muros de mampostería: Geometría del muro (dimensiones), características de materiales (tipo de pieza, propiedades del mortero) y mano de obra.

La mano de obra, una de las variables que más inciden en el comportamiento final de la mampostería, es difícil de controlar y de evaluar. Para el presente trabajo no fue posible el levantamiento de los muros por parte del mismo operario por razones de períodos de realización de los ensayos, siendo este un inconveniente que incide en los valores obtenidos para la compresión de muretes.

La edad a la que fueron ensayados los muretes, según lo establecido por la NTC 3495 fue de 28 días contados a partir de la fecha de su realización.

La resistencia y modos de falla de la mampostería dependen directamente de las características de adherencia entre pieza y mortero (def. mezcla de cemento, arena y agua), por lo tanto es tan importante la calidad del mortero de pega como la del ladrillo.

A continuación se describe el modo de falla tan precisamente como es posible de acuerdo al comportamiento observado en los ensayos de compresión de muretes:

- Una rigidez inicial bastante alta que va disminuyendo con la aplicación de la carga.

- Una vez aparece la primera fisura visible de mampostería, el comportamiento cambia radicalmente, la rigidez comienza a deteriorarse rápidamente hasta que se

llega a un estado de agrietamiento claramente identificable, que por lo general atraviesa la totalidad del muro.

- Después de alcanzado el agrietamiento del muro, las deformaciones aumentan considerablemente al igual que el número y tamaño de grietas, la grieta atraviesa el mortero de pega y se conforma así el mecanismo de colapso del muro.

En general los muretes ensayados presentaron el comportamiento normal esperado en mampostería, por el modo de falla observado, a través de grietas verticales en las piezas, atravesando además el mortero de pega en la misma dirección, siendo ésta una falla por compresión.

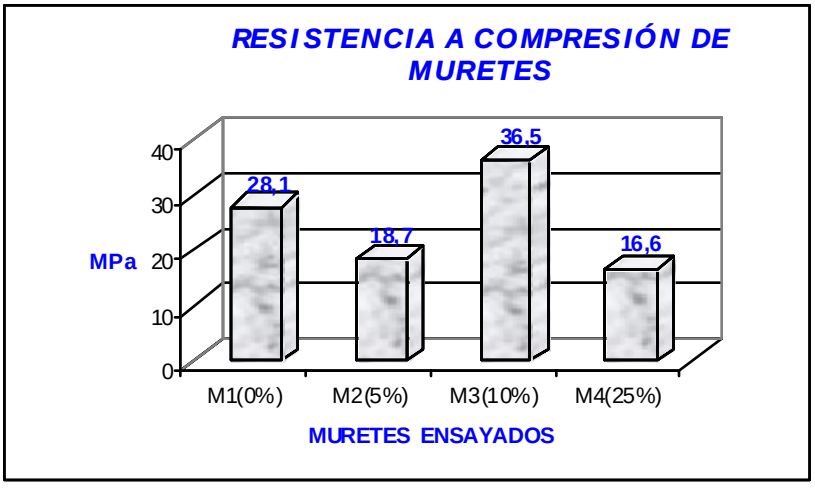
A continuación se presentan los datos y valores obtenidos para el ensayo de compresión de la mampostería:

Tabla 9. Resistencia mecánica a compresión de muretes.

MURETES	ÁREA (mm^2)	CARGA MÁXIMA (N)	RESISTENCIA MURETE (MPa)	$\frac{a_m}{e_m}$	FACTOR CORRECCIÓN	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (MPa)
M1 0%	30393	844900	27.8	2.10	1.01	**28.1**
M2 5%	29498	551200	18.7	2.02	1.00	**18.7**
M3 10%	29302	1069000	36.5	2.06	1.00	**36.5**
M4 25%	30759	563757	18.3	1.66	**0.91**	**16.6**

Fuente: Las autoras. 2005.

Figura 16. Resistencia mecánica a compresión de muretes.



Fuente: Las autoras. 2005.

El comportamiento de los muretes es coherente, en cuanto a ensayos de resistenciaa compresión, con el de las unidades que los contienen.

Para los muretes ensayados con unidades de 5% y 25% de cascarilla de arroz en su composición, se tienen los valores de resistencia más bajos, presentando un comportamiento similar al de las unidades que los conforman, siendo el resultado del murete de 25% el más bajo que se obtuvo en dicha prueba.

En comparación con datos encontrados de ensayos realizados para unidades macizas cerámicas en las mismas instalaciones, se tienen valores promedio de resistencia a compresión de muretes de 9.3 MPa, lo que demuestra que los valores obtenidos para los ensayos de compresión de muretes realizados para las unidades con 25% de cascarilla de arroz en su composición, se encuentran muy por encima de los valores registrados en historiales de datos para ensayos como estos; en los cuales no existe un valor establecido en alguna norma para su cumplimiento, sino que se evalúan en base a datos registrados de materiales empleados en construcción, los cuales presentan buen comportamiento en obra.

El resultado promedio que se obtiene para compresión de muretes de las unidades correspondientes al 10% de cascarilla de arroz, es de 36.5 MPa, que supera ampliamente el valor del murete patrón, el cual no contiene cascarilla en su composición, y alcanza a duplicar el de el murete con unidades de 25%, demostrando o comprobando nuevamente que el mejor comportamiento se presenta en las unidades ensayadas con el 10% en volumen de cascarilla de arroz adicionada a los ladrillos, con lo que se garantiza o asegura su uso en la industria de la construcción.

6.4 CONCLUSIONES FASE DE LABORATORIO

En cuanto a las propiedades mecánicas más importantes del ladrillo se encuentran la resistencia a la compresión y la capacidad de absorción de agua, para las que se establecen requisitos de cumplimiento en dichas unidades de mampostería en la Norma NTC 4205 “Unidades de Mampostería de Arcilla Cocida, Ladrillos y Bloques Cerámicos”, para las cuales, en el desarrollo de este estudio, se obtienen valores satisfactorios que sobrepasan los encontrados en historiales y superan la calidad de los materiales existentes, demostrando así el cumplimiento de los requisitos establecidos y garantizando su uso en la construcción.

Como análisis complementario a las propiedades de los materiales para mampostería se realiza el ensayo de resistencia a compresión de muretes, establecido en la Norma NTC 3495 “Método de Ensayo para Determinar la Resistencia a la Compresión de Muretes de Mampostería”, la cual sirve como guía, suministrando parámetros de

control, con el fin de obtener datos más cercanos ó próximos al comportamiento de la estructura en obra.

Por lo anterior, basados en una serie de observaciones y resultados experimentales provenientes de ensayos de laboratorio se concluye:

- Los mejores resultados en cuanto a comportamiento de materiales en obra, se encuentran reflejados en menores valores de absorción de agua, donde las unidades ensayadas con el 10% en volumen de cascarilla de arroz, presentan los mejores resultados (**10.2%**), lo cual se relaciona con la durabilidad del ladrillo y su capacidad de formar una buena adherencia con el mortero.

- A pesar de presentarse un valor más alto de absorción de agua en las unidades con 25% de cascarilla (**11.9%**), los resultados obtenidos de todas las unidades nunca sobrepasaron la norma de absorción máxima, tanto para interiores como para exteriores.

- Los resultados obtenidos en cuanto a resistencia a compresión de unidades, sobrepasan los máximos encontrados en la práctica; por lo que los muros levantados en construcción van a presentar un mejor comportamiento ante fuerzas ejercidas sobre ellos, además de un buen comportamiento sísmico.

- Las unidades de 10% superan el valor de resistencia a compresión de las unidades tradicionales de la ladrillera, demostrando que la adición de cascarilla en el material mejora las propiedades de resistencia mecánica a compresión.

- Los valores obtenidos para los ensayos de compresión de muretes superan ampliamente los registros de historiales del laboratorio, logrando el mejor resultado el de unidades con 10% de cascarilla (**36.5 MPa**), con lo que se garantiza el uso de este nuevo producto/material en la construcción, asegurando el buen comportamiento en obra.

- Para determinar la resistencia mecánica debe tomarse varios valores, que difícilmente resultan iguales, para obtener un valor medio. La reducción en la dispersión de datos de resistencia se obtiene con una buena homogenización de la materia prima y una mano de obra eficiente al momento de realizar los muretes.

- Los mejores resultados se presentan en las unidades del 10% de cascarilla de arroz en su composición, reflejándose en el menor porcentaje de absorción de agua y la mayor resistencia a compresión, tanto de unidades como de muretes, demostrando que el comportamiento del material ante el volumen de cascarilla agregado, logra mejorar las características del material, por lo tanto la calidad de los ladrillos.

- El común denominador de los resultados encontrados en diversos ensayos registrados en historiales de laboratorio, fue la gran variabilidad de los valores de propiedades mecánicas básicas de la mampostería, los cuales varían incluso para los mismos materiales. Aún así éstos son empleados en construcción presentando un buen comportamiento en obra.

- Para este estudio, la resistencia mecánica del producto depende tanto del porcentaje de desgrasante empleado como de su homogénea distribución en la pasta, lo cual le puede conferir al producto un aumento o disminución en la calidad de sus propiedades.

Tabla 10. Características del ladrillo seleccionado (10%)

LADRILLO	Características Físicas del Producto	Capacidad de Absorción de Agua (%)	Resistencia a Compresión de Unidades (MPa)	Resistencia a Compresión de muretes (MPa)
Macizo con adición del 10% de cascarilla	Buen acabado Aligeramiento del material Acanaladuras que permiten una mejor adherencia con el mortero	10.2	64.5	36.5

Fuente: Las autoras. 2005.

Para realizar el análisis de alternativas se consideran las unidades con el 10% de cascarilla de arroz en su composición, por la óptima calidad del producto, además del volumen de cascarilla de arroz empleado para su fabricación.

A continuación se presentan los gramos de cascarilla contenidos en cada una de las unidades ensayadas, 5%, 10% y 25%.

Tabla 11. Gramos de cascarilla en el material.

UNIDADES	PESO MATERIAL VERDE (g)	PESO CASCARILLA (g)
5%	2985	149.25
10%	2980	298.0
25%	2965	741.25

Fuente: Las autoras. 2005.

Aunque sería ideal emplear 741.25g de cascarilla por unidad (25%), por la cantidad empleada, no es posible realizar proyecciones sobre esta base, ya que los resultados tanto de sus propiedades físicas como mecánicas no son los mejores.

Se hace entonces una proyección, sobre la base de 10% de cascarilla utilizada para la fabricación de estas unidades macizas de arcilla, con el fin de establecer la posibilidad de incorporar este residuo como insumo en el proceso productivo de la industria ladrillera.

Se tiene que, normalmente, para las unidades de arcilla especificadas para este estudio, se emplean 110000 Kg de arcilla por lote (orden de producción) de 44000 unidades.

