

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
ESCUELA DE POSTGRADO
PROGRAMA DOCTORAL EN MEDIO AMBIENTE



**USO DE LA CASCARA DE ARROZ COMO FUENTE DE ENERGÍA
EN LA FABRICACIÓN DE LADRILLOS CERÁMICOS DE ALTA
CALIDAD EN LA PROVINCIA DE LAMAS
DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN**

**TESIS:
PARA OPTAR EL GRADO DE
DOCTOR EN MEDIO AMBIENTE**

AUTOR : Ms. CÉSAR ELMER YRUPAILLA MONTES
ASESOR : DR. FEDERICO GONZALES VEINTIMILLA

TRUJILLO - PERÚ
2010

No. de Registro: _____

JURADO DICTAMINADOR

Dra. Alina Zafra Trelles
Presidenta

Dr. Pedro Quiñones Paredes
Secretario

Dr. Federico Gonzales Veintimilla
Miembro

DEDICATORIA

*A un gran amigo que es la luz y la
esperanza para nuestras vidas, DIOS.*

*A mis padres Silamer y Luzmila, dos razones poderosas
de mi existencia, por su cariño y comprensión que me
brindaron.*

*A mi esposa Patricia y a mis hijos Rossina,
Marcos, Lucia, Sebastián, silamer y Cesar Joaquín,
quienes me estimularon para seguir mis estudios
de doctorado, por eso mi agradecimiento eterno.*

AGRADECIMIENTO

Durante mis estudios de doctorado, tuve personas que me impulsaron a continuar con este trabajo, con sus conocimientos y experiencias, por eso a ellos les agradezco su apoyo, por los consejos brindados, en especial al Dr. Federico Gonzales Veintimilla, por su asesoramiento, orientación y apoyo incondicional para la culminación de mi tesis.

A mis profesores de doctorado, en especial al Dr. Weyder Portocarero Cárdenas
Y a la Srta. Br. Pilar Ríos Becerra.

PRESENTACION

SEÑORES MIEMBROS DEL JURADO:

Cumpliendo con el reglamento de graduación de la escuela de posgrado de la Universidad Nacional de Trujillo, someto a vuestra consideración la tesis doctoral intitulada: **USO DE LA CASCARA DE ARROZ COMO FUENTE DE ENERGÍA EN LA FABRICACIÓN DE LADRILLOS CERÁMICOS DE ALTA CALIDAD EN LA PROVINCIA DE LAMAS DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN**

Trujillo 14 de Setiembre del 2010

Ms. C. César Elmer Yrupailla Montes

INDICE

Carátula.....	i
Jurado dictaminador.....	ii
Dedicatoria	iii
Agradecimiento	iv
Presentación	v
Índice	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
I. INTRODUCCION	1
II. MATERIAL Y MÉTODOS	12
III. RESULTADOS	19
IV. DISCUSIÓN	36
V. PROPUESTA	38
VI. CONCLUSIONES	39
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	42
ANEXOS	

USO DE LA CÁSCARA DE ARROZ COMO FUENTE DE ENERGÍA EN LA FABRICACIÓN DE LADRILLOS CERÁMICOS DE ALTA CALIDAD EN LAMAS, SAN MARTÍN

RESUMEN

La fabricación de briquetas fue una necesidad urgente de reemplazar a los combustibles tradicionales como la leña, el carbón y otros; de esta forma se evitó la tala indiscriminada de los bosques. El uso industrial de la briqueta, específicamente para la producción local de ladrillos se incluyó en la utilización de sus cenizas en el proceso de manufactura de ladrillos con el propósito de dar una disposición final de las cenizas, además de aumentar la resistencia de los ladrillos, al incorporarla a la materia prima, y de sustituir la leña como combustible, lo que contribuirá a disminuir la tala indiscriminada que se produce en los bosques de la región San Martín. Otro beneficio fue la eliminación de la contaminación causada por la quema de cáscara y sus residuos. La briquetadora que actualmente posee el proyecto procesa sólo 30 kilogramos por hora, pero se planea incrementar la capacidad para procesar más de mil kilogramos por hora. Una vez comprobada su viabilidad y el grado de aceptación entre la población, la fábrica extenderá su producción a la demanda en las ladrilleras y suscribir contratos con los molinos de arroz.

PALABRAS CLAVE: Cascarilla de arroz, briquetas, fuente alterna de energía

ABSTRACT

The production of briquettes was an urgent necessity to replace to the traditional fuels as the firewood, the coal and other fuels this way we avoid the indiscriminate pruning of the forests. In this project, recommendations are given, experiences in the study of the prosecution of the briquette of rice shell. The use of the briquette will be possible for industrial purposes for this action were carried out experiments of use of briquette of shell of rice, specifically for the local production of bricks it will include the use of the ashy ones of briquette of shell of rice in the factory process of bricks manufacturing with the purpose of a final disposition of the ashes, besides increasing the resistance of the bricks, when incorporating it to the matter, and the substitution of the firewood as fuel, what will contribute to the indiscriminate pruning that in San Martin forest takes place. Another additional benefit will be the elimination of the contamination caused for the burns of rice shell and accumulation of the same one or its residuals. Although this innovation, largely caressed by many people, reality has been made belatedly, already this here is a promise. The factory of briquettes is still a project pilot. The briquette machine at the moment that the project owns only processes 30 kilograms per hour, but there is a plan to increase the capacity to process to more than a thousand kilograms per hour. Once proven their viability and the grade of acceptance among the population, the factory will extend its production.

KEY WORDS: Rice shell, bricks, alternative energy

I. INTRODUCCION

Las zonas de mayor producción de arroz están localizadas en el norte del país en los departamentos de Lambayeque (24%), San Martín (16%), La Libertad (14%) y Piura (10%) mientras que el 21% de la producción se encuentra localizada al sur en el departamento de Arequipa. Como parte del proceso agroindustrial, el arroz producido en el país es procesado por 471 molinos, de los cuales el 70% se encuentran localizados en el norte. Como consecuencia, la cascarilla de arroz generada en el proceso de molienda representa el 20% en peso del arroz cáscara. Actualmente, sólo el 5% de la cascarilla de arroz es usada como combustible para hornos de secado de ladrillos en el departamento de Piura, el resto es quemado o arrojado a los ríos aledaños **(Anuario del arroz, 2002).**

El poder calorífico de la cascarilla de arroz es similar al de la madera y al de otros residuos agrícolas. Sin embargo, su densidad es de aproximadamente 110 Kg /m^3 y este pequeño valor produce dificultades en su almacenamiento e incrementa el costo de su transporte. En todo caso, anualmente se generan 380,000 TM de cascarilla de arroz y esta cantidad equivale a 120000 TEP (Tonelada equivalente de petróleo) por año de energía que está disponible y es desperdiciada. Se ha estimado que el 60% de esa cantidad podría ser fácilmente utilizada ya que se tiene como ventaja su concentración y la cercanía con los potenciales usuarios **(FAO, 1991).**

Los desechos agrícolas tienen por lo general una mala combustión, pero ésta puede mejorarse por aglomeración, densificación o secado. La humedad hace disminuir el valor calorífico del combustible, porque la evaporación del agua consume calor. Por ejemplo, la evaporación de 1 litro de agua consume 5,5

veces más calor que calentar esta agua a partir de la temperatura ambiente hasta la de ebullición. En el caso de la leña, las diferencias de valor calorífico entre la madera verde y la madera seca son considerables, las ramas, la paja, el heno y las hojas secas son con frecuencia los únicos combustibles de que dispone la población rural. La madera en rollo es a menudo demasiado cara o, simplemente inexistente. Pero el material disponible arde tan rápidamente que es difícil mantener un fuego continuo para poder cocinar debidamente.

Teniendo en cuenta estas limitaciones, el método más fácil de mejorar la combustión consiste en comprimir el material, es decir, mediante la aglomeración y densificación del volumen de biomasa, se reduce el acceso de aire y de este modo hace la combustión más lenta **(Hausman, 1974)**.

Ni la madera, ni los desechos agrícolas, como aserrín y cáscaras de café, cáscara de arroz, pueden quemarse directamente en estufas domésticas. Tales materiales arden con dificultad, producen mucho humo y no son apropiados para cocinar. Lo mismo puede decirse del polvo de carbón vegetal. Uno de los mejores métodos para aprovechar dichos residuos consiste en la aglomeración de pequeñas partículas en briquetas **(Castellón, 2003; Rodríguez, 2000)**.

