



**UNIVERSIDAD NACIONAL
"PEDRO RUIZ GALLO"**



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

**INGENIERO MECÁNICO
ELECTRICISTA**

**"PROYECCIÓN DE LA CAPACIDAD DE
ELECTRICIDAD GENERADA MEDIANTE EL
APROVECHAMIENTO ENERGETICO DE LA
CASCARILLA DE ARROZ EN LA PROVINCIA DE
LAMBAYEQUE"**

AUTOR:

Bach. YONNAR ANTONY LUCERO DE LA CRUZ

ASESOR:

ING. CARLOS YUPANQUI RODRIGUEZ

**LAMBAYEQUE-PERU
2019**



UNIVERSIDAD NACIONAL "PEDRO RUIZ GALLO"



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

TESIS DE INGENIERIA

TITULO

**"PROYECCIÓN DE LA CAPACIDAD DE
ELECTRICIDAD GENERADA MEDIANTE EL
APROVECHAMIENTO ENERGETICO DE LA
CASCARILLA DE ARROZ EN LA PROVINCIA DE
LAMBAYEQUE"**

AUTOR:

Bach. YONNAR ANTONY LUCERO DE LA CRUZ

APROBADO POR EL JURADO EXAMINADOR:

PRESIDENTE:	M.SC. CARLOS CHAMBERGO LARREA
SECRETARIO:	ING. AMADO AGUINAGA PAZ
MIEMBRO:	ING. HECTOR ANTONIO OLIDEN NUÑEZ
ASESOR:	ING. CARLOS YUPANQUI RODRIGUEZ

**LAMBAYEQUE-PERU
2019**



UNIVERSIDAD NACIONAL "PEDRO RUIZ GALLO"



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

TESIS DE INGENIERIA

TITULO

**"PROYECCIÓN DE LA CAPACIDAD DE
ELECTRICIDAD GENERADA MEDIANTE EL
APROVECHAMIENTO ENERGETICO DE LA
CASCARILLA DE ARROZ EN LA PROVINCIA DE
LAMBAYEQUE"**

CONTENIDOS:

CAPITULO I : MARCO DE REFERENCIA DEL PROBLEMA

CAPITULO II : MARCO TEORICO

CAPITULO III : MARCO METODOLÓGICO

**CAPITULO IV : GENERACION TERMoeLECTRICA HACIENDO USO DE LA
CASCARILLA DE ARROZ**

CAPITULO V : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

AUTOR: Bach. YONNAR ANTONY LUCERO DE LA CRUZ

**M.SC. CARLOS CHAMBERGO LARREA
PRESIDENTE**

**ING. AMADO AGUINAGA PAZ
SECRETARIO**

**ING. HECTOR ANTONIO OLIDEN NUÑEZ
MIEMBRO**

**ING. CARLOS YUPANQUI RODRIGUEZ
ASESOR**

**Lambayeque – Perú
2019**

DEDICATORIA

***A mis padres por su apoyo emocional y a
mis maestros les dedico todo mi esfuerzo y
trabajo puesto para la realización de esta
tesis***

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto es el resultado del esfuerzo para realizar este trabajo. Por esto agradezco a mis padres quienes a lo largo de toda mi vida han apoyado y motivado mi formación académica, creyendo en mí en todo momento y no dudaron de mis habilidades.

A mis profesores a quienes les debo gran parte de mis conocimientos, gracias a su paciencia y enseñanza y finalmente un eterno agradecimiento a esta prestigiosa universidad la cual abrió sus puertas a jóvenes como nosotros, preparándonos para un futuro competitivo y formándonos como personas de bien.

RESUMEN

En el Perú, dentro de los principales cultivos transitorios, destaca la papa, con 8,8% de la superficie agrícola (367,7 miles de ha); seguido del maíz amarillo duro, con 6,3% (261,6 miles de ha), maíz amiláceo, con 5,8% (240,8 miles de ha); y arroz, con 4% (167,1 miles de ha). Y dentro de los principales cultivos permanentes destacan el café con 10,2% de la superficie agrícola (425,2 miles de ha) y del cacao con 3,5% (144,2 miles de ha).

La producción de arroz cáscara durante los últimos once años ha mostrado una tasa de crecimiento promedio anual de 2,3%, pasando de 2,435 millones de toneladas en el año 2007 a 3,044 millones de toneladas en el año 2017, esto debido principalmente al incremento de la superficie sembrada ya que el rendimiento promedio se mantuvo, conforme se muestra en el Cuadro siguiente:

EVOLUCIÓN DE LOS PRINCIPALES INDICADORES DE ARROZ EN CÁSCARA						
Años	Produccion (t.)	Superficie cosechada (ha.)	Rendimiento (t/ha.)	Variacion Porcentual Anual		
				Produccion	Superficie	Rendimiento
2007	2435.134	337.639	7.210			
2008	2793.980	379.783	7.360	14.7	12.5	2
2009	2991.157	404.614	7.390	7.1	6.5	0.5
2010	2831.374	388.659	7.280	-5.3	-3.9	-1.5
2011	2624.458	359.612	7.300	-7.3	-7.5	0.2
2012	3043.330	393.890	7.730	16	9.5	5.9
2013	3046.773	395.030	7.710	0.1	0.3	-0.2
2014	2896.613	381.368	7.600	-4.9	-3.5	-1.5
2015	3151.408	399.501	7.890	8.8	4.8	3.9
2016	3165.749	419.563	7.550	0.5	5	-4.3
2017	3044.950	424.525	7.170	-3.8	1.2	-4.9
Tasa crec. Acum. %	2.30%	2.30%	-0.10%			

Fuente: MINAGRI Elaboracion: DGA

A nivel departamental, en las campañas 2016-2017, la producción de arroz cascarilla en el departamento de Lambayeque mostró una variación de 399 038t (2016) y 398 550t (2017). Se muestra en el cuadro adjunto los niveles por departamento.

PRODUCCIÓN NACIONAL DE ARROZ EN CÁSCARA
(Toneladas)

Departameto	2016	2017	Variacion 2016 - 2017	
			Produccion	Superficie
San Martin	710.287	832.664	122.377	14.70%
Lambayeque	399.038	398.550	-488	-0.10%
Piura	589.687	378.684	-211.003	-55.70%
Amazonas	307.947	326.419	18.472	5.70%
Arequipa	250.051	281.393	31.472	11.10%
La Libertad	334.920	206.995	31.342	-61.80%
Cajamarca	195.641	186.517	-127.925	-4.90%
Tumbes	124.497	125.537	-9.124	-0.80%
Loreto	96.716	101.205	4.489	4.40%
Ucayali	26.934	66.198	39.264	59.30%
Ancash	65.150	64.425	-725	-1.10%
Resto	64.880	78.363	13483	17.20%
TOTAL	3165.75	3044.95	-120.80	-3.80

Fuente: MINAGRI Elaboracion: DGA

Considerando que la producción del arroz en el Perú es una de los más importantes dentro de la estructura productiva agraria, asimismo, el déficit energético de algunas empresas eléctricas; hace necesaria la búsqueda de nuevas alternativas que permitan la eliminación de desechos generados como es el caso de la cascarilla de arroz, accediendo cubrir ese déficit de energía con un proceso eficiente y limpio que permita la conversión de biomasa en energía.

En la presente tesis, se permitirá realizar la proyección de capacidad de electricidad generada mediante el aprovechamiento energético de la cascarilla de arroz en la provincia de Lambayeque.

ABSTRAC

In Peru, among the main transitory crops, the potato stands out, with 8.8% of the agricultural surface (367.7 thousand ha); followed by hard yellow corn, with 6.3% (261.6 thousand ha), starchy corn, with 5.8% (240.8 thousand ha); and rice, with 4% (167.1 thousand ha). And among the main permanent crops stand out coffee with 10.2% of the agricultural surface (425.2 thousand ha) and cocoa with 3.5% (144.2 thousand ha).

The production of paddy rice during the last eleven years has shown an average annual growth rate of 2.3%, going from 2.435 million tons in 2007 to 3.044 million tons in 2017, mainly due to the increase in the area sown as the average yield was maintained, as shown in the following Table:

EVOLUCIÓN DE LOS PRINCIPALES INDICADORES DE ARROZ EN CÁSCARA						
Años	Produccion (t.)	Superficie cosechada (ha.)	Rendimiento (t/ha.)	Variacion Porcentual Anual		
				Produccion	Superficie	Rendimiento
2007	2435.134	337.639	7.210			
2008	2793.980	379.783	7.360	14.7	12.5	2
2009	2991.157	404.614	7.390	7.1	6.5	0.5
2010	2831.374	388.659	7.280	-5.3	-3.9	-1.5
2011	2624.458	359.612	7.300	-7.3	-7.5	0.2
2012	3043.330	393.890	7.730	16	9.5	5.9
2013	3046.773	395.030	7.710	0.1	0.3	-0.2
2014	2896.613	381.368	7.600	-4.9	-3.5	-1.5
2015	3151.408	399.501	7.890	8.8	4.8	3.9
2016	3165.749	419.563	7.550	0.5	5	-4.3
2017	3044.950	424.525	7.170	-3.8	1.2	-4.9
Tasa crec. Acum. %	2.30%	2.30%	-0.10%			

Fuente: MINAGRI Elaboracion: DGA

At the departmental level, in the 2016-2017 campaigns, the production of rice husk in the department of Lambayeque showed a variation of 399 038t (2016) and 398 550t (2017). The levels by department are shown in the attached table.

PRODUCCIÓN NACIONAL DE ARROZ EN CÁSCARA
(Toneladas)

Departameto	2016	2017	Variacion 2016 - 2017	
			Produccion	Superficie
San Martin	710.287	832.664	122.377	14.70%
Lambayeque	399.038	398.550	-488	-0.10%
Piura	589.687	378.684	-211.003	-55.70%
Amazonas	307.947	326.419	18.472	5.70%
Arequipa	250.051	281.393	31.472	11.10%
La Libertad	334.920	206.995	31.342	-61.80%
Cajamarca	195.641	186.517	-127.925	-4.90%
Tumbes	124.497	125.537	-9.124	-0.80%
Loreto	96.716	101.205	4.489	4.40%
Ucayali	26.934	66.198	39.264	59.30%
Ancash	65.150	64.425	-725	-1.10%
Resto	64.880	78.363	13483	17.20%
TOTAL	3165.75	3044.95	-120.80	-3.80

Fuente: MINAGRI Elavoracion: DGA

Considering that the production of rice in Peru is one of the most important within the agrarian productive structure, as well as the energy deficit of some electricity companies; makes it necessary to search for new alternatives that allow the elimination of waste generated as is the case of rice husk, agreeing to cover this energy deficit with an efficient and clean process that allows the conversion of biomass into energy.

In the present thesis, it will be possible to realize the projection of electricity capacity generated by the energetic utilization of rice husk in the province of Lambayeque.

INDICE

INTRODUCCION	1
CAPITULO I: MARCO DE REFERENCIA DEL PROBLEMA	
1.1. Situación problemática	18
1.2. Formulación del problema	18
1.3. Delimitación de la investigación	19
1.4. Justificación de la Tesis	19
1.5. Importancia de la Tesis	21
1.6. Limitaciones de la Tesis	21
1.7. Objetivos de la Tesis	21
1.7.1. Objetivos generales	21
1.7.2. Objetivos específicos	22
CAPITULO II: MARCO TEORICO	
2.1. Antecedentes de la investigación	24
2.2. Estado del Arte	25
2.2.1. Contexto histórico	26
2.2.2. Contexto tecnológico	31
2.2.3. Contexto normativo y legal	33
2.3. Base teórica científica	34
2.3.1. La Cascarilla de arroz	34
2.3.2. Descomposición	34
2.3.3. Propiedades Bioquímicas	40
2.3.4. Propiedades Físicas	41
2.3.4.1. Poder Calorífico	41
2.3.4.2. Contenido de Humedad	42

2.3.4.3. Materia Volátil	44
2.3.4.4. Contenido de cenizas	44
2.3.4.5. Densidad aparente	46
2.3.5. Propiedades Químicas	48
2.3.6. Composición elemental	49
2.3.7. Punto de fusión de la ceniza	51
2.3.8. Generación de energía a partir de la cascarilla de arroz	52
2.3.8.1. Combustión	52
2.3.8.2. Gasificación	55
2.3.8.3. Pirolisis	55
2.3.8.4. Almacenamiento	56
2.3.9. Gestión e Impacto Ambiental	57
2.3.10. Gestión de riesgos Sanitarios	58
2.3.11. Evaluación Económica	61
2.3.12. Normatividad Legal	61
2.3.13. Definición de términos	63
CAPITULO III: MARCO METODOLOGICO	
3.1. Tipo y diseño de investigación	68
3.2. Población y Muestra	69
3.2.1. Población	69
3.2.2. Muestra	69
3.3. Hipótesis	69
3.4. Variables	70
3.4.1. Variable independiente	68
3.4.2. Variable dependiente	69
3.5. Recolección de datos	72

3.5.1. Métodos	72
3.5.1.1. Analítico	72
3.5.1.2. Sintético	72
3.5.1.3. Inductivo	72
3.5.1.4. Deductivo	72
3.5.2. Técnicas	72
3.5.3. Instrumentos	74
3.6. Procedimientos de recolección de datos	74
3.6.1. Recopilar información estadística de la producción de la cascarilla de arroz	74
3.6.2. Análisis de las características energéticas.....	75
3.6.3. Determinación de la capacidad de electricidad generada	75
3.6.4. Cálculo de la máxima demanda eléctrica.....	75

CAPITULO IV: GENERACION TERMoeLECTRICA HACIENDO USO DE LA CASCARILLA DE ARROZ

4.1. Descripción del sistema de producción	77
4.1.1. Descripción del producto	77
4.1.2. Subproductos	77
4.1.3. Desechos	78
4.1.4. Desperdicios	78
4.2. Producción anual	78
4.3. Cuantificación de la energía de la biomasa	79
4.4. Convirtiendo la biomasa en energía	81
4.4.1. Procesos de combustión directa	81
4.4.2. Procesos termo-químicos	83

4.4.3. Procesos bio-químicos	85
4.5. Proyección de la capacidad de demanda eléctrica generada	88
4.6. Análisis costo-beneficio de la propuesta	92

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones	97
5.2. Recomendaciones	98

INDICE DE TABLAS

TABLA N° 1: Cascarilla de arroz análisis (% de Volumen)	28
TABLA N° 2: Regiones con mayor producción en el 2017	29
TABLA N° 3: Valores de la temperatura en el proceso de combustión de la cascarilla de arroz.....	37
TABLA N° 4: % de humedad de la cascarilla de arroz utilizada en el proceso de combustión.....	37
TABLA N° 5: Tiempo de combustión completa de la cascarilla de arroz.....	38
TABLA N° 6: Valores de PH de la solución de NAOH en el proceso de captura de gases de combustión de la cascarilla de arroz.....	38
TABLA N° 7: Principales propiedades Bioquímicas de la cascarilla de arroz en varios lugares del Mundo.....	40
TABLA N° 8: Poder calorífico inferior de la cascarilla de arroz en función del contenido de humedad.....	43
TABLA N°9: Contenido de volátiles en la cascarilla de arroz en diferentes lugares del mundo.....	44
TABLA N° 10: Contenido de cenizas en la cascarilla de arroz en diferentes lugares del mundo.....	46
TABLA N° 11: Densidad Aparente.....	48
TABLA N° 12: Los máximos concentraciones de cloro, azufre y nitrógeno y sus consecuencias.....	51
TABLA N° 13: Composición de la cascarilla de arroz en diferentes lugares del mundo.....	51
TABLA N° 14: Variables Independientes.....	70
TABLA N° 15: Variables dependientes.....	71

TABLA N° 16: Producción de arroz en Lambayeque nacional Lambayeque 2017-2018.....	79
TABLA N° 17: Uso directo de desechos sólidos.....	83
TABLA N° 18: Procesos de conversión de Biomasa.....	87
TABLA N° 19: Composición de biogás a partir de cascarilla de arroz.....	89
TABLA N° 20: Producción Total de Arroz (Miles de Tonelada).....	91
TABLA N° 21: Proyección de la Producción de Arroz en la Provincia de Lambayeque.....	90
TABLA N° 22: Proyección de la Producción Cascarilla de Arroz en la Provincia de Lambayeque.....	90
TABLA N° 23: Evaluación y Proyección Energética de la Cascarilla de Arroz...	91
TABLA N° 24: Flujo de Caja.....	94

INDICE DE FIGURAS

FIGURA N° 1: Zonas productoras de arroz en el Perú – 2017	30
FIGURA N° 2: Uso actual de la cascarilla de arroz	31
FIGURA N° 3: Descomposición térmica de la cascarilla de arroz	36
FIGURA N° 4: Investigación aplicada.....	68
FIGURA N° 5: Disponibilidad de la Biomasa.....	80
FIGURA N°6: Variación de PCI según la humedad de la Cascarilla.....	80
FIGURA N° 7: Procesos de conversión y formas de energía.....	88

INTRODUCCION

La presente Tesis, contiene la caracterización energética de la cascarilla de arroz producida en la provincia de Lambayeque para su aplicación como biocombustible en la generación de electricidad.