En el mes se realizan 4 hornadas y por cada hornada realizada son introducidas 44000 unidades. Es decir, se emplean 440000 Kg de arcilla al mes, con lo que para el año se tiene 5280 toneladas de arcilla.

Estos datos corresponden únicamente a las unidades macizas de arcilla especificadas para este estudio, no son representativos de la producción ladrillera en su totalidad (bloques, adoquines y productos especiales).

Teniendo como base que para un ladrillo con 10% de cascarilla en su composición se tiene un peso aproximado de 2610 g en seco, del cual 298 g corresponden a la cantidad de cascarilla contenida en el material, se tiene que:

1 lote/hornada = 44000 unidades = 110000 kg de arcilla

4 hornadas/mes = 440000 kg arcilla/mes = 5280 ton arcilla/año

Material con 10% de cascarilla de arroz en su composición:

298 gramos de cascarilla/unidad ---------- 2.5 kg arcilla/unidad
X ---------- 110000kg arcilla/hornada

X = 13112 kg cascarilla/hornada

4 hornadas/mes = 52448 kg cascarilla/mes
629376 kg cascarilla/año

Entonces, se tiene que para 5280 ton arcilla/año que son empleadas para la producción de ladrillos macizos en la ladrillera Las Tapias, existe un ahorro de material arcilloso de 629.376 ton/año correspondientes al 11.92%.

440000 kg arcilla/mes	=	176000 unidades/mes
52448 kg arcilla/mes	=	20979 unidades/mes

Con el ahorro de arcilla, al emplear cascarilla de arroz en el material, se presenta un aumento en la producción, que en este caso corresponde a 20979 unidades más durante el mes, es decir, 251750 ladrillos al año.

Con el fin de extender esta proyección a las demás regiones de producción ladrillera en el país, se tiene:

Tabla 12. Zonas de producción ladrillera

ZONA	PRODUCCIÓN		PRODUCCIÓN TOLETE		
	(ton/mes)	(ton/año)	(%)	(ton/mes)	(ton/año)
BOGOTÁ	177038	2124456	14.3	25316	303797
ANTIOQUIA	41176	494112	24.5	10088	121057
EJE CAFETERO	8356	100272	1	84	1008
NARIÑO	3833	45996	88.9	3408	40890
NORTE DE SANTANDER	27222	326664	14.5	3947	47366
VALLE DEL CAUCA Y CAUCA	42989	515868	38.4	16508	198093
CENTRO	27109	325308	42.2	11494	137931
• Tolima	3374	40488	64.3	2169	26034
• Huila	5715	68580	20.9	1194	14333
• Meta	4136	49632	39.5	1634	19605
• Boyacá	13885	166620	51.7	7179	86143

Fuente: Reporte de Diagnostico de la Industria Ladrillera y Cerámica de Santa fe de Bogotá y Zonas de Influencia. ANFALIT. 1999

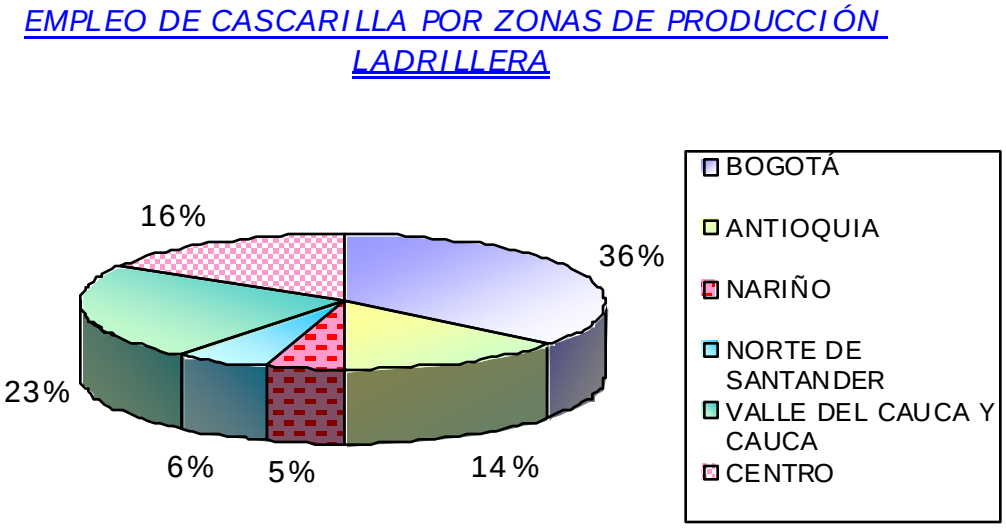
Se realiza el cálculo de ahorro de arcilla para la producción de las unidades macizas, objeto de este estudio, con lo cual se puede deducir cuanta cascarilla es empleada en el proceso y con esto el aporte en la reducción de la cantidad de cascarilla de arroz generada en el país.

Tabla 13. Cascarilla empleada por zona para la fabricación de ladrillos

ZONA	PRODUCCIÓN TOLETE	AHORRO DE ARCILLA	CASCARILLA EMPLEADA DE LA PRODUCCIÓN ANUAL NACIONAL
	(ton/año)	(ton/año)	(%)
BOGOTÁ	303797	36213	6.58
ANTIOQUIA	121057	14430	2.62
EJE CAFETERO	1008	120	0.02
NARIÑO	40890	4874	0.89
NORTE DE SANTANDER	47366	5646	1.03
VALLE DEL CAUCA Y CAUCA	198093	23613	4.3
CENTRO	137931	16441	2.99
• Tolima • Huila • Meta • Boyacá	26034 14333 19605 86143	310 1709 2337 10268	0.06 0.31 0.43 1.87

Fuente: Las autoras. 2005.

Figura 17. Cascarilla empleada por zona para la fabricación de ladrillos



Fuente: Las autoras. 2005.

La producción anual nacional de cascarilla de arroz corresponde a 550000 toneladas, para las cuales se calculan los porcentajes de utilización en el desarrollo de la alternativa objeto de éste proyecto, en la última columna de la tabla.

En total, para la producción de ladrillos macizos a nivel nacional se emplea el 18.43% de la producción total anual de cascarilla de arroz, siendo éste porcentaje representativo para el sector arrocero.

7. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE MANEJO DE CASCARILLA

Al no encontrarse una alternativa que cumpla con las expectativas de un alto manejo de volumen de cascarilla de arroz, sin causar impactos significativos al medio y de bajo costo en su implementación; los generadores de este residuo agroindustrial, se ven obligados a depositarla en lotes a espera de una salida a este problema.

A nivel nacional el manejo que se le da a la cascarilla de arroz es la quema a cielo abierto, seguida del uso de la ceniza en floricultura (tostado) con un 23%, y las demás alternativas participan con porcentajes entre el 5% y el 10% (VER ANEXO E), las cuales presentan limitaciones en su desarrollo, dado que los volúmenes manejados por los diferentes procesos productivos son mínimos en comparación con el volumen generado por la industria molinera, al igual que por problemas de transporte, presentándose una situación de inviabilidad de estas alternativas para el manejo de la cascarilla, en cuanto a altos costos y problemas ambientales.

Debido a lo anterior se pretende evaluar la alternativa desde el punto de vista Técnico, Económico, Ambiental y Social, del insumo de la cascarilla de arroz en la fabricación de ladrillos con respecto a los manejos actuales que se le efectúa a éste residuo; llevando a cabo una identificación de aspectos y la relación de cada uno de ellos con el fin de encontrar los beneficios a los que conlleva la práctica de dichas actividades y así obtener la mejor alternativa a desarrollar.

Por lo tanto se consideran criterios ambientales, técnicos y económicos que permitan evaluar de manera conjunta y equilibrada las alternativas de manejo más relevantes tanto para el sector arrocero como para el país:

a. **Quema a cielo abierto**
b. **Tostado**
c. **Insumo para la fabricación de ladrillos**

7.1 DESCRIPCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

Por volumen de cascarilla empleado, viabilidad económica, demanda del producto obtenido, generación de empleo y aspectos ambientales, las alternativas **a** y **b** que a continuación se describen, son consideradas como las de mayor importancia en cuanto a su ejecución; es decir, para la Quema a Cielo Abierto aunque no se tiene con precisión el porcentaje de industrias que lo practican, se tiene por información

del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (**MAVDT**) y visitas de campo, que ésta se desarrolla en la gran mayoría de molinos instalados en los departamentos de Huila, Tolima y Meta. Para el caso de Tostado de cascarilla de arroz se tiene información sobre el porcentaje empleado para este fin, el cual corresponde al 23% de la producción anual total de éste residuo.

7.1.1 Alternativa 1: Quema a cielo abierto

GENERALIDADES

Ésta práctica se encuentra prohibida por el Decreto No. 948 de 1985, artículo 29. Es preciso evaluar esta alternativa debido al considerable volumen de cascarilla de arroz manejado, la generación de empleo, rentabilidad del producto obtenido (ceniza) para su comercialización y por el desarrollo que se le da en la actualidad en las diferentes zonas del país, sabiendo que ésta práctica es ilegal.

Los promotores de esta alternativa decidieron realizar esta práctica de forma controlada, debido a los problemas con la Autoridad Ambiental, Administraciones Municipales y la población aledaña a estas zonas; en donde se realizan volteos constantes para obtener un producto de buena calidad, adecuado a las necesidades del comprador, el cual exige que este residuo tenga un porcentaje de ceniza entre el 70% y el 80%.

Esta actividad se está desarrollando teniendo en cuenta parámetros de control como:

a) No cercanía a fuentes hídricas.

b) Fuera del perímetro urbano.

c) No utilización de zonas frágiles.

d) Zonas despejadas de instalaciones eléctricas.

e) Implantación de barreras vivas para manejo paisajístico.

Todo esto con el fin de no perturbar la calidad de vida de los pobladores, ni alterar de manera significativa al medio ambiente.

Aunque esta alternativa tenga un manejo ambiental adecuado para mejorar o minimizar los impactos ambientales que causa, está prohibida por la ley.

Es importante mencionar que la combustión de éste residuo se hace de forma incompleta, generando altas emisiones de CO_2 y CO, aportando a los fenómenos de cambio climático, efecto invernadero y problemas a la salud de los operarios; siendo estos los impactos más significativos y de tipo acumulativo y residual.

IMPLICACIONES Y/O REQUERIMIENTOS

- Disposición de un terreno adecuado.
- Medidas de protección en seguridad industrial.
- Estudio para el análisis de emisiones generadas.
- Estudios de suelos desde el punto de vista fisicoquímico.

VENTAJAS

- Baja inversión.
- No requiere personal especializado.
- Manejo de alto volumen de cascarilla.
- Producto utilizado como insumo en el proceso de cultivos de flores.
- Genera empleos directos e indirectos (quemadores y comercializadores del producto).

DESVENTAJAS

- Alta emisión de contaminantes.
- Problemas a la salud de los trabajadores.