Existen dos métodos principales para fabricar briquetas, con aglutinante o sin él. Es más conveniente sin aglutinante, pero para ello se requieren prensas complicadas y costosas, equipo de secado y mucha energía.

La fabricación de briquetas con un aglutinante como alquitrán, brea o asfalto requiere procesos industriales de alta presión para producir briquetas a partir de antracita, coque pulverizado y, en menor medida, polvo de carbón. Tales

procedimientos son también complejos y costosos y aunque no son adecuados para las zonas rurales, podrían ser muy útiles para proyectos estatales centrales o locales, sobre todo en países con madera y residuos agrícolas abundantes **(Hausman, 1974; Sitkey, 1986)**.

Los métodos de fabricación de briquetas más apropiados para las poblaciones rurales son los que se basan en los desechos y materiales de construcción disponibles. La fabricación debería realizarse en prensas manuales hechas en el lugar. La briqueta hecha a mano se mantiene unida sobre todo gracias al material aglutinante. Según las disponibilidades locales, los combustibles orgánicos más apropiados para servir de aglutinantes son la resina, el alquitrán, el estiércol animal, el fango de alcantarillado y los desechos de pescado **(Díaz do Santos, 2002; Erickson et al., 1990)**.

Si no se dispone de aglutinantes combustibles o si los desechos necesitan un material aglutinante más fuerte, como en el caso del polvo de carbón vegetal, es necesario utilizar aglutinantes no combustibles como el limo, la arcilla o el barro. Aunque el aglutinante no combustible disminuye el valor calorífico de la briqueta y aumenta el contenido de cenizas, proporciona un combustible que de otra manera no podría aprovecharse. Su diseño varía desde las prensas más simples hechas a mano en casa y tecnológicamente primitivas hasta los modelos automáticos más avanzados **(Erickson et al., 1990)**.

La presión de compresión para briquetas oscila aproximadamente entre 50 y 100 Kg. por briqueta, o sea entre 5 y 15 Kg. /cm². Las briquetas producidas tienen forma esférica, evitando así que se fracturen por los bordes, que son el punto débil de las briquetas **(Batacharya et al., 1989)**.

Por otro lado la adición de ceniza de madera endurece las bolas y prolonga su combustión. Las briquetas se comprimen en bolas de unos 5 cm de diámetro y el peso de una briqueta seca es de aproximadamente 30 g **(Castellón, 2003)**.

La segunda operación consiste en el secado de los principales ingredientes combustibles. Cuando se aplica una tecnología simple, el secado debe realizarse sin utilizar combustible. Por lo tanto, la única opción real consiste en el secado natural en lugares bien ventilados protegidos de la lluvia. Este tipo de secado requiere mucho tiempo y en consecuencia los ingredientes básicos para la fabricación de briquetas deben prepararse con mucha anticipación. En la mayoría de los países en desarrollo existen cantidades considerables de desechos de biomasa que podrían elaborarse mediante la compresión y la densificación. Por lo general se consiguen mejores resultados si se mezclan diversas clases de material con un aglutinante **(Comisión Nacional de Energía, 1991)**.

El valor calorífico de los desechos biocombustibles bien secados y comprimidos es similar al de la leña, la briqueta puede estar fabricada con muy diversos materiales compactados. Así, la materia prima de la briqueta puede ser biomasa forestal procedente de aprovechamientos silvícolas, biomasa forestal procedente de residuos orgánicos **(CONAE, 1999)**.

La característica común de todas las briquetas es su alta densidad. Su forma suele ser cilíndrica; pero no lo es así siempre. Por ejemplo, las briquetas de carbón vegetal que se obtienen compactando polvo o carbón granulado tienen forma cilíndrica de 12-20 cm de largo. .Las briquetas son un combustible (de origen ligno celulósico en la mayor parte de los casos) formado por la

compactación de biomasa (lignocelulósica en la mayor parte de los casos). La materia prima fundamental serán las astillas y residuos de madera **(FAO, 1991)**.

Sin embargo, a veces, las briquetas están formadas por la compactación de cualquier tipo de biomasa residual. La forma de las briquetas es muy variada y depende de la maquinaria utilizada en su obtención. Sin embargo, casi todas las briquetas fabricadas en la actualidad son de forma cilíndrica. Otra forma de las briquetas es la de sección octogonal, con un hueco redondo en el centro. De esta manera se consigue una ignición más rápida; esto puede resultar ventajoso o perjudicial (dependiendo del objetivo buscado). Otra forma es la sección rectangular, ligeramente redondeada en las cuatro esquinas para así no desintegrarse con los golpes. Este tipo de briquetas arden más despacio pero se almacenan mucho mejor pues ocupan menos volumen a igualdad de peso que el tipo cilíndrico o el de prisma octogonal hueco de 62 mm. y un orificio interior central de diámetro igual a 15 mm. El largo es variable y depende del fabricante de la briketa pues puede cortarla al largo que estime oportuno. Se procura que el aspecto de la briketa sea lo más parecido al de la leña para que así en las chimeneas parezca que arda leña. Por ello se prefieren las briquetas cilíndricas **(Cukierman et al., 1996; Winkelman, 1955)**.

Como se conoce, la mayoría de las desventajas que tiene el uso de la biomasa como combustible se derivan de su baja densidad física y energética. Por eso es tan importante su densificación. La densificación de la biomasa se puede definir como su compresión o compactación, para disminuir los espacios vacíos

entre las partículas y dentro de las partículas (**Favorode et al., 1987; Santamaría, 2004**).

Productos compactados con menos de 30 mm de diámetro son considerados convencionalmente pellets y con diámetros mayores, briquetas. Los productos compactados no aglutinados son conocidos por bultos o pacas. La formación de briquetas, pellets, pacas, etc. se justifica no sólo por la reducción del volumen de los combustibles, sino también por la transformación de sus propiedades (**Rodríguez, 2000; Castellón, 2003**).

En los últimos años se ha venido creando una conciencia cada vez mayor sobre el empleo de residuos de madera y otros orgánicos compactada en forma de briquetas, bolas o "tramos", como combustible doméstico o industrial.

Las briquetas se forman generalmente haciendo pasar el material molido o las virutas secas a través de un troquel cilíndrico partido, usando un vástago hidráulico. La presión ejercida, de unos 1 200 Kg/cm², y el calor resultante generado aglomera las partículas de madera en forma de "leños" artificiales. (**Villegas, 2000**).

Aspectos fundamentales a tener en cuenta a la hora de densificar Se deben tener en cuenta fundamentalmente a la hora de abordar un proyecto para la densificación de biomasa, los siguientes aspectos: Que los productos (pellets, briquetas, etc.) mantengan sus propiedades como sólidos compactados hasta que cumplan su función (durante su manipulación, transporte, almacenaje, dosificación y combustión). Que se comporten satisfactoriamente como

combustibles, dentro de un sistema integral concebido **(Roque, 1990; Sitkey, 1986)**.

Las biomásas como la paja de caña, la cáscara de arroz y el aserrín con su "elasticidad natural", requieren para su densificación en briquetas, mayores presiones que los materiales inorgánicos, debido a la necesidad de romper las paredes celulares mediante presión y temperatura **(Robles-Gil, 2001; Sebastián et al., 2002)**.

Idealmente, para concebir un proyecto de utilización, se analizan los requerimientos del transporte, manipulación, almacenaje y combustión, calidad del servicio energético, impactos al medio y sobre los productos, residuales y desechos, etc., y luego, a partir de las características físicas y químicas del combustible sólido de baja densidad disponible, se escoge el método de preparación y densificación óptima y la máquina capaz de lograrlo, la transportación y el almacenaje, el sistema de combustión, etc. Según el criterio de una empresa española productora de briquetas y pellets de aserrín **(Sebastián et al., 2002)**.

El éxito de un proyecto de producción de briquetas con fines energéticos lo fundamentan dos conceptos: Tenacidad y confianza en la investigación aplicada. La integralidad del concepto. El combustible, la briqueta, es sólo una parte: el "portador". Lo esencial es el servicio energético que se logre integralmente **(Domínguez et al., 2002)**.

La humedad inicial del material biomásico a tratar por una parte a causa de las grandes presiones internas que se levantan en las prensas de pistón, sólo se

podrían "briquetear" combustibles relativamente secos. El incremento de la humedad causa mayor cantidad de vapor de agua que se genera durante la compresión, el cual, o rompe la briqueta por su superficie al enfriarse o puede producir una explosión que lanza la briqueta como un proyectil. En el caso de un brusco incremento de la humedad en el material de la entrada, la explosión de vapor puede incluso dañar la prensa **(Cukierman et al., 1996; Díaz Do Santos, 2002)**.