La presente tesis se divide en seis capítulos y anexo los cuales se mencionan a continuación:

En el Capítulo I: Se establece el marco de referencia del problema, justificación, los objetivos generales y específicos, en base al cual se formula la hipótesis de la Tesis.

En el Capítulo II: Se describe el marco teórico y conceptual de los temas involucrados en la Tesis.

En el Capítulo III: Se exponen las técnicas e instrumentos para la recolocación y tratamiento de los datos con la finalidad de alcanzar el objetivo general y específicos.

En el Capítulo IV: En base a la recolección de información, se disgregan las propuestas de investigación, los cálculos, presupuesto y evaluación económica.

En el Capítulo V: Se dan a conocer las conclusiones y recomendaciones, problemas abiertos y propuestas de mejora.

CAPITULO I:

MARCO DE REFERENCIA DEL

PROBLEMA.

1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.

La Agricultura, es una de las principales actividades económicas desarrolladas en el norte del País, estas actividades generan una diversidad de residuos sólidos, para el caso de las empresas productoras de arroz, estas generan aproximadamente el 20% de cascarilla de arroz en un proceso de pilado (t/año).

Este desecho se convierte en un problema para los centros de pilado. Normalmente se ofrece gratuitamente o a un costo mínimo; sin embargo, debido a su gran volumen y mínima demanda la mayor parte se quema, parte de las cenizas se esparcen con el viento en zonas cercanas a los centros de pilado, lo que produce impactos ambientales no deseados. En menor escala la cascarilla se emplea como aislante del suelo en galpones de pollos y gallinas; en otros, para producir ceniza usada como abrasivo de uso doméstico (pulitón) luego de una quema controlada.

Actualmente a nivel mundial y nacional se buscan alternativas para el uso de energías limpias debido a que se tiene una gran dependencia energética del petróleo y otros combustibles fósiles derivados.

Con la finalidad de reducir la contaminación ambiental producida por la eliminación de desechos emanados por la producción de arroz en la provincia de Lambayeque, así como satisfacer una parte de la demanda de energía eléctrica, es que se propone proyectar la capacidad de electricidad que se podría generar con el aprovechamiento energético de la cascarilla de arroz.

1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA.

¿Qué capacidad de electricidad se generaría mediante el aprovechando energético de la cascarilla de arroz en la provincia de Lambayeque?

1.3. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.

La zona donde se desarrollará la presente tesis corresponde a los productores de arroz ubicados en la provincia de Lambayeque, departamento de Lambayeque, el cual limita por el Norte y Oeste con el departamento de Piura, por el Este con la provincia de Ferreñafe y por el Sur con la provincia de Chiclayo.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA TESIS.

Uno de los grandes problemas de la Humanidad es su dependencia de los combustibles fósiles, que además de ser limitados provocan un fuerte impacto ambiental y diversos trastornos económicos.

El reto está en conseguir que las energías alternativas y renovables, puedan sustituir paulatinamente a las energías convencionales por lo dicho anteriormente.

La cascarilla de arroz aparece como un recurso energético alternativo por varias características fundamentales:

Características que posibilitan la utilización de la cáscara de arroz para generar energía eléctrica.

- Viabilidad de la industria.
- Propiedad de la cascarilla de arroz.
- Distribución geográfica de los molinos en que se produce y se consume energía.
- Medios de transporte.
- Redes de distribución de energía adecuadas.

- Contrato con compañía de energía eléctrica.

Características comerciales del proyecto

- Venta de energía eléctrica.
- Venta de las cenizas.
- Utilización de un desecho poco usado actualmente.
- Eliminación sustancial y eficiente

Para justificar la importancia de la tesis se indica:

Justificación Económica:

La dependencia de los combustibles fósiles, se busca utilizar tecnologías no convencionales para la generación de energía incrementando así la matriz energética.

Justificación Social:

El déficit en la capacidad de energía en nuestro país, sobre todo en zonas alejadas, justifica la elaboración de estudios y ejecución de inversiones, que tienen como propósito la generación de energía de origen no convencional.

Justificación Ambiental

El cuidado del medio ambiente y la generación de energía más limpia mejorando la calidad de vida.

Justificación científica

Promover el uso de las energías no convencionales.

1.5. IMPORTANCIA DE LA TESIS.

La presente tesis sirve como referencia para otros profesionales o investigadores que buscan el uso de energías limpias mediante plantas geotérmicas para la generación de electricidad.

1.6. LIMITACIONES DE LA TESIS.

Los datos obtenidos, no reflejan la producción de arroz anual o de años anteriores. Además estos datos muchas veces son aproximaciones o promedios de producción mensual y/o anual, la cual evidencia la situación actual por la que pasa una empresa molinera.

El vaciado de información de los diferentes molinos se encuentran desactualizados, lo cual se evidencia en la recolección de información, debiendo para gran parte del estudio acceder a fichas agroindustriales físicas.

La información de las fichas agroindustriales muchas veces no coincide con la información primaria recolectada directamente de los molinos, esto se debe a que al parecer la información entregada por los molinos no llega de manera exacta por diferentes motivos, originando con ello que no exista información real, siendo la información proporcionada por las fichas agroindustriales la que mayor veracidad tiene

1.7. OBJETIVOS DE LA TESIS.

1.7.1. OBJETIVOS GENERALES

Efectuar la proyección de la capacidad de electricidad generada mediante el aprovechamiento energético de cascarilla de arroz en la provincia de Lambayeque.

1.7.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar las características energéticas de la cascarilla de arroz, para uso como combustible en el proceso de obtención de energía eléctrica
- Evaluar la viabilidad económica en términos de periodo de recuperación de la inversión, VAN, TIR B/C.
- Métodos para obtención de energía eléctrica mediante el uso de la cascarilla de arroz.

CAPITULO II:

MARCO TEORICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

El Perú presento en la Reunión Especial de la Comisión Interamericana de ciencia y Tecnología, desarrollada en la ciudad de Lima en mayo del 2003, un perfil de proyecto que sustentaba la necesidad de cooperación en Tecnología Limpias y Energías Renovables. Se trata de un proyecto de generación de capacidad técnica, obtención de certificación u sensibilización del sector privado, diagnósticos de algunas industrias y propuestas de mejoramiento. Incluye temas como la certificación de normas ISO 9000 e ISO 1400, el establecimiento de una red de diálogo fluido entre los actores involucrados.

En la cumbre de Miami , en el Plan de Acción, se propuso que los gobiernos de las Américas: "...Perseguirán, de conformidad con la legislación nacional, estrategias nacionales de energía de menor costo, que tomen en consideración todas las opciones incluidas la eficiencia en el uso de la energía, la energía renovable no convencional (es decir, solar, eólica, geotérmica, pequeña hidroeléctrica y biomasa) así como identificarán por lo menos un proyecto económicamente viable, para financiarlo y desarrollarlo en forma prioritaria, en cada una de las siguientes áreas: energía renovable o convencional, eficiencia en el uso de la energía y energía convencional limpia.

En la cumbre de Chile se propuso apoyar todas las recomendaciones emanadas de las previas cumbres, incluyendo la Reunión de Ministros de Ciencia y Tecnología de Cartagena de Indias, Colombia, en marzo de 1996, donde se sentaron las bases del programa Interamericano de Ciencia y Tecnología, uno de cuyos componentes prioritarios es el uso de la ciencia, la tecnología y la innovación para la sustentabilidad de un medio ambiente sano y donde se hace referencia a la necesidad de propiciar la producción limpia y el uso de energías renovables.

En España, el instituto tecnológico agroalimentario y la empresa valenciana Dacsa, están utilizando la cascarilla de arroz como biomasa en una planta de cogeneración eléctrica.

La instalación tiene una potencia de 2 megavatios, y consiste básicamente en el mismo esquema de otras centrales que consumen biomasa.

La dirección de Dacca se planteó la posibilidad de aprovechar su cascarilla para usos energéticos siguiendo las pautas oficiales de apoyo e iniciativas que reutilicen la biomasa, que hasta el momento es desechable. (PALOMINO, 2005).

La gasificación ha sido desarrollada en las últimas dos décadas, en los países altamente industrializados, como una alternativa para la generación eficiente y limpia de electricidad a partir de "desechos", así como para la obtención de ciertos combustibles en lugares donde no se tiene acceso al petróleo, pero si a la biomasa.

2.2. ESTADO DEL ARTE

(Biomasa: Producción eléctrica y cogeneración, 2010)

Para hacer cogeneración usando biomasa como combustible se puede aplicar, en general, todos los ciclos que se aplican con otros combustibles.

En ciclos Brayton existen ciertas limitaciones en cuanto a la temperatura y presión a la que se quiera generar el vapor, debido a que la mayoría de las biomazas sólidas contienen una determinada fracción de cenizas que se pueden fundir dentro de la cámara de combustión y depositarse, formando costras, sobre los tubos de vapor

Este efecto, además de entorpecer el intercambio de calor entre la zona de fuego y la de vapor, acaba por producir daños irreparables en los tubos.

De forma no estricta, se puede decir que se pueden plantear sistemas de cogeneración con biomasa sólida a partir de 1 ó 2 MW. No obstante, este límite se puede reducir si se integra un sistema de gasificación, pues entonces se pueden emplear tecnologías disponibles para gases y no hacerse necesaria una caldera de vapor que alimente a la turbina. Si se trata de biomasa líquida (aceites de pirólisis, biodiesel, etc.) o gaseosa (biogás o gas de síntesis), además de calderas, se pueden emplear tanto motores de combustión interna alternativos (MCIA) como turbinas de gas. En estos casos, la potencia eléctrica puede variar en un rango muy amplio, desde pocos kW hasta muchos MW.

La producción combinada de calor/frío y electricidad en pequeñas potencias está cobrando auge en paralelo con el desarrollo tecnológico que permite emplear combustibles sólidos, líquidos o gaseosos de origen biomásico, con una fiabilidad y rendimiento.

2.2.1. CONTEXTO HISTÓRICO

Este contexto, integra la información referencial sobre el desarrollo de la generación de energía eléctrica a partir de la cascarilla de arroz, se hace una breve reseña histórica, artística de la cascarilla de arroz, teniendo en cuenta los procesos actuales, abarcando un enfoque introspectivo del tema en cuestión.

Es sumamente importante la adecuación de tecnologías a las necesidades específicas de la población utilizando los recursos naturales disponibles en cada zona.

El estudio realizado, presenta las posibilidades del uso de la cascarilla de arroz como combustible alternativo para la generación de energía eléctrica.

El poder calorífico de la cascarilla de arroz es 3 150 kcal/kg, similar al de la madera y al de otros dos residuos agrícolas. Sin embargo, su densidad es

de aproximadamente 110 kg/m³ y este pequeño valor produce dificultades en su almacenamiento e incrementa el costo de su transporte, además presenta un alto contenido de dióxido de silicio (SiO₂).

La cascarilla de arroz usada en este caso, llega a presentar contenidos de cenizas superiores al 20%, con lo cual presenta como combustible disponible de más dificultad de manejo.

Su manejo preferencial se realiza en gasificadores de tiro invertido, sin embargo han tenido uso satisfactorio en gasificadores chinos e italianos de tiro directo, pero resultan muy apropiados los gasificadores de lecho fluidizado.

El tamaño aceptable de combustible para los sistemas de gasificación depende en cierta medida del diseño de las instalaciones.

En general, los gasificadores de madera funcionan con tarugos de madera y astillas cuya dimensión varía de 8 x 4 x 4 cm a 1 x 0,5 x 0,5 cm.

Los gasificadores de carbón vegetal generalmente se abastecen con pedazos de carbón cuya dimensión varía entre 1 x 1 x 1 cm y 3 x 3 x 3 cm.

Los gasificadores de lecho fluidizado normalmente funcionan con combustible cuyos diámetros de partículas varían entre 0,1 y 20 mm.

En la siguiente tabla, muestra el análisis de la cascarilla de arroz como combustible.

TABLA N° 1: CASCARILLA DE ARROZ ANALISIS (% POR VOLUMEN)

CARBONO	36.70
HIDROGENO	3.00
OXIGENO	31.20
HUMEDAD	10.00
AZUFRE	0.00
NITROGENO	1.10
CENIZA	18.00
PCI (Kcal/Kg)	3 150
Fuente: Manual de Biomasa	

Actualmente en el Perú, el empleo de residuos agrícolas como combustible es bastante restringido, en el año 1999 se realizó un estudio para identificar los residuos agrícolas con las mejores posibles de uso energético, dentro de ellos la cascarilla de arroz, la cascarilla de café y el rastrojo de algodón obtuvieron la mejor calificación.

La especie de arroz que se cultiva mayoritariamente en el Perú en la ORYZA SATIVA.

La producción del arroz cáscara creció a un ritmo de 2,4% anual del 2001 al 2017. El año 2001 se produjeron 2 millones 28 mil toneladas, el año 2017 se llegó a los 3 millones 39 mil toneladas y el año 2018 se llegó a los 3 millones 504 mil 847 toneladas.

La principal región productora de arroz cáscara en el 2017 y 2018 fue San Martín con 27% de participación, le siguieron las regiones de Lambayeque (13%), Piura (12%), Amazonas (10%) y La Libertad (7%).

Respecto el rendimiento por regiones, la mayor productividad se logró en la región Arequipa, donde se obtuvo un promedio de 13,9 t/ha, frente al 7,2 t/ha del promedio nacional, le siguieron Ancash (11,9 t/ha), Tumbes (8,5 t/ha) y Lambayeque (8,0 t/ha).

