

MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR

UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS



FACULTAD DE INGENIERÍA

Título: Estrategia de Producción más Limpia para el manejo de los residuales obtenidos del proceso de molinado del arroz en la UEB Industrial de Arroz, "La Paquita".



**Tesis en opción al nivel académico Máster en
Producción más Limpia**

Autora: Ing. Gretchen Caballero Pérez

Tutor: Dr. José Ramón Fuentes Vega

**Año de ejecución 2018.
"Año 60 de La Revolución"**

Universidad de Cienfuegos

Empresa Agroindustrial de Granos Aguada

Hago constar que el presente trabajo fue realizado por la Universidad de Cienfuegos de conjunto con la Empresa Agroindustrial de Granos Aguada, como parte de la culminación de los estudios de postgrado con mención de maestría en Producciones Más Limpias, autorizando a que el mismo sea utilizado por dichos centros con los fines que estime conveniente: tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos ni publicado sin la aprobación de los mismos.

Firma del Autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según el acuerdo de la dirección del centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener en cuenta un trabajo de esta envergadura, refiriendo la temática señalada.

Información Científico-Técnica

Nombre Apellidos y Firma

Computación

Nombre Apellidos y Firma

Firma del Tutor

El mundo pertenece a quien se atreve.....

Charles Chaplin

A Mimi

A mi tía por enseñarme todo lo que se

A Rosario, te quiero mucho

Agradecimientos

A mi familia por dejarme ser

A mi tutor Dr. José Ramón Fuentes (Chiqui) por ayudarme y guiarme en esta
oportunidad

Resumen

El presente trabajo titulado “Estrategia de Producción más Limpia para el manejo de los residuales obtenidos del proceso de molinado del arroz en la UEB Industrial de Arroz, “La Paquita”, tiene como objetivo proponer una solución viable y eficiente para el tratamiento de la cascarilla de arroz. Por las características físicas – químicas del residual su proceso de biodegradación es muy lento, lo que hace que se aglomere grandes volúmenes de la misma en los alrededores de la unidad, convirtiéndola en un desecho peligroso para el medio ambiente. En el desarrollo de la investigación se realizó un estudio de posibles usos de la cascarilla a partir de su caracterización; se analizó a detalle cada una de sus propiedades para así obtener la propuesta más eficiente.

Se determinó que el uso del residuo en la quema controlada, en un horno de combustión para la generación de energía en forma de calor, es la alternativa más conveniente y de mayor utilidad, teniendo en cuenta que el arroz es secado en la UEB mediante calor generado por un quemador de diesel. La cantidad de cáscara de arroz necesaria a combustionar para secar 1 tonelada de arroz húmedo es de 40 a 65 kg.

Se propone el diseño de un horno de combustión de lecho fijo con el diseño de gasificadores dentro de la cámara de combustión y una briqueteadora hidráulica, para obtener la mayor y mejor combustión de la cascarilla. La ceniza obtenida en el proceso de combustión se presenta como uso en adiciones minerales en el cemento o aditivos minerales para hormigón.

Abstract

The present work entitled "Strategy of practical of cleaner production for the reuse of the residuals in the rice milling process in the UEB Industrial de Arroz," La Paquita ", aims to propose a viable and efficient solution for the treatment of rice husk, residual obtained in the process of milling. Due to the physical and chemical characteristics of the waste, its biodegradation process is very slow, which causes it to agglomerate large volumes of it in the surroundings of the unit, converting it into a hazardous waste for the environment. In the development of the investigation a study of possible uses of the scale was made from its characterization; each of its properties was analyzed in detail to obtain the most efficient proposal.

It was determined that the use of the waste in controlled burning, in a combustion furnace for the generation of energy in the form of heat, is the most convenient and most useful alternative, taking into account that rice is dried in the UEB by heat generated by a diesel burner. The amount of rice husk needed to be burned to dry 1 ton of wet rice is 40 to 65 kg.

We propose the design of a fixed bed combustion furnace with the design of gasifiers inside the combustion chamber and a hydraulic briquetting machine, to obtain the biggest and best combustion of the scale. The ash obtained in the combustion process is presented as use in mineral additions in cement or mineral additives for concrete.

Índice

Introducción.....	1
Capítulo. I Estudios Documentales.....	7
1.1 Introducción.....	7
1.2 Energía Renovables.....	7
1.2.1 Definición de Energías Renovables.....	7
1.2.3 Relación entre medio ambiente, energía y energías renovables.....	9
1.3 Utilización de la biomasa.....	11
1.3.1 Procedencia de la biomasa.....	12
1.3.2 La biomasa como fuente de energía.....	15
1.3.3 Características de la biomasa.....	16
1.3.4 Situación mundial de la biomasa.....	18
1.3.5 Uso de la biomasa en Cuba.....	19
1.4 Densificación de la Biomasa con fines energéticos.....	19
1.4.1 Proceso de densificación.....	19
1.4.2 Características que debe reunir una materia prima, en general, adecuada para ser densificada.....	19
1.4.3 Análisis del proceso de densificación.....	20
1.4.4 La briqueta.....	22
1.4.5 Ventajas del uso de las briquetas.....	22
1.5 La cascarilla de arroz, características y potencialidades.....	23
1.5.1 Uso de la cáscara de arroz como combustible.....	24
1.5.2 La cáscara de arroz en Cuba.....	25
1.6 Fundamentos de la Producción Más Limpia (PML).....	25
1.6.1 Herramientas diagnósticas de Producción Más Limpia.....	26
1.6.2 Beneficios de la Producción Más Limpia.....	26
1.6.3. Estrategias de Producción más Limpia (P+L).....	27
Conclusiones parciales.....	30
Capítulo II Estrategia de Producción más Limpia para el manejo de los residuales en la UEB Industrial de Arroz.....	31
2.1 Introducción.....	31
2.2 Estrategia de Producción más Limpia.....	31
2.2.1 Descripción de las Etapas de la Estrategia.....	32

2.3 Compromiso de la Dirección y definición de los objetivos de la estrategia	33
2.4 Empresa Agroindustrial de Granos Aguada (EAIGA)	33
2.5 Proceso de Secado y Molinería de Arroz en la UEB Industrial de Arroz	35
2.5.1 Proceso de secado	35
2.5.2 Proceso de Molinería.....	38
2.6 Cantidad de Arroz molinado a partir del año 2017 hasta cierre de agosto de 2018.....	40
2.6.2 Identificación de residuos y malas prácticas de proceso	42
2.7 Características de la cascarilla de arroz	43
2.7.1 Composición de la cascarilla de arroz de distintas variedades en diferentes países	43
2.7.2 Características de la cascarilla de arroz de las variedades cultivadas en Cuba.....	45
Conclusiones parciales	47
Capítulo. III Alternativas de uso y tratamiento de la cascarilla de arroz	48
3.1 Introducción	48
3.2 Posibles usos y tratamiento de la cascarilla de arroz	48
3.2.1 Quema abierta de cascarilla de arroz	48
3.2.2 Enterramiento de la cascarilla de arroz y uso como fertilizante	49
3.2.3 Utilización de la cascarilla de arroz como relleno en camas de corrales porcinos y avícolas.....	50
3.2.4 Uso de la cascarilla de arroz como aditivos para obtener otros materiales	50
3.2.5 Tratamiento térmico previo con el objetivo de darle uso posterior definitivo	51
3.2.6 Uso de la cascarilla de arroz como fuente de energía	51
3.3 Alternativa de uso más eficiente de la cascarilla de arroz, para UEB Industrial de Arroz.....	52
3.4 Características térmicas de la cascarilla de arroz.....	53
3.5 Punto de fusión y ensuciamiento de la ceniza de la cáscara de arroz	55
3.6 Cantidad de cascarilla producida por la empresa	57
3.6.1 Cálculo de la energía necesaria para secar 1 tonelada de arroz, a partir de la combustión de diesel.....	58
3.6.2 Cantidad de cascarilla de arroz (CA) necesaria a combustionar para el secado de 1 tonelada de arroz húmedo	58

3.6.3 Cantidad de cascarilla de arroz (CA) necesaria para el secado de la producción en el año 2017 cierre de agosto 2018	59
3.7 Ahorro de combustible	60
3.8 Propuesta de diseño de un horno para la combustión de la cascarilla de arroz	61
3.8.1 Selección del horno para la combustión de la cáscara de arroz.....	61
3.8.2 Análisis para la selección del horno	62
3.9 La Multitubularidad y la efectividad de la combustión de los combustibles	62
3.10 Propuesta de diseño de una briqueteadora.....	63
3.11 Propuesta de uso de la ceniza obtenida en la quema de la cascarilla de arroz	64
Conclusiones parciales	67
Conclusiones.....	68
Recomendaciones	69
Bibliografía.....	70
Anexos	77

Introducción

Un problema en la actual actividad humana por solucionar en los países en desarrollo, es el tratamiento a la inmensa cantidad de residuos que se generan en la industria y la agricultura, siendo una parte significativa de dichos residuos la biomasa.

La biomasa, definida como la materia orgánica renovable de origen vegetal, animal o procedente de la transformación natural o artificial de la misma, es una fuente de variados usos y utilidad, en ocasiones es usada para alimento animal, como tratamiento de los suelos; la madera, residuos agrícolas y estiércol continúan siendo la fuente principal de energía y, en parte, de materias primas para muchas actividades en países poco industrializados.

En los últimos años, la crisis energética mundial ha obligado a las empresas del sector industrial y agroindustrial a buscar nuevas alternativas de fuentes de generación de energía a más bajo costo y con menos influencia negativa en el medio ambiente. Es imposible negar la creciente escasez de los combustibles fósiles, y el daño ambiental que produce su explotación y utilización en la industria, por otra parte la generación de energía aprovechando fuentes naturales como la corriente de los ríos, las caídas de agua, la energía de los vientos, la energía solar, y otras, tiene como inconveniente el alto costo que implicaría porque presupone una infraestructura e inversión inicial considerable, además de depender de condiciones ambientales y geográficas específicas. Este hecho obliga a las industrias a buscar fuentes alternativas de generación de energía. Ante la necesidad de desarrollar alternativas tecnológicas que permitan la utilización de elementos desechados en procesos productivos para aprovechar su potencial y contribuir a la disminución del impacto ambiental que puedan generar por una inadecuada disposición, surge la oportunidad de aprovechar productos vegetales de desecho que permitan innovar en el área de los materiales de ingeniería, campo en el cual la cascarilla de arroz se perfila como desecho de amplia utilidad.

La utilización de desechos como fuente de obtención de energía representa un importante avance en esta dirección, viable desde el punto de vista técnico, además de ser muy conveniente desde el punto de vista económico y ecológico, siguiendo así la tendencia de los últimos años de las políticas encaminadas al uso sostenible y el aprovechamiento adecuado de los recursos.

El arroz, forma parte de un grupo de 19 especies de hierbas de la familia de las Gramíneas, aunque es el arroz común, *oryza sativa*, la única especie importante para el consumo humano. Se trata de un cereal considerado alimento básico en muchas culturas culinarias. Es sin duda el principal producto alimenticio del mundo para más de 1000 millones de personas, se cultiva en terrenos pantanosos, montañas, tierras bajas. En las regiones tropicales el arroz se planta y cosecha prácticamente todo el año (período de crecimiento entre 100-180 días), la producción mundial ha alcanzado el nivel record de 657,3 millones de toneladas (unas 438,1 millones de arroz molido). Se puede decir que el arroz es el cereal más importante en la alimentación humana. (Vargas, 2013)

El arroz en Cuba es considerado un alimento fundamental, elemento básico de la dieta de la población, no se concibe una mesa servida en Cuba que no cuente con el cereal. Este año se aspira en la isla a una producción total de 573 mil 485,5 toneladas de ese rubro, a partir de la siembra de 138 mil 445 hectáreas y un rendimiento de 4,14 toneladas por hectárea. (Díaz, 2017)

En la industria arroceras el principal desecho que se genera es la cascarilla que recubre el grano de arroz, tan sólo un 5% se está aprovechando debido a sus reducidas aplicaciones. (Piñeiros, 2011). La cascarilla del arroz, compuesta fundamentalmente por fibras, celulosa, y minerales, tiene una utilización restringida en el campo de la elaboración de alimentos concentrados para animales, debido a su alto contenido de sílice (SiO_2) elemento que disminuye notablemente su digestibilidad. Debido a su constitución físico-química, la cascarilla es además un desecho de muy difícil biodegradación, esto sumado al hecho de que en las plantas procesadoras de arroz la cantidad de cascarilla

generada oscila en cifras del 22% en peso de la producción total, y considerando el muy bajo peso específico de la cascarilla a granel (125 kg./m^3) ocasiona que la evacuación y el transporte de la cascarilla represente un problema considerable que implica unos costos elevados y un impacto perjudicial para el medio ambiente. (Prada, 2010)

El 60% de la cosecha, y el 100% de la producción arroceras en la provincia de Cienfuegos están concentradas en el municipio Aguada de Pasajeros. La Empresa Agroindustrial de Granos Aguada es la encargada de producir y comercializar de forma mayorista arroz en sus distintas formas y subproductos.

La Empresa cuenta con siete UEB que conforman el aparato económico, siendo la UEB Industrial de Arroz “La Paquita” la más importante y la encargada de todo el proceso de secado y molinería del arroz. El proceso de producción de arroz consumo cuenta con dos etapas, la primera el secado y limpieza del arroz cáscara y la segunda etapa de molinado, obteniendo como producto final arroz consumo, además de punta de arroz y polvo como subproductos, y cascarilla de arroz como desecho.

A partir del año 2015 se pone en marcha dos líneas de molinería, con una capacidad de 10 toneladas de arroz consumo por hora. Hasta la fecha se ha producido un total de 30 206.16 toneladas de arroz, destinado al consumo de la población, comercializado mediante el MINCIN, y un total de 6 645.35 toneladas de cascarilla.

Para la realización de esta investigación es necesario apoyarse en técnicas de recopilación de información y datos, tales como: Revisión de documentos, estudios detallados y específicos de usos de biomasa como energía, análisis de la situación actual de la cascarilla de arroz en la UEB Industrial de Arroz.

Problema científico

Actualmente no se cuenta con una estrategia de Producción más Limpia que permita desarrollar un programa para el manejo de la cascarilla de arroz en la UEB, para así disminuir los grandes volúmenes existentes de la misma y el impacto perjudicial que éste desecho tiene para el medio ambiente.

Hipótesis

Si se implementa una estrategia de Producción más Limpia que permita desarrollar un programa para el manejo de la cascarilla de arroz en la UEB, se eliminaría los grandes volúmenes existentes de la misma y se obtendría una alternativa de tratamiento de desechos contaminantes dentro de la industria arroceras.

Objetivo general

Elaborar una estrategia de Producción más Limpia para determinar propuestas de reutilización de la cascarilla de arroz generada en el proceso de molinado en la UEB Industrial de Arroz.

Objetivos específicos

- Realizar un estudio en la literatura acerca de la biomasa como energía renovable, sus propiedades y potencialidades.
- Desarrollar una estrategia de Producción Más Limpia para el manejo de la cascarilla de arroz.
- Analizar las propiedades energéticas de la cascarilla de arroz para su uso como combustible en el proceso de secado.
- Proponer el diseño de un horno para la combustión de la cascarilla de arroz y de una briqueteadora para su densificación.

- Proponer un uso a la ceniza obtenida en la quema de la cascarilla de arroz.

Fundamentación del trabajo

- La Empresa de Granos Aguada en conjunto con la UEB Industrial de Arroz desde su inserción en el proceso de perfeccionamiento empresarial ha mostrado interés por mejorar su desempeño ambiental y económico, por lo que los resultados de este trabajo representaran mejoras para lograr dicho objetivo.
- Todo lo descrito justifica la factibilidad de la ejecución del presente proyecto de investigación. El mismo queda catalogado como viable debido a que los recursos humanos, financieros, materiales y de tiempo son posibles de obtener en las condiciones actuales.
- Tiene importancia económica, porque representa una vía para reducir costos de producción, pues usando la cascarilla de arroz como material para la producción del calor necesario en el proceso de secado se reduce el consumo diesel, combustible que se encuentra a altos precios en el mercado mundial, y de esta manera se contribuye a la disminución de la contaminación ambiental.

Aportes.

1. Determinar las oportunidades de reutilización de la cascarilla de arroz, de esta manera se elimina la acumulación de la misma en la unidad, y se disminuye la contaminación ambiental que esta genera. Se integra al proceso productivo la utilización de dicho residuo, como cierre de ciclo.

Las tareas técnicas a desarrollar durante el período de trabajo son:

1. Realizar un estudio en la literatura acerca de la biomasa como energía renovable, sus propiedades y potencialidades. Análisis de las características de la cascarilla de arroz, estudio de sus posibles usos y tratamiento.
2. Planeación y organización.

3. Evaluación preliminar del proceso productivo en la UEB, determinar la cantidad de arroz que es secado, el arroz que se molina y la cascarilla de arroz que genera este proceso.
4. Realizar un estudio detallado de los usos y tratamiento de la cascarilla de arroz.
5. Análisis energético de la cascarilla de arroz para su uso como combustible en el proceso de secado.
6. Propuesta de posibles usos de la ceniza generada en el proceso de combustión de la cascarilla de arroz.

Estructura de la Tesis.

Con vistas a alcanzar los objetivos planteados para la investigación el trabajo se encuentra estructurado en tres capítulos, conclusiones generales y recomendaciones.

El capítulo I estudia temas relacionados a las energías renovables y la relación beneficiosa que esta tiene con el medio ambiente. Se caracteriza la biomasa y se realiza un estudio sobre su uso como fuente de energía. Se analiza las propiedades de la cascarilla de arroz y su uso histórico como fuente de generación de energía.

El capítulo II describe de manera general el objeto social de la Empresa Agroindustrial de Granos Aguada (EAIGA). Se describen los procesos de secado y molinería aplicados al arroz en la UEB Industrial de Arroz. Se cuantifica mediante tablas la cantidad de cascarilla de arroz producida en el proceso de molinería. Se desarrolla una estrategia de Producción más Limpia para el manejo de la cascarilla de arroz, que permita encontrar una solución para disminuir la contaminación que esta genera.

El capítulo III estudia los posibles usos y tratamientos que se le puede dar a la cascarilla de arroz, las características térmicas de la misma para su uso como combustible en el proceso de secado.

Capítulo. I Estudios Documentales.