Por otra parte mientras menor sea la humedad del material inicial, la fricción en el proceso aumenta y con ello se incrementa la demanda de energía. Los límites de humedad dependen del material y el tipo de "briqueteadora" que se utiliza, normalmente se acepta como humedad óptima alrededor de 7 %, permitiéndose como límite inferior 5 % y como superior 15 %. En algunos casos específicos se reporta hasta 20 % de humedad estas limitaciones de humedad y el control de la homogeneidad del proceso, exigirían en muchos casos el secado como paso previo o al menos el control de la humedad **(Díaz Do Santos, 2002)**.

En la formación de bultos o pacas, por lo general, el tamaño de la partícula tiene menor importancia y mientras más largas éstas sean se facilita el amarre o tejido. Para la formación de briquetas se acepta que: "sólo lo que puedas palear, lo podrás briquetear". En general, el material a briquetear idealmente deberá contener partículas largas y cortas. La longitud misma de la partícula dependerá del material y diámetro del dado. Mientras mayor sea la máquina y el dado, mayor podrá ser la partícula, por ejemplo para dados de 125 mm de diámetro, la partícula más larga será de 15 mm. En muchos casos esta

restricción obliga a introducir la molienda previa del material, obviamente la paja de caña requerirá de su molienda previa para la producción de briquetas y pellets **(Domínguez et al., 2002; Favorode et al., 1987)**.

La densificación que se produce durante la formación de briquetas comprende dos procesos bien definidos: La compactación volumétrica bajo presión del material disperso que aumenta su densidad, la aglomeración o aglutinación del material que permite que el mismo mantenga su compactación como producto. Tres factores inciden y regulan este proceso: La composición física y química del material, la presión dinámica, la temperatura interna del proceso y externa (en el dado). Por lo general, las biomásas residuales como compuestos lignocelulósicos, aportan la lignina propia como aglutinante, no comportándose así el aserrín que necesita de un aglutinante para que mantengan sus propiedades como sólidos compactados durante su manipulación, transporte, almacenaje, dosificación y combustión. La temperatura, dependiendo de la briqueteadora, se relaciona con la presión debido a la fricción interna entre las partículas y con la pared del dado y algunas veces se usan fuentes externas de calor (se calienta el dado en su sección de entrada) **(Villegas, 2000)**.

Para mejorar la combustión, algunas veces se usan aditivos que facilitan el encendido uniforme y mejorar las características de la briqueta. El uso de la biomasa como combustible no es una necesidad de los países pobres y subdesarrollados, sino de todos los países del mundo en la lucha contra la contaminación y por lograr el desarrollo sostenible. (Combustibles sólidos de baja densidad) **(FAO, 1991; Santamaría, 2004)**.

La importancia de Las briquetas radica en que son combustibles limpios y baratos, son restos de madera, virutas, etc. Gracias a las briquetas compactas se rebajan los gastos de almacenaje y de transporte. Además es un combustible a almacenar muy seguro ya que el peligro de que las briquetas ardan por sí mismas durante su almacenaje es mínimo **(Castellón, 2003)**.

Un elemento a tener presente es el rendimiento en combustible quemado de las briquetas, siendo una característica muy importante que debe ser evaluada. Está definida como la razón entre la cantidad en peso de briquetas quemadas, y la máxima cantidad de material que puede ser quemado. Elevado rendimiento en combustible quemado con valores de hasta el 98%.

De acuerdo a la FAO 1991 al quemar un kilogramo de briqueta se ahorran tres

El briqueteado es una tecnología de aumento de tamaño de las partícula que componen La briqueta, en el que con la cascarilla de arroz reducida a polvo se fabrican briquetas de diferentes formas y tamaños. La densificación del producto generalmente es obtenida por compresión mecánica. En los procesos de briqueteado seco es necesario contar con altas presiones de compactación. En tal caso no es necesario el uso de aglomerantes, pero este proceso es caro y recomendado sólo para altos niveles de producción. Por otro lado, el proceso de briqueteado húmedo requiere bajas o menores presiones de trabajo, pero se hace necesario usar una sustancia aglomerante por compresión mecánica usando diversas sustancias aglomerantes como por ejemplo la arcilla, bentonita o almidón de yuca. El uso de aglomerante permitió reducir la presión de trabajo **(Domínguez et al., 2002)**.

El proceso comienza con la conversión de la cascarilla de arroz en un polvo fino, mediante su molienda en un molino de martillos. Luego se mezcla el polvo fino con agua y una sustancia aglomerante. La mezcla pastosa formada es puesta en una prensa briqueteadora. Finalmente la briqueta necesita ser secada para reducir el contenido de agua. El secado puede realizarse al aire libre.

Frente a esta realidad, se planteó el siguiente problema: ¿Es posible el uso de la cascarilla de arroz como combustible por briquetas para el uso doméstico e industrial? Teniendo como objetivos: Experimentar el uso de la cáscara de arroz como combustible para fines de uso doméstico e industrial, para disminuir la contaminación ambiental que produce la cascarilla de arroz; determinar los índices térmicos de la briqueta de cáscara de arroz y proponer el cambio de la forma de uso de combustibles tradicionales por otros como la cascarilla de arroz.

Se planteó como hipótesis que es posible usar la cáscara de arroz para combustible a través de diferentes procesos físicos que permitan un poder calorífico igual o superior a la leña, y conseguir de esta manera, la reducción de la tala de vegetales para madera, contribuyendo además a la reducción de los residuos sólidos generados a partir de la cáscara de arroz.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

Material

Cáscara de arroz, aglutinantes, arcilla y agua

Descripción de las propiedades de Cáscara de Arroz

El arroz es uno de los alimentos más comunes e importantes en el mundo por lo que se generen altas producciones anuales. Sólo en nuestro país, en el año dos mil seis se registró una producción de 450 mil toneladas de arroz - cáscara de las cuales el 20 % representó a la cascarilla de arroz (90 mil toneladas anuales) (**Anuario del arroz, 2002**).

Si se considera que la cascarilla de arroz no presenta propiedades nutritivas significativas, por que presenta un alto contenido de Dióxido de Silicio (SiO_2), lo cual lo hace imposible de ingerir como alimento, además de contener un bajo contenido de celulosa (40% aproximadamente), presenta un valor nulo por ser desecho y no se le ha dado un uso adecuado para conferirle un valor agregado y por esto existe la factibilidad de poder utilizarlo como combustible con las briquetas (**Domínguez et al., 2002**).

Las Briquetas Orgánicas

Se producen aprovechando los residuos agrícolas y urbanos, los cuales son un problema que genera la proliferación de plagas y ciertas enfermedades tanto para la agricultura y la salud humana.

El sencillo y práctico proceso industrial que estamos ofreciendo, permite la fabricación (tanto en pequeña escala, como en producción industrial) de "briquetas" a partir de "menudo o polvo" de origen vegetal, obteniendo sin dificultades briquetas fuertes y de excelente aspecto y acabado. Tanto las

briquetas obtenidas a base de vegetal (siguiendo las instrucciones de nuestro proceso) tienen una perfecta "combustión", prácticamente sin formación de humos molestos y con mínimos residuos finales, ya que se queman totalmente. En toda operación de fabricación de "briquetas" intervienen los siguientes elementos: **(Castellón, 2003)**.

- 1.- Menudo polvo de origen vegetal
- 2.- Sustancias "aglomerantes", que actúan como agentes de unión intermolecular del carbón subdividido.
- 3.- Moldes adecuados a la forma que han de tener éstas (forma de paralelepípedo, cilíndrico, rectangular o cuadrado, o bien, en ovoides o bolas).
- 4.- Una sencilla máquina troqueladora y una mezcladora. La elección de agentes aglomerantes es fruto de experiencias prácticas, al objeto de escoger entre los mejores, los de menor producción de humos durante la combustión de la "briqueta". Utilizando los aglomerantes precisos para el mismo.

Los componentes de las fórmulas (para preparar los "aglomerantes") son: Un agente activador de la combustión, un aglomerante que puede ser Carboximetil celulosa, o bien un Polietilenglicol, un Silicato sódico y agua, almidones, dextrinas y demás colas, estos deben ofrecer una combustión buena y poca producción de humos (que hay que evitar). Como puede apreciarse, todas las materias primas componentes de las fórmulas son productos muy conocidos y que resultan económicos, sin problema de encontrarlos fácilmente en todos los mercados.