TABLA N° 2: REGIONES CON MAYOR PRODUCCION EN EL 2017

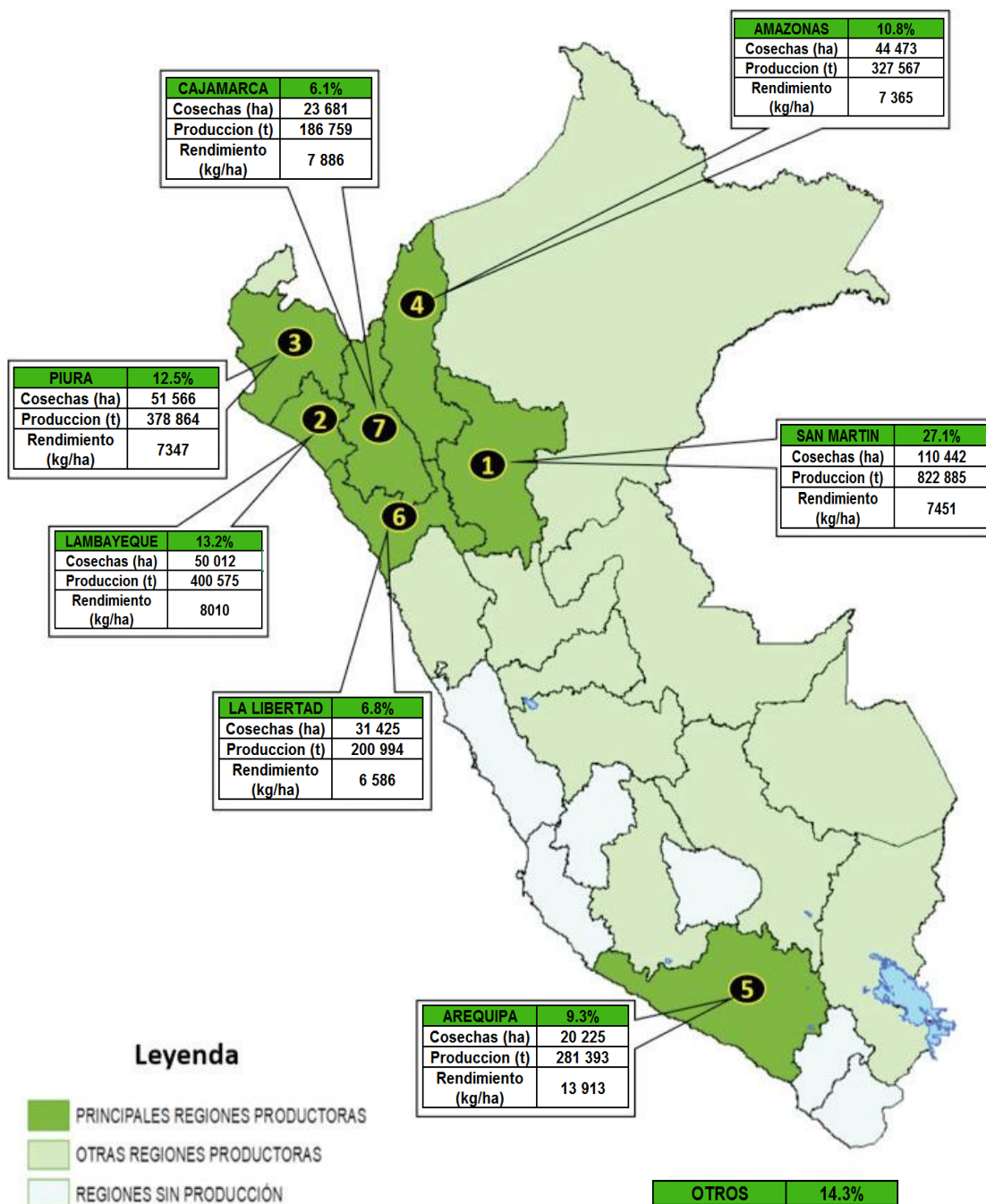
Región	Sup. Cosechada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (kg/ha)	Precio en chacra (s/. x kg)
San Martín	110 442	822 885	7 451	0.99
Lambayeque	50 012	400 575	8 010	1.30
Piura	51 566	378 864	7 347	1.23
Amazonas	44 474	327 568	7 365	1.08
Arequipa	20 225	281 393	13 913	1.25
La Libertad	31 425	206 995	6 587	1.36
Cajamarca	23 681	186 759	7 886	1.08
Tumbes	14 557	123 537	8 486	1.29
Loreto	34 700	101 205	2 917	0.61
Ucayali	18 092	66 198	3 659	0.84
Ancash	5 432	64 425	11 860	1.30
Huánuco	10 980	63 157	5 752	0.98
Madre de Dios	2 467	5 598	2 270	1.49
Junín	1 248	4 255	3 410	1.11
Pasco	2 255	3 169	1 542	1.20
Cusco	920	1 827	1 986	1.02
Puno	100	183	1 830	1.80
Ayacucho	60	173	2 883	1.51
Otros	23 261	142 788	6 139	1.15
Nacional	422 434	3 038 766	7 365	1,13

Fuente: MINAGRI - DGESEP

En el 2016 se contó con 626 molinos de arroz; y en el Censo de Molinos de arroz de mayo 2018 se han registrado un total de 431 molinos. Esta disminución tiene su explicación en que los pequeños molinos han cerrado o han sido desactivados, por no ser competitivos. Esta disminución es de 31.2% respecto al año 2016.

En el censo de Molinos de arroz (mayo 2018), las regiones con mayor cantidad de molinos fueron: Lambayeque (74), Piura (73), Arequipa (61), La Libertad (52) y San Martín (41).

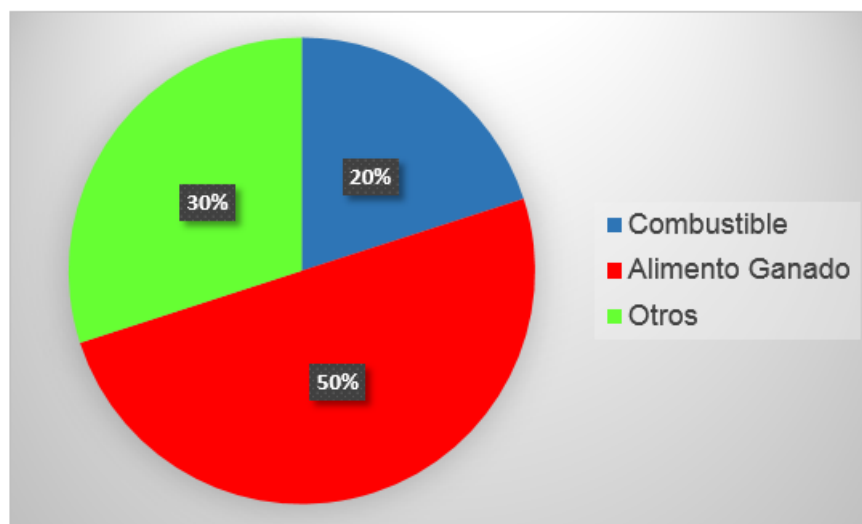
FIGURA N° 1: ZONAS PRODUCTORAS DE ARROZ EN EL PERÚ 2017
(3 038 766 t)



En nuestra región, actualmente existen 74 molinos asociados. Estos 74 molinos se encuentran ubicados en las provincias de: Lambayeque 18, Chiclayo 46, Ferreñafe 10; la producción promedio de cascarilla de arroz es de 10 TN/día, generando actualmente un promedio de 300,000 TM

de cascarilla de arroz, equivalente a 950,000 TEP (Toneladas equivalente de petróleo) por año, energía disponible y que es, en el mayor de los casos mal aprovechada. Esta producción es utilizada según lo indicado en el gráfico siguiente:

FIGURA N° 2: USO ACTUAL DE LA CASCARILLA DE ARROZ



Fuente: modalidad de contabilidad de cascarilla de arroz

La cascarilla de arroz generada en el proceso de molienda representa el 20% en peso de arroz en cáscara. Actualmente, solo el 5% de cascarilla de arroz es usada como combustible para hornos de secado de ladrillo en el departamento de Piura, el resto es quemado o arrojado a los ríos aledaños.

2.2.2. CONTEXTO TECNOLÓGICO

Integra la información sobre el mejoramiento de los procesos de la cascarilla de arroz, desde aplicaciones generales, hasta las aplicaciones específicas en la industria, abarcando un enfoque introspectivo del tema en cuestión.

Aplicando los diferentes procesos de conversión, la biomasa se puede transformar en diferentes formas de energía:

Color y vapor

Es posible generar calor y vapor mediante la combustión de biomasa o biogás.

El calor puede ser producido principalmente para aplicaciones en calefacción y cocción, o puede ser un subproducto de la generación de electricidad en ciclos combinados de electricidad o vapor.

Combustión gaseosa

El biogás producido en proceso de digestión anaeróbica o gasificación puede ser usado en motores de combustión interna para generación eléctrica, para calefacción y acondicionamiento en el sector doméstico, comercial e institucional y en vehículos modificados.

Biocombustible

La producción de biocombustible como etanol y biodiesel tiene el potencial para reemplazar cantidades significativas de combustible fósiles en muchas aplicaciones de transporte.

El uso extensivo de etanol en Brasil ha demostrado, durante 20 años, que los biocombustible son técnicamente factible a gran escala.

En los estados unidos y Europa su producción está incrementando y se están comercializando mezclados con derivados del petróleo. Por ejemplo, la mezcla denominada E20, constituida 20% de etanol y 80% de petróleo, resulta aplicable en la mayoría de motores de ignición.

Electricidad

La electricidad generada a partir de los recursos biomásico puede ser comercializada como “energía verde”, pues no contribuye al efecto invernadero por estar libre de emisiones de dióxido de carbono (CO₂).

Este tipo de energía puede ofrecer nuevas opciones al mercado, ya que su estructura de costos permitirá a los usuarios soportar mayores niveles de inversión en tecnologías eficientes, la cual incrementará la industria bioenergética.

Co - generación (calor y electricidad)

La Co – generación se refiere a la producción simultánea de vapor y electricidad, lo cual se aplicará en muchos procesos industrial se requieren las dos formas de energía.

Este proceso es muy común en los ingenios de azúcar, los cuales aprovechan los desechos del proceso, principalmente el bagazo.

2.2.3.CONTEXTO NORMATIVO Y LEGAL

Constituye las bases legales que se deben tener en cuenta para la generación de energía a partir de la cascarilla de arroz, entre los que se mencionan.

DECRETO LEGISLATIVO N° 1002 (02.05.2008): Ley para Promover la Generación de Electricidad con Energía Renovables.

DECRETO SUPREMO N° 012-2011-EM (23.03.2011) Reglamento de la Generación de Electricidad con Energías Renovables.

LEY N° 26848 (29.07.1997) Ley Orgánica de Recursos Geotérmicos.

DECRETO SUPREMO N° 019-2010-EM (08.04.2010) Reglamento de la Ley Orgánica de Recursos Geotérmicos.

2.3. BASE TEÓRICA CIENTIFICA

2.3.1. LA CASCARILLA DE ARROZ.

La generación de energía eléctrica a partir de la cascarilla de arroz no solo involucra la combustión y quema de la cascarilla, sino que es necesario para ello contar con una cantidad constante de suministro de materia prima (cascarilla de arroz) que permita alimentar a un sistema de generación energética.

Además que la cascarilla de arroz debe contar con una humedad constante para ingresar al sistema de gasificación ya que dependiendo de esta característica el poder calorífico de la cascarilla de arroz puede variar significativamente.

2.3.2. DESCOMPOSICION.

La cascarilla de arroz al ser sometida a la acción del calor ocasiona una descomposición físico- química efectuándose en tres etapas que ocurren simultáneamente y en su orden respectivo como son: desecación, Pirólisis y combustión propiamente dicha.

La primera fase de la descomposición térmica es la desecación o extracción de la humedad, consiste en la eliminación del agua que se encuentra tanto en el superficie como en los pocos o intersticios internos de la cascarilla, la misma que ha sido absorbida del ambiente y no constituye aquella que se forma durante la combustión.

La siguiente fase es la pirolisis, que considerarse como una descomposición química interna de la cascarilla de arroz inducida térmicamente, cuando

alcanza temperaturas entre 250 y 500°C, en este proceso la celulosa, hemicelulosa y lignina(polímeros sólidos de elevado peso molecular), se convierten en polímeros líquidos y gaseosos de composición menos complejas, quedando residuos sólidos carbonizados.

Las especies químicas que son emanadas durante el proceso de pirólisis constituyen el denominado material volátil, que se encuentran formado principalmente por alquitranes, acetona, metano, monóxido, agua y pequeñas porciones ácidas.

La fase final es la combustión tanto del material volátil como la cascarilla y tiene lugar cuando el proceso de Pirólisis se efectúa en una atmósfera oxidante (presente de aire) a temperaturas superiores a 500°C. Durante esta etapa se dan algunas reacciones de combustión intermedias, pero se considera solo la reacción final (reacción química de oxidación) en la que tanto el carbono como el hidrogeno se combinan rápidamente con el oxígeno en forma completa, generándose dióxido de carbono, agua y liberándose calor.

Durante la combustión de la cascarilla, tanto la parte volátil, como la parte sólida con alto contenido de carbono pueden oxidarse.

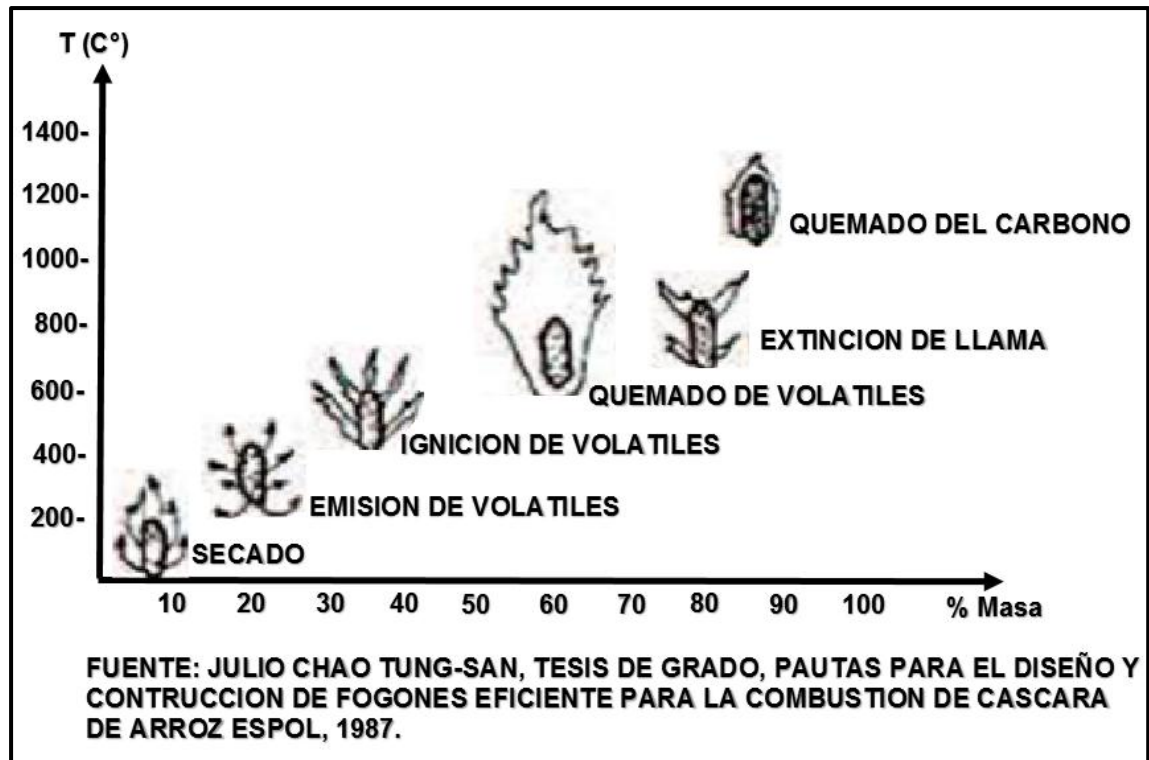
En la quema de cascarilla como de cualquier combustible biomásico, los procesos de desecación, pirólisis y combustión se producen simultáneamente.

El proceso de combustión es exotérmico, es decir, con liberación de calor.

Por otro lado, los procesos de desecación y pirólisis requieren suministro parcial de calor. Durante la quema de cascarilla fresca,

Parte de la energía liberada en las reacciones de oxidación sirven para alimentar los procesos de desecación y pirólisis.

**FIGURA N° 3: DESCOMPOSICION TERMICA DE LA CASCARILLA
DE ARROZ**



Los resultados obtenidos en los procesos de descomposición térmica, captura de los gases de combustión de la cascarilla de arroz y separación del carbonato de calcio como producto final.

En la tabla se expone el valor de la característica obtenida en cada ensayo, el promedio, la desviación estándar, el error estándar y el coeficiente de variación, calculados de conformidad con las ecuaciones. El valor procesado se presenta en forma de la media verdadera.

TABLA N° 3: VALORES DE LA TEMPERATURA EN EL PROCESO DE COMBUSTIÓN DE LA CASCARILLA DE ARROZ.