1.1 Introducción

El capítulo aborda temas referidos a las energías renovables, las características de la biomasa y su uso como fuente de energía, además de la descripción del proceso de densificación de la misma. Se analiza las propiedades físico-químicas de la cascarilla de arroz y su potencialidad como fuente de generación de energía. Descripción de los fundamentos y beneficios de la Producción más Limpia en el cuidado ambiental. Para su desarrollo se realizó un profundo estudio en diferentes bibliografías, extraídas desde fuentes digitales y bibliotecas.

1.2 Energía Renovables

El consumo de energía es uno de los grandes medidores del progreso y bienestar de una sociedad. El concepto de "crisis energética" aparece cuando las fuentes de energía de las que se abastece la sociedad se agotan. Un modelo económico como el actual, cuyo funcionamiento depende de un continuo crecimiento, exige también una demanda igualmente creciente de energía. Puesto que las fuentes de energía fósil y nuclear son finitas, es inevitable que en un determinado momento la demanda no pueda ser abastecida y todo el sistema colapse, salvo que se descubran y desarrollen otros nuevos métodos para obtener energía: éstas serían las energías renovables.

Por otra parte, el empleo de las fuentes de energía actuales tales como el petróleo, gas natural o carbón acarrea consigo problemas como la progresiva contaminación ambiental, y generación de gases que provocan el efecto invernadero. (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 2011)

1.2.1 Definición de Energías Renovables

Energía renovable es la energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales.

El concepto de energía renovable abarca categorías heterogéneas de tecnologías. Algunos tipos de energía renovable permiten suministrar electricidad y energía térmica y mecánica, y producir combustibles capaces de cubrir las múltiples necesidades de los servicios energéticos. Algunas tecnologías de la energía renovable pueden ser adoptadas en el lugar de consumo (en régimen descentralizado) en medios rurales y urbanos, mientras que otras son implantadas principalmente en redes de suministro de gran tamaño (en régimen centralizado). Aunque es cada vez mayor el número de tecnologías de la energía renovable técnicamente avanzadas que han sido adoptadas en mediana escala, otras se encuentran en una fase menos evolucionada y su presencia comercial es más incipiente, o bien abastecen nichos del mercado especializados. (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 2011)

. 1.2.2 Fuentes y tecnologías de la Energía Renovable

- **La bioenergía** puede obtenerse mediante diversas fuentes de biomasa, de residuos forestales, agrarios o pecuarios; una rotación rápida de plantaciones forestales; cultivos energéticos; componentes orgánicos de residuos sólidos urbanos, y otras fuentes de desechos orgánicos. Mediante diversos procesos, esos materiales pueden ser utilizados para producir de forma directa electricidad o calor, o para generar combustibles gaseosos, líquidos o sólidos. Las tecnologías de la bioenergía son muy diversas y su grado de madurez técnica varía considerablemente. Las tecnologías de la bioenergía tienen aplicaciones en contextos, tanto centralizados como descentralizados, y su aplicación más extendida es la utilización tradicional de la biomasa en los países en desarrollo. La producción de bioenergía suele ser constante o controlable.
- **Energía solar** explota la energía irradiada por el sol para producir electricidad mediante procesos fotovoltaicos o mediante la energía por concentración solar, generando energía térmica (con fines de calefacción o refrigeración, y por medios pasivos o activos) para usos de iluminación directa y, posiblemente, para producir combustibles para el transporte de otra índole.

- **La energía geotérmica** explota la energía térmica accesible del interior de la Tierra. En esta modalidad, el calor es extraído de reservorios geotérmicos mediante pozos, o por otros medios. Una vez en la superficie, es posible utilizar fluidos a distintas temperaturas para generar electricidad, o destinarlos más directamente a aplicaciones alimentadas de energía térmica, en particular la calefacción de áreas residenciales o la utilización de calor a baja temperatura extraído de pozos poco profundos y enviado a bombas de calor geotérmicas, utilizadas con fines de calefacción o refrigeración.
- **La energía hidroeléctrica** explota la energía del agua en su caída, principalmente para generar electricidad. Los proyectos de energía hidroeléctrica pueden consistir en presas con embalses, proyectos a lo largo de un río o en mitad de la corriente, y pueden abarcar todo tipo de escalas. Esta diversidad confiere a la energía hidroeléctrica capacidad para responder a necesidades urbanas centralizadas y en gran escala, pero también a las necesidades rurales descentralizadas. Las tecnologías de la energía hidroeléctrica se encuentran en fase avanzada.
- **Energía eólica** es la energía obtenida del viento, es decir, la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire, y que es transmutada en otras formas útiles de energía para las actividades humanas. En la actualidad, la energía eólica es utilizada principalmente para producir energía eléctrica mediante aerogeneradores. La energía eólica es un recurso abundante, renovable, limpio y ayuda a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero al reemplazar termoeléctricas a base de combustibles fósiles, lo que la convierte en un tipo de energía verde. Su principal inconveniente es la intermitencia del viento. (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 2011)

1.2.3 Relación entre medio ambiente, energía y energías renovables

Es indisoluble la relación entre energía, medio ambiente y desarrollo, y, por tanto, el derecho energético debe incorporar elementos estructurales del derecho

ambiental. El tema energético debe ir indisolublemente aunado a la política ambiental.

Los conceptos de medio ambiente y energía están íntimamente ligados, al punto de afirmar que, en la actualidad, la idea que tiende a aceptarse en todo el mundo es que los problemas ambientales son los problemas del desarrollo y que la meta del desarrollo sostenible debe ser la de conciliar el crecimiento económico para la población en general, presente y futura, con la renovabilidad de los recursos, proceso que implica cambios políticos, económicos, fiscales, industriales y de manejo de los recursos naturales, bióticos y energéticos.

El crecimiento y desarrollo económico son procesos que demandan una mayor generación y utilización de energía, lo cual implica un deterioro ambiental, más aún si se utilizan combustibles fósiles. Es sin duda importante decir que el mayor impacto ambiental lo produce la utilización de las fuentes tradicionales, ya que intensifican las emisiones de gases de efecto invernadero.

Se ha sostenido que el constante deterioro ambiental, generado por la utilización de combustibles fósiles y el incremento de la emisión de gases de efecto invernadero, así como la insuficiencia de las reservas de petróleo a largo plazo, entre otros factores, ha generado a nivel mundial la necesidad de buscar alternativas que permitan reducir de forma gradual el uso de los combustibles tradicionales.

Bajo la premisa de disminuir los efectos nocivos sobre el medio ambiente y generar mayores condiciones de sostenibilidad, la producción y uso de biocombustibles constituye una posibilidad de disminución de los niveles actuales de afectación medioambiental, bajo condiciones aceptables de rentabilidad, competitividad económica y sustentabilidad ambiental.

Lo anterior expuesto, implica la implementación de estrategias y políticas internacionales orientadas a generar mecanismos para la utilización de las energías renovables; ya que existe crisis energética en cuanto a la seguridad del

suministro, y crisis ambiental por el impacto de los combustibles fósiles en el medio ambiente.

Teniendo en cuenta el argumento propuesto, se puede señalar que la relación entre medio ambiente y energía es insoluble, no puede ser desligado del tema ambiental, por ende, la regulación ambiental implica necesariamente tomar en serio los principios del derecho ambiental, para efectos de construir un derecho energético ambientalmente coherente y articulado. Para superar la crisis energética en cuanto a la escasez de los combustibles fósiles, se ha propuesto una forma de abastecimiento energético de energías renovables. (Pereira, 2015)

1.3 Utilización de la biomasa

Desde tiempos inmemoriales, el hombre comenzó a utilizar la biomasa como fuente energética, en los comienzos el primer combustible fue precisamente la biomasa que producto de los fenómenos atmosféricos ardía y el hombre utilizaba el fuego para calentarse y cocinarse los alimentos.

Con el desarrollo de la humanidad la biomasa continúa como un combustible de elección en todos los pueblos. Producto de la revolución industrial y el surgimiento de la máquina de vapor, la combustión de biomasa comenzó a utilizarse para generar energía mecánica. Con el desarrollo de las tecnologías para explotar los combustibles fósiles convencionales, la combustión de biomasa se vio reducida su uso.

La biomasa, en forma de lo que se conoce genéricamente como “leña” o “madera”, ha sido el primer y casi único recurso energético utilizado por el hombre hasta el advenimiento del carbón y después fue la principal energía hasta principios de la era industrial, a comienzos del siglo XIX. Aún en nuestros días la biomasa sigue constituyendo una de las principales fuentes energéticas de la humanidad y en los últimos sesenta años a su uso tradicional para producción de calor se han unido aplicaciones eléctricas y de combustibles de transporte. (Carrasco, 2008)

La biomasa representa aproximadamente el 90 % de toda la energía que se consume en los países en vías de desarrollo. Más de 2 mil millones de personas siguen contando con combustibles de la biomasa y las tecnologías tradicionales

para cocinar y como calefacción. Entre 1,5 y 2,0 mil millones de personas no tienen acceso a la electricidad. (Carrasco, 2008)

Los combustibles biomásicos usados hoy en los países en desarrollo han sido llamados "el petróleo del hombre pobre" debido al uso directo para la combustión en la cocina doméstica. La biomasa puede ser llamada más apropiadamente "el petróleo de la mujer pobre" ya que la mujer y los niños en las áreas rurales gastan una considerable cantidad de tiempo colectando madera combustible y sufriendo el ambiente de la polución del aire interior causado por la combustión de la biomasa para calentar y cocinar.

La utilización de biomasa en países en desarrollo contrasta significativamente con la biomasa usada en los países industrializados. Como promedio, la biomasa registra de 3 a 4 % del uso total de energía en estos últimos años, aunque en países con políticas de apoyo del uso de la biomasa, (por ejemplo: Suecia, Finlandia y Austria), los valores alcanzan del 15 al 20 %. (Carrasco, 2008). La mayor parte de la biomasa en los países industrializados es convertida en electricidad y procesos de calentamiento en sistemas de cogeneración (combinando calor y producción de potencia), en sitios industriales o distritos municipales con facilidades de calentamiento. Ambas producen una gran variedad de servicios de energía derivadas de la biomasa y resulta una mayor limpieza y uso más eficiente de los recursos de biomasa disponibles que los usos tradicionales de bioenergía en países en desarrollo. (Carrasco, 2008)

Otro caso es el de los Estados Unidos que tienen alrededor de 8 000 MW de capacidad instalada de generación de electricidad con biomasa combustible, principalmente como sistemas de producción de potencia y calor combinado. Los residuos de procesos industriales son los principales combustibles de biomasa usados en los países industrializados. (Carrasco, 2008)

1.3.1 Procedencia de la biomasa

Plantaciones Energéticas.- Estas son grandes plantaciones de árboles o plantas cultivadas con el fin específico de producir energía. Para ello se seleccionan

árboles o plantas de crecimiento rápido y bajo mantenimiento, las cuales usualmente se cultivan en tierras de bajo valor productivo. Su período de cosecha varía entre los tres y diez años (Collective Authors, 1995)

También se utilizan arbustos que pueden ser podados varias veces durante su crecimiento, para extender la capacidad de cosecha de la plantación. Igualmente, se pueden usar plantas oleaginosas como Palma de aceite, Girasol o Soya y algunas plantas acuáticas como Jacinto de agua (*Nimphaeasp.*) o las algas, para producir combustibles líquidos como el Etanol y el Biodiesel.

Adicionalmente, este tipo de cultivos sirve para controlar la erosión y la degradación de los suelos y puede proveer otros beneficios a los agricultores desde el punto de vista económico.

La principal limitante para este tipo de plantaciones está en la escala pues se requieren grandes extensiones de tierra para lograr una producción de energía rentable. Por esta razón, son factibles cuando se desarrollan con algún tipo de producción agrícola paralela, como por ejemplo, el maíz, la caña de azúcar y la palma de aceite. (Collective Authors, 1995)

Residuos forestales.- Son una importante fuente de biomasa que actualmente es poco explotada en el área centroamericana. Se considera que de cada árbol extraído para la producción maderera, solo se aprovecha comercialmente el 20%, mientras que un 40% es dejado en el campo, en las ramas y raíces, a pesar de que el potencial energético es mucho mayor, y otro 40% en el proceso de aserrío, en forma de astillas, corteza y aserrín. (Belo, 2014)

Los desechos de campo, en algunos casos, son usados como fuente de energía por comunidades aledañas, pero la mayor parte no se aprovecha por el alto costo del transporte. (Belo, 2014)

Desechos agrícolas.- La agricultura genera cantidades considerables de desechos, el estimado es que, en cuanto a desechos de campo, el porcentaje es más del 60%, y en desechos de proceso, entre 20 y 40%.

Al igual que en la industria forestal, muchos residuos son dejados en el campo, aunque es necesario reciclar un porcentaje de biomasa, para proteger al suelo de la erosión y mantener el nivel de nutrientes orgánicos, una cantidad importante puede ser recolectada para la producción de energía. Ejemplos comunes de este tipo de residuos son el maíz, el café, el arroz y la caña de azúcar. Los campos agrícolas también son una fuente importante de leña para uso doméstico.

Por otro lado, las granjas producen un elevado volumen de “residuos húmedos” en forma de estiércol de animales. La forma común de tratar estos residuos es esparciéndolos en los campos de cultivo, con el doble interés de disponer de ellos y obtener beneficios de su valor nutritivo. Esta práctica puede provocar una sobre fertilización de los suelos y la contaminación de las cuencas hidrográficas. (Belo, 2014)

Desechos industriales.- La industria alimenticia genera una gran cantidad de residuos y subproductos, que pueden ser usados como fuentes de energía, los provenientes de todo tipo de carne (avícola, vacuna, porcina) y vegetales (cáscaras, pulpas) cuyo tratamiento como desechos representan un costo considerable para la industria. Estos residuos son sólidos y líquidos con un alto contenido de azúcares y carbohidratos, los cuales pueden ser convertidos en combustibles gaseosos. (Belo, 2014)

Desechos urbanos.- Los centros urbanos generan una gran cantidad de biomasa en muchas formas, por ejemplo: residuos alimenticios, papel, cartón, madera y aguas negras. La mayoría de los países centroamericanos carecen de sistemas adecuados para su procesamiento, lo cual genera grandes problemas de contaminación de suelos y cuencas, sobre todo por la inadecuada disposición de la basura y por sistemas de recolección y tratamiento con costos elevados de operación.

Por otro lado, la basura orgánica en descomposición produce compuestos volátiles (metano, dióxido de carbono, entre otros) que contribuyen a aumentar el efecto invernadero. Estos compuestos tienen un considerable valor energético que puede ser utilizado para la generación de energía “limpia”.

A corto y mediano plazo, la planificación urbana debe incluir sistemas de tratamiento de desechos que disminuyan eficazmente las emanaciones nocivas de los desechos al ambiente, dándoles un valor de retorno por medio del aprovechamiento de su contenido, pues aproximadamente el 80% de toda la basura orgánica urbana puede ser convertida en energía. (Belo, 2014)

1.3.2 La biomasa como fuente de energía

Para la mayoría de la población mundial, las formas más familiares de energía renovable son las que provienen del sol y del viento. Sin embargo existen otras fuentes, la de biomasa, como leña, carbón de leño, cascarilla de arroz, que proveen un alto porcentaje de la energía consumida en el mundo y tienen potencial para suplir mayores volúmenes. Esta es la fuente de energía renovable más antigua conocida por el ser humano, pues ha sido usada desde que nuestros ancestros descubrieron el secreto del fuego. Desde la prehistoria, la forma más común de utilizar la energía de la biomasa ha sido la combustión directa: quemándola en hogueras a cielo abierto, en hornos y cocinas de calefacción, cocción de alimentos, producción de vapor y generación de electricidad.

Los avances tecnológicos han permitido el desarrollo de procesos más eficientes y limpios para la conversión de la biomasa en energía, transformándola, por ejemplo, en combustibles líquidos y gaseosos, los cuales son más convenientes y eficientes. Así aparte de la combustión directa se pueden distinguir otros dos tipos de procesos: el termoquímico y el bioquímico. Las denominadas “granjas energéticas” pueden suplir un porcentaje significativo de los requerimientos energéticos mundiales y, al mismo tiempo, revitalizar las economías rurales, produciendo energía en forma independiente y segura y logrando importantes beneficios ambientales. Las comunidades rurales podrán ser, entonces, energéticamente auto suficientes en un alto grado, a partir del uso racional de los residuos y administrando inteligentemente la biomasa disponible en la localidad. (Mencía, 2011)

El Recurso biomásico

Se considera que la biomasa es una fuente renovable de energía porque su valor proviene del sol. A través del proceso de fotosíntesis, la clorofila de las plantas captura su energía y convierte el dióxido de carbono (CO_2) del aire y el agua del suelo en carbohidratos, para formar la materia orgánica. Cuando estos carbohidratos se queman, regresan a su forma de dióxido de carbono y agua liberando la energía que contienen. De esta forma, la biomasa funciona como una especie de batería que almacena la energía solar. Entonces se produce en forma sostenida, o sea, en el mismo nivel en que se consume, esta batería durará indefinidamente.

Los recursos biomásicos incluyen cualquier fuente de materia orgánica, como desechos agrícolas y forestales, plantas acuáticas, desechos animales y basura urbana. Su disponibilidad varía de región a región, de acuerdo con el clima, el tipo de suelo, la geografía, la densidad de la población, las actividades productivas, etc.; por eso, los correspondientes aspectos de infraestructura, manejo y recolección del material deben adaptarse a las condiciones específicas del proceso en el que se deseen explotar.

Los factores que condicionan el consumo de biomasa en la actualidad son:

Factores geográficos: debido a las condiciones climáticas de cada región, las cuales indicarán las necesidades de calor que requiera cada zona, y las cuales podrán ser cubiertas con biomasa.

Factores energéticos: por la rentabilidad o no de la biomasa como recurso energético. Esto dependerá de los precios y del mercado energético en cada momento.

Disponibilidad del recurso: este es el factor que hay que estudiar en primer lugar para determinar el acceso y la temporalidad del recurso. (Mencía, 2011)

1.3.3 Características de la biomasa

Para evaluar la factibilidad técnica y económica de un proceso de conversión de biomasa en energía, es necesario considerar ciertos parámetros y condiciones que la caracterizan. Estos que se explican a continuación, determinan el proceso

de conversión más adecuado y permiten realizar proyecciones de los beneficios económicos y ambientales esperados. (Mencía, 2011)

Composición Química y física: Estas características determinan el tipo de combustible o subproducto energético que se puede generar, por ejemplo, los desechos animales producen altas cantidades de metano, mientras que la madera puede producir el denominado “gas pobre”, que es una mezcla rica en monóxido de carbono (CO). Por otra parte, las características físicas influyen en el tratamiento previo que sea necesario aplicar.