- Modificación de las propiedades del aire.
- Incumplimiento de las normas.
- Deterioro del suelo y del paisaje.
- Conflictos con vecinos y población aledaña.
- Sanción y/o multas de carácter ambiental.
- Cierre de la Industria.

7.1.2 Alternativa 2: Tostado

GENERALIDADES

La alternativa maneja un volumen significativo de cascarilla de arroz, a través de hornos tostadores de empresas privadas. Ésta práctica genera emisiones de una forma controlada tanto en su combustión como en la salida de gases y partículas, por la instalación de sistema de control de contaminantes, lo cual es de fácil detección por las normas ambientales establecidas por el Decreto 02 de 1982. Así mismo presenta generación de empleo de aproximadamente 25 personas por horno operado, distribuido en las áreas de administración, ventas, operación, transporte y cargue. Por otro lado genera aceptabilidad por parte de la Autoridad Ambiental Regional y Nacional, los industriales y la población de las áreas donde se ha implementado (Tolima, Meta).

El objetivo del tostado es semiquemar la cascarilla de una manera técnica donde el producto obtenga entre el 70% a 80% de ceniza, esto de acuerdo a las exigencias del comprador (cultivo de flores).

Como incertidumbre para la implementación de esta alternativa se encuentran las características de las emisiones, no por la combustión, sino por la calidad de la cascarilla en cuanto a las sustancias que contenga, provenientes de su siembra y manejo agroindustrial.

IMPLICACIONES Y/O REQUERIMIENTOS

- Evaluación económica y ambiental.
- Solicitud de Licencia Ambiental.
- Conocimiento del diseño interno y funcionamiento del horno.
- Diseño e instalación de un sistema de control de contaminantes.
- Muestreos para monitoreo de emisiones.
- Mantenimiento preventivo.

VENTAJAS

- Aceptabilidad de las Autoridades Ambientales, industriales y población de la región.
- Implementación en los departamentos de Tolima y Meta.
- Manejo de altos volúmenes de cascarilla.
- Disminución de Impactos Ambientales en la fuente generadora.
- Mercado sostenible del producto.
- Generación de empleo.

DESVENTAJAS

- Alta inversión inicial.
- Generación de emisiones e incertidumbre de las características de estas.
- Limitación a zonas generadoras del residuo.

7.1.3 Alternativa 3: Insumo para la fabricación de ladrillos

GENERALIDADES

Es una alternativa de uso como insumo en el proceso de fabricación de ladrillos de arcilla que no presenta incremento en los impactos ambientales propios de la actividad ladrillera, ni efectos adversos a la salud de los trabajadores ni de la comunidad; convirtiéndose en una alternativa de **PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA**.

Debido a las propiedades físico químicas de éste residuo agroindustrial se hace posible emplearlo como desgrasante, materia prima importante en el proceso productivo, presentando mejoría en la calidad del producto elaborado, la cual ha sido comprobada con la realización de pruebas de resistencia de materiales, lo que garantiza su aplicación en la industria de la construcción.

Así mismo, desde el punto de vista técnico la alternativa no presenta vinculación de procesos adicionales, ni adición de sustancias durante el proceso productivo normal. En cuanto al análisis ambiental no genera residuos, vertimientos ni emisiones diferentes a los del proceso productivo propio de la actividad industrial ladrillera.

IMPLICACIONES Y/O REQUERIMIENTOS

- Destinación de un sitio de almacenamiento.
- Transporte a industrias ladrilleras.

VENTAJAS

- No requiere tratamientos previos para su utilización en el sector constructor.
- Disminución de Impactos Ambientales en la fuente generadora.
- Aumento de la vida útil del yacimiento de arcilla.
- Bajos impactos en el área de almacenamiento.
- Constituye un aporte significativo en el desarrollo de tecnologías limpias.

- Presenta mejoras en las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo.
- Cumplimiento de las Normas NTC 4205, lo que garantiza su comercialización.
- Mejoramiento de la calidad del producto asegurando su uso en el sector constructivo.
- No altera las actividades del proceso productivo de fabricación de ladrillos.
- No se requiere personal especializado.
- Aplicabilidad a nivel nacional.
- Generación de empleo.
- Aumento de producción ladrillera.
- Inversión moderada para la implementación.

DESVENTAJAS

- Emplea menor porcentaje de cascarilla con respecto a las alternativas anteriores.
- Localización de las ladrilleras de alta producción con respecto a las zonas arroceras.

7.2 CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Para la evaluación de las diferentes alternativas propuestas se considera razonable efectuar una comparación cualitativa y cuantitativa de cada una de las opciones. Dentro de este contexto, se realizó un análisis económico y funcional que se muestra a continuación.

7.2.1 Análisis económico

Se efectúa una comparación de los costos de inversión inicial y los costos anuales de operación y mantenimiento en términos de valor presente para establecer un orden de elegibilidad. La evaluación económica de las tres alternativas se hizo comparando entre sí su costo anual equivalente.

El costo anual equivalente (CAE) se calculó a partir de un valor presente total (PT), y este corresponde a la suma de la inversión inicial y el valor presente de los costos varios (operación, mantenimiento, monitoreos ambientales y transporte).

Los cuadros de costos para las diferentes alternativas se presentan en el ANEXO D**.** Un resumen de los resultados finales se muestra en la tabla 14.

Los costos establecidos para cada una de las alternativas son estimados debido a la complejidad del tema, ubicación de los molinos y demás condiciones que permitan la variación de los precios de cada uno de los aspectos que se tienen en cuenta para este análisis.

El índice económico se estableció con base en la alternativa de menor costo que en este caso corresponde al insumo en la fabricación de ladrillos.

Tabla 14. Análisis económico de alternativas de tratamiento

ITEM	ALTENATIVAS DE TRATAMIENTO		
	QUEMA	TOSTADO	FABRICACIÓN DE LADRILLOS
TOTAL COSTOS INICIALES	_	$ 75'000.000	33'190.920
COSTO ANUAL EQUIVALENTE	$ 55'232.040	$ 478'336.000	43'297.920
INDICE ECONÓMICO	**0.78**	**0.1**	**1.00**

FUENTE: Las autoras. 2005.

7.2.2 Análisis Funcional

Contempla una evaluación de las alternativas desde varios puntos de vista relacionados con la funcionalidad y aplicabilidad de las propuestas. Esto incluye, desde luego, aspectos técnicos, ambientales y sociales. En este caso el índice de funcionalidad se determinó con base en la alternativa que presenta la máxima calificación dentro de los aspectos evaluados.

Tabla 15. Matriz general para análisis funcional de alternativas

ITEM	ALTENATIVAS DE MANEJO		
	QUEMA	TOSTADO	FABRICACIÓN LADRILLOS
ASPECTOS TÉCNICOS			
Manejo de volumen de cascarilla	3	3	2
Requerimiento tecnológico	3	1	3
Calidad de la cascarilla para el proceso	3	3	2
Desarrollo de la alternativa en el país	1	2	3
Calidad del producto final	2	2	3
ASPECTO AMBIENTAL			
Cumplimiento de normas de emisión en cuanto a partículasy gases	1	2	3
Aporte contaminante a fuentes hídricas	1	2	2
Generación de residuos sólidos	3	3	3
Alteración de las propiedades físico químicas del suelo	1	2	2
Cambios al paisaje	1	2	3
ASPECTO SOCIAL			
Generación de empleo por la operación de la alternativa	2	3	2
Requerimiento de personal especializado para la operaciónde la alternativa	3	2	3
Perturbación de la calidad de vida de la población	1	3	3
Aceptación de la alternativa por parte de la Autoridad Ambiental	1	3	3
Cumplimiento de las condiciones de seguridad industrial y salud ocupacional	1	1	3
TOTAL	27	34	40*
INDICE FUNCIONAL	**0.68**	**0.85**	**1.00**

Escala de variación de 1 a 3, teniendo en cuenta que el menor valor corresponde al de mayor afectación.
*La calificación se realiza en base a la utilización de la cascarilla en el producto y no por los impactos causados por la actividad ladrillera.
FUENTE: Las autoras. 2005.

7.2.3 Indicadores de gestión

Mediante las alternativas escogidas se pudo observar que todas van hacia un mismo objetivo que es lograr un amplio consumo de cascarilla de arroz. Por esta razón, se realizará una exhaustiva evaluación a los diferentes aspectos descritos; donde se hace necesario el uso de los indicadores de gestión, los cuales dan una valoración de las alternativas seleccionadas.

Entre los indicadores de gestión a evaluar, se encuentran:

ECONOMICO: Se refiere principalmente a la inversión que se va a realizar para el desarrollo de la alternativa, así como los beneficios económicos que conlleva su práctica.

AMBIENTAL: Evalúa impactos ambientales generados por el desarrollo de las actividades de las alternativas.

TECNICO: Referido principalmente a los aspectos de manejo de cascarilla y operación de la alternativa, teniendo en cuenta la facilidad del desarrollo de la actividad en el país, con un desempeño eficaz y rentable.

SOCIAL: Evalúa aquellos aspectos en los cuales el hombre se ve afectado de una u otra manera y su relación frente a los otros indicadores de gestión.

Dicha evaluación se hará mediante dos tipos de matrices, la primera consistirá en calificar cualitativamente cada uno de los parámetros más representativos de las tres alternativas y en la segunda matriz se evaluará cuantitativamente tanto por concepto como por porcentaje cada una de los parámetros valorados en la tabla anteriormente expuesta. Se debe aclarar, que la opinión dada en el primer cuadro matricial será la base para dar la calificación en la segunda tabla, como se explicará más adelante.

7.3 Diseño de matrices para evaluar los indicadores de gestión

Los dos tipos de matrices evaluarán tanto a los indicadores de gestión como a los parámetros más importantes de cada uno de las alternativas. El valor de cada indicador de gestión, estará dado por la cantidad de beneficios que trae al molino, siendo los de mayor valor (30%) e importancia los indicadores económico y técnico, mientras que los indicadores ambiental y social que aportan menos beneficios directos, tendrán un valor porcentual (20%), esto se debe a que los primeros se relacionan con la inversión que el molino tendrá que realizar para cumplir con todos los requerimientos técnicos de la Autoridad Ambiental y si esto se ejecuta a cabalidad, los segundos estarán dentro de los rangos establecidos por la ley, así como no existirá ninguna incompatibilidad con el personal encargado ni con la comunidad aledaña.

Las matrices presentadas a continuación, darán la valoración total de cada una de las alternativas; dichos cuadros tendrán tres columnas principales, en una primera columna estarán los indicadores de gestión a ser estudiados, en la segunda columna se ubicarán los parámetros más importantes a ser estimados en cada uno de los indicadores y en una tercera columna se introducirá la calificación tanto cualitativa como cuantitativa de cada uno de los parámetros e indicadores evaluados.

Es importante establecer, que cada uno de los indicadores de gestión tendrá un número determinado de parámetros evaluativos que servirán de base para la calificación total de cada alternativa y por ende para la escogencia de la misma. Como se explicó anteriormente, la primera matriz calificará de forma cualitativa los parámetros contenidos en cada uno de los indicadores de gestión con referencia a los tres tipos de alternativas para la utilización de la cascarilla de arroz.