Ensayo	Temperatura (°C)
1	763
2	762
3	804
4	813
5	758
Promedio	784
Desviacion estandar	24
Error estandar	28
Coeficiente de variacion	3.1
Media verdadera de la temperatura	784 ± 28
FUENTE: (LA DESCOMPOSICION TERMICA DE LA CASCARILLA DE ARROZ: UNA ALTERNATIVA PARA EL APROVECHAMIENTO INTEGRAL,2010)	

TABLA N° 4: % DE HUMEDAD DE LA CASCARILLA DE ARROZ UTILIZADA EN EL PROCESO DE COMBUSTIÓN

Ensayo	Humedad (%)
1	8.42
2	8.1
3	7.72
4	6.95
5	8.51
Promedio	7.94
Desviacion estandar	0.63
Error estandar	0.73
Coeficiente de variacion	7.99
Media verdadera de la temperatura	794 ± 0.73
FUENTE: (LA DESCOMPOSICION TERMICA DE LA CASCARILLA DE ARROZ: UNA ALTERNATIVA PARA EL APROVECHAMIENTO INTEGRAL,2010)	

TABLA N° 5: TIEMPO DE COMBUSTIÓN COMPLETA DE LA CASCARILLA DE ARROZ

Ensayo	Tiempo (min)
1	74
2	127
3	120
4	96
5	281
Promedio	140
Desviacion estandar	82
Error estandar	94
Coeficiente de variacion	58
Media verdadera de la temperatura	140 ± 94
FUENTE: (LA DESCOMPOSICION TERMICA DE LA CASCARILLA DE ARROZ: UNA ALTERNATIVA PARA EL APROVECHAMIENTO INTEGRAL,2010)	

En la Tabla siguiente, se exponen las características de la ceniza de la cascarilla sometida al proceso de combustión con base en los análisis realizados en el Laboratorio.

TABLA N° 6: VALORES DE PH DE LA SOLUCIÓN DE NAOH EN EL PROCESO DE CAPTURA DE GASES DE COMBUSTIÓN DE LA CASCARILLA DE ARROZ

Ensayo	Valor Inicial del PH	Valor Final del PH
1	74	8.000
2	127	8.200
3	120	8.200
4	96	8.200
5	281	8.900
Promedio	140	8.300
Desviacion estandar	82	0.350
Error estandar	94	0.400
Coeficiente de variacion	58	4.170
Media verdadera de la temperatura	140 ± 94	8.30 ± 0.40
FUENTE: (LA DESCOMPOSICION TERMICA DE LA CASCARILLA DE ARROZ: UNA ALTERNATIVA PARA EL APROVECHAMIENTO INTEGRAL,2010)		

La biomasa consiste, principalmente, en carbono. También contiene hidrogeno, un poco de nitrógeno, azufre, ceniza y agua, dependiendo de la humedad relativa.

Cuando esta se quema, se efectúa una reacción química que combina su carbono con oxígeno del ambiente, formándose dióxido de carbono (CO_2) y combinado el hidrogeno con oxígeno para formar vapor de agua.

Cuando la combustión es completa, ósea la biomasa se quema totalmente, todo el carbón se transforma en CO_2 , sin embargo, los árboles y plantas que están creciendo, capturan nuevamente el CO_2 de la atmosfera y, al usar la biomasa en forma sostenible, en término netos, no se agrega CO_2 a la atmosfera.

No obstante, cuando la combustión no es completa, se forman monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HCs , e.g. metano), N_2O y otros materiales.

Estos si pueden generar impactos serios en la salud de los usuarios.

También son gases de efecto invernadero, por lo que se debería minimizar su información.

Existen dos razones por las cuales la combustión de biomasa puede resaltar incompleta:

- Cuando la entrada de aire no es adecuada, pues no hay suficiente oxígeno para transformar todo el carbono en CO_2 . Esto puede ser causado por el diseño inadecuado del equipo, la falta de ventilación y la sobrecarga con el combustible.
- Cuando la biomasa tiene humedad alta o sea está demasiado mojada; entonces la temperatura o sea está demasiado mojada; entonces, la temperatura de combustión no es suficientemente elevada como para completar las reacciones químicas.

2.3.3. PROPIEDADES BIOQUÍMICAS.

La cascarilla de arroz es un tejido vegetal que está compuesta por tres polímeros celulosa, lignina y hemicelulosa.

- La celulosa es un polímero lineal de unidades anhidro glucosa su compuesto es típicamente $(C_6H_{10}O_5)_n$.
- Hemicelulosa: es un polímero mixto conformado por pentosas y hexosas.
- Lignina es un polímero irregular de unidades fenilpropano.

Cuando los tres polímeros se juntan forman un bloque copó limero, y su composición varía través de la pared celular y tiene una razón atómica relativamente constante el cual es $CH_{1.4}O_{0.6}$ que puede variar ligeramente dependiendo del tipo de biomasa a usar.

Uno de los elementos que se encuentra en mayor cantidad en la cascarilla de arroz es la celulosa siendo el principal componente de las fibras como se observa en la siguiente tabla donde se muestra los valores porcentuales de la celulosa, hemicelulosa y lignina en Colombia y en varias zonas de Canadá.

TABLA N° 7: PRINCIPALES PROPIEDADES BIOQUÍMICAS DE LA CASCARILLA DE ARROZ EN VARIOS LUGARES DEL MUNDO

Valores en porcentaje (%)					
Parametros	Canada				Colombia
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 1
Celulosa	29.20	33.47	25.89	33.50	39.05
Hemicelulosa	20.10	21.03	18.10	21.35	27.06
Lignina	20.00	18.80	24.60	18.20	22.80
FUENTE: (Choi, 2013)					

Los rangos obtenidos para el análisis químico a nivel mundial corresponden a los siguientes: La celulosa 25,89% – 39,05%; hemicelulosa 18,10% – 27,06% y la lignina 18,20% – 24,60 %.

Es importante mencionar que la lignina al ser sometida a altas temperaturas desarrolla una propiedad aglomerante en la cascarilla de arroz, transformándola en una pasta sólida difícil de romper.

2.3.4. PROPIEDADES FISICAS.

Propiedades físicas se refiere al contenido de humedad, materia volátil, contenida de cenizas y densidad de la cascarilla de arroz para obtener valores cuantificados se usa el análisis inmediato que consiste en usar un horno, donde se va elevando la temperatura y se va observando la pérdida de peso del material. El poder calorífico también se refiere a una propiedad física a continuación se detallará cada propiedad.

2.3.4.1. El poder calorífico

El poder calorífico de los combustibles sólidos es la cantidad de energía que la unidad de masa libera al producirse una reacción química.

Para determinar el valor del poder calorífico se usa una bomba calorimétrica adiabática, a volumen constante, y los valores obtenidos corresponden al poder calorífico superior (HHV o PCS) o también conocido como poder calorífico bruto, que es el calor de condensación del agua formada en el proceso de combustión del combustible. Pero en la práctica, el agua se escapa a la atmósfera en forma de gas y el calor de vaporización del agua no se recupera y en este caso sería el poder calorífico inferior (HLV o PCI) o también conocido como poder calorífico neto.

La masa del combustible siempre contiene una cierta cantidad de agua (humedad), que se libera en forma de vapor al calentarse, esto implica que parte del calor liberado durante las reacciones químicas es absorbido por el proceso de evaporación, por esta razón, el valor

calorífico neto (PCI), disminuye a medida que el contenido de humedad se incrementa

2.3.4.2. Contenido de humedad

El contenido de humedad de la biomasa es la cantidad de agua en el material, expresado como porcentaje del peso del material.

En la mayoría de combustibles viene dado por su origen y también al tratamiento que se le da previamente a ser gasificado.

Debido a que el contenido de humedad influye en el poder calorífico del combustible se debe mencionar las biomásas tienen un rango de contenido de humedad, que van desde menos del 10 por ciento de los cereales de paja hasta el 50 al 70 por ciento para los residuos forestales

El contenido de humedad de un combustible se puede subclasificar típicamente en tres categorías:

- Humedad inherente al combustible es la cantidad de humedad que hay cuando se encuentra en equilibrio con el medio ambiente (normalmente a 96% - 97% de relativa). Este tipo de humedad se encuentra retenida o bien oculta en los poros del combustible.
- Humedad superficial es la cantidad de humedad que hay sobre las superficies del combustible.
- Humedad producto de la descomposición es la cantidad de humedad que se genera por la descomposición térmica de compuesto orgánico que conforman el combustible. Esto se da en el rango de los 200 a 225°C, a estas temperaturas los dos primeros

tipos de humedad ya se han removido del combustible (por evaporación).

Para el proceso de gasificación es mejor usar combustibles con un bajo contenido de humedad, ya que así las pérdidas de calor por evaporación son menores.

Se debe mencionar que el contenido de humedad limita el uso del proceso de gasificación, ya que si existe una cantidad alta de humedad existirán pérdidas térmicas grandes, y por ende habrá una pequeña proporción de calor útil en cual será insuficiente para mantener los procesos endotérmicos.

Un 15% de contenido de humedad en peso es recomendable para una operación del gasificador sin problemas.

Se debe mencionar que normalmente los datos de humedad del combustible están referidos a los dos primeros tipos de humedades mencionadas.

TABLA N°8: PODER CALORÍFICO INFERIOR DE LA CASCARILLA DE ARROZ EN FUNCIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

CONTENIDO DE HUMEDAD	PODER CALORIFICO INFERIOR (PCI) KJ/KG
0	19 880
10	17 644
20	15 412
30	13 180
40	10 497
50	6 715
60	6 413
FUENTE: (CHOI, 2013)	

En el Perú el contenido de humedad es de 10,44% y el poder calorífico es de 3150 kcal/kg.

2.3.4.3. Materia Volátil

Contenido de materia volátil es la parte de la biomasa que se libera cuando el material se calienta (400°C a 500 ° C). Durante este proceso de calentamiento de la biomasa se descompone en gases (metano, acetileno, otros) vapores de agua, sólidos volátiles (cenizas) e hidrocarburos.

Entonces los combustibles con alto contenido de material volátil tiene el problema en la formación de breas y condensados corrosivos que obstruyen el paso del aire y gas generado.

Sin embargo, los contenidos de vapores y breas en el gasificador dependen de la construcción del gasificador. Las recomendaciones que se da es que si el combustible contiene más del 10% de materias volátiles, se debe emplear gasificadores de tiro invertido (Downdraft).

La biomasa tiene un alto contenido de materia volátil, y en la tabla se puede ver los diferentes valores en diferentes lugares del mundo como en California, China, Colombia y varias zonas de Canadá.

TABLA N°9: CONTENIDO DE VOLÁTILES EN LA CASCARILLA DE ARROZ EN DIFERENTES LUGARES DEL MUNDO

Parametros	Canada				California	China	Colombia
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Zona 7
Material volatil	66.40%	67.30%	63.00%	67.70%	63.52%	51.98%	65.47%
FUENTE: (Choi, 2013)							

2.3.4.4. Contenido de cenizas

El que se produzca o no escoria, depende del contenido de cenizas, del punto de fusión de las cenizas y la distribución del gasificador. Las cenizas pueden causar problemas en los gasificadores de tiro directo o de tiro invertido. La formación de escoria en el reactor

genera un aumento excesivo de las formaciones alquitrán y el bloqueo total del reactor. En el peor de los casos existe la posibilidad de que se produzcan fugas de aire el cual puede ocasionar una explosión, especialmente en los gasificadores de tiro directo (Updraft).

Para no observar escorias se recomienda el uso de combustibles con 5 % o 6 % de contenido de cenizas, y entre 6 y 12% el resultado de la formación de escoria depende de la temperatura de fusión, y a partir de los 12% hay una importante formación de escorias.

Cuando el combustible tiene una mayor cantidad de contenido de cenizas, la cantidad de energía disponible del gasificador se reduce y se requiere un mayor espacio o volumen donde poder descargar dicho material. Además, si las condiciones de temperatura del hogar del gasificador son tales que propician la fusión de las cenizas que contiene, se producirá con seguridad un atoro del dispositivo, de un grado de severidad dependiente del porcentaje de cenizas del combustible.

En el sentido práctico se puede decir que si la temperatura del hogar del gasificador se eleva lo suficiente para fundir las cenizas, estas fluirán formando Clinker, adhiriéndose a paredes y obstruyendo las toberas de ingreso de aire y la parrilla. Por ello, el flujo de combustible se verá seriamente obstruido y limitado, propiciando un posterior aumento de la temperatura y de la relación aire-combustible; donde el gas se verá empobrecido y finalmente llegará el momento en que no pueda ser combustionado.

Los gasificadores de tiro directo (Updraft) y de tiro invertido (Downdraft) pueden funcionar con combustibles que producen escoria, si se modifican las parillas estáticas a parrillas de movimiento continuo. Los gasificadores de tiro transversal (Crossdraft) que

trabajan a temperaturas muy elevadas, de 1 500°C, y se necesitan precauciones especiales respecto a la temperatura de fusión de la ceniza del combustible.

Se debe mencionar que si en el proceso la relación aire combustible se alcanza el valor estequiométrico correspondiente a la reacción de combustión, el gasificador se dañaría seriamente.

En la tabla se puede ver el alto contenido de ceniza que tiene la cascarilla de arroz alrededor del mundo.

TABLA N° 10: CONTENIDO DE CENIZAS EN LA CASCARILLA DE ARROZ EN DIFERENTES LUGARES DEL MUNDO

CANADA					CALIFORNIA	CHINA	COLOMBIA
	ZONA1	ZONA 2	ZONA3	ZONA4	ZONA5	ZONA6	ZONA7
CENIZA	20,00	18,80	24,60	18,20	18,67	16,92	16,92
FUENTE: (CHOI, 2013)							

En el Perú el contenido de ceniza tiene un valor del 17,51% (ver tabla) y se encuentra dentro del rango mundial [16,92% 24,60%].

2.3.4.5. Densidad aparente

La densidad aparente se refiere al peso de la materia por unidad de volumen.

Entonces la densidad y el poder calorífico nos dan la densidad de energía, es decir, la energía potencial por unidad de biomasa. En general la densidad de energía está entre la mitad y la décima parte del carbón. Entonces, los combustibles de alta densidad aparente tienen ventajas porque poseen un alto valor de energía por volumen.

Así como la humedad, la densidad aparente tiene una variación extrema en la biomasa, desde mínimos 150 a 200 kg/m³ de paja y

virutas de grano de cereal a máximos de 600 a 900 kg/m³ para la madera sólida.

Los combustibles de alta densidad aparente tienen ventajas, porque representan un alto valor de energía por volumen; consecuentemente, estos combustibles necesitan menos espacio de depósito para un tiempo dado de recarga.

Los combustibles de baja densidad aparente tienen la desventaja de producir un caudal insuficiente de gas lo que genera poderes caloríficos del gas reducido. Por lo dicho anteriormente la densidad aparente es importante, ya que se puede tener una idea del dimensionamiento de la tolva de cámara de combustible de gasificador y el tamaño del mismo. Pero el volumen ocupado por un combustible almacenado no solo depende de la densidad específica (partículas individuales), sino también del contenido de humedad, del tamaño, de la distribución granulométrica y del modo en que el combustible es cargado (es decir, si se encuentra muy compacto o si se verifican amplios espacios intersticiales).

También es importante mencionar que la densidad aparente tiene un impacto fuerte en la calidad del gas generado puesto que de él depende el tiempo de residencia del combustible en la zona de combustión, la velocidad de quemado del combustible, la densidad del lecho combustible y el flujo o caudal del gas. El tiempo de residencia del combustible determina hasta qué punto tiene lugar las reacciones de combustión parcial y reducción; por ejemplo un tiempo de residencia muy corto origina una conversión incompleta de CO₂ en CO, un gas de calidad muy pobre (poco combustible, bajo contenido de poder calorífico).

Y muestras de carbón no quemado en las cenizas removidas, representado un fuerte desaprovechamiento del combustible. Por el

contrario, un tiempo de resistencia muy prolongado aumenta las formaciones de escorias y residuos sólidos.

La densidad de la cascarilla de arroz es aproximadamente 100 kg/m³, siendo un valor muy cercano a los 110 kg/m³ que tiene la cascarilla de arroz en el Perú.

En la siguiente tabla se presenta los valores del análisis inmediato que se realizó a la cascarilla de arroz en el Perú.

TABLA N° 11: DENSIDAD APARENTE

Parametros	Valores
Humedad	10.44%
Material volatil	57.77%
Contenido de ceniza	17.51%
Carbono Fijo	14.27%
Total	100.00%
Poder Calorifico	12 924.38 KJ/kg
Fuente: (Choi,2013)	

2.3.5. PROPIEDADES QUIMICAS.

Propiedades químicas se refiere a la composición química (carbono, nitrógeno, oxígeno, cloro, azufre, hidrógeno), para obtener las propiedades químicas del combustible se tiene que hacer un análisis elemental.