Contenido de humedad (HR): Es la relación de la masa de agua contenida por kilogramo de materia seca. Para la mayoría de los procesos de conversión energética es imprescindible que la biomasa tenga un contenido de humedad inferior al 30%. Muchas veces, los residuos salen del proceso productivo con un contenido de humedad muy superior, que obliga a implementar operaciones de acondicionamiento, antes de ingresar al proceso de conversión de la energía.

Porcentaje de cenizas: Indica la cantidad de materia sólida no combustible por kilogramo de material. En los procesos que incluyen la combustión de la biomasa, es importante conocer el porcentaje de generación de ceniza y su composición, pues, en algunos casos, esta puede ser utilizada; por ejemplo, la ceniza de la cascarilla de arroz es un excelente aditivo en la mezcla de concreto o para la fabricación de filtros de carbón activado.

Poder calórico: El contenido calórico por unidad de masa es el parámetro que determina la energía disponible en la biomasa. Su poder calórico está relacionado directamente con su contenido de humedad. Un elevado porcentaje de humedad reduce la eficiencia de la combustión debido a que una gran parte del calor liberado se usa para evaporar el agua y no se aprovecha en la reducción química del material.

Densidad aparente: Esta se define como el peso por unidad de volumen del material en el estado físico presentado, bajo condiciones dadas. Combustibles con alta densidad aparente favorecen la relación de energía por unidad de volumen,

requiriéndose menores tamaños de los equipos y aumentando los periodos entre cargas. Por otra parte, materiales con baja densidad necesitan mayor volumen de almacenamiento y transporte y, algunas veces, presentan problemas para fluir por gravedad, lo cual complica el proceso de combustión y eleva los costos del proceso.

Recolección, transporte y manejo: Estos son factores determinantes en la estructura de costos de inversión y operación en todo proceso de conversión energética. La ubicación del material con respecto a la planta de procesamiento y La distancia hasta el punto de utilización de la energía convertida, deben analizarse detalladamente para lograr un nivel de operación del sistema por encima del punto de equilibrio, con relación al proceso convencional. (Mencía, 2011)

1.3.4 Situación mundial de la biomasa

Más de 2 mil millones de personas siguen contando con combustibles de la biomasa y las tecnologías tradicionales para cocinar y como calefacción. Entre 1,5 y 2,0 mil millones de personas no tienen acceso a la electricidad. (Boccone 2017). La baja eficiencia actual del uso de la biomasa significa que aunque esta, se consume globalmente en una proporción alta, produce sólo un nivel bajo de servicios de energía. Actualmente la biomasa provee una cantidad aproximada de 1250 millones de toneladas equivalente de petróleo, lo que representa casi el 14% del consumo anual de energía mundial. Incluso en los países desarrollados, la biomasa se está utilizando cada vez más. (Mencía, 2011). En varios de los países desarrollados el uso de esta fuente se ha incrementado sustancialmente, por ejemplo, en Suecia y Austria, el 15% del consumo de energía primaria está cubierta por la biomasa. Suecia tiene planes para aumentar el uso adicional de la biomasa, y entrar en fase de remplazo de las plantas nucleares y de combustibles fósiles. La utilización de la biomasa sustituye parcialmente a los combustibles fósiles y tiene una importancia adicional atendiendo a las preocupaciones del calentamiento global, ya que la combustión de la biomasa tiene el potencial de tener el CO₂ neutral. La biomasa es la mayor fuente de energía de los países en

vía de desarrollo, donde se proporciona el 35% de todos los requerimientos de energía. (Mencía, 2011)

1.3.5 Uso de la biomasa en Cuba

En Cuba la principal fuente de energía renovable es la biomasa, ya que no existen grandes ríos, ni zonas con altas velocidades del viento. Si bien el mayor potencial energético lo tiene la biomasa cañera, existen otras fuentes que tienen importancia en el orden local o que su aprovechamiento resulta conveniente desde el punto de vista medio ambiental. Este es el caso de los bosques naturales y las plantaciones energéticas en desarrollo, los residuos agroindustriales y los urbanos. La utilización de estas fuentes en la generación de electricidad está muy vinculada al desarrollo de tecnologías eficientes que permitan que esta producción sea competitiva con el uso de los combustibles convencionales en las condiciones específicas de los países en desarrollo. En esta dirección se trabaja intensamente, por lo que es necesaria la realización de proyectos demostrativos que faciliten la transferencia y evaluación de éstas en las condiciones de los países de menor desarrollo. (Mencía, 2011)

1.4 Densificación de la Biomasa con fines energéticos

1.4.1 Proceso de densificación

El proceso de densificación consiste en reducir el volumen de la biomasa por incremento de presión, para obtener un producto compacto y resistente, que lo haga más fácil de manipular y abastecer que el material original.

El término densificación está reservado a la transformación física de residuos vegetales en un combustible sólido sin adición de aglomerantes. Implica el uso de alguna forma de presión mecánica para reducir su volumen y facilitar su manejo, transportación y almacenaje. (Herrera, 2018)

1.4.2 Características que debe reunir una materia prima, en general, adecuada para ser densificada

- Bajo contenido de ceniza.
- Bajo contenido de humedad.

- Bajo costo de recoger y transportar la materia prima.

La materia prima empleada debe ser lignocelulósicas, pues presentan las siguientes ventajas:

- La lignina, bajo la acción de las altas temperaturas, actúa como aglomerante en la obtención de un producto densificado compacto, otorgando un valor añadido al residuo.
- Evita la contaminación por materia orgánica de suelos y aguas.
- Su uso como biomasa contribuye a la prevención de incendios.
- No incrementa el efecto invernadero.
- Disminuye la dependencia energética. (Herrera, 2018)

1.4.3 Análisis del proceso de densificación.

La Fig. (1.1), muestra las diferentes fases que experimenta la biomasa durante el proceso de densificación. La (Fig.1.1.a) se observa la primera fase, que se inicia a partir del momento en que la biomasa ocupa el espacio que comprende la carrera del émbolo y este se encuentra en su posición inicial; ($P = 0$). En la Fig. (1.1.b) se produce un incremento de la presión; ($0 < P \leq P_{\max}$). A partir de ese momento se produce el trabajo de compactación y de las fuerzas de fricción, como consecuencia del movimiento relativo que tiene lugar entre la biomasa y la pared del conducto. Continuando su desplazamiento, Fig. (1.1.c), el émbolo ha alcanzado el punto en que la biomasa adquiere su máxima densidad y presión de compactación cuando ($P = P_{\max}$). Es este el momento, en que se hace inminente el movimiento de toda la masa densificada para el inicio de la expulsión, cuando el émbolo ejerciendo su máxima presión, vence la fuerza de fricción que se opone al movimiento y continúa su carrera con una ligera disminución de la presión hasta el final de la misma Fig. (1.1d); $P < P_{\max}$

Cuando el émbolo, a partir de su posición inicial, comienza su desplazamiento con un movimiento cuasiestático, los elementos milésimos que se encuentran más cercano a este, comienzan a reducir su espesor desde $\delta_i = \delta_0$ hasta δ .

Cuando el émbolo en su desplazamiento alcanza una posición definida por $(L - L_B)$ todos los elementos íesimos en que se dividió el primer tramo pasaron de un espesor δ_0 a otro δ y prolongaron la región que posee el espesor δ , en el segundo tramo, en una magnitud L_B Fig. (1.1c); a pesar de que al émbolo le falta por recorrer esta magnitud L_B para finalizar su carrera. Esto se logra al movimiento cuasiestático del émbolo, la compresión y compresibilidad de la biomasa, el trabajo de las fuerzas elásticas y de fricción generadas en el proceso de densificación. Esta fase, se conoce como compactación de la sustancia. Esta magnitud L_B , tal como se muestra en la Fig. (1.1c), representa la longitud de la briqueta formada durante el proceso de densificación.

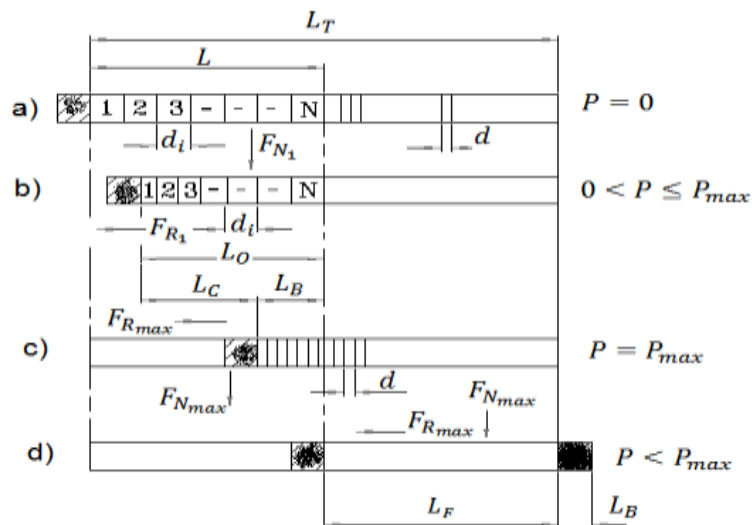


Figura 1.1 Fases del proceso de densificación de la biomasa

a) $P = 0$; b) $0 < P \leq P_{max}$; c) $P = P_{max}$; d) $P < P_{max}$

La densificación es un proceso que se desarrolla fundamentalmente en dos fases.

1. Inicialmente al aplicarle presión ($2-51\text{kg/cm}^2$), el material reduce su volumen, eliminándose el aire existente en los vacíos inter partículas.
2. Posteriormente, al continuar aumentando la presión (hasta 1750 kg/cm^2), el elemento que actúa de cimentador, en este caso la lignina, se reblandece acoplándose entre sí las partículas y reduciendo los espacios libres. En este estado, la lignina, acentúa sus propiedades aglutinantes, permitiendo que, al cesar la presión, el nuevo producto permanezca compacto.

En general durante la primera compactación las partículas reordenan su configuración para formar una masa masiva. Las partículas retienen la mayoría de sus propiedades originales, aunque la energía está distribuida a través de las fuerzas inter-atómicas e intermoleculares. Cuando se aumenta la presión de densificación las partículas están forzadas en dirección contraria de la fuerza y se deforman elásticamente y plásticamente. A presiones altas los poros de las partículas se rompen hasta que la densidad de la masa logra su mayor densidad máxima real. Si el punto de fundición de la sustancia que forma una mezcla eutéctica es favorable, el calor generado al punto de contacto puede favorecer la fundición de la materia prima. Cuando se enfría la materia fundida se forma puentes-sólidos muy fuertes. (Herrera, 2018)

1.4.4 La briqueta

Las briquetas son bio-combustibles para generar calor utilizados en estufas, chimeneas, hornos y calderas. Es un producto 100% ecológico y renovable, catalogado como bio-energía sólida, que viene en forma cilíndrica o de ladrillo y sustituye a la leña con muchas ventajas. Los productos densificados reciben diferentes denominaciones según su forma y dimensiones: gránulos, pellets, briquetas, astillas o leños. Si el producto obtenido al final de un proceso de compactación tiene dimensiones aproximadas a 30 cm se le denomina briqueta. Los pellets son las que tiene diámetro entre 6 - 8 cm y longitud entre 10 – 12 cm. El término "briqueta" es un término confuso porque puede estar fabricada con diversos materiales compactados. La materia prima de la briqueta puede ser biomasa forestal procedente de aserraderos, fábricas de puertas, fábricas de muebles, etc. Generalmente están hechas con materia residual, como madera, cáscara de arroz, bagazo de caña de azúcar, residuos de pulpa de papel, papel, cáscara de coco, residuos de algodón, cartón, carbón, biomasa residual industrial, biomasa residual urbana, carbón vegetal o simplemente una mezcla de todas ellas. El poder calórico de una briqueta de cáscara de arroz es aproximadamente 16 MJ = 4000 kcal/kg. (Castillo, 2018)

1.4.5 Ventajas del uso de las briquetas

- Mayor poder calorífico

- Fácil y rápido encendido
- Baja humedad
- Alta densidad
- Ocupa menos espacio
- Limpias
- Homogéneas
- Fácil manipulación
- Sin olores, humos ni chispas
- Sin aglutinantes ni aditivos
- 100 % ecológicas y naturales

(Castillo, 2018)

1.5 La cascarilla de arroz, características y potencialidades

La cascarilla de arroz es la corteza dura que cubre el grano de arroz, y constituye aproximadamente el 22% del volumen de arroz que es procesado. Es considerada como un residuo debido a la dificultad que posee para ser comestible. La cáscara tiene forma de canoa, una superficie rugosa y un color amarillento, sus dimensiones dependen de la variedad obtenida aunque el tamaño típico suele ser de 8-10 mm de longitud y 1-2 mm de ancho (Ver anexo 1), y en cuanto a la densidad se estima un valor de 100 kg/m^3 aunque si es sometida a procesos de compactación y molienda, su valor puede situarse en torno a los $180\text{-}250 \text{ kg/m}^3$. (Abril, 2009)

La conducción térmica se encuentra en $0.036 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$, lo que denota su buen uso en la fabricación de materiales aislantes. Su constitución por Celulosa y Sílice, ayudan a su buen rendimiento como combustible. (Pérez, 2010)

La cascarilla de arroz presenta una gran variedad de características fisicoquímicas que es preciso estudiar, según la aplicación que se desee darle. El contenido de humedad, la composición química y el poder calorífico de la cascarilla son aspectos que hay que conocer para la construcción y el funcionamiento de hornos y hogares mecánicos que son los más adecuados para la quema e incineración de este subproducto agrícola.

Como el uso de la cascarilla se basa principalmente en reducir su volumen y evitar la contaminación ambiental que provoca, hay diferentes aplicaciones, como son:

- Uso como combustible en procesos de generación de energía eléctrica y térmica.
- Procesos de combustión para su uso como sustrato y cenizas en cultivos.
- Compostaje en estaciones depuradoras de aguas residuales, lodos de depuración o purines.
- Producción de tableros, cerámicas cementos y materiales aislantes destinados a su uso en la construcción.
- Fabricación de abonos naturales.

1.5.1 Uso de la cáscara de arroz como combustible

El uso de nuevas fuentes renovables de energía, como la cascarilla de arroz, para producir calor de proceso o vapor de alta presión para generar energía eléctrica, busca cambiar el pensamiento de personas y empresas, para la toma de decisiones, en cuanto al tema de la conservación del medio ambiente. El uso de estas tecnologías, están siendo incentivadas por la mayoría de los gobiernos del mundo ante el impacto ambiental que genera utilizar combustibles fósiles.

Se podría pensar, que la quema de la cascarilla para el uso como combustible, no es una solución más amigable con el ambiente y que necesariamente ocasionaría mayores problemas en relación con la quema a cielo abierto, la verdad es, que todo sistema para el desarrollo de procesos industriales, ya sea para calor o generación de electricidad, contamina, pero estos procesos son controlados y regulados por leyes y autoridades ambientales. Es decir, la quema de la cascarilla de arroz, será un proceso, en donde se controla la emisión de los gases y material volátil al ambiente, y cabe de nuevo mencionar, que estos gases son mucho más amables con el ambiente que los gases producidos por los combustibles fósiles.

Se puede pensar entonces que la quema de los residuos para la producción de energía, es un proceso menos noble que simplemente quemarlos, pero no es así, pues de la combustión de biomasa se pueden obtener vectores energéticos de

mayor calidad en condiciones controladas y reguladas. Se puede utilizar biomasa como combustible si su poder calorífico es superior a 3200 kcal/kg, el de cascarilla de arroz es de 3 300,6 kcal/kg hasta 3776.29 kcal/kg aproximadamente. (Rodríguez, 2000). En la actualidad la cascarilla de arroz se transforma, se aprovecha como fuente de energía o cogeneración de calor o se vende, esto depende de la industria, de las tecnologías que maneje, la línea de producción, la exigencia medioambiental en temas de residuos de la región donde se encuentre ubicada, los precios de mercado de la energía eléctrica o fósil y de las propiedades físicas y químicas. (Castillo, 2018)

1.5.2 La cáscara de arroz en Cuba

La cantidad de cascarilla que se genera, año tras año en Cuba puede superar las 736 200 000 t/año, con el agravante de que por su baja degradabilidad natural, se acumula en el ambiente, generando situaciones extremas de contaminación. Se le da un ínfimo uso a nivel nacional, como subsuelo de corrales de animales y en escasos como combustible para secar el arroz en algunos molinos del país. (Díaz, 2017)

1.6 Fundamentos de la Producción Más Limpia (PML)

Producción Más Limpia ha sido definida como la continua aplicación de una estrategia medioambiental preventiva e integrada a los procesos, productos y servicios para aumentar la eficiencia y reducir los riesgos para los humanos y el medioambiente. Se dirige especialmente a mejorar: la eficiencia en la producción, la conservación del medioambiente y el desarrollo humano. Al considerar obsoletas las prácticas de coleccionar y tratar los residuales "al final del tubo", plantea un enfoque diferente de la gestión ambiental, aplicable a todos los sectores de la producción y los servicios, que contribuye a mejorar el desempeño ambiental de las empresas y a encaminar su gestión hacia la sostenibilidad, a partir de un incremento de la eficiencia y competitividad, la optimización del uso de los recursos naturales, tecnológicos, financieros y humanos y la disminución de los costos de producción y de manejo de residuales. (Programa de las naciones unidas para el medio ambiente (PNUMA), 2014)

La tabla 1.1 muestra la aplicación que puede tener la Producción Más Limpia a diferentes procesos, productos y servicios.

Tabla 1.1 Aplicación de la Producción Más Limpia

APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN
Procesos de Producción	Incluye la conservación de la materia prima y energía, la eliminación de materias primas tóxicas y la reducción en cantidad y toxicidad de las emisiones y residuos antes de su salida del proceso.
Productos	Se enfoca en la reducción de los impactos a lo largo de todo el ciclo de vida del producto desde la extracción de la materia prima hasta la disposición final de los productos.
Servicios	La producción más limpia reduce el impacto ambiental del servicio hasta el consumo total de los recursos requeridos para la prestación del servicio.

Fuente: Centro Nacional de Producción Más Limpia, CNPML (2006)

1.6.1 Herramientas diagnósticas de Producción Más Limpia

Una herramienta es un instrumento que permite definir el estado ambiental de un proceso. Sus resultados permiten establecer las estrategias que se aplicarán a los puntos críticos encontrados en el desarrollo de un programa de Producción Más Limpia. (Centro de producción más limpia intec, 2009)

1.6.2 Beneficios de la Producción Más Limpia

La Producción Más Limpia, trae como consecuencia, además de un beneficio ambiental, la disminución de costos por el uso racional de los recursos y optimización en la utilización de materias primas e insumos. Por tal motivo la PML también es denominada opción costo-eficiente.