Aglutinantes

Se emplean para granular por vía húmeda. Actúan aglomerando sustancias que de por sí solo se compactarían a grandes presiones: Reducen la presión de compactación. Hay que valorar de forma correcta la cantidad de aglutinante a añadir tanto por exceso como por defecto, ya que puede ser un problema. Por defecto sería una granulación defectuosa y se fragmentará el comprimido; por exceso el gránulo sería muy duro y disminuye la biodisponibilidad.

Como aglutinantes usados en la prueba de selección tenemos:

- Almidón.- Forma complejos con el ácido salicílico y ácido benzoico retrasando la solubilidad de los mismos, se emplea en comprimidos que queremos que se desintegren de forma rápida, cuando la formulación es rica en aerófilos, combinar el almidón, suele ir en concentraciones de 5,7 -10 % y aglutina en forma de engrudo.
- Goma arábiga.- Forma parte de todos los comprimidos bucales.
- Gelatina.- Restos córneos de vacunos y otros y goma arábiga, tiene una elasticidad muy buena.

Aglomerantes

Un aglomerante es algo que que une, se dice del material capaz de unir fragmentos de una o varias sustancias y dar unidad al conjunto, por efectos exclusivamente físicos; son aglomerantes la cal, el betún, la arcilla, el yeso, la cola, el cemento y productos químicos desarrollados para tal fin. Normalmente el resultado es la unión de todo esto que se convierte en un producto nuevo, tipo piedra artificial, pero también puede ser un subproducto

ya aglomerado como la argamasa o mortero que siendo un aglomerado actúa como aglomerante en la unión de ladrillos y otros.

Tipos de aglomerantes: Pueden ser naturales como la arcilla, el yeso, el betún y el cemento o químicos como los nuevos subproductos de colas, resinas, etc.

En el proceso de producción de briquetas se siguen los siguientes pasos:

1. Recolección de la materia prima.
2. Molienda y trituración de la materia prima.
3. Dosificación de componentes.
4. Remolienda para prensado.
5. Prensado del material.
6. Secado y almacenaje
7. Uso por beneficiarios
8. Embalaje

Métodos

Actualmente el proyecto de gestión para el uso de la cascarilla de arroz ha diseñado los instrumentos para el proceso de fabricación de la briquetas y se ha producido experimentalmente en molinos pequeños. En lo referente a los equipos se describe el molino de fricción constituido por dos discos planos dentados que pulverizaran la cáscara de arroz con una producción de 30 kilogramos por hora , como también se puede utilizar el molino de martillo, la mezcladora es un equipo adicional para dosificar el polvo de cáscara de arroz con un aglutinante orgánico (residuos de elementos córneos de vacunos o caprinos) esta mezcla pasa a la máquina extrusora que transformará 30

Kg./h de cáscara de arroz, en pequeñas briquetas cilíndricas, diámetro 76mm x 150 mm, con hueco central y capa exterior antihumedad.

Las principales técnicas de briquetage son por Prensa de Pistón y por Extrusor de Tornillo. Las briquetas fabricadas por medio de extrusor se consideran superiores a aquellas fabricadas por prensado, en particular si el extrusor genera un orificio en el núcleo central de la briketa, lo cual facilita la combustión **(Castellón, 2003)**.

La densificación del producto generalmente es obtenida por compresión mecánica. En los procesos de briqueteado seco es necesario contar con altas presiones de compactación. En tal caso no es necesario el uso de aglomerantes, pero este proceso es caro y recomendado sólo para altos niveles de producción. En el presente proyecto, el proceso de briqueteado es húmedo requiere bajas o menores presiones de trabajo, pero se hace necesario usar una sustancia aglomerante.

También se fabricaron briquetas cilíndricas por compresión mecánica usando diversas sustancias aglutinantes como por ejemplo la arcilla, bentonita o almidón de yuca o restos córneos de vacunos. El uso de aglutinantes permite reducir la presión de trabajo.

El proceso comienza con la conversión de la cascarilla de arroz en un polvo fino, mediante su molienda en un molino de fricción. Luego se mezcla el polvo fino con agua y una sustancia aglomerante. La mezcla pastosa formada fue puesta en una prensa briqueteadora. Finalmente la briketa necesitó ser secada para reducir el contenido de agua. El secado se realizó al aire libre.

La planta piloto de briquetado de que se dispone estuvo compuesta de un molino de fricción y de martillo, una criba vibratoria, mezclador, una prensa manual y un secador. La capacidad de producción de la planta piloto fue de aproximadamente 30kg. / Hora de briquetas.

Otro elemento a tener presente es el rendimiento del producto obtenido. La eficiencia de la combustión es una característica muy importante que ha sido evaluada porque expresa la calidad de la combustión. Está definida como la razón entre la cantidad en peso de briquetas quemadas, dividido por la máxima cantidad de material que puede ser quemado, (Ec.1 y Ec.2):

$$\eta = \frac{m_i - m_f}{m_{cb}}$$

Ec.1

$$m_{cb} = (m_{\text{arroz}}(1 - \% \text{ ceniza})) + (m_{\text{restos córneos}}(1 - \% \text{ ceniza}))$$

Ec. 2

DISPOSICION FINAL DE LAS CENIZAS

Para dar una respuesta a esta problemática, se decidió desarrollar ladrillos cerámicos con dosificación de cenizas de cáscara de arroz (aplicando procedimientos convencionales de fabricación). De esta manera, se aumenta la calidad, sin reducciones significativas de resistencia a compresión o incrementos excesivos de costos y se reduce la cantidad de suelo natural utilizada aún aplicando las tecnologías convencionales de fabricación.

Esta iniciativa, se articula también con otras dos situaciones nacionales. Por una parte, la creciente demanda de insumos en la construcción debida a una

reactivación del sector. Por otro lado, se ha incrementado en el mundo, el volumen de residuos originados en diversas industrias y en las actividades cotidianas del ser humano, con los consecuentes problemas ocasionados por su acumulación. Esto ha provocado una intensificación de la búsqueda de usos alternativos para los desperdicios.

En la evaluación de adición de diferentes porcentajes de cenizas, se obtuvieron comportamientos aceptables al registrarse con la incorporación de este último residuo una mayor resistencia ante esfuerzos de compresión y una menor conductividad térmica.

En el presente trabajo se analizaron los resultados obtenidos para incorporaciones de cenizas variables entre 33 y 40% en volumen, con respecto a la cantidad de barro. Sobre los ladrillos se determinaron parámetros tales como densidad aparente, porosidad, absorción, conductividad térmica, resistencia a compresión y características morfológicas de los poros introducidos por microscopía, posibilitando la comparación de algunas de estas propiedades de acuerdo al tipo de residuo incorporado

Tal como se ha mencionado anteriormente, este desarrollo consiste en incluir a la mezcla de barro, cenizas, en diferentes proporciones y evaluar las características de las piezas, a fin de establecer cual de las dosificaciones responde mejor a las premisas de este proyecto.

En la fabricación de ladrillos cerámicos se evaluaron mezclas 1:0.33 1:0.35 1:0.40 (en volumen) de (barro: cenizas). La incorporación de mayores volúmenes del residuo no fue posible debido a la insuficiente cohesión que presentaban las mezclas.

III. RESULTADOS

SELECCIÓN DE EQUIPO: En el cuadro 1 se puede observar las características técnicas que se tuvieron en cuenta y que se tuvo que seleccionar para poder llevar a cabo la presente investigación.

CUADRO 1. Selección de equipo para el procesamiento de la cascara de arroz

EQUIPO	CAPACIDAD	DIMENSIONES	CONSUMO DE ENERGÍA
Molino	30 Kg.	Disco central de 380 mm de diámetro, sin fin 150 mm con dos rodajes cónicos	2 Kw. / h
Mezcladora	30 Kg. / h	Cilindro de mezcla medio metro cúbico	1 Kw. / h
Extrusora	30 Kg. / h	Largo 1100 mm diámetro 150 mm	5 Kw. / h

PROCESO DE DOSIFICACION En el Cuadro 2, se puede visualizar la dosificación con el aglutinante almidón de yuca en 6 probetas cuyos resultados no satisfacen el proceso de manipulación del producto en lo que se refiere a resistencia, además de la presencia de hongos cuando se almacena.