Para la segunda tabla será dada cuantitativamente en concepto como buena (B), regular (R) ó deficiente (D) y como por porcentaje estará determinado dependiendo del concepto y del indicador a ser evaluado en cada uno de los parámetros expuestos.

Cabe aclarar, que los parámetros evaluados tendrán una estimación cuantitativa porcentual equivalente al valor del indicador, es decir, si el indicador es "Económico o Técnico" que tiene una cuantía del 30% cada parámetro valdrá 6% y si el indicador es del 20% como son el "Ambiental y el Social", cada uno de los cinco parámetros correspondientes a este indicador tendrá un valor igual a 4%.

Así mismo, la calificación cuantitativa porcentual de los parámetros evaluados en cada alternativa, estará determinado por el porcentaje de los indicadores de gestión y del valor conceptual dado en la segunda matriz en cada uno de los parámetros evaluados, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 16. Valoración cuantitativa conceptual de los indicadores de gestión

PORCENTAJE DEL INDICADOR DE GESTION	VALORACION CUANTITATIVA CONCEPTUAL		
	BUENO (B)	*REGULAR (R)*	*DEFICIENTE (D)*
ECONOMICO (30%)	6%	3%	0%
AMBIENTAL (20%)	4%	2%	0%
TÉCNICO (30%)	6%	3%	0%
SOCIAL (20%)	4%	2%	0%

FUENTE: Diagnostico para el control y manejo de las emisiones atmosféricas en la planta de coquería, subproductos y hornos de solera de Acerías Paz del Río S.A. Belencito – Boyacá 2004.

La sumatoria de los valores cuantitativos porcentuales en cada uno de los parámetros evaluativos de cada indicador de gestión dará la calificación porcentual a dichos indicadores y su sumatoria dará el valor cuantitativo porcentual, por consiguiente, la alternativa que tenga la mayor cuantía será la más idónea en cuanto a los aspectos ambientales, técnicos y económicos. A continuación se presentan las tablas de evaluación cualitativa y cuantitativa para cada una de las alternativas estudiadas.

Tabla 17. Calificación cualitativa

INDICADORES DE GESTION	PARAMETROS EVALUATIVOS	CALIFICACION CUALITATIVA		
TIPO DE ALTERNATIVA		**QUEMA**	**TOSTADO**	**FABRICACIÓN LADRILLOS**
ECONÓMICO	Inversión inicial	Inversión baja, la alternativa no requiere de maquinaria ni equipos complejos por ser un proceso no tecnológico.	Inversión inicial alta para la adquisición del horno tostador y su implementación.	Inversión inicial moderada en cuanto al costo del transporte de la cascarilla a la ladrillera.
	Costos de operación y mantenimiento	No requiere de esta inversión.	Requiere de estudios para la medición y evaluación de emisiones atmosféricas y calidad del aire.	Es necesario realizar mantenimiento preventivo en la maquinaria del proceso industrial, aunque estos están implícitos en su práctica normal.
	Comercialización del producto final	El producto a utilizar se emplea en un 100% lo que garantiza su práctica.	El producto es comercializado en un 100% lo que garantiza su práctica.	El producto (ladrillo) es de gran demanda en el mercado, lo que garantiza su comercialización.
	Beneficios económicos	Actualmente se tiene asegurada una negociación entre quemadores y comercializadores del producto lo que garantiza ingresos a la región.	Esta práctica incentiva la actividad en la región dando oportunidad laboral por cada horno operado. Se desarrolla una negociación entre quemadores y comercializadores del producto.	Beneficios económicos para el sector ladrillero por el mejoramiento de la calidad del material y aumento de producción. Debido al transporte de la cascarilla se generan beneficios para éste sector.
	Relación beneficio recibido / Inversión realizada	La ejecución de esta alternativa es sencilla, por lo que no requiere una inversión alta y recibe beneficios altos ya que la comercialización del producto está asegurada con la floricultura. Se recibe beneficios económicos, pero se está comprometiendo la salud de la comunidad y la calidad de l ambiente.	Se presenta un beneficio alto con la inversión realizada ya que existe una gran demanda del producto.	Al desarrollar esta alternativa se practica PML, lo que conlleva a incentivos tributarios, deducción de impuestos a compra de maquinaria empleada con fines ambientales, además de obtener mayor producción y mejoras en la calidad del producto.
AMBIENTAL	Cumplimiento de las normas de emisión en cuanto a partículas y gases	A pesar de controlar la combustión, se genera emisión de gases y material particulado; además toda práctica de quema a cielo abierto se encuentra prohibida (Dcto 948 de 1995).	A pesar de que cuenta con sistema de control de gases, se generan emisiones; por lo que se deben realizar estudios para su medición y evaluación.	El desarrollo de esta actividad no genera más emisiones que las propias del proceso de fabricación de ladrillos.
	Generación de contaminantes a fuentes hídricas	Por ser una práctica al aire libre, y con un tiempo de almacenamiento continuo, se produciría arrastre de material ocasionando alteraciones de carácter físico en los cuerpos de agua. (Colmatación de la superficie con cascarilla).	Se presenta menor impacto, debido a que en esta alternativa el tiempo de permanencia del residuo es transitorio.	Se presenta menor impacto, debido a que en esta alternativa el tiempo de almacenamiento del residuo es transitorio.
	Generación de residuos sólidos	El desarrollo de esta práctica tiene asegurado la comercialización del producto y el subproducto generado; ya que el producto que se obtiene es la ceniza, la cual es comercializada para los viveros y cultivos de flores y el subproducto (residuos de ceniza) es empleado en pulimento de metales.	El producto que se obtiene del proceso es la ceniza, la cual es comercializada para los viveros y cultivos de flores y el subproducto (residuos de ceniza) es empleado para pulimento de metales.	En el desarrollo de esta alternativa no se generan residuos. La cascarilla empleada como insumo, queda dispuesta en el interior del material.
	Alteración de las propiedades físico químicas del suelo**	Se presenta modificación, producto del contacto permanente con el suelo, tanto en su almacenamiento como en el desarrollo de la quema (agroquímicos).	Se modificarían las propiedades del suelo debido al contacto con el residuo durante el almacenamiento, al no contar con protección y ubicación adecuada.	Se puede presentar alteración en las propiedades del suelo debido al contacto con el residuo durante el almacenamiento, al no contar con protección y ubicación adecuada.
	Cambios al paisaje	Se presenta alteración del paisaje, debido a la disposición de toneladas de residuo agroindustrial, además de la presencia de humo producto de la combustión.	Se evidencia alteración del paisaje del sector por la presencia del tostador y las emisiones que genera.	Se presenta un mínimo cambio del paisaje por el depósito de la cascarilla al interior de las instalaciones de la ladrillera.

*La calificación se realiza en base a la utilización de la cascarilla en el producto y no por los impactos causados por la actividad ladrillera.
**No se cuenta con estudios fisicoquímicos del suelo, con los que se pueda corroborar esta información.

INDICADORES DE GESTION	PARAMETROS EVALUATIVOS	CALIFICACION CUALITATIVA		
TIPO DE ALTERNATIVA		**QUEMA**	**TOSTADO**	**LADRILLOS**
TÉCNICO	Manejo de volumen de cascarilla	En Colombia actualmente es la práctica que utiliza mayores volúmenes de cascarilla de arroz, aunque no se tiene un porcentaje aproximado por ser una práctica ilegal.	Maneja altos volúmenes de cascarilla, empleando ésta alternativa el mayor porcentaje (23%)[10] de la producción nacional anual de cascarilla.	Emplea un volumen de cascarilla considerable para la industria molinera (18% de la producción nacional anual), ya que otras alternativas de manejo (VER ANEXO E) solo emplean entre el 5% y 10%.
	Requerimiento tecnológico	Se realiza en un lote al aire libre, en donde la cascarillaes sometida a un proceso de combustión por medio de fuego directo, en el cual se va volteando la cascarilla para controlar su quema, garantizando un producto adecuado a las necesidades de los cultivos de flores. Es una alternativa de fácil acceso a la población por no ser una práctica tecnológica.	Por medio de hornos tostadores se realiza la semiquema de la cascarilla de arroz, de una forma técnicamente aceptable para venderla al consumidor final (cultivo de flores).	Debido a las propiedades físico-químicas de éste residuo agroindustrial se hace posible emplearlo como desgrasante, materia prima importante en el proceso productivo, presentando mejoría en la calidad del producto elaborado, lo que garantiza su aplicación en la industria de la construcción.
	Accequibilidad de maquinaria parael desarrollo de la alternativa	Por ser un proceso rudimentario no requiere de maquinaria para su ejecución.	Es necesario adquirir un horno tostador al igual que colocar un sistema de control de emisiones.	Para el desarrollo de esta alternativa no se requiere de maquinaria diferente a la necesaria para el proceso de fabricación de ladrillos.
	Desarrollo de la alternativa en el país	A pesar de estar prohibida, esta práctica se realiza en varias zonas del país.	Maquinaria y procesos ya implementados en los departamentos de Tolima y Meta. Esta alternativa ofrece una mayor viabilidad de desarrollo por obtener buenos resultados, en cuanto a manejo de cascarilla, demanda del producto terminado, empleo en la región, permiso de las autoridades ambientales y aceptabilidad de los industriales y población de la región. Teniendo que mejorar su sistema de control de gases. Esta alternativa es aplicable solo a las zonas productoras de arroz.	Aunque se dificulta el acceso al material para las ladrilleras alejadas al sector generador, esto se ve retribuido con el aumento de producción y calidad del producto. Tiene aplicabilidad en el sector ladrillero del país.
	Calidad del producto final	Se obtiene una cascarilla semiquemada a un 70% 80%, lo cual cumple con las exigencias requeridas por los compradores para su uso como sustrato en cultivos de flores.	Se obtiene una cascarilla semiquemada a un 70% 80%, lo cual cumple con las exigencias requeridas por los compradores para su uso como sustrato en cultivos de flores.	Se obtiene un producto de excelente calidad, que cumple con los requisitos establecidos para este tipo de ladrillos, logrando la comercialización del producto.
SOCIAL	Generación de empleo por la operación de la alternativa	La quema de la cascarilla de arroz se convirtió en una oportunidad laboral y de sustento de las familias, generando empleos directose indirectos (quemadores y comercializadores del producto) pues la quema de la cascarilla y su comercialización, necesitan de mano de obra que la realice.	El equipo genera 25 empleos directos[11], además de contar con la participación de transportadores, cargadores, administradores y/o proveedores.	No demanda personal adicional al normal de una actividad ladrillera. Beneficia a los transportadores pues ellos participan en la comercialización desde el punto de generación de la cascarilla hasta el punto de disposición final.