A continuación, se enuncian algunos de los beneficios a obtener por la implementación de Producción Más Limpia.

- Optimización del proceso y ahorro de costos mediante reducción y uso eficiente de materias primas e insumos en general.
- Mejoramiento de la eficiencia operativa de la planta.

- Mejoramiento de la calidad de los productos y consistencia por operación de la planta en forma controlada y por ende más predecible.
- Recuperación de algunos materiales de los subproductos
- Reducción de residuos y por ende menores costos asociados a tratamiento y disposición final
- Mejoramiento de la imagen de la organización ante clientes, proveedores, comunidad, autoridades ambientales, etc.

Generalmente la implementación de la Producción Más Limpia comienza con la adopción de buenas prácticas, que corresponde a la alternativa menos compleja y progresivamente se complementa con las demás según su complejidad. En la mayoría de casos se puede disminuir cerca de un 50% de la generación de residuos mediante la implementación de buenas prácticas de manejo y solo realizando unos pequeños cambios operacionales. (Centro nacional de producción más limpia. Manual de introducción a la producción más limpia, 2006)

1.6.3. Estrategias de Producción más Limpia (P+L)

Las estrategias de Producciones más Limpias desarrolladas por Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) se basa en la evaluación de los procesos e identificación de las oportunidades para usar mejor los materiales, minimizar la generación de los residuos y emisiones, utilizar racionalmente la energía y el agua, disminuir los costos de operación de las plantas industriales, y mejorar el control de procesos e incrementar la rentabilidad de las empresas. Las estrategias se basan en tres conceptos fundamentales que se conocen en la literatura especializada como las tres 3 R's, Reducción, Reutilización y Reciclaje. (Manual de producción más limpia, 1999)

La tabla 1.2. Etapas de implementación de Producciones más Limpias, describe siete etapas fundamentales para la implementación de una estrategia de Producción más Limpia a un proceso.

Tabla 1.2. Etapas de implementación de Producciones más Limpias

Etapas	Descripción
Etapas I. Preparación de la evaluación	• Compromiso de la alta dirección y

	manifestación expresa de su soporte a la evaluación. • Definición de los objetivos final y parcial. • Organización del equipo auditor.
Etapa II. Revisión de la documentación del proceso	• Revisión de las etapas y unidades de proceso, diagramas de proceso incluyendo los tratamientos de corrientes residuales. • Identificar las entradas de materias primas, agua y energía. • Identificar las salidas del proceso. • Identificar los destinos finales. • Determinar los niveles iniciales de recirculación interna, de reciclado externo y de reutilización. • Identificar las corrientes con materiales peligrosos.
Etapa III. Verificar la información sobre el terreno	• Realizar una inspección visual sobre el terreno. • Revisar datos y completar con datos reales.
Etapa IV. Análisis de balances y rendimientos del proceso	• Completar los balances de materia y energía. • Evaluar la eficacia en el uso de materias y energía.
Etapa V. Identificación de oportunidades y evaluación técnica	• Identificar las opciones más obvias. • Identificar otras corrientes con problemas. • Desarrollar alternativas a largo plazo.
Etapa VI. Evaluación económica	• Determinar los costes actuales y

	anticipar los futuros. • Realizar estudios de viabilidad. • Determinar prioridades de ejecución.
Etapas VII. Plan de acción.	• Preparar un informe con conclusiones. • Diseñar un plan de acción. • Obtener fondos. • Ejecutar las opciones. • Verificar los resultados. • Medir el progreso. • Revaluar en su caso.

Fuente: (Rigola, 1998).

Conclusiones parciales

1. El crecimiento y desarrollo económico son procesos que demandan una mayor generación y utilización de energía, lo cual implica un deterioro ambiental, más aún cuando dicha energía se genera con combustibles fósiles.
2. La factibilidad técnica y económica de un proceso de conversión de biomasa en energía, está dado por los siguientes parámetros: composición química y física, contenido de humedad (HR), porcentaje de cenizas, poder calórico, densidad aparente y recolección, transporte y manejo.
3. El proceso de densificación de biomasa ayuda a reducir su volumen y facilitar el manejo, transportación y almacenaje de la misma, así como la disminución de la pérdida de energía en la quema de esta.
4. La cascarilla de arroz constituye aproximadamente el 22% del volumen de arroz que es procesado. Entre los usos más comunes y eficientes de la misma es en procesos de generación de energía eléctrica y térmica.

Capítulo II Estrategia de Producción más Limpia para el manejo de los residuales en la UEB Industrial de Arroz.

2.1 Introducción

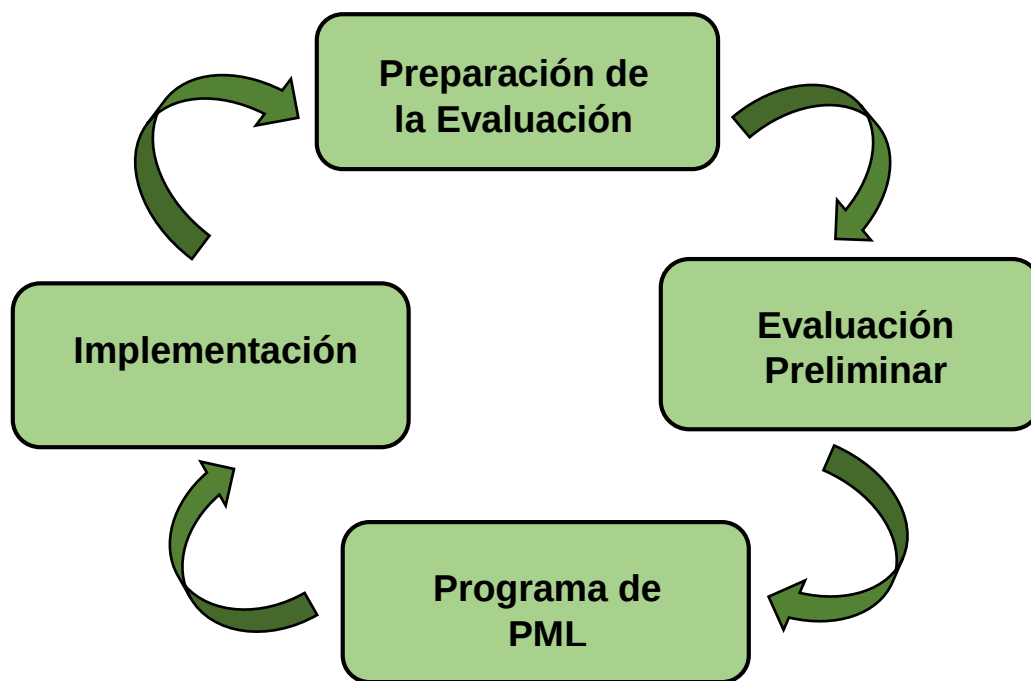
En el capítulo se traza una estrategia de Producción más Limpia que permita desarrollar un programa para el manejo de los residuos identificados en el proceso. Se aborda cuestiones generales de la Empresa Agroindustrial de Granos Aguada (EAIGA), su encargo social así como su compromiso con la calidad del producto que comercializa. Describe los procesos de secado y molinería aplicados al arroz en la UEB Industrial de Arroz. Obtención de datos estadísticos de valores productivos de secado y molinería, de los años en estudio.

2.2 Estrategia de Producción más Limpia

La valorización de residuos constituye uno de los campos de investigación recientes de mayor desarrollo por ser una de las alternativas más apropiadas para el desarrollo de tecnologías sostenibles. Los residuos agroindustriales, por su volumen y los problemas de disposición final que esto representa, constituyen uno de los principales objetos de investigación, dirigidos a la búsqueda de usos alternativos que permitan su valorización a partir de transformarlos de residuos en insumos para nuevos procesos industriales. En algunos casos se han podido encontrar usos alternativos como la alimentación de animales y la generación de energía. En casos extremos, cuando el residuo simplemente no se reutiliza, el mismo es depositado para que la degradación natural disminuya su volumen.

Con el objetivo de lograr una gestión eficiente de sus residuos y de incrementar la eficiencia empresarial, se propone en la Empresa Agroindustrial de Granos Aguada una estrategia de Producción más Limpia, la cual le permitirá a la entidad desarrollar e implementar un programa para el manejo de sus residuos, siguiendo cuatro etapas, las cuales facilitará el trabajo investigativo y dará una mejor organización.

Figura 2.1 Estrategia de PML aplicada a la EAIG Aguada



Fuente: Elaboración Propia

2.2.1 Descripción de las Etapas de la Estrategia

Cada etapa de la estrategia creada tiene puntos a desarrollar, los cuales se describen y desarrollan a lo largo de la realización del trabajo en cuestión.

Etapas I Preparación de la Evaluación

- Compromiso de la dirección
- Definición de los objetivos de la estrategia

Etapas II Evaluación Preliminar

- Introducción a la EAIGA
- Descripción de los procesos de la UEB
- Exposición de datos estadísticos de los procesos
- Identificación de residuos y malas prácticas productivas
- Características de los residuos

Etapas III Programa de PML

- Propuesta de usos y tratamiento de los residuos

- Análisis Beneficio desventajas de las propuestas

Etapas IV Implementación

- Desarrollo de la alternativa al residuo
- Cálculo del ahorro obtenido
- Cierre de Ciclo con manejo de nuevos residuos obtenidos

2.3 Compromiso de la Dirección y definición de los objetivos de la estrategia

El desarrollo de la estrategia implica un compromiso y una organización permanente dentro de la empresa. El desarrollo de la estrategia necesita la provisión de infraestructura y recursos técnicos, administrativos y financieros para implementar con éxito las tareas expuestas en el trabajo. (Ver Anexo 2)

El desarrollo de la estrategia de Producción más Limpia tiene como objetivo principal la organización de un programa que permita identificar los residuos de los procesos productivos y asegurar un uso y tratamiento de los mismos para su reutilización, para así obtener un manejo adecuado y limpio para el medio ambiente.

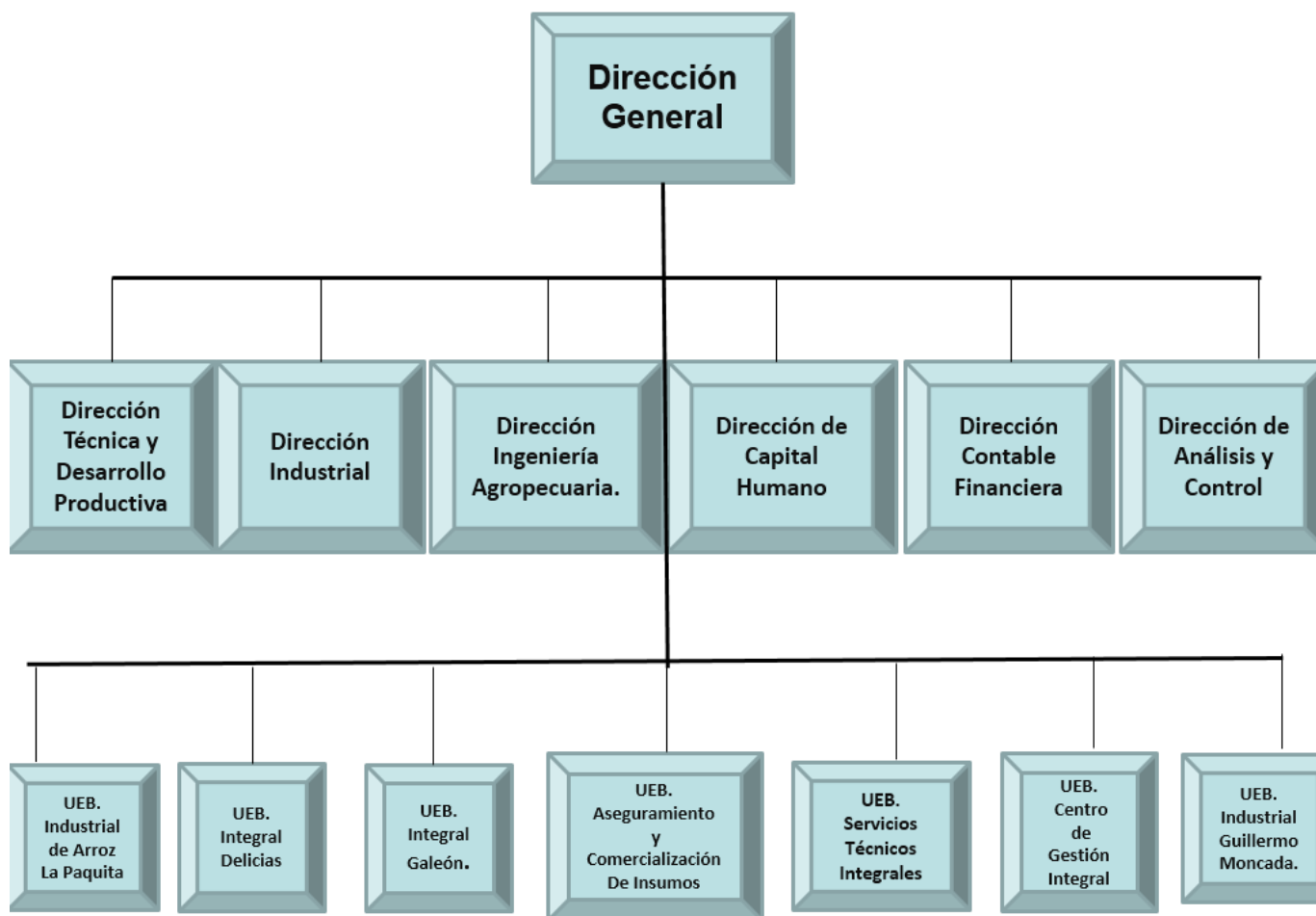
2.4 Empresa Agroindustrial de Granos Aguada (EAIGA)

La Resolución No. 204/1976, creó la Empresa Pecuaria Aguada, con Domicilio Legal en Pi-Margall # 24, mediante la Resolución 402/2012 cambia su denominación por el de Empresa Agroindustrial de Granos Aguada. Ampliando su objeto empresarial, facultándola de modo general para producir y comercializar de forma mayorista arroz y sus subproductos, así como las semillas en pesos cubanos y pesos convertibles. (Ver anexo 3)

Es Política de la Empresa Agroindustrial de Granos Aguada atender, procesar y comercializar arroz no especializado con una calidad que satisfaga las necesidades y expectativas de los clientes y ser líderes por la calidad de los productos estableciendo procesos eficaces, eficientes y satisfaciendo los requisitos establecidos por la legislación vigente y partes interesadas.

La figura 2.1 muestra la estructura organizativa de la Empresa

Figura 2.2 Organigrama Empresa Agroindustrial de Granos Aguada



Fuente: Departamento de Capital Humano EAIG Aguada

2.5 Proceso de Secado y Molinería de Arroz en la UEB Industrial de Arroz

La UEB Industrial de Arroz “La Paquita” (ver anexo 4) es la encargada de la compra de arroz cáscara, húmedo y de su posterior secado. Así como la molinería del mismo y su comercialización.

2.5.1 Proceso de secado

El arroz cáscara húmedo procedente del sector cooperativo campesino es llevado a granel mediante vagones hasta la UEB para su secado, para ello se cuenta con un secadero de tecnología americana el cual tiene una capacidad de secado de 55 toneladas de arroz por día (55t/d), el secadero no es de proceso continuo sino que seca por pases, teniendo un tiempo de reposo de 24 horas del primer pase para el siguiente.

El arroz húmedo pierde de 1 a 3% de humedad solamente con el proceso de limpieza, y se pierde hasta un 8% de impurezas, la norma establece que el máximo de impurezas es de 10%. Las impurezas son la cascara de arroz, de los granos vanos. La aplicación del aire caliente a la masa de arroz cáscara húmedo ocurre mediante un quemador de diesel (ver anexo 5) en la torre de secado, a una temperatura de 50 a 55 °C, según el pase que se esté dando, a la salida de la torre el arroz no debe tener una temperatura superior a los 37 - 39 °C.

El tiempo de exposición de los gases calientes no puede exceder de los 30 minutos; en los dos primeros pases de secado es factible la aplicación de aire caliente por encima de 50 °C a la masa de arroz cáscara húmedo, ya que tiene un alto contenido de agua superficial, que impide que el arroz adquiera rigidez y se cristalice, cuando el arroz alcance el rango entre 17 y 17,5 % de humedad promedio, se debe tener extremo cuidado en preservar la norma de 50-55 °C de temperatura en la aplicación de aire caliente y no más de 37 a 39 °C a la salida de la torre de secado de la masa de arroz, para evitar la cristalización del grano y este no sea triturado en las máquinas de molinado.

Todo el arroz que contenga un por ciento de humedad promedio de recibo superior a 24%, debe dársele como promedio 5 pases, aquel que su por ciento

sea inferior a 24%, 4 pases y de 20% de humedad o menos, entre 2 y 3 pases. El arroz sale del proceso de secado con 12.5 – 13.5 % de humedad. (Ver anexo 6)

Todos los datos de humedad, impurezas y temperatura son monitoreados por el control de la calidad en el proceso de secado. A la salida de la torre deben registrarse en la Tarjeta de Secado.

2.5.1.1 Cantidad de Arroz secado en el año 2017 hasta cierre de agosto 2018

La tabla 2.1 muestra la cantidad de arroz secado en la UEB Industrial de Arroz a partir del año 2017 hasta cierre de agosto 2018, datos obtenidos por los informes estadísticos de la UEB.

Tabla 2.1 Cantidad de arroz secado en la UEB Industrial de Arroz a partir del año 2017 hasta agosto 2018

Meses del año	Arroz secado año 2017 (t)	Arroz secado cierre de agosto 2018 (t)
Enero	98.6	119.8
Febrero	-	-
Marzo	-	-
Abril	-	-
Mayo	244.3	294.6
Junio	764.1	1057.1
Julio	413.6	458.4
Agosto	-	216.7
Septiembre	542.1	-
Octubre	-	-
Noviembre	2758.8	-
Diciembre	666.2	-
Total	5 487.8	2 146.4

Fuente: Información estadística de la EAIG Aguada

2.5.1.2 Consumo de diesel y energía por concepto de secado

El gasto de diesel y energía para secar una tonelada de arroz húmedo tiene un índice de consumo de portadores energéticos de 16 litros de diesel por tonelada, (16l/t de arroz húmedo) y 0.024MWh/t de arroz de energía. Los índices de consumo se obtuvieron del departamento energético en la Empresa, la tabla 2.2 muestra el consumo de combustible y energía por concepto de secado de arroz a partir del año 2017 hasta cierre de agosto 2018.