CUADRO 2. Dosificación de la briqueta con aglutinante almidón de yuca y arcilla en 6 probetas

	Briqueta 1	Briqueta 2	Briqueta 3	Briqueta 4	Briqueta 5	Briqueta 6
Código de la briqueta y especificaciones	140 g	138 g.	136 g	134 g	132 g	131 g
	arcilla	arcilla	arcilla	arcilla	arcilla	arcilla
	89 g	87 g.	85 g	83 g	81 g	79 g.
	almidón de yuca	almidón de yuca	almidón de yuca	almidón de yuca	almidón de yuca	almidón de yuca
	740 g	738 g	736 g	734 g.	732 g	724 g
	cáscara de arroz	cáscara de arroz	cáscara de arroz	cáscara de arroz	cáscara de arroz	cáscara de arroz
	31 g.	37 g.	43 g.	49 g.	55 g.	66 g.
	agua	agua	agua	agua	agua	agua
Resistencia / conservación	Regular / hongos	Regular / hongos	Regular / hongos	Regular / hongos	Regular / hongos	Malo / hongos

CUADRO 3. Dosificación de la briqueta de cáscara de arroz con residuos
córneos en 6 probetas

	Briqueta 1	Briqueta 2	Briqueta 3	Briqueta 4	Briqueta 5	Briqueta 6
Código de la briqueta y especificaciones	140 g	138 g.	136 g	134 g	132 g	131 g
	arcilla	arcilla	arcilla	arcilla	arcilla	arcilla
	89 g	87 g.	85 g	83 g	81 g	79 g.
	restos	restos	restos	restos	restos	restos
	córneos	córneos	córneos	córneos	córneos	córneos
	740 g	738 g	736 g	734 g.	732 g	724 g
	cáscara de arroz	cáscara de arroz	cáscara de arroz	cáscara de arroz	cáscara de arroz	cáscara de arroz
	31 g.	37 g.	43 g.	49 g.	55 g.	66 g.
	agua	agua	agua	agua	agua	agua
	Resistencia / conservación	Excelente / no hongos	Excelente / no hongos	Excelente / no hongos	Excelente / no hongos	Excelente / no hongos

En el Cuadro 3 se observa que el uso de restos córneos como aglutinante para la briqueta de cáscara de arroz da excelentes resultados tanto en la resistencia como en la conservación.

CUADRO 4. Proceso de dosificación de la briqueta de cáscara de arroz sin arcilla en 6 probetas

	Briqueta 1	Briqueta 2	Briqueta 3	Briqueta 4	Briqueta 5	Briqueta 6
CÓDIGO DE LA BRIQUETA Y ESPECIFICACIONES	89 g restos córneos 880 cáscara de arroz 31 g. agua	87 g. restos córneos 876 cáscara de arroz 37 g. agua	85 g restos córneos 872 cáscara de arroz 43 g. agua	83 g restos córneos 868 cáscara de arroz 49 g. agua	81 g restos córneos 864 cáscara de arroz 55 g. agua	79 g. restos córneos 855 g cáscara de arroz 66 g. agua
RESISTENCIA	Mala	Mala	Mala	Mala	Mala	Mala

Al evitar el uso de la arcilla el producto se vuelve muy frágil obteniendo la variable resistencia como mala (Cuadro 4).

En el Cuadro 5, se observa que de los tres procesos de mezcla experimentados se seleccionó como aglutinante restos córneos y arcilla.

CUADRO 5. Selección de aglutinante óptimo para la briqueta de cáscara de arroz.

RESTOS CÓRNEOS y ARCILLA	ALMIDÓN DE YUCA	SIN ARCILLA
Resistencia Excelente	Resistencia Mala	Resistencia Mala
Conservación No hongos	Conservación Presencia de hongos	Conservación No se observa
Seleccionado	Descartado	Descartado

En el Cuadro 6 se observa que el proceso de secado de briqueta se reduce hasta en un 50 % de tiempo, cuando se reduce el contenido de arcilla.

CUADRO 6. Secado natural de la briqueta de cáscara de arroz en horas en 6 probetas

	Briqueta 1	Briqueta 2	Briqueta 3	Briqueta 4	Briqueta 5	Briqueta 6	
CÓDIGO DE LA BRIQUETA Y ESPECIFICACIONES	131 g. arcilla	118 g. arcilla	105 g. arcilla	92 g. arcilla	79 g. arcilla	66 g. arcilla	
	79 g. material cohesivo	79 g. material cohesivo	79 g. material cohesivo	79 g. material cohesivo	79 g. material cohesivo	79 g. material cohesivo	
	724 g. cáscara de arroz	737 g. cáscara de arroz	750 g. cáscara de arroz	763 g. cáscara de arroz	776 g. cáscara de arroz	789 g. cáscara de arroz	
	66 g. agua	66 g. agua	66 g. agua	66 g. agua	66 g. agua	66 g. agua	
	SECADO (HORAS)	72	72	48	48	36	36

De acuerdo a investigaciones realizadas por Cukiernan et al. (1996) se recomienda que la humedad esté el 10 y 12 %. Con la reducción aglomerante arcilla de más de 50% se ha logrado que la humedad concuerde con estos estándares (Cuadro 7).

CUADRO 7. Humedad de la briqueta de cáscara de arroz en porcentaje en 6 probetas

	Briqueta 1	Briqueta 2	Briqueta 3	Briqueta 4	Briqueta 5	Briqueta 6	
CÓDIGO DE LA BRIQUETA Y ESPECIFICACIONES	131 g. arcilla	118 g. arcilla	105 g. arcilla	92 g. arcilla	79 g. arcilla	66 g. arcilla	
	79 g. material cohesivo	79 g. material cohesivo	79 g. material cohesivo	79 g. material cohesivo	79 g. material cohesivo	79 g. material cohesivo	
	724 g. cáscara de arroz	737 g. cáscara de arroz	750 g. cáscara de arroz	763 g. cáscara de arroz	776 g. cáscara de arroz	789 g. cáscara de arroz	
	66 g. agua	66 g. agua	66 g. agua	66 g. agua	66 g. agua	66 g. agua	
	HUMEDAD (%)	15	15 - 5	14	13	12	10

En las recomendaciones sobre Resistencia, Domínguez et al. (2002) Indican que es preferible el prensado en seco sin ningún aglutinante, pero este proceso requiere mayor potencia de las maquinas con lo que se consigue una resistencia de una buena calidad. En este proyecto se está utilizando aglutinantes por vía húmeda por estas consideraciones es que al secar la

briqueta su resistencia es regular, aquí sacrificamos lo que es la resistencia de calidad para la facilidad del encendido (CUADRO 8).

CUADRO 8. Evaluación cualitativa de la resistencia de la briqueta de cáscara de arroz en 6 probetas

	Briqueta 1	Briqueta 2	Briqueta 3	Briqueta 4	Briqueta 5	Briqueta 6	
CÓDIGO DE LA BRIQUETA Y ESPECIFICACIONES	131 g. arcilla	118 g. arcilla	105 g. arcilla	92 g. arcilla	79 g. arcilla	66 g. arcilla	
	79 g. material cohesivo	79 g. material cohesivo	79 g. material cohesivo	79 g. material cohesivo	79 g. material cohesivo	79 g. material cohesivo	
	724 g. cáscara de arroz	737 g. cáscara de arroz	750 g. cáscara de arroz	763 g. cáscara de arroz	776 g. cáscara de arroz	789 g. cáscara de arroz	
	66 g. agua	66 g. agua	66 g. agua	66 g. agua	66 g. agua	66 g. agua	
	RESISTENCIA	Excelente	Bueno	Bueno	Regular	Regular	Regular

CUADRO 9. Evaluación cualitativa del encendido de la briqueta de cáscara de arroz en 6 probetas

	Briqueta 1	Briqueta 2	Briqueta 3	Briqueta 4	Briqueta 5	Briqueta 6	
CÓDIGO DE LA BRIQUETA Y ESPECIFICACIONES	131 g. arcilla	118 g. arcilla	105 g. arcilla	92 g. arcilla	79 g. arcilla	66 g. arcilla	
	79 g. material cohesivo	79 g. material cohesivo	79 g. material cohesivo	79 g. material cohesivo	79 g. material cohesivo	79 g. material cohesivo	
	724 g. cáscara de arroz	737 g. cáscara de arroz	750 g. cáscara de arroz	763 g. cáscara de arroz	776 g. cáscara de arroz	789 g. cáscara de arroz	
	66 g. agua	66 g. agua	66 g. agua	66 g. agua	66 g. agua	66 g. agua	
	ENCENDIDO	Lento	Lento	Lento	Lento	Rápido	Rápido

En el Cuadro 4 se hace el análisis de la Resistencia y es que cuanto mayor contenido de arcilla tenga la briqueta es mejor en Resistencia pero muy lento en el encendido, Sebastián y Royo (2002), sin embargo, recomiendan que todo combustible sólido de calidad debe tener un encendido rápido y esto se ha logrado precisamente reduciendo la arcilla e incrementando la cascarilla de arroz en 65 gramos por cada Kg. de briqueta (Cuadro 9).