[10] MORENO, Op. Cit., p. Anexo.
[11] Ibid., p. Anexo.

	Requerimiento de personal especializado para la operación de la alternativa	El personal no debe ser especializado, pero si debe tener una capacitación sobre las medidas de protección personal que conlleva la práctica de ésta actividad.	El personal debe conocer el diseño de la máquina tostadora y estar capacitado sobre su funcionamiento.	El personal involucrado no debe ser especializado, ya que no se presentan alteraciones en el ejercicio normal de ésta actividad.
	Perturbación de la calidad de vida a los pobladores	A pesar de ser una práctica de combustión controlada, se presenta una alta emisión de gases, lo cual afecta notablemente a la comunidad.	Es la práctica más controlada de quema de cascarilla de arroz, siendo la que menos emisiones genera, por lo que la comunidad es conciente de la mitigación del impacto generado.	Las molestias son causadas por la propia actividad ladrillera, mas no por la utilización de la cascarilla como insumo en el producto.
	Aceptación de la alternativa por parte de la Autoridad Ambiental.	Está práctica se encuentra prohibida por el Decreto 948 de 1985, artículo 29.	El desarrollo de la alternativa cuenta con licencia de funcionamiento.	El uso de la cascarilla en el proceso no presenta incremento en los impactos ambientales propios de la actividad ladrillera, ni efectos adversos a la salud de los trabajadores ni de la comunidad.
	Cumplimiento de las condiciones de seguridad industrial y salud ocupacional.	Aunque los operarios están en continua exposición y se ven afectados, no existe un control sobre el uso de elementos de seguridad.	Los operarios no cuentan con las condiciones mínimas de seguridad industrial y salud ocupacional.	Las condiciones de trabajo son las mismas indicadas para el desarrollo de la actividad ladrillera, debido a que no se presenta exposición a factores de riesgo con la adición de la cascarilla al proceso productivo.

FUENTE: Las autoras.2005.

Tabla 18. Evaluación cuantitativa. Alternativa 1.

INDICADOR DE GESTION	PARAMETROS EVALUATIVOS	CALIFICACIÓN PARAMETROS C	CALIFICACIÓN PARAMETROS P	CALIFICACIÓN INDICADOR P
ECONOMICO (30%)	Inversión inicial.	B	6	30
	Costos de operación y mantenimiento.	B	6	
	Comercialización del producto.	B	6	
	Beneficios económicos.	B	6	
	Relación beneficio recibido / Inversión realizada.	B	6	
AMBIENTAL (20%)	Cumplimiento de las normas de emisión.	D	0	4
	Generación de contaminante a fuentes hídricas.	D	0	
	Generación de residuos sólidos.	B	4	
	Alteración de las propiedades físico químicas del suelo.	D	0	
	Cambio al paisaje.	D	0	
TECNICO (30%)	Manejo de volumen de cascarilla.	B	6	21
	Requerimiento de tecnología.	B	6	
	Calidad de la cascarilla para el proceso.	B	6	
	Desarrollo de la alternativa en el país.	D	0	
	Calidad del producto final.	R	3	
SOCIAL (20%)	Generación de empleo por la operación de la alternativa.	R	2	6
	Requerimiento de personal especializado para la operación de la alternativa.	B	4	
	Perturbación a la calidad de vida de los pobladores.	D	0	
	Aceptación de la alternativa por parte de la Autoridad Ambiental	D	0	
	Cumplimiento de las condiciones de seguridad industrial y salud ocupacional.	D	0	
VALOR PORCENTUAL TOTAL				61

FUENTE: Las autoras. 2005.

< C >: CALIFICACION CUANTITATIVA CONCEPTUAL: BUENO (B), REGULAR (R), DEFICIENTE (D).
< P >: CALIFICACION CUANTITATIVA PORCENTUAL: Dada en porcentaje dependiendo de la calificación conceptual.

Tabla 19. Evaluación cuantitativa. Alternativa 2.

INDICADOR DE GESTION	PARAMETROS EVALUATIVOS	CALIFICACION		
		PARAMETROS		INDICADOR
		C	P	P
ECONOMICO (30%)	Inversión inicial.	R	3	24
	Costos de operación y mantenimiento.	R	3	
	Comercialización del producto.	B	6	
	Beneficios económicos.	B	6	
	Relación beneficio recibido / Inversión realizada.	B	6	
AMBIENTAL (20%)	Cumplimiento de las normas de emisión.	R	2	12
	Generación de contaminante a fuentes hídricas.	R	2	
	Generación de residuos sólidos.	B	4	
	Alteración de las propiedades físico químicas del suelo.	R	2	
	Cambio al paisaje.	R	2	
TECNICO (30%)	Manejo de volumen de cascarilla.	B	6	21
	Requerimiento de tecnología.	R	3	
	Calidad de la cascarilla para el proceso.	B	6	
	Desarrollo de la alternativa en el país.	R	3	
	Calidad del producto final	R	3	
SOCIAL (20%)	Generación de empleo por la operación de la alternativa.	B	4	14
	Requerimiento de personal especializado para la operación de la alternativa.	R	2	
	Perturbación a la calidad de vida de los pobladores.	B	4	
	Aceptación de la alternativa por parte de la Autoridad Ambiental.	B	4	
	Cumplimiento de las condiciones de seguridad industrial y salud ocupacional.	D	0	
VALOR PORCENTUAL TOTAL				71

FUENTE: Las autoras. 2005.

< C >: CALIFICACION CUANTITATIVA CONCEPTUAL: BUENO (B), REGULAR (R), DEFICIENTE (D).
< P >: CALIFICACION CUANTITATIVA PORCENTUAL: Dada en porcentaje dependiendo de la calificación conceptual.

Tabla 20. Evaluación cuantitativa. Alternativa 3.

INDICADOR DE GESTION	PARAMETROS EVALUATIVOS	CALIFICACION PARAMETROS C	P	INDICADOR P
ECONOMICO (30%)	Inversión inicial.	B	6	30
	Costos de operación y mantenimiento.	B	6	
	Comercialización del producto.	B	6	
	Beneficios económicos.	B	6	
	Relación beneficio recibido / Inversión realizada.	B	6	
AMBIENTAL (20%)	Cumplimiento de las normas de emisión.	B	4	14
	Generación de contaminante a fuentes hídricas.	R	2	
	Generación de residuos sólidos.	B	4	
	Alteración de las propiedades físico químicas del suelo.	R	2	
	Cambio al paisaje.	R	2	
TECNICO (30%)	Manejo de volumen de cascarilla.	R	3	24
	Requerimiento de tecnología.	B	6	
	Calidad de la cascarilla para el proceso.	R	3	
	Desarrollo de la alternativa en el país.	B	6	
	Calidad del producto final.	B	6	
SOCIAL (20%)	Generación de empleo por la operación de la alternativa.	B	4	20
	Requerimiento de personal especializado para la operación de la alternativa.	B	4	
	Perturbación a la calidad de vida de los pobladores.	B	4	
	Aceptación de la alternativa por parte de la Autoridad Ambiental.	B	4	
	Cumplimiento de las condiciones de seguridad industrial y salud ocupacional.	B	4	
VALOR PORCENTUAL TOTAL				88

FUENTE: Las autoras. 2005.

< C >: CALIFICACION CUANTITATIVA CONCEPTUAL: BUENO (B), REGULAR (R), DEFICIENTE (D).
< P >: CALIFICACION CUANTITATIVA PORCENTUAL: Dada en porcentaje dependiendo de la calificación conceptual.

7.4 Orden de elegibilidad

Una vez confrontados y evaluados los índices utilizados para la comparación de las alternativas de acuerdo a las metodologías utilizadas, se establece el orden de elegibilidad, el cual proporciona la selección y escogencia de la alternativa a implementar, que ha sido analizada desde varios puntos de vista; técnico, económico, ambiental y social. A continuación se presenta un resumen de las evaluaciones cualitativas de cada una de las alternativas, donde el número mayor significa la alternativa a escoger.

Tabla 21. Escogencia de la alternativa de manejo

METODOLOGÍA	Quema	Tostado	Ladrillos
Análisis funcional	1.46	0.96	**2.00**
Indicadores de gestión	61	71	**88**

FUENTE: Las autoras. 2005.

8. ANÁLISIS ECONÓMICO

Al adicionar la cascarilla de arroz al proceso ladrillero, este se beneficia por el aumento en la producción en 251.750 unidades al año; al igual que el aumento en la vida útil del yacimiento de arcilla.

La inversión inicial corresponde al transporte de la cascarilla desde la zona generadora hasta la ladrillera.

Para la amortización de la inversión realizada se presenta una propuesta a cinco (5) años, en el cual a partir del tercer (3) año la deuda queda liquidada; y se empezaría a generar utilidades (VER ANEXO F).

- **Situación Actual**

Explotación de arcilla.
Precio unitario (Tn) $ 4200
Cantidad de arcilla (año) 5280 Tn
Valor $ 22'176.00

Producción Actual.
Total de unidades vendidas anualmente 2'112.000 unidades/año
Valor por unidad $ 240
Costo Total $ 506'880.000

- **Adición de Cascarilla**

Aumento en producción 251.750 unidades
Cantidad de cascarilla 10%
Costo total $ 60'420.000
Cantidad de arcilla requerida 630 Tn/año
Costo total de explotación $ 2'646.000

- **Transporte de Cascarilla**

Costo de cargue y descargue $ 2'160.000
Valor de transporte por tonelada $ 52.684*
Costo total de explotación $ 2'646.000
Cantidad cascarilla requerida $ 630 Tn/año
Costo total $ 33'190.920

* valor del flete de transporte de carga por carretera para la ciudad de Neiva, tomado de la Resolución 2004 del 2004. Se asume el mayor valor para evaluar la factibilidad.

9. VIABILIDAD TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTAL DE LA UTILIZACIÓN DE LA CASCARILLA DE ARROZ COMO INSUMO EN LA FABRICACIÓN DE UNIDADES MACIZAS DE ARCILLA PARA MAMPOTERÍA NO ESTRUCTURAL

La utilización de la cascarilla de arroz como insumo en la fabricación de ladrillos, se constituye en una alternativa de manejo que aporta solución a la problemática que presenta este residuo agroindustrial actualmente, ya que emplea un 18% del volumen generado a nivel nacional.

La base fundamental de esta alternativa es emplear un volumen considerable del residuo sin generar o aumentar impactos ambientales y subproductos de difícil manejo; para el cumplimiento de esto, a la cascarilla no se le realiza un tratamiento previo a su utilización que altere sus propiedades físico químicas; además los impactos generados en esta alternativa son propios del proceso ladrillero y no por la adición de la cascarilla de arroz, presentándose solo un mínimo cambio del paisaje producto del depósito de ésta al interior de la industria.

La cascarilla es utilizada en éste proceso productivo, debido a su composición físico química (sílice), lo que la hace actuar como desgrasante, materia prima importante para la elaboración de las unidades macizas, presentando un mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas y por lo tanto de la calidad del producto, comprobado a través de pruebas y ensayos de laboratorio, asegurando así su comercialización.