Tabla 2.2 Consumo de diesel y energía por concepto de secado a partir del año 2017 hasta agosto 2018

Meses del año	Gasto de diesel año 2017 (l)	Gasto de energía cierre de agosto 2017 (MWh/t)	Gasto de diesel cierre de agosto 2018 (l)	Gasto de energía cierre de agosto 2018 (MWh/t)
Enero	1577.6	2.3	1916.8	2.8
Febrero	-	-	-	-
Marzo	-	-	-	-
Abril	-	-	-	-
Mayo	3908.8	5.8	4713.6	7.1
Junio	12225.6	18.3	16913.6	25.3
Julio	6617.6	9.9	7334.4	11.0
Agosto	-	-	3467.2	5.2
Septiembre	8673.6	13.01	-	-
Octubre	-	-	-	-
Noviembre	44140.8	66.2	-	-
Diciembre	10659.2	15.9	-	-
Total	87 804.8	131.4	34 342.4	51.4

Fuente: Información departamento energético en la EAIG Aguada

2.5.2 Proceso de Molinería

El arroz cáscara seco proveniente de los silos de almacenamiento es procesado en la máquina de limpieza, mediante un ventilador se forma una cortina de aire extrayendo el polvo y granos vanos, pasando posteriormente por un tamiz que saca los tallos e impurezas (piedras, semillas, etc.), posteriormente pasa por un segundo tamiz que elimina las semillas y piedras más pequeñas. A través del elevador el arroz cáscara limpio pasa a los silos de almacenamiento para posteriormente mediante el próximo elevador pasar a la etapa de pesaje y descascarado.

El arroz cáscara penetra por debajo de los rodillos hasta cubrir una ceiba en la mitad de los rodillos, los cuales mediante fricción lo levantan realizando así el proceso de descascarado, poniéndose en funcionamiento el ventilador de aireación para evitar el calentamiento de los rodillos. De ahí pasa al elevador que lo traslada hacia la siguiente etapa. La mezcla (arroz integral, cáscara y otros granos pequeños) pasan mediante elevadores a la separadora, la cual, para trabajar necesita un cruce constante formándose una capa de 6 a 8 mm en los 24 paños, mediante movimiento lateral al pasar por los alveolos ocurre la clasificación como sigue:

- Arroz integral: Pasa al elevador que lo lleva a la posterior etapa.
- Arroz cáscara con pequeño por ciento de arroz integral y afrecho: pasa al sinfín retorno que lo incorpora nuevamente a la descascaradora.
- Mezcla: cáscara (con un por ciento igual al de entrada) integral y granos de bajo peso, pasan nuevamente al proceso de clasificación.

El arroz integral es separado de la cascarilla por caída libre en oposición a una corriente de aire producida por un ventilador que arrastra la cáscara hacia las afueras de la instalación, y el integral continúa hacia la posterior etapa del proceso.

El grano de pequeño peso es arrastrado junto con la cáscara aunque su peso sea mayor que la misma, este cae en una cámara que luego se incorpora al sinfín de la cascarilla al ventilador y posteriormente a la caja de almacenamiento.

Por el elevador llega el arroz integral al primer pulidor que posee unos sensores de nivel alto y bajo que garantizan la constancia de la alimentación. En el separador, mediante una corriente de aire, teniendo en cuenta la diferencia de densidades, conjuntamente con un movimiento rotatorio y la inclinación se produce la separación de las impurezas del producto. El arroz integral limpio pasa al elevador para la posterior etapa y las impurezas van hacia la cascarilla a través de una corriente de aire. Mediante el elevador llega al equipo el arroz integral libre de impurezas que entra por una extremidad de la máquina y salen por otra debido a condiciones físicas creadas internamente. El grano gira en torno al eje siguiendo una trayectoria elíptica por una forma horizontal debido a la acción del sinfín en la entrada y otra circular por el efecto de la rotación de la superficie abrasiva ocurriendo el pulimento por la fricción del arroz con el esmeril, del arroz con la malla y de este con el propio arroz. El polvo sale a través de la mezcla por la acción de la fuerza centrífuga, aire inyectado por el sistema de aspiración que simultáneamente produce el enfriamiento de los granos en la malla. Mediante el elevador doble se transporta la mezcla de arroz pulido hacia la zaranda de cabecilla, pasando por el primer paño que separa las semillas y el arroz marinero, posteriormente pasa al segundo paño que separa la cabecilla que continúa por el elevador #6 hasta la tolva de cabecilla donde se recepciona para su posterior extracción. La mezcla (entero, $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$ y $\frac{1}{4}$ grano pasa mediante la otra sección del elevador #5 a la siguiente etapa del proceso.

La mezcla de arroz pulido pasa al cilindro clasificador 1 y 2 en los cuales se separan el $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{4}$ y $\frac{1}{2}$ grano que después pasa al elevador y el entero al elevador # 8 el cual lo transporta a la caja receptora. En el cilindro se extrae el $\frac{3}{4}$ grano y mediante el elevador se transporta hacia la caja receptora, el $\frac{1}{2}$ y $\frac{1}{4}$ grano pasan al cilindro donde son separados y transportados por separado mediante el elevador doble hacia sus respectivas cajas receptoras. La separación en este

equipo consiste en separar mediante estos cilindros alveolados las partículas de menor tamaño, las cuales son llevadas a un sinfín que según su inclinación es efectiva la recogida del grano. El arroz entero, el $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{4}$ y el $\frac{1}{2}$ grano clasificado pasan a su caja de almacenamiento mediante los elevadores y el elevador doble por sus dos secciones respectivamente. De estas cajas de almacenamiento se toman posteriormente para realizar la mezcla.

A la salida de los silos los granos pasan a los proporcionadores y de ahí al sinfín mezclador rotativo, esta operación se realizará teniendo en cuenta la mezcla a efectuar.

Para el almacenamiento el arroz consumo, el elevador entra a la caja almacenadora que alimenta el ensaque, el operador sitúa la boca del saco a la salida de la tolva, acciona la palanca halando la válvula de cierre. El arroz comienza a caer en el saco y una vez alcanzado el peso aproximado de 41.4 kg se produce un primer disparo y cuando se obtiene el peso establecido según el contrapeso 50.0 kg ocurrirá un segundo disparo mediante el cual se cierra la válvula. Se repite la misma operación para cada saco a llenar. Después de llenado el saco pasan por la máquina cosedora y de ahí se almacena en la estiba correspondiente. (Ver anexo 7)

2.6 Cantidad de Arroz molinado a partir del año 2017 hasta cierre de agosto de 2018

El arroz es molinado por un molino con una capacidad de molinado de 10 toneladas de arroz por hora (10t/h), con tecnología Zacaria proveniente de importación desde Brasil.

Tabla 2.3 Arroz molinado a partir del año 2017 hasta cierre de agosto 2018

Meses del año	Producciones año 2017 (t)	Producciones cierre de agosto 2018 (t)
Enero	222.70	1 553.77

Febrero	910.59	968.73
Marzo	510.10	1 143.39
Abril	614.59	735.51
Mayo	193.56	996.20
Junio	1 828.61	1 546.50
Julio	1 496.17	1 837.86
Agosto	2 353.06	1 843.34
Septiembre	664.74	-
Octubre	723.73	-
Noviembre	1 674.51	-
Diciembre	1 150.46	-
Total	12 343.36	10 625.34

Fuente: Información estadística de la EAIG Aguada

2.6.1 Producción de cascarilla de arroz, a partir del año 2017 hasta cierre de agosto 2018

Como se estudió en el capítulo I la cascarilla de arroz representa el 22% del volumen de arroz que es procesado.

La cascarilla de arroz es el único residuo obtenido en el proceso de molinería, representa grandes volúmenes acumulados en los alrededores de la UEB, debido a la escasa utilidad que tiene, se puede decir que en estos momentos no tiene utilidad ninguna. (Ver anexo 8)

Durante la producción de arroz consumo a partir del año 2017 a cierre de agosto del año 2018, por proceso de molinería, se generó grandes cantidades de cascarilla, la cual permanece acumulada en el patio de la entidad.

Tabla 2.4 Cascarilla de arroz obtenida a partir del año 2017 hasta cierre de agosto 2018

Meses del año	Producción de cascarilla de arroz año 2017 (t)	Producción de cascarilla de arroz cierre de agosto 2018 (t)
Enero	48.99	341.83
Febrero	200.33	213.12
Marzo	112.22	251.54
Abril	135.21	161.81
Mayo	42.58	219.16
Junio	402.29	340.23
Julio	329.15	404.33
Agosto	517.67	405.53
Septiembre	146.24	-
Octubre	159.22	-
Noviembre	368.39	-
Diciembre	253.10	-
Total	2 715.39	2 337.55

Fuente: Información estadística de la EAIG Aguada

2.6.2 Identificación de residuos y malas prácticas de proceso

Una vez descritos los procesos productivos llevados a cabo para la obtención de arroz consumo, se puede identificar los residuos obtenidos en cada proceso. En el caso del proceso de secado el residuo que se obtiene es la cascara de arroz, la cual viene de granos vanos. El residuo es obtenido al pasar el arroz por las máquinas de limpieza, y es sacado a las afueras de la entidad mediante tuberías.

En el caso del proceso de molinería el residuo obtenido es la cascarilla que recubre el grano del arroz, al ser éste pasado por la descascaradora, el volumen obtenido es depositado en las afueras de la unidad en conjunto con la cascarilla obtenida en la limpieza del arroz en el proceso de secado. Por lo se puede

concluir que el único residuo obtenido en la UEB, en los dos procesos aplicados al arroz, es la **Cascarilla de Arroz**.

No se identificaron malas prácticas aplicadas a los procesos, ya que ambos son procesos mecánicos los cuales son llevados a cabo por equipos físicos que no requieren de adición de agua para el desarrollo de las etapas de los procesos. Son alimentados por fuentes tradicionales de energía eléctrica.

2.7 Características de la cascarilla de arroz

Entre los aspectos físicos se puede considerar su tamaño, el cual, uniforme, es de aproximadamente 8-10 mm de longitud y 1-2 mm de ancho. Se caracteriza por tener forma ovoidal, similar a una canoa y un color amarillo oscuro. (Ver anexo 1)

El contenido de humedad de la cáscara de arroz cuando sale del descascarador varía entre el 5% al 30% después de haber estado a la intemperie (en época no lluviosa por sus características químicas presenta un 10% de humedad). Su densidad es baja, por lo cual al apilarse ocupa grandes espacios. El peso específico es de 125 kg/ m³, es decir, 1 tonelada ocupa un espacio de 8 m³ a granel. El poder calorífico de la cascarilla va de 3.300,6 kcal/kg hasta 3776.29 kcal/kg aproximadamente. Contiene un alto contenido de sílice (el 20 %), por esto es de muy baja biodegradabilidad en condiciones del ambiente natural. La temperatura máxima que se obtiene al ser quemada varía de acuerdo con su condición: 970°C (seca), 650°C (con algún grado de humedad) y hasta los 1000°C (mezclada con combustible). La cascarilla de arroz al quemarse, genera 15.0-20 % de ceniza rica en Sílice (94.5 %). (Prada, 2010)

Es un tejido vegetal constituido por celulosa ($\pm$ 40%) y sílice, presenta un alto contenido de dióxido de silicio (SiO₂). Entre los porcentajes más significativos de la cáscara de arroz se encuentran las cenizas, tiene un elevado contenido de materia volátil en comparación con los carbones.

2.7.1 Composición de la cascarilla de arroz de distintas variedades en diferentes países

Las tablas 2.5, 2.6, 2.7 muestran un resumen de las características de la cascarilla de arroz de distintas variedades en diferentes países.

Tabla 2.5 Composición de la cascarilla de arroz de distintas variedades en diferentes países

Parámetros %	Tipo de Arroz			
	Canadá	California (USA)	China	Colombia
Material Volátil	66.4	66.5	52.0	16.7
Carbono Fijo	13.2	16.2	25.1	17.9
Ceniza	20.0	20.3	16.9	65.6
Total	100	100	100	100

Fuente: (Pérez, 2010)

Tabla 2.6 Composición elemental de cascarilla de arroz, de distintas variedades en diferentes países

Parámetros (%)	Tipo de Arroz		
	Canadá	California (USA)	China
C	37.6	38.3	37.6
H	5.4	4.8	5.8
O	36.6	35.6	37.6
N	0.38	0.52	1.9
S	0.03	0.05	0.09
Cl	0.01	0.12	0.00
Ceniza	20.0	20.3	16.9
Total	100.0	100.0	100.0
Poder calórico (Mj/kg)	14.2	-	13.4

Fuente: (Pérez, 2010)

Tabla 2.7 Características físicas de la cascarilla de arroz, de distintas variedades en diferentes países

Parámetros (%)	Valor		
	Perú	Argentina	
		Tratada	Sin tratar
Peso específico (kg/m³)	780.0	980.0	1290.0
Densidad aparente sin compactar (kg/m³)	110.0	102.0	125.0
Densidad aparente compactada (kg/m³)	140.0	142.0	220.0
Diámetro máximo (mm)	-	2.3	
Módulo de finura	-	3.74	

Fuente: (Pérez, 2010)

2.7.2 Características de la cascarilla de arroz de las variedades cultivadas en Cuba

En Cuba se cultivan seis variedades de arroz (Perla de Cuba, INCA LP-5, IA Cuba 41 Selección I, IA Cuba 42 Selección II, Reforma, IA Cuba 35) todas originadas de la especie oryza sativa, las tablas 2.8, 2.9 muestran las características fundamentales de la cascarilla de arroz obtenida de las especies cubanas.

Tabla 2.8 Composición elemental de la cascarilla de arroz en Cuba

Cascarilla de arroz	Ceniza %	Azufre %	Hidrógeno %	Carbono %	Nitrógeno %	Oxígeno %
	15,0 - 20,3	0,07 - 0,12	4,9 - 5,3	37,7 - 42,1	0 - 0,5	31,7 - 40,0

Fuente: (Rodríguez, 2000)

Tabla 2.9 Características técnicas de la cascarilla de arroz en Cuba

Cascarilla de arroz	Humedad %	Materia Volátil %	Carbono Fijo %	Valor Calórico Superior MJ/kg
	9 - 30	58 - 69,2	10 - 12	9,6 - 15,8

Fuente:(Rodríguez, 2000)

Conclusiones parciales

1. A partir del año 2017 hasta cierre de agosto del año 2018 en la UEB Industrial de Arroz se ha secado un total de 7 634.2 toneladas de arroz, generando un gasto total de 122 147.2 litros de diesel y 183.22 MWh/t de energía, en dicho proceso.
2. En el año 2017 hasta cierre de agosto del año 2018, se ha molinado en total de 22 968.7 toneladas de arroz consumo, generando un total de 5 052.9 toneladas de cascarilla de arroz.
3. El único residuo identificado en los procesos es la cascarilla de arroz.
4. En las características analizadas de la cascarilla de arroz se observa para las diferentes variedades por países que el porcentaje de carbón fijo se encuentra de 10 - 25.1%, el material volátil de 16.7-69.2%, la ceniza de 10.5 – 65.6%, el poder calórico varia de 9.6 – 15.8 MJ/kg y la humedad al salir del descascarador de 5% a 30%.

Capítulo. III Alternativas de uso y tratamiento de la cascarilla de arroz.

3.1 Introducción

En el capítulo estudia los posibles usos y tratamiento de la cascarilla de arroz, las características térmicas de la misma para su uso como combustible en el proceso de secado. Se calcula la cantidad de cascarilla necesaria para secar 1 tonelada de arroz húmedo que entra a la unidad. Se analiza el tipo de horno más eficiente a diseñar, así como las características de la briqueteadora para ser usada en la densificación de la cascarilla de arroz. Se propone un uso a la ceniza generada en el proceso de combustión de la cascarilla de arroz.

3.2 Posibles usos y tratamiento de la cascarilla de arroz

La cáscara de arroz, constituye uno de los residuos de mayor estudio y material de sumo interés para investigar.

Esto se debe a dos aspectos relevantes. El primero de ellos refiere al gran volumen generado de este residuo comparativamente con otras especies cultivadas, lo cual se deduce fácilmente si se tiene en cuenta que la producción de 1 toneladas de arroz da lugar a 0.2 toneladas (220 kg) de cáscara de arroz.

El segundo aspecto se vincula con que el arroz representa una de las plantas que contiene mayor cantidad de sílice, alojada principalmente en la cáscara. Esto significa que como residuo no puede ser reutilizado para alimentación de animales debido a sus escasas propiedades nutritivas, y que adicionalmente posee una superficie irregular y abrasiva que la hace muy resistente a la degradación natural, de lo que se deriva naturalmente un serio problema para su acumulación.

A partir de las características presentes en la cascarilla de arroz se realiza un estudio con el objetivo de encontrar un uso y tratamiento para la misma.

3.2.1 Quema abierta de cascarilla de arroz

Muchos de los residuos agroindustriales eliminados por una práctica generalizada de quema abierta, ya que muchos de estos tienen la ventaja de devolver al suelo

parte de las sales inorgánicas no volátiles, además para su uso como sustrato y cenizas en cultivos.

La cascarilla de arroz para este tipo de práctica presenta mayores desventajas que beneficios, ya que su alto nivel de sílice (SiO_2) hace que sea muy poco biodegradable y abrasiva. La ceniza proveniente de la quema a cielo abierto está compuesta mayoritariamente por sílice cristalina, la cual contamina el aire. Las consecuencias de quemar la cascarilla de arroz a cielo abierto, son diversas. En primer lugar, los humos generados por la quema de la cascarilla de arroz tienen un efecto negativo en el aire que se respira, tiene un aspecto grisáceo y puede afectar una zona de hasta un radio de 2 km a la redonda. Este aire también genera otros efectos negativos para los humanos, como irritación en la piel y molestias en los ojos, activación de enfermedades respiratorias. Al quemar la cascarilla también se generan partículas volátiles, estas partículas muchas veces entran en contacto con plantas en crecimiento, perjudicando su normal desarrollo.

3.2.2 Enterramiento de la cascarilla de arroz y uso como fertilizante

Como tratamiento a la cascarilla de arroz, se propone el enterramiento de la misma, para la eliminación de la aglomeración del residuo en la unidad.