CUADRO 10. Evaluación de la eficiencia de combustión en porcentaje en 6
probetas

	Briqueta 1	Briqueta 2	Briqueta 3	Briqueta 4	Briqueta 5	Briqueta 6	Porcentaje óptimo	
CÓDIGO DE LA BRIQUETA Y ESPECIFICACIONES	131 g. arcilla	118 g. arcilla	105 g. arcilla	92 g. arcilla	79 g. arcilla	66 g. arcilla	6.6	
	79 g. material cohesivo	79 g. material cohesivo	79 g. material cohesivo	79 g. material cohesivo	79 g. material cohesivo	79 g. material cohesivo	7.9	
	724 g. cáscara de arroz	737 g. cáscara de arroz	750 g. cáscara de arroz	763 g. cáscara de arroz	776 g. cáscara de arroz	789 g. cáscara de arroz	78.9	
	66 g. agua	66 g. agua	66 g. agua	66 g. agua	66 g. agua	66 g. agua	6.6	
	EFICIENCIA DE COMBUSTIÓN (%)	80	91	94	97	97	98	100

La eficiencia de combustión de combustibles sólidos va, en el rango de eficientes, desde 97 a 99 % de eficiencia, estos estándares se han logrado por las diferentes dosificaciones de aglutinantes y cáscaras de arroz (Cuadro 10).

CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DE LAS BRIQUETAS DE CÁSCARA DE ARROZ

Se usó los valores de los Cuadros 9 y 10:

Masa inicial de briqueta de cáscara de arroz (sin agua):

$$m_i = 1000 \text{ g} - 66 \text{ g.} = 934 \text{ g.}$$

$$m_i = 789 \text{ g. (arroz)} + 6.6 \text{ g. (10\% humedad)} + 66 \text{ g. (arcilla)} + 79 \text{ g. (aglutinante)}$$

$$= 940.6 \text{ g}$$

Masa final de briqueta de cáscara de arroz: $m_f = 300 \text{ g}$

$$m_{\text{arroz}} = 789 \text{ g}$$

Masa de restos córneos (aglutinante + 10% de agua): 86 g

Porcentaje de ceniza: 34.2 %

Se aplicó la fórmula de las ecuaciones Ec. 1 y Ec. 2, para hallar eficiencia y masa de producto

$$m_{cb} = (m_{\text{arroz}}(1 - \% \text{ ceniza})) + (m_{\text{restos córneos}}(1 - \% \text{ ceniza})) + (m_{\text{arcilla}}(1 - \% \text{ ceniza}))$$

$$m_{cb} = 789 (1 - 0.15) + 86(1 - 0) + 66 (1 - 0.8) = 670.6 + 86 + 13.2$$

$$\cong 769 \text{ g.}$$

$$\eta = \frac{m_i - m_f}{m_c}$$

$$\eta = \frac{941 - 300}{769 \text{ g.}} = \frac{641 \text{ g.}}{769 \text{ g.}} = 0.83$$

$\eta = 0.83 \cong 83 \%$ de eficiencia

CUADRO 11. Evaluación de los residuos de la combustión de la briqueta de cáscara de arroz en porcentaje (cenizas) en 6 probetas

	Briqueta 1	Briqueta 2	Briqueta 3	Briqueta 4	Briqueta 5	Briqueta 6
CÓDIGO DE LA BRIQUETA Y ESPECIFICACIONES	131 g.	118 g.	105 g.	92 g.	79 g.	66 g.
	arcilla	arcilla	arcilla	arcilla	arcilla	arcilla
	79 g.	79 g.	79 g.	79 g.	79 g.	79 g.
	material cohesivo	material cohesivo	material cohesivo	material cohesivo	material cohesivo	material cohesivo
	724 g.	737 g.	750 g.	763 g.	776 g.	789 g.
	cáscara de arroz	cáscara de arroz	cáscara de arroz	cáscara de arroz	cáscara de arroz	cáscara de arroz
	66 g.	66 g.	66 g.	66 g.	66 g.	66 g.
agua	agua	agua	agua	agua	agua	
CENIZAS (%)	36,40	36.00	35,70	35 .10	34 .80	34.22

Según Bioenergy for development; Technical and Environmental Dimensions la ceniza de las briquetas tienen un contenido entre 90% - 97% de óxido de sílice SiO₂. Luego de haber realizado el encendido se ha logrado 34.2 % de cenizas, a medida que se fue reduciendo la cantidad de arcilla como aglutinante se ha reducido el porcentaje de ceniza. Esta puede ser utilizada como una de las

materias primas para la elaboración de ladrillos cerámicos de alta calidad (CUADRO 11).

CUADRO 12. Análisis comparativo del poder calorífico de 1 kg. Briqueta de cáscara de arroz con 1 kg. de carbón vegetal para la fusión de 1 kg. de aluminio.

1 KG. CARBÓN VEGETAL	1 KG. BRIQUETA 6
Prueba de fusión fusión de 1 Kg. de aluminio	Prueba de fusión 1 Kg. de aluminio
Tiempo de fusión 15 minutos	Tiempo de fusión 34 minutos
Volumen de aire insuflado 0.045 m ³ 0.00112 m ³ /min.	Volumen de aire insuflado 0.1125 m ³ 0.0112 m ³ /min.

Para poder analizar en forma práctica el poder calorífico de la briqueta de cáscara de arroz se realizaron los siguientes procesos (Cuadro 12).

1. Como elemento de comparación se ha tomado el carbón vegetal cuyo poder calorífico es de 5800 Kcal. /Kg.
2. Se pesa 1 Kg. de briqueta de cáscara de arroz 6, se desconoce su poder calorífico.
3. Para la prueba se ha elegido el material aluminio que tiene un punto de fusión a 750 °C

4. Se ha pesado 1 Kg. de aluminio y se ha probado con 1 Kg. de carbón para su fusión.
5. Se ha desarrollado el mismo proceso para la briqueta de cáscara de arroz 6.
6. El Kg. de aluminio con el uso como combustible del carbón vegetal se fundió en 15 minutos con un volumen de aire insuflado de 0,00112 m³/min.
7. El Kg. de aluminio con el uso como combustible la briqueta de cáscara de arroz 6 se fundió en 34 minutos se ha insuflado 0.0112 m³/min. de aire.

CUADRO 13. Análisis de determinación de gases de combustión

Condiciones de ensayo	Muestra	Resultados
100 °C, 1 hora	Humedad %	6.05
800 °C, 1 hora	Cenizas %	34.22
200 – 500 °C	Componentes volátiles, (gases de combustión) %	65.48
Combustión a temperatura de 500 °C	Hidrogeno, H ₂ %	5.41
	Monóxido de carbono, Co %	35.89
	Dióxido de carbono, Co ₂ %	43.12
	Metano, Ch ₄ %	16.93

Los resultados obtenidos en el Cuadro 13 muestran los siguientes rangos de variabilidad para la briqueta:

Humedad 6.05%, cenizas 34.22% componentes volátiles 65.48%, hidrogeno5.41%, monóxido de carbono 35,89% dióxido de carbono 43,12% metano 16,93 %, con un poder calórico 5800 Kcal. /Kg. .

El análisis de la briqueta de cascarilla de arroz presentado en el cuadro está dentro de los rangos encontrados a nivel mundial ausencia de de azufre y nitrógeno **(Castellón, 2003)**.

La cascarilla de arroz tiene un elevado contenido de materia volátil, en comparación con los carbones, como se puede observar en su análisis aproximado. Por otro lado, los resultados de los Análisis Termogravimétricos.

(Batacharya, 1989; Castellón, 2003), al estudiar la cinética de la combustión de la cáscara de arroz revelan que, en el intervalo de temperatura entre los 200 y 300 oC las partículas sufren una considerable pérdida en masa correspondiéndose con la liberación y combustión de los compuestos volátiles.

Entre los 300 y 530 °C se produce la combustión del char, sin observarse cambios apreciables en la pérdida de peso de las partículas.