Además de no alterar el desarrollo normal del proceso productivo, de no requerir maquinaria y personal especializado, el empleo de cascarilla de arroz en esta actividad industrial, se constituye en una práctica de **PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA**, que implica el ahorro de arcilla, lo cual aporta un aumento en la vida útil de los yacimientos, aumentando la producción en 251.750 unidades más durante el año.

Esta alternativa es generadora de empleo ya que beneficia al sector transportador, responsable de la comercialización desde el punto de generación de la cascarilla hasta el punto de disposición final; al igual que trae beneficios económicos para el sector ladrillero porque requiere de una inversión inicial moderada, la cual puede ser fácilmente amortizada con el aumento de los ingresos por la venta de los ladrillos de la producción adicional por la utilización de la cascarilla.

Por lo anterior la relación costo/beneficio del proyecto es positiva y esto se refleja en la obtención de un producto ambiental de excelente calidad apto para su comercialización, lo cual es aplicable a nivel nacional, por la viabilidad que presenta desde el punto de vista ambiental, técnico y económico.

10. CONCLUSIONES

- La utilización de la cascarilla de arroz como insumo en la fabricación de ladrillos de arcilla es una alternativa de **PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA** que emplea un volumen representativo para la industria molinera (18% de la producción anual a nivel nacional), cuya ventaja radica en el uso del residuo agroindustrial en su estado natural, sin modificarlo por medio de tratamientos previos para su utilización, sin aumentar los impactos ambientales implícitos en el desarrollo de la actividad ladrillera ó alterando el proceso normal productivo, generando además empleo en el sector del transporte por la necesidad de desplazar el residuo hasta las zonas de actividad ladrillera.

- El tipo de desgrasante empleado, sus características físicas, composición química, grado de molienda y cantidad presente en el material, influyen en el comportamiento de las unidades, mejorando o disminuyendo su calidad. La cascarilla de arroz, por sus características fisicoquímicas, logra superar la calidad del ladrillo cuando es adicionada una cantidad correspondiente al 10% en volumen del total de materia prima empleada para la fabricación de las unidades macizas.

- El buen acabado del material, su color, la apariencia acanalada en las caras de asentamiento que permite la mejor adherencia con el mortero de pega, el logro en el aligeramiento del material y el incremento en las propiedades mecánicas del ladrillo, hacen de éste un producto atractivo para el sector ladrillero; además de representarle ventajas como ahorro en materia prima (arcilla) por la adición del nuevo material y, con esto, el aumento de producción ladrillera (251750 ladrillos/año) e incremento en la vida útil de yacimientos.

- Las unidades ensayadas con el 10% de cascarilla de arroz en su composición presentan una excelente resistencia mecánica a compresión, tanto en unidades (64.5 MPa) como en muretes (36.5 MPa), y un óptimo porcentaje de absorción de agua (10.2%); cumpliendo con los requisitos establecidos para estas propiedades de acuerdo con la NTC 4205, superando niveles de calidad registrados en historiales de datos, haciendo de éste un producto apto para su comercialización.

11. RECOMENDACIONES

- La investigación experimental es el único respaldo que se tiene sobre el verdadero comportamiento de los materiales. Por esta razón, y teniendo en cuenta las diferentes modificaciones aportadas a las características del material con la aplicación de varios porcentajes de cascarilla de arroz; que se ven reflejados en la variabilidad de resultados arrojados para cada ensayo, y en la dificultad de predecir con suficiente exactitud la cantidad de desgrasante a ser empleado; se hace necesario realizar ensayos con la adición de porcentajes comprendidos entre el 10% y 25% de cascarilla, rango de valores para el cual se puede presentar el porcentaje óptimo a ser adicionado para la elaboración de tales unidades.

- El comportamiento en las propiedades del material varía considerablemente, dependiendo de la granulometría del desgrasante, su composición química y la cantidad en que sea adicionado. Por esta razón, y con el objeto de ampliar la investigación realizada, se recomienda el uso de la cascarilla molida, adicionada en diferentes porcentajes, para facilitar su mezcla y homogenización en la pasta, con el fin de obtener un producto de buena calidad en el que sea posible la utilización de un mayor volumen del residuo agroindustrial.

- Para lograr un buen comportamiento de la mampostería se debe hacer especial énfasis en la mano de obra, variable fundamental de difícil control y evaluación, realizando, en lo posible, los muretes el mismo día y con la misma mezcla (mortero de pega). Para esto es recomendable contar con un obrero especializado, quien esté a cargo de la construcción de todos los muros, a fin de mantener este factor tan constante como sea posible.

- Realizar estudios para medición y evaluación de contaminantes volátiles que podrían presentarse por el uso de la cascarilla en el proceso.

- Es pertinente considerar y apoyar las alternativas enfocadas al mejoramiento de la calidad de materiales, la economía de los procesos, con la obtención de “nuevos productos” que cumplan con los requisitos establecidos en las normas correspondientes; por lo anterior es importante que se desarrollen mecanismos administrativos, por parte de las Autoridades Ambientales a través de certificados que garanticen que el producto proviene de un proceso ambientalmente aceptable; al igual que el apoyo de ANFALIT para la realización de un estudio para su eventual introducción en el mercado.

BIBLIOGRAFÍA

ARCILLAS. PUB. GEOL. ESP. INGEOMINAS, Nº,1987. Centro documentación ANFALIT.

BOLETÍN TÉCNICO Nº 15. Estudio sobre la utilización estructural de ladrillo de arcilla producido. Septiembre.

BOLETÍN TÉCNICO Nº 45. Comportamiento sísmico de muros de mampostería confinada. Universidad de los Andes. Informe final. Marzo de 1994.

CALDERON ARTEAGA, Christian Hugo. Producción y comercialización del ladrillo en Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Medellín.

CALDERÓN SAÉNZ, Felipe. Asistencia Técnica Agrícola Ltda. Noviembre 10 de 2002. Bogotá D.C., Colombia S.A.

COLCIENCIAS. Agenda y novedades, Bogotá D.C. cascarilla de arroz como combustible. 2001

DAGA BARGUIL, Carlos Alberto. Estudio experimental de los factores que más inciden en la resistencia a compresión de la mampostería. 1990

FACINCANI, Ezio. Tecnología Cerámica. Los Ladrillos. Editorial Beralmar. 1993.

FEDEARROZ. II Censo Nacional Arrocero, Cubrimiento Cosecha 1999 A-B. División de Investigaciones Económicas, 2000.

FEDEARROZ. Guía Ambiental para el Subsector Arrocero. Dirección General Ambiental Sectorial, 2002.

FEDEARROZ, Manejo Integrado del Cultivo de Arroz en Colombia. Ibagué, Agosto 16 de 2002.

GALLEGO, Andrés Uriel. Elementos fundamentales para diseño, construcción y rehabilitación de viviendas de uno y dos pisos. Medellín, Colombia. 1999.

GUÍA DE ESTUDIO No. 8. Muros divisorios y de carga. SENA de Antioquia. Centro de la construcción.

INDUSTRIA CERÁMICA. Planes de acción para mejoramiento ambiental. Manual para empresarios de la PYME. Bogotá D.C. Primera edición, 1999.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de muretes de mampostería. Apartado 14237. Bogotá, D.C. Primera actualización. (NTC 3495)

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Método para muestreo y ensayos de unidades de mampostería de arcilla cocida. Apartado 14237. Bogotá, D.C. Ingeniería civil y arquitectura. Primera actualización. (NTC 4017)

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Unidades de mampostería de arcilla, bloque de arcilla, mampostería. Apartado 14237. Bogotá, D.C. Primera actualización. Ingeniería civil y arquitectura. (NTC 4205)

LOSADA CEDEÑO, Celico. Aprovechamiento Industrial de la Cascarilla de Arroz. Huila.

MMA Convenio de Concertación para una PML con el subsector de la Molinería de Arroz. Tolima. 1999.

MORENO BARCO, Diana Moreno. Elementos para la construcción de un escenario de gestión para la solución del conflicto socioambiental asociado al manejo de la

cascarilla de arroz en el municipio de el espinal. Maestría en gestión ambiental para el desarrollo sostenible. Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de estudios ambientales y rurales. Bogotá D.C. 2003.

SALGADO DELGADO, René. CFATA-UNAM. Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica. Instituto Tecnológico de Zacatepec.

SENA, Asociación de Ingeniería Sísmica. Manual de construcciones menores sismoresistentes. 1990

TERRACOTA, Asociación Nacional de Fabricantes de Ladrillo, ANFALIT. 3ª Reunión Internacional de la Arcilla: Espacio de todos, para todos. Noviembre de 1992.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, Aspectos técnicos en la obtención de bloques de cemento aligerados con cascarilla de arroz. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Química. Bogotá D.C. 2000.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, Durabilidad de hormigones con ceniza de cascarilla de arroz. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Civil, Bogotá D.C. 2000.