Este manejo sería inadecuado, ya que para que la cascarilla pueda descomponerse, se necesita de tiempos muy largos, en los cuales la cascarilla estará perjudicando el suelo, liberando celulosa y ácido acético, perjudicando el crecimiento de nuevas plantas. En suelos con humedad alta, los microorganismos que descomponen la cascarilla también estarán compitiendo por oxígeno con el suelo, quitándoselo a las plantas que pueden estar sembradas en éste. Además de tener como inconveniente que se habla de volúmenes muy grandes de este residuo y su enterramiento es casi imposible.

Se puede presentar como uso de fertilizantes natural, pero cada tonelada de cascarilla de arroz contiene 10 kg de H_3PO_4 , y 15 kg de KOH; tal rendimiento es muy bajo para poder usarse como fertilizante. Se podría obtener furfural, pero el costo de operación es muy alto debido también a su bajo rendimiento. De cada

tonelada de cascarilla se obtendrían de 50 a 60 kg de furfural. (Pliego & Lemus, 1987)

3.2.3 Utilización de la cascarilla de arroz como relleno en camas de corrales porcinos y avícolas

Utilizar la cascarilla como relleno en camas para la producción porcina o avícola. Aunque, en el primer caso, el uso de la misma en camas de relleno porcinas y avícolas reduce de manera sensible el consumo de agua, puesto que la misma no necesita del recurso hídrico en la limpieza, no se conocen datos sobre el uso posterior del residuo generado, después del contacto físico con los animales, su orina y excretas.

3.2.4 Uso de la cascarilla de arroz como aditivos para obtener otros materiales

El propósito de adicionar la cascarilla a otros materiales para obtener cementos, concreto, tableros y, materiales, puzolanas o aglomerados, ha sido estudiado en partes de Latinoamérica, obteniendo resultados favorables. Pero no todas son bondades, pues los expertos han observado que es un material abrasivo. Es por ello que la cascarilla de arroz no puede ser utilizada en autoconstrucción, sino que en el caso del aglomerado tiene que ser hecho en una fábrica, y sólo así se pueden obtener paneles.

Realizando un estudio específico para la zona donde se genera el residuo, se puede afirmar que no es un proceso de gran utilidad, ya que no se cuenta con grandes constructoras ni fábricas de cemento, donde se le pueda dar un uso directo a la cascarilla del arroz, lo cual significaría un gasto en transportación para trasladarla hasta lugares donde existan estas fábricas y donde se le dé mayor utilidad.

Las técnicas para realizar el proceso de mezclar la cascarilla de arroz en su estado natural, sin ser quemada, demanda de tecnologías de alta gama y de un trabajo de estudio detallado para poner en uso la práctica de esta tecnología. Por esto se presenta como una deficiencia antes que una solución. Se plantea como un tema de estudio y desarrollo.

3.2.5 Tratamiento térmico previo con el objetivo de darle uso posterior definitivo

En aquellos casos en los cuales a la cascarilla se le da un tratamiento térmico previo para posteriormente darle un uso definitivo. Para ello se hace mediante el tratamiento térmico anaeróbico.

El tratamiento térmico anaeróbico, que se realiza en ausencia de aire, tiene como objeto conservar el esqueleto hidrocarbonado de la cascarilla, de manera que se obtenga un material poroso que, luego de ser sometido al flujo del vapor de agua o al contacto con reactivos químicos, se convierta en el denominado carbón activado que se puede utilizar en diferentes procesos industriales, producción de alimentos, tratamiento de agua e incluso la separación de sustancias tóxicas de la sangre.

El proceso de obtención de carbones activados a partir de cascarilla ha sido estudiado con algún detenimiento. Los carbones activados obtenidos a partir de cascarilla de arroz por sus características generales y específicas no son inferiores a los mismos obtenidos de materiales tradicionales (aserrín de pino, huesos, etc.) e incluso superiores a los obtenidos de residuos de la industria azucarera. Sin embargo, la fragilidad física de los carbones de cascarilla hace que con gran facilidad se pulverizan, dificultando su reactivación, condición importante para justificar su producción. Por tanto, se requiere adicionar otros materiales que los hagan consistentes, lo que los encarece y no hace atractiva su obtención. Este podría ser un importante campo por explorar. (Prada, 2010)

3.2.6 Uso de la cascarilla de arroz como fuente de energía

Para la disposición final de la cascarilla, en lo relacionado con la combustión plena, se han efectuado aportes importantes que permiten abordar el tema, con fines prácticos, con base en elementos consolidados. El uso de la cascarilla de arroz como combustible representa un aporte significativo a la preservación de los recursos naturales y un avance en el desarrollo de tecnologías limpias y económicas.

En la descripción del proceso de secado del arroz en el acápite 2.3.1, en el capítulo II, se describe el proceso de secado el cual utiliza calor generado por un quemador de diesel, a partir del diseños de prototipos de hornos de combustión de cascarilla, se puede generar el calor necesario para el secado del arroz, a partir del diseño en función básica del análisis termodinámico y de transferencia de calor, en el que se parte de un modelo teórico de combustión para caracterizar a la cascarilla de arroz desde el punto de vista químico y térmico, para luego utilizarla como combustible. De esta manera se estaría ahorrando combustible, el cual es utilizado para generar el calor necesario en la forma de secado actual y por otra parte se evita la emisión de los contaminantes nocivos para el ser humano y, por supuesto, al medio ambiente, además de la eliminación de todos las toneladas de cascarilla aglomerados en la UEB.

Como cierre de ciclo el residuo obtenido después de quemarla, la ceniza por sus propiedades puede ser utilizada como aditivo en la fabricación de cementos.

3.3 Alternativa de uso más eficiente de la cascarilla de arroz, para UEB Industrial de Arroz

Se ha realizado un estudio y se han propuesto diferentes alternativas de usos y tratamiento de la cascarilla de arroz, para así encontrar la solución correcta, o la que represente mayor beneficio económico y menos impacto al medio ambiente. A partir de la exposición de 6 propuestas, entre ellas:

- Quema abierta de cascarilla de arroz
- Enterramiento de la cascarilla de arroz y uso como fertilizante
- Utilización de la cascarilla de arroz como relleno en camas de corrales porcinos y avícolas
- Uso de la cascarilla de arroz como aditivos para obtener otros materiales
- Tratamiento térmico previo con el objetivo de darle uso posterior definitivo
- Uso de la cascarilla de arroz como fuente de energía

A partir del análisis de beneficios y desventajas de cada una de estas propuestas, se tuvo en cuenta factores de mayor utilidad y mayor cantidad de cascarilla de arroz a utilizar, factores geográficos y sobre todo se analizaron los procesos que

se practican en la UEB Industrial de Arroz para así definir el uso más eficiente de este residuo.

El uso de la cascarilla de arroz como fuente de energía, para la generación de calor resulta la alternativa más eficiente, ya que de esta manera no solo se le está dando una solución al residuo, sino que este se vincula al proceso, permitiendo la generación de energía en forma de calor para el secado del arroz que entra a la unidad. Y completar el ciclo con la propuesta del estudio de la utilización de la ceniza generada en la combustión, con fines de adicción a cementos.

3.4 Características térmicas de la cascarilla de arroz

Cada tipo de biomasa tiene características específicas que determinan su funcionamiento como un combustible en la combustión. Las características más importantes referentes a la conversión térmica de la biomasa son las siguientes.

- Contenido de humedad.
- Contenido de ceniza.
- Contenido de materia volátil.
- Composición elemental.
- Poder calorífico.
- Densidad aparente.

La composición elemental de una sustancia combustible es su contenido (porcentaje en masa) de carbono (C), hidrógeno (H), azufre(S), oxígeno(O), nitrógeno(N), humedad (W) y cenizas o material residual (A). Es la característica técnica más importante del combustible y constituye la base para los análisis de los procesos de combustión, entre ellos: cálculos de volúmenes de aire, gases y entalpía. Las siguientes composiciones elementales de la cascarilla de arroz se basan en los diferentes porcentajes de humedad analizadas en estudios previos. (Valverde, 2007) La tabla 2.6 Composición elemental de cascarilla de arroz, de distintas variedades en diferentes países, expone los porcentajes de cada uno de estos parámetros, además de su poder calórico.

La tabla 2.5 Composición de la cascarilla de arroz de distintas variedades en diferentes países, presenta el contenido de ceniza, material volátil y carbono fijo.

El contenido de humedad de la biomasa es la relación de la masa de agua contenida por kilogramo de materia seca. Para la mayoría de los procesos de conversión energética es imprescindible que la biomasa tenga un contenido de humedad inferior al 30%. Muchas veces, los residuos salen del proceso productivo con un contenido de humedad muy superior, que obliga a implementar operaciones de acondicionamiento, antes de ingresar al proceso de conversión de energía. (Valverde, 2007)

Tabla 3.1 Composición elemental de la cascarilla de arroz a diferentes % de humedad

Cascarilla de arroz (%)						
Humedad	C	H	O	N	S	Cenizas
8.6	42.5	6.0	36.2	0.21	0.49	14.6
8.9	39.1	39.1	37.2	37.2	0.43	17.8
9.4	33.4	33.4	38.5	38.5	0.32	23.1

Fuente: (Valverde, 2007)

El porcentaje de cenizas indica la cantidad de materia sólida no combustible por kilogramo del material. En los procesos que incluyen la combustión de la biomasa, es importante conocer el porcentaje de generación de ceniza y su composición, pues en algunos casos, esta puede ser utilizada, la ceniza de la cascarilla de arroz puede ser usada como aditivo en la mezcla de concreto o para la fabricación de filtros de carbón activado.

El poder calorífico por unidad de masa (tabla 2.6) es el parámetro que determina la energía disponible en la biomasa. Su poder calórico está relacionado directamente con su contenido de humedad. Un elevado porcentaje de humedad reduce la eficiencia en la combustión debido a que una gran parte del calor liberado se usa para evaporar el agua y no se aprovecha en la reducción química

del material. Es calculado con la ayuda de la Tabla 3.1 mediante la siguiente fórmula:

$$Q_i = 339,147 \cdot C^t + 1256,1 \cdot H^t + 108,86 \cdot (S^t + O^t) - 25,12 \cdot (9 \cdot H^t + W^t) \text{ (kJ/kg}_{CA}) \quad (3.1)$$

Tabla 3.2 Poder calorífico inferior de la cascarilla de arroz a partir del contenido de humedad

Contenido de Humedad (%)	Poder calórico inferior (PCI) kJ/kg
0	19880
10	17644
20	15412
30	13180
40	10947
50	8715
60	6413

Fuente: (Valverde, 2007)

3.5 Punto de fusión y ensuciamiento de la ceniza de la cáscara de arroz

El punto de fusión de las cenizas y el nivel de ensuciamiento son dos factores básicos a los que se les debe prestar especial atención al diseñar y durante la explotación de los sistemas de combustión que utilizan biomasa como combustible. Ambos aspectos, fusión y ensuciamiento, dependen de la composición química de la ceniza la cual varía de un residuo a otro, como se puede apreciar en la tabla 3.3.

Tabla 3.3 Composición mineral de las cenizas de cascarilla de arroz a nivel mundial

Parámetros (%)	California	
	V ₁ Cáscara	V ₂ Tallo
SiO ₂	91.42	74.62
Al ₂ O ₃	0.78	1.04

T₁O₂	0.02	0.09
Fe₂O₃	0.14	0.85
CaO	3.21	3.01
MgO	<0.01	1.75
Na₂O	0.21	0.96
K₂O	3.71	12.30
SO₃	0.72	1.24
P₂O₅	0.43	1.41
Total	100.00	100.00

Fuente: (Valverde, 2007)

Punto de fusión

Como consecuencia del empleo de los fertilizantes en los cultivos de la agricultura, la mayoría de los residuos agrícolas tienen en sus cenizas contenidos elevados de Óxidos de Potasio (K₂O). Los óxidos de potasio tienen un punto de fusión relativamente bajos y en la medida que aumenta su proporción, el valor de la temperatura de fusión disminuye. Sin embargo, la ceniza de la cáscara de arroz se caracteriza por tener un bajo contenido de óxidos de potasio K₂O = 3.71 %, por otro lado, la ceniza obtenida al quemar tanto la cáscara como el tallo de arroz, tienen un alto contenido de óxidos de sílice SiO₂ = 91.42 y 74.67 %, respectivamente. El punto de fusión del óxido de silicio es relativamente alto (1450 °C). Por estas razones lo normal es que al quemar cáscara de arroz no deben presentarse los problemas de la escorificación por bajo punto de fusión de sus cenizas y algunas investigaciones plantean que la temperatura de fusión de la ceniza de la cáscara de arroz está alrededor de los 1500 °C, siendo un poco menor para la ceniza de los tallos al tener estos mayor contenido de compuestos alcalinos. (Valverde, 2007)

Ensuciamiento

El termino ensuciamiento se refiere a los depósitos que se acumulan sobre la superficie de transferencia de calor con las cuales se ponen en contactos los

gases de la combustión. El ensuciamiento frecuentemente se asocia, en sentido general, con la reducción de la velocidad de transferencia de calor y la corrosión. Al quemar la cáscara de arroz lo usual es que se produzca una ceniza muy fina, la cual es fácilmente arrastrada, fuera de la cámara de combustión, con los gases producidos. Esta ceniza puede ser separada y colectada mediante el empleo de ciclones separadores o filtros de manga. (Valverde, 2007)

El “Índice de Álcali” se utiliza para evaluar la tendencia de los combustibles a producir ensuciamiento cuando se queman. Este índice relaciona la masa de óxidos metálicos (K_2O más Na_2O), presentes en la ceniza con los generados térmicamente. Algunos investigadores señalan que:

- Para índice de álcali mayor que 0.17 kg/GJ el ensuciamiento es probable.
- Para índice de álcali por encima de 0.34 kg/GJ es casi seguro que ocurra ensuciamiento. (Valverde, 2007)

Tabla 3.4 Índice de Álcali para diferentes materiales

Índice de Álcali, Kg/GJ	Material
1.75	Corteza de almendra
1.64	Tallo de arroz
1.10	Paja de trigo
0.50	Cáscara de arroz
0.07	Carbón bituminoso

Fuente: (Valverde, 2007)

El Índice de Álcali, puede ser útil como una indicación de los problemas que se tendrán con la ceniza. Esto fundamenta el criterio que al quemar la cáscara para producir el calor del Proceso de Secado del grano, sus gases no se pueden poner en contacto directo con el arroz cáscara pues lo puede contaminar. El alto contenido de ceniza de la cascarilla de arroz y las características de su ceniza imponen severos requerimientos sobre el diseño de los sistemas de combustión.

3.6 Cantidad de cascarilla producida por la empresa

En el capítulo II la tabla 2.4 Cascarilla de arroz obtenida a partir del año 2017 hasta cierre de agosto 2018, se determinó la cantidad de cascarilla de arroz producida en la UEB Industrial de Arroz.

La Unidad procesó un total de 22 968.7 toneladas de arroz consumo, generando un total de 5 052.9 toneladas de cascarilla de arroz.

3.6.1 Cálculo de la energía necesaria para secar 1 tonelada de arroz, a partir de la combustión de diesel

Para conocer la energía necesaria para el secado de 1 tonelada de arroz a partir de la combustión de la cascarilla, se necesita conocer la energía que demanda el secado de arroz haciendo uso de diesel como combustible.

Conociendo que el poder calórico del diesel es de 10 112 kcal/kg (Rodríguez, 2000) y sabiendo que el índice de consumo de portadores energéticos es de 16 litros de diesel (13.6 kg de diesel) para secar una tonelada de arroz. El consumo energético se determina a partir de la Ec. 3.2

$$E.necesaria = \text{Indice de portadores energéticos} * PCD \quad (3.2)$$

$$E.necesaria = 13.6 \text{ kg} * 10112 \text{ kcal/kg} \quad \text{Donde:}$$

$$E.necesaria = 151\,123.2 \text{ kcal} \quad \text{PCD - Poder calórico del diesel}$$

Se necesita un total de 151 123.2 kcal de energía para secar 1 tonelada de arroz húmedo.

3.6.2 Cantidad de cascarilla de arroz (CA) necesaria a combustionar para el secado de 1 tonelada de arroz húmedo

A partir del cálculo de la cantidad de energía necesaria para secar 1 tonelada de arroz usando diesel como combustible, y conociendo el poder calórico de la cascarilla del arroz, se conoce la energía que esta produce y por ende la cantidad de cascarilla necesaria a combustionar para obtener dicha energía.

El poder calórico de la cascarilla de arroz de las variedades cubanas varía de (9,6 - 15,8) MJ/kg, (2294,46-3776,29) kcal/kg, con una humedad comprendida de 9 – 30 %. (Rodríguez, 2000)

Capítulo III Alternativas de uso y tratamiento de la cascarilla de arroz

Para realizar el cálculo se tomó el valor calórico inferior y el superior

$$Cant. CA_{necesaria} = \frac{E_{necesaria}}{poder\ calorico\ CA} \quad \text{Donde:} \quad (3.3)$$

$$Cant. CA_{necesaria} = \frac{151123.2\ kcal}{2294.46\ kcal/kg} \quad E_{necesaria} - \text{Energía necesaria}$$

$$Cant. CA_{necesaria} = 65\ kg \quad CA - \text{Cascarilla de arroz}$$

Haciendo uso del poder calórico inferior de la cascarilla de arroz (2294.46 kcal/kg), se necesita combustionar 65 kg de cascarilla para secar 1 tonelada de arroz.

$$Cant. CA_{necesaria} = \frac{E_{necesaria}}{poder\ calorico\ CA} \quad (3.4)$$

$$Cant. CA_{necesaria} = \frac{151123.2\ kcal}{3776.29\ kcal/kg}$$

$$Cant. CA_{necesaria} = 40\ kg$$

Haciendo uso del poder calórico superior de la cascarilla de arroz (3 776.29 kcal/kg), se necesita combustionar 40 kg de cascarilla para secar 1 tonelada de arroz.

3.6.3 Cantidad de cascarilla de arroz (CA) necesaria para el secado de la producción en el año 2017 cierre de agosto 2018

Se tomará 65 kg de cascarilla de arroz a combustionar para simular un máximo consumo de la misma, y se tomará como promedio la producción secada en el año 2017 cierre de agosto 2018.

$$Cant. CA = Producción\ de\ arroz\ secado * Cant. CA\ necesaria \quad (3.5)$$

$$Cant. CA = 7634.2\ t\ AS * 65\ kgCA/tAS$$

$$Cant. CA = 496\ 223\ kgCA$$

Se necesita de 496 223 kilogramos de cascarilla de arroz para secar una producción de 7 634.2 toneladas de arroz húmedo.