La técnica está basada en la completa e instantánea oxidación de la muestra mediante una combustión con oxígeno puro a una temperatura aproximada de 1000°C, donde se obtiene los diferentes productos de combustión CO₂, H₂O y N₂, donde son transportados a un tubo de reducción y después selectivamente separados en columnas específicas para ser luego adsorbidos térmicamente.

Finalmente, los gases pasan de forma separada por un detector de conductividad térmica que proporciona una señal proporcional a la concentración de cada uno de los componentes individuales de la mezcla.

2.3.6. COMPOSICIÓN ELEMENTAL

La composición elemental de las biomásas es relativamente uniforme en su contenido (porcentaje en masa) de carbono (C), hidrógeno (H), azufre(S), oxígeno(O), nitrógeno(N), y cenizas .

Estos valores ayudan para el análisis de los procesos de combustión, entre ellos: cálculo de volúmenes de aire, gases y entalpía.

La composición elemental de la biomasa tiene múltiples efectos en la utilización térmica, C, H y O son los principales componentes que presenta la biomasa, y son de especial importancia para el poder calorífico superior (bruto), además también para el poder calorífico inferior (neto).

El contenido de nitrógeno (N) es responsable de la formación de óxidos de nitrógeno (NO Y NO₂ denominados NO_x), el cloro y el azufre puede estar presentes en pequeñas cantidades y forman el SO₂ (Dióxido de sulfuro u óxido de sulfuro) y HCL (ácido clorhídrico) durante la combustión.

A continuación se detallará de cada componente, los efectos que tienen en las propiedades de la cascarilla de arroz y el impacto ambiental que pueden producir.

– Carbono (C) , hidrógeno (H) y oxígeno (O)

Se oxidan durante la combustión por una reacción exotérmica (formación de CO₂ y H₂O). Estos mismos componentes contribuyen positivamente al poder calorífico superior (bruto), pero el contenido de O contribuye negativamente.

El H influye en el poder calorífico inferior (neto) debido a la formación de agua al tratarse de un proceso de gasificación donde la combustión es incompleta, esto provoca emisiones de carbono sin quemar por contaminantes, como el monóxido de carbono, alquitrán y el hollín.

Para tratar de minimizar estas emisiones se recomienda un proceso de combustión optimizado ofreciendo una buena mezcla entre el combustible y al aire, un tiempo de retención suficiente (>1.5 segundos), altas temperaturas (> 850 °C) y una relación estequiometría baja.

– **Nitrógeno (N)**

Los óxidos de nitrógeno (NO y NO₂ denominados NO_x) también contribuyen a la formación de lluvias ácidas. Se puede producir de dos maneras el NO_x los cuales se producen durante la combustión.

El contenido de nitrógeno depende del tipo de biomasa que se va usar como por ejemplo la madera, cascarillas mazorcas y tallos tienen un bajo contenido de nitrógeno, sin embargo las hojas y semillas tienen un alto contenido de nitrógeno. Pero dependiendo de la temperatura de gasificación, esto es significativamente menor en los gasificadores, que las emisiones de NO_x producido por los sistemas de combustión.

– **Azufre (Z) y Cloro (Cl)**

El azufre y cloro pueden estar presentes en pequeñas cantidades, y pueden contribuir a la formación de lluvias ácidas cuando estos se convierten en SO₂ (Dióxido de sulfuro o óxido de sulfuro) y HCL (ácido clorhídrico) durante la combustión.

A continuación se muestra las máximas concentraciones de nitrógeno, azufre y cloro, y los resultados del análisis aproximado de la cascarilla de arroz en diferentes zonas del mundo.

TABLA N° 12: LOS MÁXIMOS CONCENTRACIONES DE CLORO, AZUFRE Y NITRÓGENO Y SUS CONSECUENCIAS

Elemento	Concentración (%)	Consecuencias
Nitrogeno	< 0.6	Emision de NOx
Cloro	< 0.1	Corrosion
	< 0.1	Emision de HCL
Asufre	< 0.1	Corrosion
	< 0.2	Emision de SOx
Fuente: (Choi,2013)		

TABLA N° 13: COMPOSICIÓN DE LA CASCARILLA DE ARROZ EN DIFERENTES LUGARES DEL MUNDO

Valores en porcentaje (%)						
Parametros	Canada				California	China
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6
C	37.60	42.10	38.70	42.60	38.83	37.60
H	5.42	4.98	4.70	5.10	4.75	5.78
O	36.56	33.66	31.37	33.44	35.47	37.62
N	0.38	0.40	0.50	0.51	0.52	1.80
S	0.03	0.02	0.01	0.02	0.05	0.09
CL	0.01	0.04	0.12	0.13	0.12	0.00
Cenizas	20.00	18.80	24.60	18.20	18.67	16.92
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Fuente: (Choi, 2013)						

2.3.7. PUNTO DE FUSION DE LA CENIZA

El uso de fertilizantes en los cultivos hace que las cenizas tengan óxidos de potasio (K_2O), este tiene un punto de fusión relativamente bajo y en medida que aumente la proporción, el punto de fusión disminuirá. Sin embargo, la ceniza de la cascarilla de arroz contiene un bajo contenido de óxido de potasio. Además la ceniza obtenida al quemar la cascarilla de arroz tiene un alto contenido de óxido de sílice que tiene un punto de fusión alto (450 °C).

Por esta razón el punto de fusión de la ceniza de la cáscara de arroz está alrededor de los 1500 °C y no debería presentarse problemas de la escorificación por bajo punto de fusión de las cenizas.

2.3.8. GENERACIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DE LA CASCARILLA DE ARROZ

El proceso de generación de energía se inicia con la obtención de la cascarilla de arroz (biomasa) proveniente de los diferentes molinos y sembríos, luego es transportada hacia la planta donde son depositados acondicionados y utilizados.

La biomasa será utilizada como combustible en un quemador en grandes volúmenes de cascarilla de arroz.

2.3.8.1. COMBUSTION.

La combustión directa de la biomasa representa el método más sencillo y difundido desde el pasado hasta el presente. Permite obtener calor para diferentes usos que van desde domésticos (calefacción, cocción de alimentos, etc.) a industriales (calor de proceso, vapor a través de una caldera, energía mecánica empleando el vapor en una máquina).

La combustión directa se realiza en dispositivos tan rudimentarios como la combustión en simples fogones, como así en sistemas muy sofisticados como aquellos empleados en calderas de alto rendimiento.

Combustión en pila

Es el sistema más ampliamente usado, consiste en la quema del material sobre una grilla horizontal fija formándose con el combustible una pila cónica dentro de un horno que generalmente es construido en material refractario.

Este sistema quema troncos de madera de longitud y diámetro variable; esto trae aparejado un mal contacto entre el material y el aire dificultando la combustión, como consecuencia de ello además se desperdicia combustible que pasa a formar parte de las cenizas como carbón.

La mayor parte del aire necesario se inyecta por encima del combustible, mediante toberas distribuidas en las paredes del horno, el combustible se alimenta mayormente en forma manual.

Estos sistemas no responden inmediatamente a los requerimientos de cargas térmicas fluctuantes limitando su uso.

Combustión en semi pila.

Representa un avance importante frente al sistema clásico en pila, la combustión se realiza sobre grillas inclinadas y por lo general refrigeradas que permiten una mayor vida útil de las mismas y elevadas temperaturas de aire por debajo de ellas. Estas parrillas a su vez pueden ser fijas o móviles.

En los grandes generadores de vapor o cuando el contenido de cenizas del combustible es superior al 5% la grilla presenta en su tramo final un sector volcable que facilita la limpieza.

Cuando los contenidos de cenizas son inferiores al 5% la grilla es refrigerada por tubos de agua que pasan por debajo de la misma y forman parte del circuito de la caldera; el aire primario para la combustión se inyecta hasta temperaturas del orden de los 300°C en estos sistemas.

La alimentación de combustible es por lo general automática en espesores sobre la grilla que van de los 50 cm en la parte alta hasta

1 metro en la parte baja. Los trozos de madera quedan limitados a no más de 20cm; debiendo reducirse previamente el tamaño de la misma para su utilización eficiente para la combustión en lecho compacto. Se admite que el material posee humedades superiores al 55%.

En este tipo de lecho se distinguen tres regiones sobre la grilla:

- Región de secado.
- Región de volatilización o destilación.
- Región de combustión del carbono fijo.

Cuando el combustible es fino, se produce una combustión en semi - suspensión o lecho delgado en las que las partículas más finas se queman en suspensión y las más gruesas sobre la grilla. La humedad del combustible no debe superar el 55%.

Combustión en lecho fluidizado

Este sistema es empleado para la generación de vapor en calderas por encima resultante puede ser de las 200 toneladas por hora de vapor.

Requieren que el material sea seco y muy fino; la combustión se realiza en su totalidad en suspensión y el material se quema antes de llegar a la zona de la grilla.

Esta tecnología representa el desarrollo más reciente en lo que hace a dispositivos para la combustión de material biomásico.

2.3.8.2. GASIFICACION

La gasificación es un proceso térmico que permite la conversión de un combustible sólido, tal como la biomasa (cascarilla de arroz) en un combustible gaseoso, mediante un proceso de oxidación parcial.

El gas pobre resultante puede ser utilizado en turbinas de gas o en motores de combustión interna. Ambos motores térmicos pueden ser acoplados a un generador para la producción de electricidad. Como agente oxidante se emplea el vapor, el oxígeno o el aire.

El gas resultante contiene monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), hidrogeno (H), metano (CH₄), alquitrán, agua y pequeñas cantidades de hidrocarburos tales como el etanol. Este gas posee un bajo poder calorífico, del orden de 4 a 7 MJ/m³; en cambio, si se emplea como agente oxidante el O₂ se pueden alcanzar de 10 a 18 MJ/m³.

La tecnología más empleada es, sin embargo, la que utiliza aire como agente oxidante, por razones económicas y tecnológicas.

Esta alternativa se describe de manera más detallada en el siguiente apartado desde un punto de vista tecnológico.

2.3.8.3. PIROLISIS

La pirolisis es un proceso de descomposición térmico que ocurre a temperaturas medias entorno a los 550° en ausencia de oxígeno.

La biomasa solida se licua formando aceite pirolítico que puede ser atizado como directamente como combustible o servir de plataforma intermedia para la producción de otros compuestos químicos.

Los reactores actuales consiguen rendimientos muy altos, llegando a convertir en aceite el 75% del peso de la materia sólida introducida.

Este aceite está listo para su almacenamiento, transporte y uso. En lugar de usarse como combustible del mismo, de él se pueden obtener otros combustibles más refinados.

Este aceite ha sido probado con éxito en motores, turbinas y calderas con resultados iguales a los de los hidrocarburos. Además del aceite también se producen gases con alto contenido en hidrógeno y "char", residuo carbonoso que puede utilizarse como combustible o para la fabricación de carbono activo. Aunque sus resultados son muy prometedores en este momento sus costes de producción son elevados, lo dificulta su difusión.

2.3.8.4. ALMACENAMIENTO

Uno de los grandes problemas con que se encuentra el almacenamiento de biomasa, es que debido a su relativamente bajo poder calorífico y densidad, se necesitan grandes superficies.

La humedad superficial de la biomasa suele ser elevada, lo que da lugar a diversos problemas.

- Bajo poder calorífico útil.
- Problema de transporte
- Posible auto ignición del combustible debido a las temperaturas (60-70°C) que se puede alcanzar dentro de la pila combustible.

Debido a la temperatura los volátiles se desprenden lentamente, destilando y disminuyendo el poder calorífico del producto la

presencia de corteza y hojas favorece notablemente este tipo de fermentación.

Para el tipo de materia que se utiliza en las instalaciones de generación de energía térmica se emplea varios tipos de almacenamiento.

- Al aire libre, tiene como desventaja, la dificultad de pérdida de humedad de material en caso de estaciones húmedas. Por otro lado, suelen ser sistemas baratos, aunque se necesita una importante cantidad de espacio.

- Cubierto, cerramientos, se aseguran las características de la biomasa, pero se encarece el precio de la misma, este sistema es apropiado para ciertas acumulaciones de combustibles densificados, caso de las placas, también para biomasa destinadas al uso doméstico (leña, briquetas, pellets).

2.3.9. GESTIÓN O IMPACTO AMBIENTAL

El aprovechamiento de la biomasa como fuente de energía ofrece un amplio rango de beneficios ambientales: puede contribuir a mitigar el cambio climático y el efecto invernadero, reducir la lluvia ácida, prevenir la erosión de los suelos y la contaminación de la fuente de agua, reducir la presión provocada por la basura urbana, enriquecer el hábitat de la vida silvestre y ayudar a mantener la salud humana y estabilidad de los ecosistemas.

a) Cambio climático

b) Lluvia ácida

c) Erosión de suelos y contaminación de agua

d) Hábitat silvestre

2.3.10.GESTIÓN DE RIESGOS SANITARIOS

Un análisis de los diferentes tipos de peligros y efecto ambientales de la utilización de gas pobre, son los riesgos tóxicos, los de incendio y de explosión.

Riesgos tóxicos

Un componente importante del gas pobre es el monóxido de carbono, gas extremadamente toxico y peligroso debido a su tendencia a combinarse con lo hemoglobina de la sangre, lo que evita la absorción y distribución del oxígeno.

Afortunadamente las instalaciones normales de gas pobre trabajan por succión, de modo que aunque se produzca una pequeña fuga en la instalación, no se escapan del equipo gases peligrosos durante su funcionamiento. Sin embargo, la situación es distinta durante la puesta en marcha y en cierre de la instalación.

Durante la puesta en marcha generalmente se da salida al gas, siendo necesario garantizar que los gases producidos no se retienen en una habitación cerrada. Como norma, una chimenea apropiada suficiente seguridad.

Durante el cierre de la instalación se produce un aumento de presión en el gasificador, ocasionado por el combustible todavía caliente y en fase de pirolisis.

Como resultado de ello, se liberan de la instalación gases que contienen monóxido de carbono, durante un periodo relativamente corto. Debido al peligro de estos gases, generalmente se recomienda que la instalación del gasificador se sitúe al aire libre, si es necesario protegida con un techo.

Riesgos de incendio

Los riesgos de incendio pueden provenir de las siguientes causas:

- Elevada temperatura exteriores del equipo
- Riesgo de chispas al recargar el combustible.
- Llamas en las entradas de aire del gasificador o en la tapa de recarga.
- Los riesgos se pueden reducir considerablemente adoptando las siguientes precauciones.
- Aislamiento de las partes más calientes de los calientes del sistema.
- Instalaciones de un depósito de llenado de doble compuerta.
- Instalación de una válvula de retorno de la llama en la entrada del gasificador.

Riesgos de explosión

Se pueden producir explosiones si el gas está mezclado con suficiente aire para formar una mezcla explosiva. Esto puede producir por varias razones:

- Filtrar de aire en el sistema de gas.
- Penetración de aire al repostar combustible
- Filtración de aire en un gasificador frío contiene todavía gas que, en consecuencia, se esquema.

- Retroceso de la llama desde el quemador de gases de escape, cuando el sistema se carga con una mezcla combustible de aire y gas durante el arranque.

La filtración de aire en el sistema de gas no da lugar generalmente a explosiones. Si se produce una filtración de aire en la parte interior del gasificador (suele ser el caso) se produce una combustión parcial del gas, lo que eleva las temperaturas de salida del gas, disminuyendo su calidad.

Cuando los gases piro líticos de la sección del depósito se mezcla con aire (lo que suele suceder durante el repuesta de combustible) se puede formar una mezcla explosiva. No es infrecuente que esto produzca pequeñas explosiones, relativamente inofensivas, especialmente cuando el nivel combustible del depósito es relativamente bajo.

Se puede evitar los riesgos para el operario si se quema los gases en la sección del depósito introduciendo un trozo de papel encendido o algo similar, inmediatamente después de abrir la compuerta otra posible es instalar un sistema de relleno de doble compuerta.

La filtración de aire en un gasificador frío y el encendido inmediato producirá una explosión. Los sistemas cuando están fríos deben ventilarse siempre cuidadosamente, antes de encender combustible.