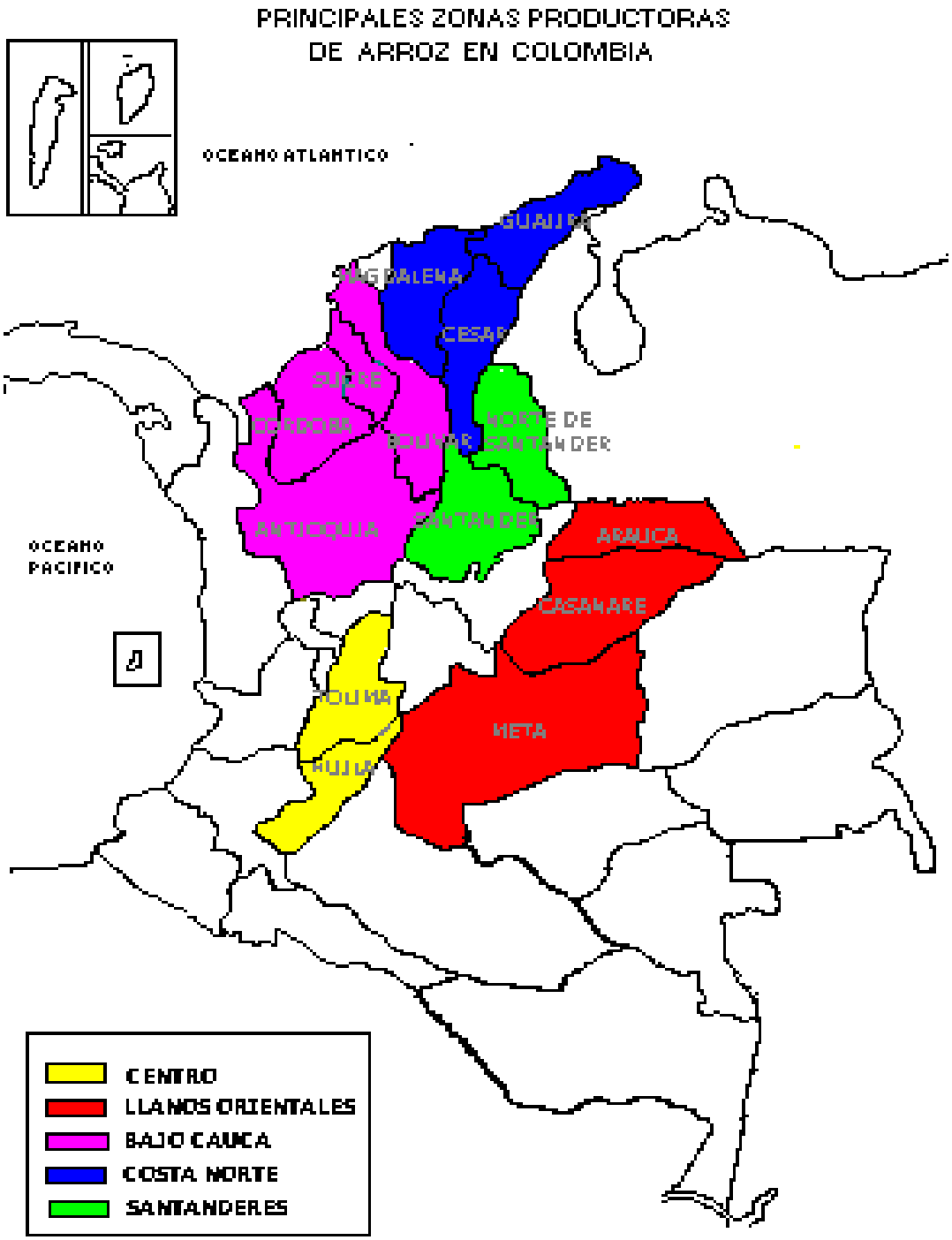
ANEXOS

A. ANEXO. Propiedades Fisicoquímicas de la cascarilla de arroz.

Composición Base Seca		
Elemento	%	
Carbono	39.1	
Hidrógeno	5.2	
Nitrógeno	0.25	
Oxigeno	37.2	
Azufre	0.43	
Cenizas (Silice 94,5%)	17.8	
Composición Base Humeda		
Humedad	8.91	
Carbono	35.62	
Hidrógeno	4.74	
Nitrógeno	0.23	
Oxigeno	33.89	
Azufre	0.39	
Cenizas (Silice 94,5%)	16.22	
Propiedades Fisicas De La Cascarilla De Arroz		
Poder Calorifico	3638.428	Kcal/Kg
Color	Amarillo	
Densidad a Granel	250	kg/m^3
Aspecto	Aspero, Fibroso, Quebradizo	
Longitud	6 a 10	mm
Ancho	8 a 10	mm
Espesor	5	mm
Composición Quimica de la Ceniza		
Silice (SiO_2)	94.50%	
CaO	0.25%	
MgO	0.23%	
K_2O	1.10%	
Na_2O	0.78%	
SO_2	1.13%	

Fuente: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

B. ANEXO. Principales zonas productoras de arroz en Colombia.



Fuente: Ministerio Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial.

D. ANEXO. Costo de alternativa de manejo de cascarilla de arroz.

COSTOS ALTERNATIVAS

1. QUEMA

COSTOS PERSONALES				
Personal	**Tiempo (mes)**	**Cantidad**	**Valor unitario ($)**	**Valor total ($)**
Operario	12	2	381.500	9'156.000
			FM 1.5	4'578.000
			Subtotal	**$ 13'734.000**
COSTOS AMBIENTALES				
Descripción	**Cantidad**	**Unidad**	**Valor unitario ($)**	**Valor total ($)**
Estudio de calidad del Aire[12]	1	Und	5'400.000	5'400.000
Estudio químico del suelo[13]	1	Und	32.500	32.500
Estudio físico del suelo[14]	1	Und	49.300	49.300
	1	Und	16.240	16.240
			Subtotal	**$ 5'498.040**
COSTOS DIRECTOS				
Descripción	**Tiempo (mes)**	**Cantidad**	**Unidad**	**Valor unitario ($)**	**Valor total ($)**
Transporte	12	300	Tn	10.000	**36'000.000**
				COSTO TOTAL	**$ 55'232.040**

2. TOSTADO

INVERSIÓN INICIAL	
Adquisición[15]	**$ 75'000.000**
COSTOS VARIOS	
Mantenimiento[16]	**$ 43'000.000**

[12] Estudio Calidad del Aire, material particulado, SO_2 y NO_x. Se realiza en dos puntos durante 10 días.

[13] Estudio químico de suelos, caracterización Q-01, macronutrientes, capacidad de intercambio iónico, saturación, carbono orgánico, textura y pH.

[14] Estudio físico de suelo. Análisis de Retención de humedad F-01, Curva de retención de humeda Análisis de densidad aparente F- 02. Densidad aparente.

[15] Adquisición. Construcción del horno, administración, mano de obra.

[16] Mantenimiento. Mano de obra, materia prima, transporte, mantenimiento y reparación.

COSTOS DE PERSONAL				
Personal	**Tiempo (mes)**	**Cantidad**	**Valor unitario($)**	**Valor total ($)**
Administración	12	2	800.000	19'200.000
Ventas	12	4	600.000	28'800.000
Operarios	12	8	500.000	48'000.000
Cargadores	12	8	381.500	36'624.000
				132'624.000
			FM 1.5	66'312.000
			Subtotal	**$ 198'936.000**
COSTOS AMBIENTALES				
Descripción	**Cantidad**	**Unidad**	**Valor unitario ($)**	**Valor total ($)**
Estudio de calidad del Aire	1	Und	5'400.000	5'400.000
Muestreo Isoscinético[17]	2	Und	2'000.000	4'000.000
	1	Und	2'000.000	2'000.000
			Subtotal	**$ 11'400.000**

COSTOS DIRECTOS					
Descripción	**Tiempo (mes)**	**Cantidad**	**Unidad**	**Valor unitario ($)**	**Valor total ($)**
Transporte	12	1.250	Tn	10.000	**150'000.000**
				COSTO TOTAL	**$ 403'336.000**

3. INSUMO PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLOS

INVERSIÓN INICIAL					
Descripción	**Tiempo (mes)**	**Cantidad**	**Unidad**	**Valor unitario ($)**	**Valor total ($)**
Transporte	12	52.5	Tn	52.684	**33'190.920**

COSTOS DE PERSONAL				
Personal	**Tiempo (mes)**	**Cantidad**	**Valor unitario ($)**	**Valor total ($)**
Operario	12	1	381.500	4'578.000
			FM 1.5	2'289.000
				6'867.000
Cargador	12	4	45.000	2'160.000
			FM 1.5	1'080.000
				3'240.000
			SUBTOTAL	**$ 10'107.000**
			COSTO TOTAL	**$43'297.920**

[17] Muestreo Isoscinético. Material particulado, SO_2 y NO_x.

E. ANEXO. Alternativa de manejo de la cascarilla de arroz.

ALTERNATIVAS DE MANEJO DE LA CASCARILLA DE ARROZ (POSIBLES EN EL PAÍS)

ALTERNATIVA	MANEJO	ASPECTO AMBIENTAL	ASPECTO TÉCNICO	ASPECTO ECONÓMICO
ABONO	Tiene un procedimiento en el cual participarían elementos de complemento nutritivo de la cascarilla (fuente de potasio y vitamina B), en donde no existe una única forma para su elaboración. Además es empleada para aligerar ciertos suelos y añadirles materia orgánica. Por ser inerte puede emplearse para el crecimiento de vegetales sin tierra.	Se necesita de un espacio que posea una barrera viva y este lejos de cualquier actividad humana anexa, debido a los olores generados, ya que el riesgo que se puede tener con ésta práctica si no se tienen los controles adecuados, es la proliferación de vectores acarreando graves problemas de saneamiento.	El porcentaje de utilización de cascarilla es muy bajo, lo utilizan como lecho para la elaboración de abono.	En cuanto a precios de costos del abono preparado, entrarían a jugar las variables de trabajo del personal, costo de insumos para elaboración del abono, empaque y distribución.
TOSTADO	El objetivo es semiquemar la cascarilla de una manera técnicamente aceptable. El insumo fundamental es cascarilla de arroz y el producto que se obtiene es cascarilla quemada al 70% a 80%, de acuerdo a las exigencias del comprador (cultivo de flores).	Este sistema genera emisiones visibles, pero de acuerdo a estudios de INDUARROZ, los parámetros no sobrepasan la norma local, lo cual se traduce en no alteración a la salud de la comunidad. La ceniza, como residuo generado, se comercializa con los viveros de la zona.	Maquinaria y procesos ya implantados, con buenos resultados, en cuanto a manejo de volumen de cascarilla, teniendo que mejorar su sistema de control de gases.	Se espera mantener los precios establecidos en el escenario presente, es decir $1000 por bulto de cascarilla quemada, garantizando un mercado sostenible, puesto que el mayor atractivo de éste sustrato es su bajo costo.

SEMIQUEMA **QUEMA A CIELO ABIERTO**	Es una práctica controlada en donde se realizan volteos constantes para garantizar un producto con un grado de combustión determinado.	Emplea parámetros de control apropiados como el contar con una barrera viva alejado del perímetro urbano, considerando la dirección del viento, la altura de mezcla o la hora del día. Es una práctica prohibida por del Decreto 948 de 1995.	Esta tecnología es de fácil acceso a la población, el manejo del volumen es óptimo. El problema estaría en la disposición de un terreno para esta práctica.	Los precios estarían dados por los precios de oferta y por el trabajo en el procesamiento.
PRODUCCIÓN LADRILLOS DE ARCILLA	Esta alternativa emplea el residuo agroindustrial como desgrasante en unidades macizas para mampostería no estructural. En este proceso industrial la cascarilla no sufre modificación o alteración de sus propiedades físicas, presentando mejoramiento en las propiedades tanto físicas como mecánicas de los materiales.	La ventaja de esta alternativa es la utilización de la cascarilla en su estado natural, sin ninguna alteración de sus propiedades químicas (quema y tratamientos químicos) por lo que se encuentra libre de emisiones y generación de subproductos. Además, el ahorro de materia prima (arcilla) incrementa la vida útil de los yacimientos.	Esta alternativa aporta a los ladrillos un aligeramiento, mejoramiento en sus propiedades mecánicas y un buen acabado estético.	© Demanda del producto. © Reducción del volumen de cascarilla. © Ahorro en materia prima