CUADRO 14. Resultados de la disposición final de las cenizas en la dosificación de ladrillos cerámicos

Dosificación	Cantidad de residuo incorporado [%]	Densidad aparente [g/cm ³]	Resistencia a compresión [MPa]	Conductividad térmica [Kcal/hm°C]	Absorción en agua fría [%]	Porosidad [%]
Dosificación						
1:0.00	0	1,50	10,4	0,568	-	26,5
Ladrillos con incorporación de Cenizas						
1:0.33	33	1,48	10,5	0,358	-	34,0
1:0.35	35	1,46	10,7	0,355	-	39,7
1:0.40	40	1,40	10,9	0,411	-	43,9
Ladrillos con incorporación de cáscara de arroz						
1:0.33	33	1,23	4,0	0,501	16,8	44,3
1:0.35	35	1,15	3,8	0,420	19,5	52,5
1:0.40	40	1,09	3,4	0,454	20,5	52,1
1:0.45	45	1,09	3,8	0,469	21,5	53,3
1:1.50	50	0,98	2,4	0,366	24,2	57,4
1:1.55	55	0,96	2,1	0,429	23,6	57,4
1:1.60	60	0,94	2,5	0,419	25,7	58,1

En el Cuadro 14, se resumen los resultados promedio obtenidos para la disposición final de las cenizas para cada una de las dosificaciones analizadas.

Los resultados obtenidos en la investigación fueron muy alentadores ya que se logró disminuir la densidad en un 40 %, desde valores de 1.50 g/cm³ para ladrillos macizos hasta 0.9 g/cm³ para ladrillos con inclusión de ceniza de cáscara de arroz.

En cuanto a la evaluación de la resistencia a compresión de ladrillos alivianados con cáscara de arroz triturado la mayor disminución observada fue de 51%.

La norma IRAM 12566-1/05 define diversas categorías de ladrillos de acuerdo a su resistencia a compresión característica. Para ladrillos cerámicos comunes portantes, la resistencia característica a compresión debe variar entre 3.5 y 9

MPa para el tipo 2, entre 9.1 y 15 MPa para el tipo 3 y debe ser mayor de 15 MPa para el tipo 4.

Decimos que la dosificación 1:0.40 presentó el mejor comportamiento, presentando una resistencia a compresión compatible con la clasificación de ladrillo portante (10.9 MPa) y una densidad aparente de 1.40 g/cm³.

IV. DISCUSION

Algunos residuos Agroforestales pueden ser compactados en un proceso denominado Briquetage. La presente sección se basa en información del. Castellón Salas Luís Ernesto "Tecnología para la obtención de Biomasa densificada en condiciones de pequeña industria"

Esta tecnología se utiliza para generar trozos sólidos (tipo bloque o barras) a partir de material suelto de baja densidad cuya fácil dispersabilidad y elevado volumen relativo lo tornan inapropiado para transportarse o usarse en hogares de combustión.

Briquetage es una técnica de compactación a presión media, en la que se densifica el material original. Los principales productos factibles de aglomerarse son aserrín, cáscara de arroz, cáscaras duras picadas, estopa de coco, corteza de cacao y café, rastrojos de algodón, etc.

Las fuerzas adhesivas que aglomeran las partículas en las briquetasproviene de diversos orígenes. En algunos casos provienen de agentes aglomerantes externos los que se añaden al proceso. En otros casos son agentes físicos y químicos que se generan en la biomasa durante el proceso de compactación. Un entrelazado mecánico, por Ej. se presenta entre partículas fibrosas. Por otro lado, el material a compactarse puede emitir resinas debido a la presión y temperatura propias del proceso.

Características de importancia son las siguientes según Castellón en su trabajo titulado Combustibles sólidos de baja densidad, La densificación de la biomasa: briquetas, pellets, pacas. (Segunda parte).

- Tamaño de partícula (muy pequeñas ocluyen el flujo por su cohesividad)
- Adhesividad entre partículas
- Fluencia y cohesividad

- Dureza: no deben ser demasiado duras
- Debe existir presencia parcial de partículas finas que cementen los espacios entre partículas gruesas

Las principales técnicas de briquetage son por Prensa de Pistón y por Extrusor de Tornillo. Las briquetas fabricadas por medio de extrusor se consideran superior a aquellas fabricadas por prensado, en particular si el extrusor genera un orificio en el núcleo central de la briqueta, lo cual facilita la combustión. Un análisis comparativo se da a continuación Faborode, M. O. and O'Callaghan, J. R. Optimizing the Compression briquetting of Fibrous Agricultural Materials. Journal of Agricultural Engineering Research. London Academic Press. pp: 245-262, 1987.

CARACTERISTICA	PRENSA/ PISTON	EXTRUSOR /TORNILLO
Humedad Optima del Material	10 – 15 %	8- 9 %
Consumo de Energía	50 kWh/Ton	60 kWh/Ton
Densidad de Briquetas	1- 1.2 kg/dm ³	1- 1.4 kg/dm ³
Combustibilidad	no muy buena	muy buena
Carbonización a Carbón Vegetal	-----	buen carbón vegetal
Aplicación a Gasificadores (Gas Pobre)	No apropiado	Apropiado
Homogeneidad en briqueta	No Homogénea	Homogénea

V. PROPUESTA

Se propone realizar mayores experimentos dosificando cascarilla de Arroz con barro con el objeto de minimizar el uso de arcilla y alivianar el peso de estos materiales de construcción y sobre todo tengan propiedades aislantes, uno de los problemas en la zona de selva es que al calentarse los materiales conducen el calor en los interiores de las edificaciones con el malestar de los ocupantes, por esa razón se han ejecutado algunas experiencias para incorporaciones de residuos mayores a 40 %, en los ladrillos con dosificación de cascarilla tienden a presentar una resistencia a la compresión mayor los macroporos originados por la calcinación de cascarilla, presentan., las celdas de una forma regular esférica, con bordes bien definidos y sin fisuración alguna.

La menor conductividad térmica obtenida en las pruebas corresponde a la dosificación 1:1.50 (barro: cascarilla de arroz) con un valor medio de 0.366 Kcal./hm°C, para una densidad aparente de 0.98 g/cm³. Para la dosificación 1:0.40 que presenta una densidad de 1.09 g/cm³ y una resistencia a compresión que permite clasificar a los ladrillos como portantes, se obtuvieron valores de conductividad térmica promedio de 0.469 Kal/hm°C y un valor mínimo de 0.449 Kal/ hm°C. Si bien estos valores representan el mejor aislamiento térmico posible, permiten disminuir la conductividad térmica casi en un 21% con respecto a ladrillo común. Estos experimentos no son finales, porque falta determinar indicadores de minimización de uso de combustibles para la industria ladrillera, además esta sería una forma de disposición final de los residuos orgánicos peligrosos para la salud pública, se sugiere mayor investigación

VI. CONCLUSIONES

Las propiedades fisicoquímicas de la cascarilla de arroz en la Región San Martín está entre los rangos que se manejan a nivel mundial.

La cascarilla de arroz y otros residuos agrícolas secos, alcanzan rápidamente la temperatura de ignición, cuando entran a la cámara de combustión.

La etapa dominante de la combustión de la cascarilla donde se libera alrededor del 67 % del valor calórico es la combustión de los volátiles.

Al quemar cascarilla de arroz se debe tener un control sobre la temperatura de fusión de la ceniza la cual no debe sobrepasar los 1500°C, para evitar la corrosión de las paredes internas del horno.

El uso del molino de martillo no es adecuado para la molienda de la cáscara de arroz por el excesivo consumo de energía y la alta producción de polvo silíceo además las partículas son mayores de 3 mm, se va optar el uso del molino de fricción por las características granulométricas, por el menor costo de producción, se decide la utilización de extrusora en reemplazo de la prensa

1. No es posible el uso como aglutinante el almidón de yuca por presentar el producto mala resistencia y presencia de hongos al almacenar.
2. Se ha seleccionado como elemento aglutinante para la briqueta de cáscara de arroz restos córneos y arcilla.
3. La arcilla es un elemento muy importante para que la briqueta tenga resistencia a la manipulación para efectos de uso como combustible.
4. Para un eficiente secado en solo 36 horas por secado natural se recomienda el uso de arcilla 6.6 % material cohesivo 7.9 % cáscara de arroz 78.9 % agua 6.6 %.