Riesgos ambientales

Durante la gasificación de los residuos agrícolas, se producen cenizas (en el gasificador y en la sección de depuración) y líquidos condensado (principalmente agua). Este última puede estar contaminando por resinas fenólicas y alquitrán.

2.3.11.EVALUACIÓN ECONÓMICA

La ejecución del presente estudio, un valor de recuperación teniendo un VAN y un TIR:

VAN

- $VAN > 0 \rightarrow$ Proyecto rentable (realizarlo)
- $VAN < 0 \rightarrow$ Proyecto NO rentable (archivarlo)
- $VAN \approx 0 \rightarrow$ Proyecto Indiferente

TIR

Se define como la tasa de actualización por medio de la cual el valor actual de ingresos de efectivo, es igual al valor actual de los egresos o salidas de efectivo

2.3.12.NORMATIVIDAD LEGAL

Internacional

Protocolo de Kioto: convocado por la Organización De Naciones Unidas, en la comisión de cambios climáticos muchas naciones acordaron la reducción de emisiones que contribuyen al llamado efecto invernadero, entre 5 y 8% para el 2012, tomado como base los niveles existentes en 1990, con la cual se pone en evidencia la necesidad de buscar vías alternativas de obtención de energías "limpias", que hagan posible una vía "suave" de desarrollo energético, único camino posible para un desarrollo sostenible para la humanidad. Aproximadamente 40% de la emisión de gases de efecto invernadero proviene del transporte y generación de energía eléctrica.

La Conferencia de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, COP 21, realizado en París terminó con la adopción del acuerdo de París que establece el marco de la lucha contra el cambio climático a partir del 2020; es en este marco que resulta importante la investigación de formas de generación eléctrica no contaminantes.

Nacional

El Gobierno del Perú dio en el año 2008 la Ley N° 1002, Ley de Promoción, Inversión y Generación de Electricidad con el Uso de Energías Renovables considerándose como energías renovables a la eólica, solar, geotérmica, biomasa, mareomotriz e hidráulica (cuando la capacidad no sobrepase los 20 MW); con fines de diversificar la matriz energética y en cuyo marco se han dado hasta la fecha dos subastas públicas de compra de energía.

La Ley 1002 y su reglamento (D.S. N° 050-2008-EM que fuera derogado por el nuevo Reglamento D.S. N° 012-2011-EM) establecen las condiciones para el otorgamiento de las concesiones para el desarrollo de generación con recursos energéticos renovables (RER). Entre los alcances de este marco regulatorio se establece que el nivel de penetración de las RER se incrementará en 5% del consumo de electricidad (en cada año del primer quinquenio), siendo el consumo al 2010 de 30,000 Gwh/h. Además, establece la formulación de un Plan Nacional de Energías Renovables y de Planes Regionales lo que permitirá cumplir con los objetivos de la Ley de Promoción de la Inversión para la Generación de Electricidad con el uso de energías renovables.

El Decreto Ley 1058 de Promoción de Inversión Eléctrica con Recursos Hídricos y otros Recursos Renovables del 2008 establece que la generación de energía eléctrica a base de recursos hídricos o a base de otros recursos renovables, tales como el eólico, el solar, el geotérmico, la biomasa o la mareomotriz, gozará del régimen de depreciación acelerada, la misma que

no será mayor de 20% como tasa global anual, para efectos del Impuesto a la Renta.

LEY Nº 27446(Ley del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental)

Ley Nº28546; Ley de Promoción y Utilización de Recursos Energéticos Renovables No Convencionales - Junio del 2005

DS Nº050 - 2008-EM; Reglamento de la Generación de Electricidad con Energías Renovables - Mayo 2008

DL Nº1002; Ley de Promoción Inversión Generación de Electricidad Uso de Energías Renovables - mayo 2008

DL Nº1058; Promueve la Inversión en Generación Eléctrica con Recursos Hídricos y otros Recursos Renovables - Junio 2008

D.S. 021- 2007-EM REGLAMENTO DE COMERCIALIZACIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES LIQUIDOS - 2007

LEY 28054; LEY DE PROMOCIÓN DEL MERCADO DE BIOCOMBUSTIBLES 2003

2.3.13.DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

Almacén: lugar o espacio físico para el guardado de bienes dentro de la cadena de suministro. Los almacenes son una infraestructura imprescindible para la actividad de todo tipo de agentes económicos (agricultores, ganaderos, mineros, industriales, transportistas, importadores, exportadores, comerciantes, intermediarios, consumidores finales, etc.).

Biomasa: Existen diferentes versiones acerca de la definición exacta del término biomasa. Sin embargo todas ellas apuntan a que la biomasa es

cualquier sustancia producida a partir de la fotosíntesis, en un contexto global es orden de considerar la biomasa como aquel grupo de productos energéticos materias primas, materia orgánica residuos todos año de carácter renovable que han tenido su origen inmediato como consecuencia de un proceso biológico o fotosíntesis y que son susceptibles a ser transformados por medios biológicos o térmicos para generar energía

El término biomasa se refiere a toda la materia orgánica que proviene de los árboles, planta y desechos de animales que puede ser convertidos en energía o las provenientes del agricultura (residuos de maíz, café, arroz), del aserradero (PODAS ramas, aserrín) y de los residuos urbanos (aguas negras, basura orgánica). 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 juego

Desde la prehistoria, la forma más común de utilizar energía en la biomasa hacerlo por medio de la combustión directa: llamando la de monedas casillero abierto el Burgos y cocinas artesanales e incluso en calderas, convirtiendo la en calor para cubrir las necesidades de calefacción, COCCION de alimentos, producción de vapor y generación de electricidad

Los avances tecnológicos han permitido el desarrollo de procesos más eficientes y limpios para la conservación de biomasa en energía; transformando la por ejemplo en combustibles líquido gaseosos, los cuales son más convenientes y eficientes. Hacía parte de la combustión directa se pueden distinguir otros tipos donde procesos: el termoquímico y el bioquímico.

Las fuentes más importantes de biomasa son los campos forestales y agrícolas pues en ellos se producen residuos que normalmente son dejados en el campo al consumir este solo bajo porcentaje de hechos con fines energéticos en la agroindustria, los procesos de secado decanos generan productos que son usados para generación de calor en sistemas de

combustión nivela; tal en el caso del bagazo de caña de azúcar, la cascarilla de café, y la de arroz. Por otro lado los centros urbanos generan grandes cantidades de basura compuestas en gran parte por materia orgánica que pueda convertirla en energía después de procesarla adecuadamente.

Cascarilla de arroz: tejido vegetal constituido por celulosa y sílice, elementos que ayudan a su buen rendimiento como combustible. El uso de la cascarilla como combustible representa un aporte significativo a la preservación de los recursos naturales y un avance en el desarrollo de tecnología limpias y económicas en la producción de arroz uno de los principales cereales de nuestra canasta familiar.

Combustión: Es un proceso de oxidación rápida de una sustancia, acompañado de un aumento de calor y frecuentemente de luz. En el caso de los combustibles comunes, el proceso consiste en una combinación química con el oxígeno de la atmósfera que lleva a la formación de dióxido de carbono, monóxido de carbono y agua, junto con otros productos como dióxido de azufre, que proceden de los componentes menores del combustible. El término combustión, también engloba el concepto de oxidación en sentido amplio. El agente oxidante puede ser ácido nítrico, ciertos percloratos e incluso cloro o flúor.

Fuentes de biomasa: pueden ser usadas para la producción energía cubren un amplio rango de materiales y fuentes:

- ✓ los residuos de la industria forestal y la agricultura
- ✓ los desechos urbanos y las planificaciones energéticas

Se usa generalmente para procesos modernos de conversión que involucran la generación de energía a gran escala, enfocados hacia la situación de combustibles fósiles

Gasificación: es un proceso termoquímico en el que un sustrato carbonoso (carbón, biomasa, plástico) es transformado en un gas combustible mediante una serie de reacciones que ocurren en presencia de un agente gasificante (aire, oxígeno, vapor de agua o hidrógeno)

Generador eléctrico: es un equipo capaz de mantener una diferencia de cargas eléctricas entre dos puntos (es decir, voltaje), transformando otras formas de energía en energía mecánica y posteriormente en una corriente alterna de electricidad (aunque esta corriente alterna puede ser convertida a corriente directa con una rectificación).

Grupo electrógeno a Biogás: Un grupo electrógeno a biogás es una máquina que, a través de un motor de combustión interna cuyo combustible es biogás, mueve un generador eléctrico. El motor que se encarga de transformar la energía química contenida en el biogás en energía mecánica que hará girar el alternador. Al ser el combustible biogás, los motores que se emplean son de ciclo Otto y son estructuralmente similares a los motores a gas natural.

Por su parte, el generador eléctrico se encarga de producir la energía eléctrica de salida a partir de la energía mecánica del motor. Generalmente se trata de alternadores autorregulados y sin escobillas, los cuales van acoplados de manera precisa al motor.

Pirólisis: es la descomposición química de materia orgánica y todo tipo de materiales, excepto metales y vidrios, causada por el calentamiento a altas temperaturas en ausencia de oxígeno (y de cualquier halógeno).

CAPITULO III:

MARCO METODOLOGICO

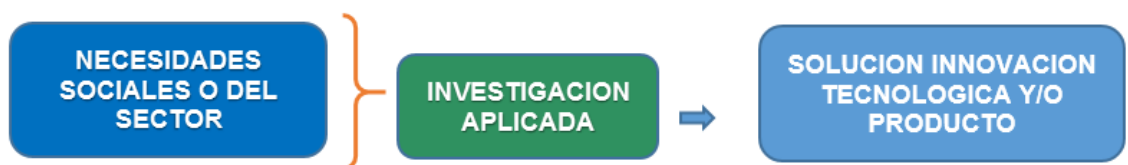
3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

La correcta descripción de los tipos y diseño de investigación, nos lleva a desarrollar y concluir con éxito el proyecto de tesis, los cuales son los siguientes.

a) Investigación Aplicada:

Porque se hará uso de los conocimientos y bases teóricas de la ingeniería que permitan resolver una necesidad social, es el caso del cuidado del medio ambiente con una eliminación adecuada de los residuos producidos.

FIGURA N° 4: INVESTIGACION APLICADA



b) Investigación Descriptiva:

La aplicación de la investigación descriptiva nos permitirá cumplir con las siguientes etapas:

1. Examinan las características del problema.
2. Definir y formular sus hipótesis.
3. Enunciar los supuestos en que se basan las hipótesis y los procesos adoptados.
4. Elegir los temas y las fuentes apropiados.
5. Seleccionar o elaborar técnicas para la recolección de datos.

6. Establecen, a fin de clasificar los datos, categorías precisas, que se adecuen al propósito del estudio y permitan poner de manifiesto las semejanzas, diferencias y relaciones significativas.
7. Verifican la validez de las técnicas empleadas para la recolección de datos.
8. Realizan observaciones objetivas y exactas.
9. Describen, analizan e interpretan los datos obtenidos, en términos claros y precisos.

3.2. POBLACION Y MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN

La presente Tesis ha sido aplicada a un lugar específico, donde la población es la misma que la muestra, es el caso de los productores de arroz ubicados en la provincia de Lambayeque.

3.2.2. MUESTRA

Por ser un lugar específico, la muestra coincide con la población.

3.3. HIPOTESIS

Si se realizar la proyección de la capacidad de electricidad generada mediante el aprovechamiento energético de la cascarilla de arroz en la provincia de Lambayeque, se podrá contar con una energía adicionada al sistema eléctrico con características de energía limpia.

3.4. VARIABLES

3.4.1. Variable independiente

- Poder calorífico de la cascarilla de arroz.
- Máxima demanda energética.

3.4.2. Variable dependiente

- Diseño de sistema de generación de energía.

TABLA N° 14: VARIABLES INDEPENDIENTES

Variable independiente	Dimensiones	Indicadores	Sub indicadores	índices	Técnica de recolección de datos	Instrumentos de recolección de información	Instrumento de medición
Poder calorífico de la cascarilla de arroz	Propiedades fisicoquímica	Poder calorífico de la cascarilla de arroz	Densidad	Kg/m ³	Análisis de documentos (análisis de cascarilla de arroz)	Guía de análisis de documentos	
			Humedad	%			
			Material volátil	%			
			Cenizas	%			
			Carbono fijo	%			
			Poder calorífico	Kcal/kg			
			Tiempo de secado de cascarilla	Min- hora			- cronometro
			Temperatura	°C			- Pirómetro
			Otros Residuos sólidos de la cascarilla de arroz	Kg			Balanza
			Prueba de Porcentaje de cascarilla de arroz	%			

Máxima demanda energética	Consumo energético	Máxima demanda del caserío	Máxima demanda de cada vivienda	(kW-H/día) energía/vivienda	- Análisis de documento (encuesta) - observaciones	Guía de análisis de documentos, guías de observación	voltámetro
---------------------------	--------------------	----------------------------	---------------------------------	-----------------------------	-------------------------------------------------------	------------------------------------------------------	------------

TABLA N° 15: VARIABLE DEPENDIENTE

Variable dependiente	Dimensiones	Indicadores	Sub indicadores	índices	Técnica de recolección de datos	Instrumentos de recolección de información	Instrumento de medición
Diseño de sistema de generación de energía	Cantidad necesaria de cascarilla de arroz que ingresa en el proceso de combustión para la máxima demanda	Flujo másico	Kilogramos (kg)	Kg/h	Análisis de documentos (encuestas)	Guía de análisis de documentos (recolección de datos)	Balanza
	Generación del proceso termodinámico o Joule Brayton	Proceso térmico	Combustión	CO2	observación	Guías de observación	opacímetro
			Emisiones de gases				
			Gasificación				
			Flujo másico	Kg/h	Análisis de documento	Guía de análisis de documento	vatímetro
			Potencia mecánica	J/seg			
	El rango de temperatura que alcanza la combustión al ser quemado la cascarilla de arroz	Temperatura	Tiempo de combustión de la cascarilla de arroz	°C	Observación, análisis de documento	Guía de observación, guía de análisis de documento	Pirómetro

3.5. RECOLECCION DE DATOS

3.5.1. METODOS

3.5.1.1. ANALITICO.

El estudio en forma intensiva referido a la proyección de energía eléctrica y uso de un sistema de generación de energía eléctrica a través de residuos agrícolas (cascarilla de arroz) como fuente de generación.

3.5.1.2. SINTETICO.

El estudio de cada uno de los elementos que conforma este proyecto, desde la capacidad de cascarilla de arroz generada, hasta la proyección de generación eléctrica.

3.5.1.3. INDUCTIVO.

Con la información respecto a la cantidad de cascarilla de arroz generada por los productores ubicados en la provincia de Lambayeque, se puede comprobar, cuanta energía eléctrica podríamos generar.

3.5.1.4. DEDUCTIVO.

Nos permitió la formación de hipótesis, investigaciones y justificaciones propuestas.

3.5.2. TECNICAS

OBSERVACIÓN

Este tipo de técnica nos permitirá realizar una inspección visual de la situación actual, observar y tomar nota de las manifestaciones; se

observó el problema que generaría la eliminación inadecuada de los desechos de la producción de arroz, generando contaminación, nos conlleva al mejoramiento de la calidad de vida.

La observación desempeña un papel importante en la investigación, es un elemento fundamental de la ciencia. El investigador durante las diversas etapas de su trabajo, al utilizar sus sentidos: oído, vista, olfato, tacto y gusto, acumula hechos que le ayudan a identificar un problema. Mediante la observación descubre pautas para elaborar una solución teórica de su problema. ¿Para qué se observa? La respuesta a esta pregunta permite distinguir funciones esenciales que pueden ser prioritarias a la hora de crear o de utilizar un instrumento de observación.

ANÁLISIS DE DOCUMENTOS

Para desarrollar esta técnica buscaremos la información en libros actualizados con relación al tema de investigación, también analizar los diferentes trabajos realizados en revistas, manuales, fichas técnicas, publicaciones en distintas páginas confiables de internet.