TODAS LAS ALTERNATIVAS DE MANEJO DE LA CASCARILLA DE ARROZ

ALTERNATIVA	MANEJO
OBTENCIÓN DE ETANOL	Esta alternativa como muchas, no suple la necesidad actual en cuanto al manejo del volumen producido en nuestras regiones colombianas, además dentro del proceso se maneja un subproducto de difícil tratamiento como la lignina, que ocasionaría un problema ambiental de delicado manejo. Por lo anterior, la implementación de esta clase de industria no es viable, por que se necesita una mayor investigación sobre el desarrollo de ella, una alta inversión para su funcionamiento, una instalación de difícil montaje en los municipios productores de arroz, una demanda reducida y una utilización mínima de cascarilla de arroz.
TOSTADO PARA CULTIVO DE FLORES	Debido a que la cascarilla semiquemada ha recibido una buena acogida dentro de la floricultura, se pensó conveniente realizar el mismo proceso, pero de tal forma que sea aceptado como una alternativa controlada, que no cause perjuicios a la sociedad, ni al medio ambiente. Esta alternativa ofrece una mayor viabilidad por que esta ya implementada en los departamentos de Tolima y Meta, con buenos resultados, en cuanto a manejo de cascarilla, demanda del producto terminado, un adecuado manejo de emisiones y residuos, generación de empleo en la región y una aceptabilidad tanto de las autoridades ambientales como de los industriales y población de la región.
COMO FUENTE DE ENERGÍA	Se hace posible su utilización como fuente de energía para diferentes sistemas de producción debido al alto contenido de sílice 90%. Pero su instalación y puesta en marcha trae inversiones millonarias, situación que de entrada la hace inviable en nuestro contexto nacional. En el caso de utilizar la cascarilla para secado de grano que es otra forma de generar energía en la producción, su falta de viabilidad se encuentra por el volumen utilizado de cascarilla para el desarrollo de esta práctica, ya que en Colombia se produce aproximadamente 500000 toneladas en donde solo se utilizan del 5% al 10% de la producción total, no constituyendo una solución al manejo de la cascarilla. En el caso de la utilización de cascarilla para hornos de fabricación de ladrillos, se ve como una posibilidad dentro de nuestro país, por contar con una industria aproximada de 477 industrias ladrilleras. La mayoría de estas empresas están ubicadas en Cundinamarca, las cuales se localizan por lo general en unidades de producción, es decir unas cerca de otras, lo que podría ser positivo para manejar el sector transporte que sería la inversión más alta al asumir esta clase de combustible y podría ser asumida en conjunto. Ambientalmente todas las alternativas estudiadas en este análisis son adecuadas ya que manejan el residuo de una forma parcial pero aceptable, pero lamentablemente el factor imperante es el económico y la posibilidad de que los diferentes procesos productivos puedan adoptarlas, sin dejar a un lado la importancia del componente ambiental y social.

TTO QUÍMICO Y ENZIMÁTICO (CELULOSA)	Consiste en convertir la biomasa por medio de tratamientos químicos, para su utilización como materia prima en procesos industriales. Es una alternativa netamente industrial de procesos químicos, de baja productividad y demanda, que requieren una inversión alta para su funcionamiento. Esta alternativa, carece de viabilidad ya que la cascarilla es sometida a un tratamiento químico de alto costo, además el porcentaje utilizado es mínimo acarreando una relación de costo beneficio negativa; en cuanto a demanda ésta es poca por el valor del producto. Se hace necesaria una mayor profundidad en el tema.
CONSTRUCCIÓN Y ELABORACIÓN DE CONCRETOS	En la construcción, la cascarilla es utilizada como material aislante, como carga y material de relleno. La carga facilita el moldeo y mejora las propiedades físicas del objeto elaborado. Carecen de viabilidad por el bajo volumen consumido en el proceso industrial, por los costos para la elaboración del producto final (concretos), por la baja demanda del mismo y porque no existe una infraestructura suficiente para la producción de estos materiales en línea. Aunque solucionaría el problema de importación de humo sílice con que se han elaborado desde siempre los hormigones.
SUSTITUCIÓN DE AGLOMERADOS DE MADERA	Al igual que muchas de las alternativas aquí expuestas, ésta no posee la infraestructura necesaria para producir en serie, no posee un mercado establecido, la producción no sería continua sino parcial, lo cual origina una actividad de pocos beneficios y baja continuidad para un mercado de demanda establecido.
PARA MANEJO DE CULTIVOS	La cascarilla de arroz por ser identificada como un recurso agrícola voluminoso que está disponible en la mayoría de los países del trópico durante todo el año, tiene un efecto ambiental y procede de una prioridad del consumo humano, se ha venido implementando como sustrato y abono para los diferentes cultivos. Es así como se tienen diversas aplicaciones en el agro colombiano. Hay que aclarar que esta utilización no se ha implementado a escala macro, sino que ha sido utilizado a nivel de granja con buenos resultados. Económica y ambientalmente (porque no genera alteraciones en el medio si se realiza de manera adecuada lejos de las fuentes subterráneas e hídricas, de tal forma que no se genere infiltración además de otros) es una alternativa accesible para nuestro país, dado que nuestros suelos necesitan de sustratos para su desarrollo pero con la misma variable que acompaña a la mayoría, manejo parcial e implementación a mínima escala.
PARA FABRICACIÓN DE CERÁMICOS AVANZADOS	Esta alternativa aporta una solución parcial a la industria de cerámicas, ya que del procesamiento de la cascarilla se obtienen silicatos que proporcionan calidad a la cerámica e introducen propiedades refractarias a los ladrillos. Actualmente las empresas dedicadas a esta actividad importan silicatos para su proceso productivo. La alternativa de procesar la cascarilla para obtener dichos elementos daría otra opción de conseguir esta materia prima, pero por otro lado se analiza el costo del proceso productivo, ya que se debe analizar si transformar cascarilla para producir cerámicas es más económico que importar dicho elemento.

USO Y RECUPERACIÓN DE LA SANGRE	Al no ser manejada adecuadamente produciría problemas de carácter ambiental, ya que la sangre del ganado sacrificado se tiene que extender con otras sustancias, en una plancha atrayendo vectores como moscas, además de los olores originados por esta actividad, necesitan de un lote apartado de la comunidad para evitar molestias en los habitantes de los alrededores. Este producto sirve como dieta concentrada para animales.
APROVECHAMIENTO INDUSTRIAL	En Colombia se han realizado varios estudios que proponen soluciones al problema ambiental de la cascarilla de arroz. Se han obtenido muy buenos resultados en cultivos hidropónicos; para el transporte terrestre del ganado; es usada en las perforaciones petroleras; con la cascarilla de arroz y su ceniza, se han elaborado materiales de construcción entre otras alternativas, pero ninguna ha tenido fundamentos de peso para desarrollarse, por tal razón a comienzos de 1994 se realizó en la Universidad Surcolombiana de Neiva un Estudio acerca del impacto que produce el actual manejo de la cascarilla de arroz, surgiendo un modelo de empresa que industrialice este producto y solucione el problema. Esta alternativa es viable porque reúne en un gran parque empresarial diversas alternativas de manejo de cascarilla, teniendo en un gran stock ya sea para la venta o para la producción. Generaría empleo en la región y estaría diseñado bajo normas ambientales adecuadas para su desarrollo, pero el factor económico y de espacio juegan un papel importante, porque se necesitaría de una amplia inversión para adecuar el espacio seleccionado y replantear esta alternativa para cada una de las regiones productoras de arroz, teniendo en cuenta sus tradiciones y sus costumbres. En cuanto al espacio, éste se presenta como una limitante porque se necesitaría un sitio alejado de la comunidad, equidistante a los sitios de producción y con parámetros ambientales como el de estar alejado de fuentes hídricas.
PARA PULIR METALES	La cascarilla por su elevado contenido de sílice constituye un excelente abrasivo. Se usa directamente para el bruñido, aplicándola en corrientes de aire sin necesidad de molerla o romperla. Su aplicación más importante es para suprimir la carbonilla en pistones y culatas de motores. Ésta es una práctica a nivel mínimo que no solucionaría ni la cuarta parte del manejo total para la cascarilla, por lo tanto no es una solución. Esta además es una práctica muy rudimentaria y para un sector en especial.
AZÚCARES Y ALCOHOLES	La cascarilla contiene dos compuestos capaces de ser convertidos en azúcares por tratamiento ácido. Ellos son: los pentosanos y los α-celulosa, ambos materiales fibrosos y que se encuentran casi en la misma cantidad en la cascarilla: 26% y 28% con una hidrólisis adecuada, es decir con un proceso de sacarificación pueden obtenerse líquidos para fermentar. La xilosa puede obtenerse con un rendimiento del 99% siendo materia prima valiosa para fermentar dando lugar a butanol, acetona y etanol. Es una práctica que necesita de investigación, ya que no se posee gran información sobre este tema.

SISTEMA DE EXPANSIÓN PARA CASCARILLA	Consiste en tratar la cascarilla de arroz para que absorba agua y así ofrezca otras oportunidades a los cultivos para los cuales sirve de sustrato. Esta clase de mecanismo para procesar la cascarilla cuenta con tecnología avanzada, pero para la implementación en nuestro país se necesita de grandes inversiones, lo que impide su implementación, puesto que existen otras formas de manejar la cascarilla con buenos resultados y con costos menores y mayores beneficios.
SUPLEMENTO ALIMENTICIO	Por sus propiedades alimenticias la cascarilla bajo un proceso determinado cumple con parámetros para la alimentación de animales, es excelente para la dieta de bovinos y en general para aves, porcinos, entre otros; pero como toda su producción no se ha implementado a nivel macro, por tanto no se sabe si el comportamiento de la producción sea rentable o no.
FOGÓN DE CASCARILLA	Esta alternativa es una similitud del quemador de cascarilla a cielo abierto sino que con ciertos parámetros de control, ésta no se ha aplicado debido a que en la industria se han realizado esfuerzos individuales que tienen el mismo principio y se ha preferido seguir en la investigación individual que invertir en proyectos ajenos de esta clase.

Fuente: MORENO BARCO, Diana Moreno. Elementos para la construcción de un escenario de gestión para la solución del conflicto socioambiental asociado al manejo de la cascarilla de arroz en el municipio de el espinal. Maestría en gestión ambiental para el desarrollo sostenible. 2003.

F ANEXO. Amortización de la inversión.

	AÑO					
DESCRIPCIÓN	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
EGRESOS						
Cargue y descargue	$2160000	$2268000	$2381400	$2500470	$2625494	$2756769
Transporte de cascarilla	$33190920	$34850466	$36592989	$38422638	$40343770	$42360959
Explotación de arcilla	$2646000	$2778300	$2917215	$3063076	$3216230	$3377042
TOTAL	$37996920	$39896766	$41891604	$43986184	$46185495	$48494768
INGRESOS						
Venta de ladrillos	$60420000	$63441000	$66613050	$69943703	$73440888	$77112932
Amortización		$9499230	$7480644	$22441930	----------	----------
PAGO TOTAL	$37996920	$49395996	$49372248	$66428114	$46185495	$48494768
DIFERENCIA	$22423080	$36468084	$53708886	$57224475	$84479868	$113098032