Conociendo que la producción de cascarilla de arroz en el año 2017 cierre de agosto 2018 es de 5 052, mediante el cálculo realizado se conoce que la cascarilla producida es suficiente para abastecer el proceso de secado por la combustión de la misma, ya que solo utiliza el 10% de la producción total. En caso de un aumento

de la producción de secado se tendría un margen de 90% para abastecer el proceso.

3.7 Ahorro de combustible

Actualmente en la UEB, el arroz es secado por la aplicación del aire caliente mediante un quemador de diesel (ver anexo 4) en la torre de secado. Teniendo en cuenta lo explicado en el acápite 2.3.1.2, donde el índice de consumo de diesel para secar una tonelada de arroz es de 16 litros y 0.024 MWh/t, y citando lo expuesto en la tabla 2.2 Consumo de diesel por concepto de secado a partir del año 2017 hasta agosto 2018, el consumo de diesel para ese periodo es de 122147.2 litros de diesel y el consumo de energía es de 183.22 MWh/t.

La Empresa paga por cada litro de combustible \$ 2.0 cup, realizando el cálculo de la cantidad de diesel utilizado por este valor se obtiene el gasto en cup que genera el proceso de secado.

$$\text{Gasto CUP} = \text{Cant. Diesel} * \text{Precio de diesel} \quad (3.6)$$

$$\text{Gasto CUP} = 122147.2 \text{ lt} * 2.0 \text{ cup/lt}$$

$$\text{Gasto CUP} = 244\,294.4 \text{ cup}$$

El valor del kWh tiene un precio a nivel de empresa de 0.30 cup, sabiendo que el consumo de energía en el proceso de secado en el año 2017 cierre de agosto de 2018 fue de 183.22 MWh/t (183 220 kWh/t), se calcula mediante la fórmula 3.7 El gasto en cup

$$\text{Gasto CUP} = \text{Cant. kWh} * \text{Precio de kWh} \quad (3.7)$$

$$\text{Gasto CUP} = 183220 \text{ kWh} * 0.30 \text{ cup/kWh}$$

$$\text{Gasto CUP} = 54\,966 \text{ cup}$$

Aplicando el uso de la utilización de la cascarilla de arroz como energía para el secado del arroz el ahorro de diesel y energía seria considerable, además de tener un ahorro en cup de 299 260.4.

3.8 Propuesta de diseño de un horno para la combustión de la cascarilla de arroz

El diseño de un horno para la combustión de la cáscara de arroz en la UEB es posible y es de gran ayuda ambiental y económica. La cascarilla de arroz reúne todas las propiedades calóricas para la combustión y la cantidad a utilizar es generada en cantidades suficientes, con el fin de usarse como combustible para el secado del arroz. Sería un ahorro considerable al no usar diésel, como combustible, y al no quemar este combustible ayudaría al medioambiente y de igual forma se elimina la cascarilla que por sus cantidades excesiva es otro contaminante.

3.8.1 Selección del horno para la combustión de la cáscara de arroz

En todas las bibliografías estudiadas, por las características de la cáscara de arroz, recomiendan para esta, la combustión en un horno de Lecho fluidizado burbujeante (LFB). En este tipo de horno gracias a la intención de aire provocada por los inyectores de la entrada del aire secundario la biomasa experimenta un estado de suspensión y turbulencia, que permite en contacto directo de cada partícula con el lecho (como se muestra en la Figura 3.1). Esto permite la gasificación y combustión correcta del combustible, siendo muy eficiente para este tipo de biomasa. (Castillo, 2018)

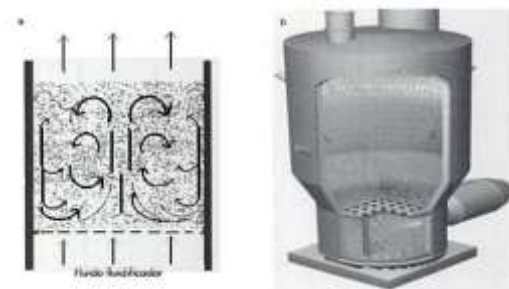


Figura 3.1 Horno de Lecho fluidizado

3.8.2 Análisis para la selección del horno

La construcción del diseño del horno Lecho fluidizado burbujeante le es muy difícil la obtención a la unidad, por su complejidad, se trata de tecnologías muy avanzadas lejos de cualquier alcance, ya que este horno necesita muchos sensores electrónicos para su correcto uso, además de ventiladores centrífugos de aire que logren el fluido necesario por los inyectores de la entrada secundaria. También se necesita un extractor de partículas quemadas en la superficie del horno para evitar la expulsión de estas a la atmosfera, provocada por el proceso de fluidización dentro de la cámara de combustión.

Estas y otras características de horno de LFB son lo que hace casi inválido su diseño, pero el principal objetivo de este tipo de horno para la cáscara de arroz, es su correcta gasificación y combustión, no lograda así con las otras variedades mostradas. Sin embargo con la inclusión del principio de multitubularidad en un horno común (horno de combustión de lecho fijo) con el diseño de gasificadores dentro de la cámara de combustión, será posible la gasificación y combustión completa de la cáscara de arroz. (Castillo, 2018)

3.9 La Multitubularidad y la efectividad de la combustión de los combustibles

Los combustibles sólidos al igual que los líquidos, se agrupan por sus cualidades y ello responde en primer lugar, a la facilidad de los mismos de gasificarse y en segundo lugar, a su capacidad de dar respuesta a los requisitos de la combustión, según la aplicación específica. Cuando un combustible líquido se considera pesado, se refiere a un combustible con dificultades en gasificar, con un bajo índice de inflamación (Elevado tiempo de ignición), lo que hace necesario el precalentamiento para su garantía, además de requisitos adicionales, vinculados a una compleja y costosa tecnología para el aseguramiento aceptable de la combustión. Los combustibles sólidos y en particular los que provienen de las biomásas residuales no leñosas no son ajenos a las dificultades precedentes, sobre todo cuando se queman en pila de capa gruesa o en forma de briquetas macizas de medianas y grandes dimensiones y altas densidades, en hornos

térmicamente ineficientes, donde las temperaturas del ambiente de combustión resultan inferiores a 700°C.

Todos los factores vinculados a un combustible sólido que aseguren la inflamación del mismo en el mínimo tiempo posible, con independencia de las condiciones de combustión, con elevada potencia y energía térmica, contribuyen a caracterizarlo desde el punto de vista de su calidad como tal, será de peor calidad, el que no satisfaga estos requisitos. Cuando se utiliza en una aplicación combustible de baja calidad, desde el punto de vista de la combustión, ello presupone gastos adicionales en la preparación del mismo y en la tecnología de combustión, para asegurar una combustión con aceptables índices. Los experimentos con biomásas residuales leñosas y no leñosas densificadas en forma de briquetas tubulares y multitubulares, en la combustión en pila de capa gruesa. (Infante, 2010), demostraron que la macro multitubularidad es la garantía de la gasificación de dichos combustibles sólidos, con independencia de las dimensiones geométricas y de la densidad.

En estudios obtenidos se puede observar que la influencia de la densidad de las briquetas no es significativa, lo que resulta de gran ventaja, por cuanto las exigencias en la densificación no constituyen limitante para que las briquetas funcionen bien en la combustión, incluso en condiciones naturales de las biomásas (Sin densificar), siempre que se asegure la macro multitubularidad en la pila dentro del horno. (Infante, 2010)

3.10 Propuesta de diseño de una briqueteadora

El diseño de una briqueteadora para densificar cáscara de arroz resulta satisfactorio para reducir la contaminación ambiental en la UEB y la obtención de un combustible alternativo energético, menos contaminante que los combustibles fósiles. Entre sus ventajas se encuentran:

- Mayor poder calorífico
- Fácil y rápido encendido
- Baja humedad
- Alta densidad

- Ocupa menos espacio
- Limpias
- Homogéneas
- Fácil manipulación
- Sin olores, humos ni chispas
- Sin aglutinantes ni aditivos
- 100 % ecológicas y naturales

En estudios realizados a diferentes tesis y trabajos investigativos la metodología utilizada para lograr satisfactoriamente la capacidad de producción y las dimensiones de la briqueta deseadas, es la selección del sistema hidráulico. La tecnología de densificación, mediante el uso de las briqueteadoras hidráulicas, resulta ser una variante más económica en la obtención de combustible sólido a partir de los residuos biomásicos. (Herrera, 2018)

3.11 Propuesta de uso de la ceniza obtenida en la quema de la cascarilla de arroz

Los combustibles sólidos siempre contienen materias minerales no combustibles de diversas procedencias, las cuales de forma general están compuestas por Al_2O_3 , SiO_2 , CaO , KO_2 , Fe_2S_3 , así como óxidos de diferentes metales, fosfatos, álcalis, cloruros, carbonatos de calcio y de magnesio.

Durante el proceso de combustión, estas materias minerales sufren transformaciones, que dan lugar a la formación de cenizas. Las partículas más finas de la ceniza son arrastradas por las corrientes de los gases de combustión, y forman las cenizas volátiles o de arrastre. La otra parte se funde en la zona de alta temperatura de la llama y cae en el piso de la cámara del horno o se adhiere a las paredes de los tubos de las calderas formando la escoria, cuya composición química difiere de la composición de la ceniza.

Entre los porcentajes más relevantes de la composición química de la cascarilla de arroz se encuentran las cenizas, siendo la sílice la principal composición que no sufre disociación al quemarse. La quema controlada en hornos de la cascarilla de

Capítulo III Alternativas de uso y tratamiento de la cascarilla de arroz

arroz, genera en promedio, 40 kg de ceniza por cada tonelada de arroz. Esta ceniza está también compuesta principalmente por sílice (en el entorno de 90 %). (Valverde, 2007). La tabla 2.8 composición elemental de la cascarilla de arroz en Cuba, muestra los porcentos de ceniza. En la tabla 3.6 se muestra la composición química de la ceniza obtenida en la combustión de la cascarilla de arroz.

Tabla 3.5 Cenizas equivalentes de la cáscara de arroz en Cuba según su humedad

Donde: W^t – Humedad técnica

A^E - Cenizas equivalente

W^t [%]	A^E [%kg/MJ]
0	1.254
5	1.265
10	1.277
15	1.291
20	1.307
25	1.326
30	1.348

Fuente:(Rodríguez, 2000)

Tabla 3.6 Composición química media de la ceniza de la cascarilla de arroz en Cuba

Cascarilla de arroz	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₃	SO ₃
	91,0	1,8	3,7	0,5	0,2	0,7	0,5	0,01	0

Fuente:(Rodríguez, 2000)

Tabla 3.7 Composición química del cemento

Componente	Porcentaje (%)
Óxido de calcio (CaO)	63.0
Óxido de silicio (SiO ₂)	21.0

Capítulo III Alternativas de uso y tratamiento de la cascarilla de arroz

Óxido de Aluminio (Al_2O_3)	7.0
Óxido Férrico (Fe_2O_3)	3.0
Óxido de Magnesio (MgO)	1.5
Óxido de Azufre, sodio y potasio (SO_3, Na_2O, K_2O)	4.5
Total	100.0

Fuente: (Prada, 2010)

Analizando las tablas 3.6 y 3.7 se observa que las características químicas de las cenizas de cáscara de arroz provenientes de procesos de combustión, se corresponden con el contenido químico del cemento, esto hace que se pueda incluir dentro de las adiciones minerales usadas en el cemento o aditivos minerales para hormigón y concretos.

Con base en las pruebas efectuadas en diferentes estudios, tales como el realizado por Pliego, 1987 (Aprovechamiento de la cascarilla de arroz para la obtención de cemento), se concluye que las características físicas y químicas determinadas en las muestras de las cenizas de cascarilla de arroz, indican que son adecuadas para adición en la formación de un cemento. La factibilidad económica para la producción depende del diseño de un quemador adecuado.

En Cuba la ceniza generada en la combustión de cascarilla de arroz es comercializada a la entidad Refractarios Habana, para uso de fundiciones de bloques, concretos, cerámicas, entre otros.

Conclusiones parciales

1. El uso de la cascarilla de arroz como fuente de energía en la generación de calor, resulta la alternativa más eficiente, de las 6 propuestas estudiadas.
2. El punto de fusión de las cenizas y el nivel de ensuciamiento son dos factores básicos a los que se les debe prestar especial atención al diseñar y durante la explotación de los sistemas de combustión que utilizan biomasa como combustible. La temperatura no debe exceder de 1500°C para que no ocurra ensuciamiento en las paredes del horno.
3. Se necesita combustionar de 40 a 65 kg cascarilla de arroz para secar 1 tonelada de arroz húmedo, con una humedad comprendida de 9 -30%.
4. Un horno de combustión de lecho fijo con el diseño de gasificadores dentro de la cámara de combustión, es la propuesta a diseñar.
5. La tecnología de densificación, mediante el uso de las briqueteadoras hidráulicas, resulta la variante más económica en la obtención de combustible sólido a partir de los residuos biomásicos.
6. Las características físicas y químicas que se encuentran en la ceniza de cascarilla de arroz, indican que son adecuadas para adición en la formación de cemento y para agregados en concretos.

Conclusiones

1. Se muestra mediante el estudio bibliográfico que la biomasa representa el 90 % de toda la energía que se consume en los países en vías de desarrollo. Las características específicas que determinan su funcionamiento como un combustible en la combustión son: contenido de humedad, contenido de ceniza, contenido de materia volátil, composición elemental, poder calorífico y densidad aparente.
2. El contenido de humedad de la cáscara de arroz varía entre el 5% al 30%, su densidad es baja, por lo cual al apilarse ocupa grandes espacios. El peso específico es de 125 kg/m³, su poder calorífico varía de 9,6 - 15,8 MJ/kg aproximadamente, contiene un alto contenido de sílice (el 20 %). Al ser quemada genera de 15.0 - 20 % de ceniza rica en Sílice (94.5 %).
3. El uso de la cascarilla de arroz como fuente de energía en la generación de calor, es la alternativa más eficiente.
4. Se necesita combustionar de 40 a 65 kg de cascarilla de arroz para secar una tonelada de arroz húmedo, con una humedad comprendida de 9 – 30 %.
5. El ahorro obtenido al hacer uso del calor generado en la combustión de la cascarilla de arroz en el proceso de secado es de 122 147.2 litros de diesel y 183.22 MWh de electricidad, representando un ahorro de 299 260.4 cup.
6. Se propone diseñar un horno de combustión de lecho fijo con el diseño de gasificadores dentro de la cámara de combustión, y para la densificación de la cascarilla de arroz se propone una briqueteadoras hidráulicas.
7. La ceniza a partir de sus propiedades es propuesta para ser usada como adición la formación de cemento y concretos.

Recomendaciones

1. Tener en cuenta determinar la velocidad de la alimentación de la cascarilla de arroz a la cámara de combustión de lecho fijo, debido a que es necesario que exista un adecuado control y sincronización de la cantidad de biomasa que ingresa a la cámara, el ingreso de aire, el área de combustión, y la evacuación de ceniza.
2. Se debe tener en cuenta que al quemar cascarilla de arroz hay que tener un control sobre la temperatura de fusión de la ceniza la cual no debe sobrepasar los 1500°C, para evitar el ensuciamiento de las paredes internas del horno y la corrosión.
3. Realizar un estudio profundo y detallado del uso de la ceniza obtenida en el proceso de combustión, para adición a cementos y concretos. Colegiar con la Universidad Central de las Villas, la facultad de construcción que se realicen pruebas necesarias.
4. Proponer a la dirección de la Empresa y la UEB poner en práctica todo lo analizado y estudiado en este trabajo, para obtener los beneficios medioambientales y económicos que se propone.

Bibliografía

- Abril, D. (2009). *La paja de arroz. Consecuencias de su manejo y alternativas de aprovechamiento*. Recuperado de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/1679/1/3319.pdf>
- Arcos, C. A. (2007). *La cascarilla de arroz como fuente de SiO₂*. Recuperado de www.tdx.cat/bitstream/10803/7920/1/tsml1de1.pdf
- Augusto, C. & Zapata, A. (2004). *Gasificación de biomasa para producción de combustibles de bajo poder calorífico y su utilización en generación de potencia y calor*. Recuperado de https://www.ctc-n.org/sites/www.ctc-n.org/files/UNFCCC_docs/ref27x09_35.pdf
- Belo, R. (2014). *Diseño de fogón utilizando el principio de la multitubularidad del combustible sólido*. Universidad Carlos Rafael Rodríguez, Cienfuegos.
- Boccone, R. (2017). *Generación de energía a partir de arroz*. Uruguay. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/T2363s/t2363s0f.htm>
- Camargo, N. R. (2016). *Concreto hidráulico modificado con sílice obtenida de la cascarilla del arroz*. Recuperado de https://dialnet.unirioja.es/buscar/documentos?query=Dismax.DOCUMENTAL_TODO=uso+de+la+cascarilla+de+arroz
- Carrasco, J. E. (2008). *Estado actual y perspectivas de las biomásas como recurso energético*. Recuperado de www.coiim.es/C13/ENE-FEB2008/Document%20Library/pag.3.pdf
- Castaño, V. (2015). *Físicos de la UNAM desarrollan aglomerado con cascarilla de arroz*. Recuperado de

<http://www.jornada.unam.mx/2005/10/08/index.php?section=ciencias&article=a02n1cie>

Castillo, O. J. (2018). *Diseño de horno para la combustión de la cáscara de arroz*.

Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez, Cienfuegos.

Centro de producción más limpia intec. (2009). La Habana, Cuba.

Centro nacional de producción más limpia. Manual de introducción a la producción más limpia CNPML. (2006). La Habana, Cuba.

Collective Authors. (1995). *Green Pease International, Power to chance*.

Díaz, L. (2017). *El arroz en Cuba, puede abastecerse el país?*

Echeverria, M. A. (2010). *Caracterización Energética de la cascarilla de arroz para su aplicación en la generación de energía termoeléctrica*. Escuela politécnica

Nacional, Quito. Recuperado de

https://www.energia.gov.ar/contenidos/archivos/.../libro_energia_biomasa.pdf

Energías renovables 2016 reporte de la situación mundial. (2016). Recuperado de

https://dialnet.unirioja.es/buscar/documentos?querysDismax.DOCUMENTAL_TOD
O=uso+de+la+cascarilla+de+arroz

Errasti, M. (2014). *Diseño de un sistema para el aprovechamiento integral de la*

cáscara de arroz. Recuperado de

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59012015000100006

Escares, M. J. (2014). *Estudio de factibilidad para el diseño e implementación de biomasa forestal como medio de calefacción y acs en viviendas sociales*.