RECOLECCION DE DATOS

La obtención de datos precisos los cuales son importantes para nuestra investigación como:

1. Hectáreas sembradas de arroz.
2. Tiempo de cosecha de arroz
3. Costo de cascarilla
4. Secado de cascarilla
5. Proceso de cascarilla en generación de energía eléctrica

3.5.3. INSTRUMENTOS

Guías de observación

Identificar y detallar cada uno de los elementos que conforma el proceso de generación de energía eléctrica, consolidamos información con respecto a la cantidad de cascarilla de arroz producida en la provincia de Lambayeque.

Cuestionario.

Se consultó a especialistas en el rubro de energía y también a los productores de arroz, respecto a la satisfacción de generar energía eléctrica con sus cultivos residuales, realizando así un aprovechamiento de los residuos generados.

Guía de análisis de documentos

Verificación de la normativa relacionada al medio ambiente proporcionadas por el DGE y el MEM.

3.6. PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCION DE DATOS

3.6.1. RECOPIAR INFORMACIÓN ESTADÍSTICA DE PRODUCCIÓN DE LA CASCARILLA DE ARROZ

Para la recopilación estadística se tuvo en cuenta la producción de dicho caserío y sus alrededores ya que sabremos con exactitud la cantidad necesaria, obtuvimos información detallada en el ministerio de agricultura quienes nos brindaron las campañas de cosechas de los últimos 4 años en el distrito de Monsefú.

3.6.2. ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS

Para el análisis de la sustitución de combustibles fósiles por la biomasa que en este caso es la cascarilla de arroz con fines energéticos, es una alternativa cada vez más importante, tanto desde un punto de vista económico como medioambiental.

3.6.3. DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ELECTRICIDAD GENERADA.

Se procedió hacer la proyección de energía eléctrica considerando la cantidad de cascarilla de arroz producida.

3.6.4. CÁLCULO DE LA MÁXIMA DEMANDA ELÉCTRICA

Para el cálculo de Máxima Demanda que se podría atender.

$$C = \frac{P \times T}{1000}$$

CAPITULO IV:

GENERACION TERMOELECTRICA

HACIENDO USO DE LA CASCARILLA

DE ARROZ

4.1. DESCRIPCION DEL SISTEMA DE PRODUCCION

4.1.1. DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

El producto principal es el arroz de diversas variedades, es el caso del NIR que es el de mayor consumo y considerado el mejor de la región Lambayeque.

Es un grano alargado, blanco cremoso y en cocción es de sabor agradable y suave, envasado en presentaciones de 10 kg, 25 kg, 49 kg y 50 kg.

4.1.2. SUBPRODUCTOS

En el proceso de pilado de arroz se obtienen 5 subproductos ofrecidos a venta, los cuales son:

- Arrocillo de $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{4}$, granos quebrados mayores o iguales a $\frac{1}{2}$ de la longitud de la variedad del grano de mayor contraste y se obtiene del procesamiento físico al que es sometido el arroz. Son envasados en presentaciones de 50 kg.
- El ñelén, subproducto conformado por los granos quebrados menores a $\frac{1}{2}$ de la longitud de la variedad del grano de mayor contraste. Es envasado en presentaciones de 25 kg o 50 kg.
- El rechazo o descarte corresponde a todos los granos manchados o tizosos del proceso, que son envasados en sacos de 50 kg.
- El polvillo está compuesto por el pericarpio y el germen de arroz con la cantidad de cascarilla, granillo de arroz, que son inevitables en el proceso del arroz comestible. Es envasado en presentación de 30 kg.

4.1.3. DESECHOS

La cascarilla de arroz tiene como valor de mercado cero, puesto que es considerada como desecho, constituyendo un serio problema de contaminación ambiental al eliminarse mediante quemado.

4.1.4. DESPERDICIOS

El arroz durante su post cosecha es propenso a contaminarse con piedras, metales, tierra, polvo, paja o palotes, los cuales deberán ser removidos durante el proceso de pilado de arroz.

4.2. PRODUCCION ANUAL

El arroz cáscara de la variedad, es un producto de gran demanda en el mercado regional y nacional, destinado en su totalidad al consumo humano.

Al contarse con otras variedades en el molino, el arroz pilado obtenido se clasifica en arroz extra superior y corriente, pues existen factores que determinan la calidad molinera como la capacidad del campo para producir mayores porcentajes de grano entero y el alto rendimiento de pila.

La cascarilla generada en el proceso industrial del arroz es trasladada desde la máquina descascaradora a través de un conducto hacia un almacén produciendo su acumulación y posterior incineración. Esta solución optada por las empresas obedece a que la cascarilla de arroz posee características químicas, físicas, energéticas y bromatológicas que dificultan su manejo y aprovechamiento.

Al no tener un registro de la cantidad de cascarilla de arroz generada en el proceso de producción, a través del balance de masa se puede calcular la relación entre el arroz cáscara que ingresa a la empresa y la cascarilla de arroz generada durante el proceso de pilado.

$$\text{Eficiencia de descascarado} = \frac{\text{Peso de cascarilla (kg)}}{\text{Peso de arroz cascara (kg)}} \times 100\%$$

$$\text{Eficiencia de descascarado} = \frac{15.57 \text{ kg}}{85.00 \text{ kg}} \times 100\% = 18.32\%$$

Del cálculo realizado podemos indicar que el 18.32% del peso total de arroz cáscara corresponde a la cascarilla de arroz. Este dato se aproxima al valor indicado por las entidades que consolidan las estadísticas agrarias, el cual representa el 20% en peso de arroz en cáscara.

Actualmente, solo el 5% de cascarilla de arroz es usada como combustible para hornos de secado de ladrillo, caso en el departamento de Piura, el resto es quemado o arrojado a los ríos aledaños.

La información indicada por El Sistema Integrado de Estadística Agraria, nos da la información mencionada a continuación:

TABLA N° 16: PRODUCCIÓN DE ARROZ EN LAMBAYEQUE NACIONAL/ 2017-2018

REGIÓN	AÑOS	ARROZ CÁSCARA (TONELADA)
Total Nacional	2017	3 038 766.409
	2018	3 507 846.837
Lambayeque	2017	400 575
	2018	474 974

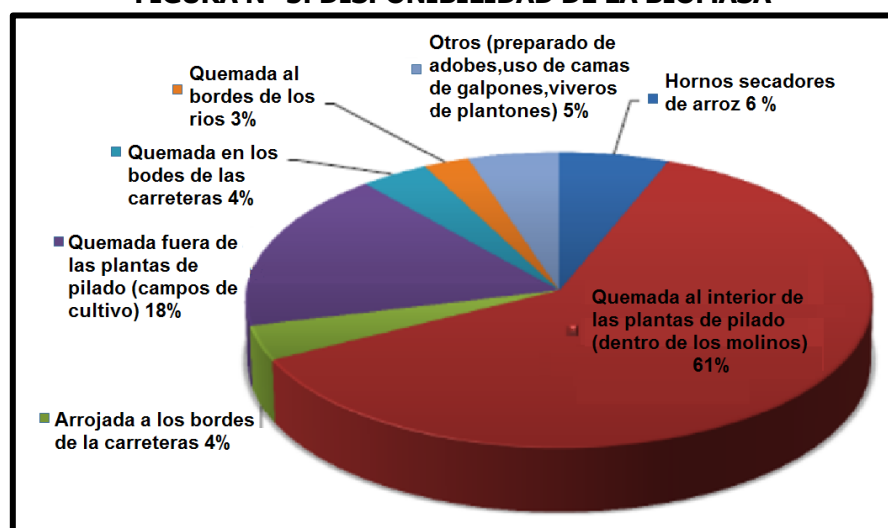
4.3. CUANTIFICACIÓN DE LA ENERGÍA DE LA BIOMASA.

El departamento de Lambayeque, cuenta con 74 molinos asociados, ubicados 18 en la provincia de Lambayeque, 46 en la provincia de Chiclayo y 10 en la provincia de Ferreñafe.

Según información recabada del MINAGRI, la provincia de Lambayeque registró una producción de pilado aproximadamente de: 112 161 mil Tn en el año 2017 y 132 992 mil Tn en el año 2018; Del cual la cascarilla de arroz

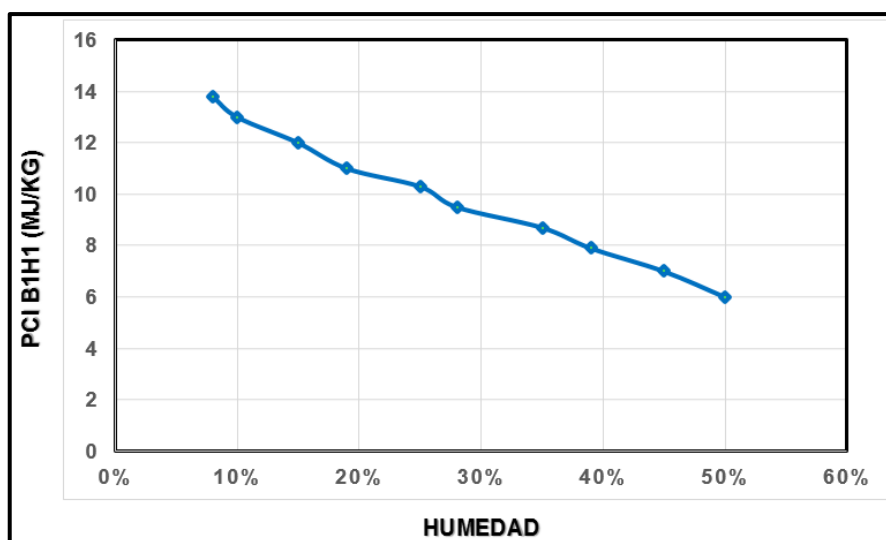
equivale al 20% del peso del arroz cascara y tiene un poder calorífico interno (PCI) en base seca promedio aproximado de 4000 Kcal/Kg.

FIGURA N° 5: DISPONIBILIDAD DE LA BIOMASA



A partir de estos datos de cantidad de cascarilla observamos la disponibilidad de materia prima, con un gran potencial existente para satisfacer la demanda de este combustible; para generación térmica de este tipo se tendrá en cuenta también que la humedad sea constante, ya que este influirá en el poder calorífico, si esta característica varia, podría variar su potencial energético.

FIGURA N° 6: VARIACION DE PCI SEGÚN LA HUMEDAD DE LA CASCARILLA



4.4. CONVIRTIENDO LA BIOMASA EN ENERGIA

Antes de que la biomasa pueda ser usada para fines energéticos, tiene que ser convertida en una forma más conveniente para su transporte y utilización.

A menudo, la biomasa es convertida en formas derivadas tales como carbón vegetal, briquetas, gas, etanol y electricidad.

Las tecnologías de conversión incluyen desde procesos simples y tradicionales, como la producción de carbón vegetal en hogueras bajo tierra; hasta procesos de alta eficiencia como la dendro-energía y la cogeneración.

A continuación se presentan los procesos de conversión de biomasa más relevantes, los cuales se pueden clasificar en tres categorías:

- Procesos de combustión directa.
- Procesos termo-químicos.
- Procesos bio-químicos.

4.4.1. PROCESOS DE COMBUSTIÓN DIRECTA

Esta es la forma más antigua y más común, hasta hoy, para extraer la energía de la biomasa. Los sistemas de combustión directa son aplicados para generar calor, el cual puede ser utilizado directamente, como por ejemplo, para la cocción de alimentos o para el secado de productos agrícolas. Además, éste se puede aprovechar en la producción de vapor para procesos industriales y electricidad. Las tecnologías de combustión directa van desde sistemas simples, como estufas, hornos y calderas, hasta otros más avanzados como combustión de lecho fluidizado.

Los procesos tradicionales de este tipo, generalmente, son muy ineficientes porque mucha de la energía liberada se desperdicia y pueden causar contaminación cuando no se realizan bajo condiciones controladas. Estos resultados se podrían disminuir considerablemente con prácticas mejoradas de operación y un diseño adecuado del equipo. Por ejemplo, secar la biomasa antes de utilizarla reduce la cantidad de energía perdida por la evaporación del agua y para procesos industriales, usar pequeños pedazos de leña y atender continuamente el fuego supliendo pequeñas cantidades resulta en una combustión más completa y, en consecuencia, en mayor eficiencia. Asimismo, equipos como los hornos se pueden mejorar con la regulación de la entrada del aire para lograr una combustión más completa y con aislamiento para minimizar las pérdidas de calor.

Densificación

Esta se refiere al proceso de compactar la biomasa en “briquetas”, para facilitar su utilización, almacenamiento y transporte. Las briquetas son para usos domésticos, comerciales e industriales. La materia prima puede ser aserrín, desechos agrícolas y partículas de carbón vegetal, el cual se compacta bajo presión alta.

La Tabla muestra los métodos desarrollados para la combustión directa de los residuos sólidos:

TABLA N° 17: USO DIRECTO DE DESECHOS SOLIDOS

Producto	Tecnologia	Usos en America Central	Caracteristicas
Polvos	Quemadores de polvo	De moderado a bajo	*Costo de inversion elevado *Facilita su empleo, incluyendo la escala domestica *Mejora la eficiencia y las Caracteristicas de la combustion
Astillas	Hornos y calderas en suspension y lecho fluidizado	De moderado a bajo	
Pellets			
Briquetas	Hornos y claderas en parrilla	De moderado a bajo	
Leñosos	Hornos y calderas, estufas domesticas	Amplio	El tamaño dificulta el empleo en dispositivo de alta eficiencia, requiere procesamiento
Carbon vegetal	Estufas domesticas		Disminuye la eficiencia energetica total, pero su uso es mas conveniente con menos humo

4.4.2. PROCESOS TERMO-QUÍMICOS

Estos procesos transforman la biomasa en un producto de más alto valor, con una densidad y un valor calorífico mayor, los cuales hacen más conveniente su utilización y transporte.

Cuando la biomasa es quemada bajo condiciones controladas, sin hacerlo completamente, su estructura se rompe en compuestos gaseosos, líquidos y sólidos que pueden ser usados como combustible para generar calor y electricidad. Dependiendo de la tecnología, el producto final es un combustible sólido, gaseoso, o combustible líquido. El proceso básico se llama pirólisis o carbonización e incluye:

Producción de carbón vegetal:

Este proceso es la forma más común de la conversión termo-química de temperatura mediana. La biomasa se quema con una disponibilidad restringida de aire, lo cual impide que la combustión sea completa. El residuo sólido se usa como carbón vegetal, el cual tiene mayor densidad energética que la biomasa original, no produce humo y es ideal para uso doméstico. Usualmente, este carbón es producido de la

madera, pero también se usan otras fuentes como cáscara de coco y algunos residuos agrícolas. La forma más antigua, y probablemente aún la más empleada para producirlo, son los hornos de tierra y los de mampostería. El primero es una excavación en el terreno en la que se coloca la biomasa, la cual es luego cubierta con tierra y vegetación para prevenir la combustión completa. Los segundos son contruidos de tierra, arcilla y ladrillo. Los hornos modernos son conocidos como retortas y fabricados en acero; conllevan cierta complejidad por su diseño y operación, lo que incrementa considerablemente los costos de inversión en comparación con los tradicionales, pero eleva su eficiencia y capacidad de producción, así como la calidad del producto.

Gasificación:

Tipo de pirólisis en la que se utiliza una mayor proporción de oxígeno a mayores temperaturas, con el objetivo de optimizar la producción del llamado “gas pobre”, constituido por una mezcla de monóxido de carbono, hidrógeno y metano, con proporciones menores de dióxido de carbono y nitrógeno.

Este se puede utilizar para generar calor y electricidad, y se puede aplicar en equipos convencionales, como los motores de diesel. La composición y el valor calorífico del gas dependen de la biomasa utilizada, como por ejemplo: madera, cascarilla de arroz, o cáscara de coco. Existen diferentes tecnologías de gasificación y su aplicación depende de la materia prima y de la escala del sistema.

La gasificación tiene ciertas ventajas con respecto a la biomasa original:

- El gas producido es más versátil y se puede usar para los mismos propósitos que el gas natural.

- Puede quemarse para producir calor y vapor y puede alimentar motores de combustión interna y turbinas de gas para generar electricidad.
- Produce un combustible relativamente libre de impurezas y causa menores problemas de contaminación al quemarse. Sin embargo, la operación de gasificación es más complicada. En principio, un gasificador simple puede ser construido en talleres metalmecánicos convencionales, pero se requiere experiencia y un prolongado período de ajuste para llevar el sistema a sus condiciones óptimas de operación.