5. Un combustible seco de calidad como la briqueta de cáscara de arroz 6 debe tener un porcentaje de humedad máximo de 10%.
6. El material es para efectos de combustión y la variable resistencia no tiene mucho significado, a no ser que influiría para efectos de transporte en la comercialización.
7. Para el uso eficaz de un combustible es necesario que su propiedad de combustión sea rápida la que también se ha logrado en nuestros trabajos experimentales.
8. La eficiencia de la combustión es el indicador mas importante del producto briqueta de cáscara de arroz 6 y esta dentro de los estándares recomendados por entidades especializadas en estos menesteres
9. La cantidad de ceniza que queda de 941 gramos de briqueta de cáscara de arroz 6 es de 150 gramos lo que indica que el material silícico de la ceniza es significativo por lo que será útil en la dosificación de ladrillos cerámicos, es decir de 941 Kg. de combustible de cáscara de arroz 6 se tendrá como ceniza 141 kg.
10. El poder calorífico de la briqueta de cáscara de arroz 6 es igual al poder calorífico del carbón vegetal es decir entre 5000 y 6000 Kcal.
11. Se necesita insuflar mayor cantidad de aire para la combustión de la briqueta cáscara de arroz 6, en 0.01008 m³/min. más que el carbón vegetal.
12. El tiempo de quemado de la briqueta de cáscara de arroz 6 es con respecto al carbón vegetal 19 minutos más.

Los resultados obtenidos en el Cuadro N° 13 no muestran componentes contaminantes como el azufre y nitrógeno y están dentro de los rangos de uso doméstico encontrados a nivel mundial

Con la disposición final de las cenizas de la briqueta de cáscara de arroz, se está eliminando un problema de salud pública como es el hecho de respirar los componentes silicosos, que de otra forma podrían ser arrastrados por los vientos por su bajo peso específico y esparcidos en un gran área afectando significativamente la salud de la población y usuarios, por esta razón es que se usa como elemento dosificador de los ladrillos cerámicos

Aplicando esta dosificación óptima se consigue una resistencia característica a compresión suficiente para clasificar a los ladrillos alivianados como portantes, un nivel de confort higrotérmico aceptable (mínimo).

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANUARIO DEL ARROZ. 2002. Revista Especializada Agroindustrial. Lima, Agosto 2001. Perú.
- BATACHARYA, S.; S. SETT & R. SHRESTHA. 1989. State of the Art of Biomass Densification. Edited by Taylor and Francis. Division of Energy Technology. Energy Sources. New York, 11, 3, pp.161-186.
- CASTELLÓN, L. 2003. Tecnología para la Obtención de Biomasa densificada en condiciones de Pequeña Industria, UCLV, Facultad de Construcciones, Departamento de Ingeniería Civil. Cuba.
- CASTELLÓN, L. (2003). Combustibles Sólidos de Baja Densidad, La Densificación de la biomasa: Briquetas, pellets, pacas. (Segunda parte). España.
- COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA. 1991. Resultados Preliminares del Análisis de las Fuentes Alternativas de Energía en Cuba.
- COMISIÓN NACIONAL DE MEDIO AMBIENTE, CONAMA-RM 2001 Actualidad APL Ladrilleros.htm. Chile.
- CONAE. 1999. [En Línea]. Energía de la Biomasa. Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, México 1999. [20 de abril del 2010]. <http://www.conae.gob.mx>
- CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA EN LAS INDUSTRIA FORESTALES. 2010. [En Línea]. "Aprovechamiento Potencial de los Residuos de madera para la Producción de Energías", (Capítulo 6). [18 de marzo del 2010]. http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/docrep/t0269s/T0269S10.htm
- CUKIERMAN, A.; P. DELLA ROCCA; P. BONELLI & M. CASSANELLO. 1996. On the Study of Thermochemical Biomass Conversion. Trends in Chemical Engineering, 3, 129-144.
- DÍAS DO SANTOS, P. 2002. Tecnología para la obtención de Bloques Sólidos Combustibles (BSC) en condiciones locales, Santa Clara, Facultad de

- Construcciones, Departamento de Ingeniería Civil, Tesis de Maestría. Brasil.
- DOMÍNGUEZ, J.; M. GONZÁLEZ & G. MUÑOZ. 2002. Una estrategia para optimizar el proceso de densificación mecánica de residuos agrícolas y agroindustriales. *Agrociencia*, 36, 5, pp. 593-604, septiembre-octubre. México.
- ERICKSON, S. and M. PRIOR. .1990. The briquetting of agricultural wastes for fuel. Food and Agricultural Organization of the United Nations, p. 131. USA.
- FABORODE, M. & J. O'CALLAGHAN. 1987. Optimizing the Compression briquetting of Fibrous Agricultural Materials. *Journal of Agricultural Engineering Research*. London Academic Press. pp: 245-262. Londres.
- HAUSMANN, F. 1974. Briquetting wood waste by the Hausmann method. *Modern sawmill techniques*, t. 3. E. Miller Freeman Publications, Inc., San Francisco, California.
- MINDESS, S. & J. YOUNG. 1981. *Concrete*. Prentice. Hall, inc. Englewood, Cliffs. p. 194-197. New Jersey.
- NORMA IRAM 12588/80. 1980. Ladrillos y Bloques Cerámicos para la Construcción de Muros. Método de Ensayo de la Resistencia a la Intemperie. Capacidad de Absorción de Agua por Inmersión en Agua Fría y en Agua Hirviendo.
- NORMA IRAM 11605/96. 1996. Acondicionamiento Térmico de Edificios. Condiciones de Habitabilidad en Edificios. Valores Máximos de Transmitancia Térmica en Cerramientos Opacos".
- NORMA IRAM 12586/04. 2004 Ladrillos y Bloques Cerámicos para la Construcción de muros. Método de Ensayo de Resistencia a la Compresión.
- NORMA IRAM 12566-1/05. 2005. Ladrillos y Bloques Cerámicos para la Construcción de Tabiques y Muros. Parte 1: Macizos.
- MIRETTI, R., R. GREYER, M. CARRASCO. (2000). Hormigones Especiales", XV Reunión Técnica de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón. Argentina,
- ROBLES, S. 2001. [En Línea]. Información Climatológica para la Aplicación de la Energía de la Biomasa. La Paz, México. [15 de enero del 2010].

<http://www.wmo.ch/web/wcp/clips2001/html/Reporte%20Biomasa.pdf>.

Agosto 2001.

RODRÍGUEZ, S. 2000. "Densificación de Biomasa Agrícolas para la Obtención del Bloque Sólido Combustible", UCLV, Facultad de Construcciones. Cuba

ROQUE, P. 1990. Combustión Universidad Central de Las Villas, Santa Clara. Cuba.

SANTAMARÍA, J. 2004. Las Energías Renovables son el futuro.

SEBASTIÁN, F., J. ROYO. 2002. [En Línea]. La Biomasa como Fuente de Energía Renovable, CIRCE, Universidad de Zaragoza, 2002. [28 de febrero del 2010]. <http://www.cps.unizar.es>

SITKEY, G. 1986. Mechanics of Agricultural Materials. Budapest, Elsevier Science Publishers. pp. 420-438. Budapest.

STEVERSON, E.; T. SEMLER & J. GOLDSBERRY. 1985. An Evaluation of Densification Technologies. EG&G Idaho, Inc. Prepared by U.S. Department of Energy Washington, D.C. p. 136.

VILLEGAS, P. 2000. Aprovechamiento de Residuos Fibrosos de la Industria Azucarera mediante Procesos de Conversión Térmica (Tesis Doctoral), Universidad Central de Las Villas, Santa Clara, Cuba.

WINKELMANN, H. 2010. [En Línea]. Director del Departamento Central de Silvicultura de Solothurn, Suiza. La madera como combustible. [25 de mayo del 2010].

http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/docrep/x5375S/x5375s05.htm.

ANEXOS

ANEXO 1: LADRILLO ALIVIANADO CON CASCARILLA DE ARROZ



ANEXO 2: LADRILLO ALIVIANADO CON CENIZA DE BRIQUETA DE ARROZ



ANEXO 3: COCINILLA PARA BRIQUETA DE CASCARILLA DE ARROZ



Dimensiones	Diámetro 170 mm Altura 250 mm
Peso	0.5 kg.
Materiales	Plancha de acero inoxidable
Combustible	Briquetas de cascarilla de arroz

ANEXO 4: BRIQUETAS DE CASCARILLA DE ARROZ



Dimensiones:
Altura: 10-15 cm
Diámetro: 10 cm.
Peso: 250 g.