Universidad Austral de Chile, Chile.

Fuentes, N. (2015). *Residuos agroindustriales como adiciones en la elaboración de bloques de concreto no estructural*. Recuperado de

https://dialnet.unirioja.es/buscar/documentos?query=Dismax.DOCUMENTAL_TODO=uso+de+la+cascarilla+de+arroz

Gasificación de la cáscara de arroz para la producción de calor y electricidad. (2016).

Recuperado de https://www.ctc-n.org/sites/www.ctc-n.org/files/UNFCCC_docs/ref27x09_35.pdf

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2011). *Fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático*. Recuperado de https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/srren_report_es.pdf 1.

Herrera, C. (2018). *Diseño de una máquina briqueteadora para densificar* (Tesis de grado). Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez, Cienfuegos.

Infante, C. (2010). *Evaluación térmica de prototipo de estufas eficiente, para diferentes biomásas*. Universidad Carlos Rafael Rodríguez, Cienfuegos, Cuba.

Juberías, L. (2014). *Energías renovables. Propuesta didáctica*. España. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5329119.pdf>

Mafla, A. (2009). *Uso de la cascarilla de arroz como material alternativo en la construcción*. Recuperado de <http://biblioteca.uniminuto.edu/ojs/index.php/Inventum/article/viewFile/47/46>

Marco, L. (2017). *Generación de energía eléctrica a partir de biomasa, experiencias y actualidad en argentina*. Universidad Nacional de San Martín, Argentina.

Martínez, S. (2010). *Evaluación de la biomasa como recurso energético renovable en cataluña*. Universidad de Girona, España. Recuperado de https://dialnet.unirioja.es/buscar/documentos?query=Dismax.DOCUMENTAL_TODO=uso+de+la+cascarilla+de+arroz

- Mattey, E. (2015). *Aplicación de ceniza de cascarilla de arroz obtenida de un proceso agro-industrial para la fabricación de bloques en concreto no estructurales*. Recuperado de www.scielo.org.ve/pdf/rlmm/v35n2/art15.pdf
- Mehta, G. (2015). *Las cenizas de cascaras de arroz utilizadas para reducir la temperatura del hormigón en masa, de alta resistencia*. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5329119.pdf>
- Mencía, V. (2011). *Metodología para el diseño de tecnologías de combustión de biomásas en pila de capa gruesa con gasificadores, empleando la Multitubularidad Natural o Provocada*. Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez, Cienfuegos.
- Novoa, M. A. (2016). *La ceniza de cascarilla de arroz y su efecto en adhesivos tipo mortero*. Recuperado de https://dialnet.unirioja.es/buscar/documentos?querryDismax.DOCUMENTAL_TOD
O=uso+de+la+cascarilla+de+arroz
- Ocampo, M. (2012). *Ceniza de Cascarilla de Arroz*. Recuperado de <https://prezi.com/rqa1-j5f4ww5/ceniza-de-cascarilla-de-arroz/>
- Organización De Las Naciones Unidas Para El Desarrollo Industrial. (1999). *Manual de producción más limpia*. Recuperado a partir de 1.
http://www.unido.org/fileadmin/user_media/Services/Environmental_Management/C_P_ToolKit_spanish/PR-Introduction/Toolkit.pdf
- Pereira, M. J. (2015). *Relación entre energía, medio ambiente y desarrollo económico a partir del análisis jurídico de las energías renovables en Colombia*. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5329119.pdf>

- Pereira, M. J. (s. f.). *Las energías renovables: ¿es posible hablar de un derecho energetico ambiental?* Elementos para una discusión. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5329119.pdf>
- Pérez, G. (2010). *Evaluación del uso de la cascarilla de arroz como agregado orgánico en morteros de mampostería*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3173_C.pdf
- Piñeros, A. (2011). *Aplicación de tecnología para el aprovechamiento de la cascarilla de arroz*. Recuperado de http://www.utadeo.edu.co/files/node/publication/field_attached_file/pdf-cascarilla_de_arroz-_pag-web_0.pdf
- Pliego, C. & Lemus, V. (1987). *Aprovechamiento de la cascarilla de arroz para la obtención de cemento*.
- Prada, A. y Carroll, E. (2010). *La descomposición térmica de la cascarilla de arroz: una alternativa de aprovechamiento integral*. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/rori/v14s1/v14s1a13.pdf>
- Programa de las naciones unidas para el medio ambiente (PNUMA). (2014). Recuperado de http://www.pnuma.org/industria/produccionlimpia_manual.php
- Ricardo, D. (2015). *Evaluación de distintos materiales para la elaboración del pykrete y su uso para conservar la cadena de frío*. Recuperado de https://dialnet.unirioja.es/buscar/documentos?querysDismax.DOCUMENTAL_TOD
O=uso+de+la+cascarilla+de+arroz
- Rigola, M. (1998). *Producción más limpia*. Barcelona. España: Rubes.
- Rodríguez, A. D. (2000). *Teoría y práctica de los procesos de combustión*. Combustibles sólidos. La Habana: Academia.

- Romay, C. (2013). *Valorización del residuo obtenido de la quema de la cáscara de arroz*. Uruguay. Recuperado de https://dialnet.unirioja.es/buscar/documentos?query=Dismax.DOCUMENTAL_TOD
O=uso+de+la+cascarilla+de+arroz
- Salas, A. & Mejías, R. (2013). *Developing high-performance concrete incorporating highly-reactive rice husk ash*. Recuperado de https://dialnet.unirioja.es/buscar/documentos?query=Dismax.DOCUMENTAL_TOD
O=uso+de+la+cascarilla+de+arroz
- Salas, J. (2000). *Empleo de cenizas de cascara de arroz como adiciones en morteros*. Recuperado de materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/download/888/1205
- Santilán, M. & Chervaz, E. (2014). *Actividad puzolánica de cenizas de cáscara de arroz. Estudio de factibilidad en el empleo como adición para el cemento*. Recuperado de https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/secretarias/cyt/files/jit2014/actas/MA_72_ALM_SFE.pdf
- Serrano, T. (2012). *Morteros aligerados con cascarilla de arroz*. Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/download/.../35528%3A%3Apdf>
- Serrano, J. & Castro, J. (1985). *Materiales de construcción con propiedades aislantes a base de cascara de arroz*.
- Sierra, J. (2009). *Alternativas de aprovechamiento de la cascarilla de arroz en Colombia*. Universidad de sucre, Colombia.

- Tipanluisa, L. (2015). *Estudio experimental de la combustión de la cascarilla de arroz en una cámara de lecho fijo*. Recuperado de 4.
https://www.researchgate.net/...combustion_de_la_cascarilla_de_arroz.../Estudio-expe
- Toscano, L. A. (2016). *Análisis de los parámetros y Selección de hornos para la combustión de biomasa*. Recuperado de
https://www.researchgate.net/.../28791589_Analisis_De_Los_Parametros_Y_Selectcion_
- Toscano, L. (2009). *Análisis de los parámetros y selección de hornos para la combustión de biomasa*. Escuela Superior Politécnica Litoral, Ecuador.
- Valverde, G. (2007). *Análisis comparativo de las características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz*. Recuperado de
<http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/viewFile/4055/2213>
- Vargas, S. (2013). *Caracterización del subproducto cascarillas de arroz en búsqueda de posibles aplicaciones como materia prima en procesos*. Recuperado de
https://dialnet.unirioja.es/buscar/documentos?query=Dismax.DOCUMENTAL_TODO=uso+de+la+cascarilla+de+arroz
- Warnatz, J. (s. f.). *Combustion: Physical and Chemical Fundamentals, Modeling and Simulation, Experiments, Pollutant Formation*. (4th ed.). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.

Anexos

Anexo # 1 Aspecto físico de la cascarilla de arroz



Anexo # 2 Carta del compromiso de la dirección



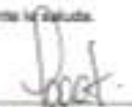
Aguada de Pasajero, julio de 2018

“Año 60 de la Revolución”

Documento Oficial

Mediante la presente hago constar el compromiso oficial que tiene la Empresa Agroindustrial de Granos Aguada con la realización de la Estrategia de Producción más Limpia, desarrollada en la tesis en opción al nivel académico Máster en Producción más Limpia, realizada por la Compañera Ing. Gretchen Caballero Pérez a los procesos productivos de secado y molinería del arroz, en la UEB Industrial de Arroz “La Paquita”.

La dirección de la Empresa proporciona todos los elementos y recursos necesarios para la realización del proyecto, así como un compromiso de poner en marcha las propuestas desarrolladas en la tesis.

Atentamente la dirección.

Orlando Díaz Valdés
Director General EAGRA Aguada


Dirección: P.O. Box 24 / Barrio y Agente: Aguada de Pasajero Camaguey
Teléfono: (043) 562-878
E-mail: se@empresagranoaguada.cu

Anexo # 3 Fachada de la EAIG Aguada



Anexo # 4 Fachada de la UEB Industrial de Arroz "La Paquita"



Anexo # 5 Quemador de diesel



Anexo # 6 Fachada del secadero



Anexo # 7 Molino de arroz



Anexo # 8 Cascarilla de arroz acumulada en las afueras de la UEB



Anexo # 9 Estadística de arroz seco, acumulado año 2017

MODELO-131-188										
ACTIVIDAD INDUSTRIAL DEL ARZ DE ARROZ CASCARA SECO PROD DE CASCARA SECO										
Empresa: EAIG Aguada										
INDICADORES	FILA	U/M	TOTAL EMPRESA			DICIEMBRE-2017				Import
			TOTAL	P/CONS	T/SEM	TOTAL	P/CONS	SEM MTP	P/SEM	
Existencia Inicial 1ro de Enero	1	T	1605.197	1342.836	262.361	2748.732	2655.060	78.526	15.146	
Arroz seco prod hasta la fecha	2	T	5421.099	4156.956	1264.143	744.372	499.856	193.786	50.730	
Aporte de otras fuentes	3	T	13127.411	13127.411		3206.734	3206.734			
Disponibilidad hasta la fecha	4	T	20153.707	18627.203	1526.504	6699.838	6361.650	272.312	65.876	
Arroz Cascara molinado	5	T	12342.871	12342.871		1150.167	1150.167			
Ventas de semilla y arroz cascara	6	T	1275.680	8.082	1267.598	105.087	8.082	55.115	41.890	
Ajuste de inventario y mermas	7	T	1090.572	1072.849	17.723					
Existencia Final	8	T	5444.584	5203.401	241.183	5444.584	5203.401	217.197	23.986	
Arroz seco reserva MINFAR	9	T								
Arroz seco reserva INRE	10	T								
Arroz seco reserva Nacional	11	T								
ARROZ SECO DEL CAI	12	T								
ARROZ SECO DEL MINFAR	13	T								
ARROZ SECO DEL MININT	14	T								
Producción de arroz consumo tota	15	T	8145.145	8145.145		756.267	756.267			
4%	16	T								
10%	17	T	2635.508	2635.508		688.013	688.013			
15%	18	T								
20%	19	T	5509.637	5509.637		68.254	68.254			
30% + COMPRAS	20	T								
Precosido	21	T								
Producción rechazada	22	T								
Por problemas tecnológicos	23	T								
Por problemas de la materia prima	24	T								
Producido rechazada por calidad	25	T								
Producción de arroz húmedo	26	T	5487.800	5487.800		666.244	666.244			
(menos) Merma Total	27	T	1218.758	1218.758						
Merma por humedad	28	T	656.048	656.048						
Merma por impureza	29	T	562.460	562.460						
Producción de arroz cascara seco	30	T	3657.102	3657.102		506.222	506.222			
30%	31	T								
SUMA DE CONTROL	32	T	88333.579	83754.067	44585.470	22784.514	21769.950	816.936	197.628	
ECONOMICO UEB			FIRMA:							
DIRECTOR UEB			FIRMA:							

							MODELO-131-188				
ACTIVIDAD INDUSTRIAL DEL AR							BALANCE DE ARROZ CASCARA SECO PROD DE CALIDAD				
Empresa: EAIG Aguada							2018				
							AGOSTO-2018				
INDICADORES	FILA	U/M	Acumulado				Mes AGOSTO				Import TODO
			TOTAL	P/CONS	SEM MTP	P/SEM	TOTAL	P/CONS	SEM MTP	P/SEM	
Existencia Inicial 1ro de Enero	1	T	5444.584	5203.401	217.197	23.986	4158.541	3965.470	182.737	10.334	
Arroz seco prod hasta la fecha	2	T	2232.665	1525.206	341.033	366.426	214.639	153.873	20.163	40.603	
Aporte de otras fuentes	3	T	8470.709	8468.143		2.566	487.792	487.792			
Disponibilidad hasta la fecha	4	T	16147.958	15196.750	558.230	392.978	6068.781	4607.135	202.900	50.937	
Arroz Cascara molinado	5	T	10625.348	10625.348			1843.347	1843.347			
Arroz cascara Ventas	6	T	4.720	4.720							
Transferencias Semilla	7	T	488.934		399.408	89.526	44.088		44.088		
Ventas de semilla	8	T	246.598			291.912	45.314			45.314	
Ajuste de inventario y mermas	9	T	1808.821	1802.894	0.010	5.917					
Existencia Final	10	T	2928.223	2763.788	158.812	5.623	2928.223	2763.788	158.812	5.623	
Arroz seco reserva MINFAR	11	T									
Arroz seco reserva INRE	12	T									
Arroz seco reserva Nacional	13	T									
ARROZ SECO DEL CAI	14	T									
ARROZ SECO DEL MINFAR	15	T									
ARROZ SECO DEL MININT	16	T									
Producción de arroz consumo tota	17	T	5540.603	5540.603			1089.644	1089.644			
4%	18	T									
10%	19	T	1310.600	1310.600							
15%	20	T									
20%	21	T	4061.815	4061.815			258.345	258.345			
30% + COMPRAS	22	T	1257.832	1257.832			831.299	831.299			
Precosido	23	T									
Producción rechazada	24	T									
Por problemas tecnológicos	25	T									
Por problemas de la materia prima	26	T									
Producido rechazada por calidad	27	T									
Producción de arroz húmedo	28	T	2146.685	2146.685			216.710	216.710			
(menos) Merma Total	29	T	621.479	621.479			62.837	62.837			
Merma por humedad	30	T	268.769	268.769			24.704	24.704			
Merma por impureza	31	T	348.710	348.710			34.133	38.133			
Producción de arroz cascara seco	32	T	1525.206	1525.206			153.873	153.873			
30%	33	T									
SUMA DE CONTROL	34	T	65480.259	62671.949	1674.690	1178.934	18462.270	16496.950	608.700	152.811	
ECONOMICO UEB			FIRMA:								
DIRECTOR UEB			FIRMA:								

Información mensual de molinería							Modelo: 187 E		
							DICIEMBRE		
							AÑO 2017		
INDICADORES		NACIÓN							
		DICIEMBRE							
	U/M	Estatal	Est. Taich	SCC	Total	Estatal	Est. Taich	SCC	Total
Cascara Molinada				1150.467	1150.467			12342.871	12342.871
Producción de consumo				756.267	756.267			8145.145	8145.145
Exceso de partido no mezc.				10.750	10.750			27.700	27.700
Rend, Industrial Total									
Rend, Industrial Consumo				66.70	66.70			66.00	66.00
Rend, en salvado				9.20	9.20			9.50	9.50
Rend, en cabecilla				2.00	2.00			1.70	1.70
Rend, en cascara				22.10	22.10			22.80	22.80
Existencia de arroz partido									0.000
Mezclas de arroz consumo	ton			756.267	756.267			8145.145	8145.145
Arroz al 4%	ton				0.000				0.000
Arroz al 10%	ton			688.013	688.013			2635.508	2635.508
Arroz al 20%	ton			68.254	68.254			5509.637	5509.637
Arroz al 30%	ton				0.000				0.000
Integral	ton								
Destino de arroz entregado	ton				1959.261	1959.261			13512.384
MINCIN 4 %	ton								0.000
MINCIN 10%	ton				856.414	856.414			3590.211
MINCIN 20%	ton				1102.847	1102.847			9677.027
MINCIN 30%	ton					0.000			245.146
Mercado	ton								
Insumo del Productor	ton								
Turismo	ton								
Contrato	ton								
Otras entregas	ton								
Semilla	ton								
Total de Arroz consumo producido	ton			1639.887	1639.887				13235.419
Arroz Molinado	ton			756.267	756.267				8145.145
Arroz Reclasificado	ton			883.620	883.620				5041.374
Arroz Reprocesado	ton								48.900

Información mensual de molinería								Modelo: 187 E	
								AGOSTO	
								AÑO 2018	
INDICADORES			NACIÓN						
	AGOSTO								
	U/M	Estatal	Est. Taich	SCC	Total	Estatal	Est. Taich	SCC	Total
Cascara Molinada				1843.347	1843.347			10625.348	10625.348
Producción de consumo				1089.644	1089.644			6630.247	6630.247
Exceso de partido no mezc.				31.100	31.100			129.670	129.670
Rend, Industrial Total									
Rend, Industrial Consumo				60.80	60.80			63.62	63.62
Rend, en salvado				10.90	10.90			10.12	10.12
Rend, en cabecilla				5.40	5.40			3.43	3.43
Rend, en cascara				22.90	22.90			22.83	22.83
Existencia de arroz partido									0.000
Mezclas de arroz consumo	ton			1089.644	1089.644			6630.247	6630.247
Arroz al 4%	ton				0.000				0.000
Arroz al 10%	ton				0.000			1310.600	1310.600
Arroz al 20%	ton			258.345	258.345			4061.815	4061.815
Arroz al 30%	ton			831.299	831.299			1257.832	1257.832
Integral	ton								
Destino de arroz entregado	ton				1254.343	1254.343		8524.776	8524.776
MINCIN 4 %	ton								
MINCIN 10%	ton					0.000		1423.722	1423.722
MINCIN 20%	ton				316.482	316.482		5164.176	5164.176
MINCIN 30%	ton				937.861	937.861		1936.878	1936.878
Mercado	ton								
Insumo del Productor	ton								
Turismo	ton								
Contrato	ton								
Otras entregas	ton								
Semilla	ton								
Total de Arroz consumo producid	ton			1347.661	1347.661			9254.946	9254.946
Arroz Molinado	ton			1089.644	1089.644			6630.247	6630.247
Arroz Reclasificado	ton			258.017	258.017			2624.699	2624.699
Arroz Reprocesado	ton								