4.4.3. PROCESOS BIO-QUÍMICOS

Estos procesos utilizan las características bio-químicas de la biomasa y la acción metabólica de organismos microbianes para producir combustibles gaseosos y líquidos. Son más apropiados para la conversión de biomasa húmeda que los procesos termo-químicos. Los más importantes son:

Digestión anaeróbica:

La digestión de biomasa humedecida por bacterias en un ambiente sin oxígeno (anaeróbico) produce un gas combustible llamado biogás. En el proceso, se coloca la biomasa (generalmente desechos de animales) en un contenedor cerrado (el digestor) y allí se deja fermentar; después de unos días, dependiendo de la temperatura del ambiente, se habrá producido un gas, que es una mezcla de metano y dióxido de carbono. La materia remanente dentro del digestor es un buen fertilizante orgánico. Los digestores han sido promovidos fuertemente en China e India para usos domésticos en sustitución de la leña. También se pueden utilizar aguas negras y mieles como materia prima, lo cual sirve, además, para tratar el agua.

Combustibles alcohólicos:

De la biomasa se pueden producir combustibles líquidos como etanol y metanol. El primero se produce por medio de la fermentación de azúcares y, el segundo por la destilación destructiva de madera. Esta tecnología se ha utilizado durante siglos para la producción de licores y, más recientemente, para generar sustitutos de combustibles fósiles para transporte, particularmente en Brasil. Estos combustibles se pueden utilizar en forma pura o mezclados con otros, para transporte o para la propulsión de máquinas.

Biodiesel:

A diferencia del etanol, que es un alcohol, el biodiesel se compone de ácidos grasos y ésteres alcalinos, obtenidos de aceites vegetales, grasa animal y grasas recicladas. A partir de un proceso llamado "transesterificación", los aceites derivados orgánicamente se combinan con alcohol (etanol o metanol) y se alteran químicamente para formar ésteres grasos como el etil o metilo éster. Estos pueden ser mezclados con diésel o usados directamente como combustibles en motores comunes. El biodiesel es utilizado, típicamente, como aditivo del diesel en proporción del 20%, aunque otras cantidades también sirven, dependiendo del costo del combustible base y de los beneficios esperados. Su gran ventaja es reducir considerablemente las emisiones, el humo negro y el olor.

Gas de rellenos sanitarios:

Se puede producir un gas combustible de la fermentación de los desechos sólidos urbanos en los rellenos sanitarios. Este es una mezcla de metano y dióxido de carbono. La fermentación de los desechos y la producción de gas es un proceso natural y común en los rellenos sanitarios; sin embargo, generalmente este gas no es aprovechado.

Además de producir energía, su exploración y utilización reduce la contaminación y el riesgo de explosiones en estos lugares y disminuye la cantidad de gases de efecto invernadero.

En la Tabla se muestra una distribución de los procesos de conversión aplicables, de acuerdo con las características y el tipo de biomasa, así como los posibles usos finales de la energía convertida

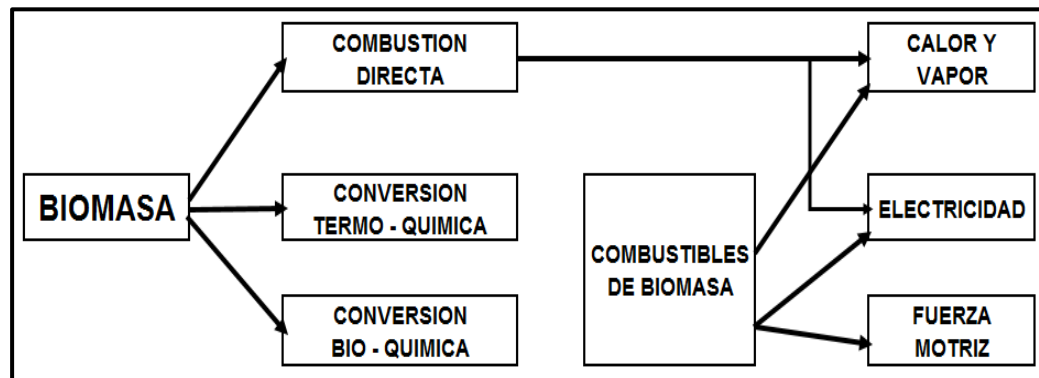
TABLA N° 18: PROCESOS DE CONVERSION DE BIOMASA

TIPO DE BIOMASA	CARACTERISTICAS FISICAS	PROCESOS DE CONVERSION APLICABLES	PRODUCTO FINAL	USOS
MATERIALES ORGANICOS DE ALTO CONTENIDO DE HUMEDAD	ESTIERCOLES, RESIDUOS DE ALIMENTOS, EFLUENTES INDUSTRIALES, RESIDUOS URBANOS	DIGESTION ANAEROBICA Y FERMENTACION, ALCHOLICA	BIOGAS METANOL ETANOL BIO DIESEL	MOTORES DE COBUSTION TURBINAS DE GAS HORNOS Y CALDERAS ESTUFAS DOMESTICAS
MATERIALES LIGNOCELULÓSICOS (CULTIVOS ENERGETICOS, RESIDUOS FORESTALES DE COSECHAS Y URBANOS)	POLVO ASTILLAS PELLETS BRIQUETAS LEÑOS CARBON VEGETAL	DENSIFICACION COMBUSTION DIRECTA PIROLISIS GASIFICACION	CALOR GAS POBRE HIDROGENO BIO DIESEL	ESTUFAS DOMESTICAS HORNOS Y CALDERAS MOTORES DE COMBUSTION TURBINAS DE GAS

Actualmente, la combustión directa es el proceso más aplicado para usos energéticos de la biomasa.

Procesos más avanzados como la gasificación y la digestión anaeróbica han sido desarrollados como alternativas más eficientes y convenientes, y para facilitar el uso de la biomasa con equipos modernos. Sin embargo, hasta la fecha, la aplicación de estos últimos no es tan común por tener un costo más alto y la complejidad de su aplicación.

FIGURA N° 7: PROCESOS DE CONVERSION Y FORMAS DE ENERGIA



4.5. PROYECCION DE LA CAPACIDAD DE ENERGIA GENERADA

En la actualidad, la generación de electricidad a partir del uso del biogás como fuente de combustible local es una realidad, pues se está obteniendo impactos positivos como la disminución de las emisiones de gases contaminantes y la importancia de sustituir las tradicionales fuentes energéticas no renovables, que son escasas y costosas.

Para determinar la energía eléctrica que se puede generar a partir del biogás pronosticado en el punto anterior, es necesario conocer el poder calorífico referido a la cantidad de energía por unidad de masa o volumen de cualquier materia que puede desprender al producirse una reacción química.

En un estudio realizado sobre "Análisis comparativo de las características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz" obtenida por investigaciones realizadas en las universidades de Canadá, California, China y Colombia como punto de partida para la realización del proyecto de transformación de la biomasa arroceras en energía eléctrica y térmica, se concluyó que existe una igualdad entre los rangos de las características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz para estas regiones (Valverde, Sarria y Monteagudo 2007). Esto nos da a entender que no habría inconvenientes en la selección de las relaciones propuestas en los estudios.

La investigación "Estudios cinéticos de la producción de biogás por hongos a partir de determinados residuos agrícolas", se basó en la degradación anaeróbica de la cascarilla de arroz, donde a través del experimento realizado se obtuvo una tasa de producción de biogás de 47 cm³/g.día equivalente a 0,047 m³/kg.día (Bishir y Ekwonchi 2012). Este biogás contiene 62,50% de metano en su composición y 9,20% de H₂S (Ver Tabla).

TABLA N° 19: COMPOSICION DE BIOGAS A PARTIR DE CASCARILLA DE ARROZ

COMPONENTE	FORMULA	PORCENTAJE
METANO	CH ₄	52.50%
DIOXIDO DE CARBONO	CO ₂	28.30%
ACIDO SULFIDRICO	H ₂ S	9.20%
FUENTE: BISHIR Y EKWENCHI, 2012		

Para este caso, se tomó como referencia el PCI del metano, que de acuerdo con estudios como de (Lombarte 2011) y (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe 2013) su valor se encuentra en 9,97 kWh/m³ que, sumado al rendimiento de biogás y porcentaje de metano en este combustible, se tiene la siguiente ecuación:

$$\text{Generación de energía} = n_{\text{biogás}} \times \%CH_4 \times PCI_{CH_4}$$

Donde:

$n_{\text{biogás}}$: Rendimiento de biogás a partir de cascarilla de arroz (0,047m³ biogás/kg cascarilla)

$\%CH_4$: Porcentaje de metano en el biogás (0,625m³ CH₄/m³ biogás)

PCI_{CH_4} : Poder calorífico del metano (9,97 kWh/m³)

$$\text{Generación de energía} = 0,293 \text{ kWh/kg cascarilla}$$

Por tanto, se concluye que 1 kg de cascarilla de arroz podrá generar 0,293 kWh de energía eléctrica.

Considerando la producción de arroz cáscara en la provincia de Lambayeque:

TABLA N° 20: PRODUCCION TOTAL DE ARROZ (MILES DE TONELADA)

REGIONES	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
TOTAL	2831.4	2624.5	3043.3	3046.8	2896.6	3151.4	3165.7	3038.5	3267.9
SAN MARTIN	500.3	522.6	575.6	559.8	647.4	682.5	710.3	822.9	786.5
LAMBAYEQUE	4007.7	282.2	421	428.4	328.8	455.2	399	400.6	524
PIURA	499.8	383.3	607.8	550.4	356.5	503.2	589	378.9	518
AMAZONAS	322.9	282.1	286.3	329.6	366.6	351.6	307.9	327.6	282.1
AREQUIPA	246	257.6	241.3	259.6	266	263.4	250.1	281.4	273.8
LA LIBERTAD	304	322.5	335.6	365.4	362.9	344.5	334.9	207	221.4
CAJAMARCA	218	2164	214.8	213	208	200.3	195.6	186.5	196.2

Fuente: Direcciones Regionales de Agricultura

Tomando la información del cuadro N° 20, se tiene que la producción de arroz en la provincia de Lambayeque es:

Se calcula la proyección de la producción de arroz al 2025.

TABLA N° 21: PROYECCION DE LA PRODUCCION DE ARROZ EN LA PROVINCIA DE LAMBAYEQUE (MILES DE TONELADA)

Fuente: Direccion Regional de Agricultura			PROYECCION						
2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
97054.05	97443.24	127459.46	114845.95	118102.61	121358.38	124614.45	127870.81	131127.03	134383.24

Calculando la cantidad de cascarilla de arroz producida y proyectada considerando que corresponde al 20% de lo producido:

TABLA N° 22: PROYECCION DE CASCARILLA DE ARROZ PRODUCIDA EN LA PROVINCIA DE LAMBAYEQUE (MILES DE TONELADA)

2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
19410.81	19488.65	25491.89	22969.19	23620.43	24271.68	24922.92	26225.41	26225.41	26876.65

Para el cálculo del potencial energético:

Poder calorífico inferior en base humedad:

$$PCIU = 3546 \text{ kcal/kg}$$

Evaluación de la cascarilla de arroz (ECA):

$$ECA = Q * \frac{\%C}{100} * PCIU$$

Donde:

Q: Cantidad anual de cascarilla. (Ton.)

%C: Porcentaje de desechos (cascarilla 20%).

PCIU: Poder calorífico inferior en base a humedad.

TABLA N° 23: EVALUACION Y PROYECCION ENERGETICA DE LA CASCARILLA DE ARROZ

REGION	CALCULO Y PROYECCION DE CASCARILLA DE ARROZ PRODUCIDA									
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
PRODUC. ANUAL (Tn)	19410.81	19488.65	25491.89	22969.19	23620.43	24271.68	24922.92	26225.41	26225.41	26876.65
ECA (Kcal)	137661.4	138213.5	180788.5	162897.4	167516.1	172134.7	176753.3	181371.9	185990.5	190609.19
MW (H/Año)	159.99	160.63	210.12	189.32	194.69	200.06	205.43	210.79	216.16	221.53

Como resultado de la evaluación de la cascarilla de arroz, podemos indicar que es importante mantener la humedad en valores constante (10%). Se cuenta con un potencial energético de MWH / año. Mediante el cual se podría cubrir satisfactoriamente demandas importantes.

4.6. ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO DE LA PROPUESTA

El estudio técnico de la inversión inicial tratara de analizar y presupuestar los diversos gastos a los que deberemos hacer frente en el año cero de nuestro proyecto de inversión, para que este pueda ejecutarse.

Nuestros gastos iniciales los dividimos en:

- Costos de ingeniería y construcción.

Los costos de ingeniería corresponden al diseño de cada uno de los elementos y máquinas; resulta importante realizar cálculos matemáticos que justifiquen las características técnicas y que garanticen la operacionalidad bajo condiciones exigentes. La construcción, representa costos importantes en obras civiles y adquisición de los elementos. Se considera un costo total con márgenes, para caso de optar por modalidad de construcción.

En este caso se estima un monto de S/. 3 500 000,00 por productor.

- Costos de operación y mantenimiento.

El proyecto de una central termoeléctrica de biomasa, representa costos de operación y mantenimiento, esto corresponden a la responsabilidad económica y social con el personal a cargo de la operar, controlar y mantener operativo la central, considera también los costes de repuestos y accesorios requeridos en el mantenimiento. Se ha considerado costes EMP, en el caso de contratar como servicios de terceros para encargarse de este servicio.

En este caso se estima un monto de S/. 350 000,00 por productor

- Inversión inicial.

La inversión requerida para iniciar este proyecto debe considerar lo mencionado:

COSTO POR INGENIERIA Y CONSTRUCCION	S/ 3 500 000,00
COSTO POR OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	S/ 350 000,00
TOTAL COSTO DIRECTO	S/ 3 850 000,00
COSTO DE TRANSPORTE	S/ 192 500,00
IGV (18%)	S/ 727 650,00
PRESUPUESTO TOTAL	S/ 4 770 150,00

La inversión inicial requerida para iniciar el proyecto es de S/. 4 770 150,00.

Con la finalidad de poder afrontar dicho gasto se puede contar con un plan de financiación dividido en:

Análisis financiero.

Corresponde realizar un análisis detallado de la inversión, explicando también su financiación. Basaremos nuestro estudio en los criterios de VAN y de la TIR.

Criterio valor actual neto (VAN)

El valor actual neto o valor actualizado neto, reconocido por las siglas VAN. Este criterio nos permite calcular el valor actual de los distintos flujos de caja obtenidos a lo largo de un tiempo, actualizados a una tasa (k). A dicho valor se le restará la inversión inicial, de modo que se obtendrá el valor actual neto del proyecto.

Tasa interna de rentabilidad (TIR)

La TIR es el tipo de descuento que anula el VAN de una inversión, es decir, que iguala a cero la suma actualizada de todos los flujos de caja de la inversión, deduciendo el desembolso inicial. Su valor se obtiene, por tanto, despejando la tasa de descuento de la ecuación que iguala a cero la expresión del VAN.

TABLA N° 24: FLUJOS DE CAJA

FLUJO DE INGRESOS	
AÑO	VALOR
2019	S/ 1 123 253,85
2020	S/ 1 155 101,36
2021	S/ 1 186 948,87
2022	S/ 1 218 796,38
2023	S/ 1 250 643,89
2024	S/ 1 282 491,40
2025	S/ 1 314 338,91
2026	S/ 1 367 770,14
2027	S/ 1 403 426,54
2028	S/ 1 439 082,94

Correspondiente a la venta de energía producida.

FLUJO DE EGRESOS	
AÑO	VALOR
2019	S/ 641 666,67
2020	S/ 641 666,67
2021	S/ 641 666,67
2022	S/ 641 666,67
2023	S/ 641 666,67
2024	S/ 641 666,67
2025	S/ 641 666,67
2026	S/ 641 666,67
2027	S/ 641 666,67
2028	S/ 641 666,67

Correspondiente a los costos por mantenimiento y construcción

FLUJO DE EFECTIVO NETO	
AÑO	VALOR
2019	S/ 481 587,18
2020	S/ 513 434,69
2021	S/ 545 282,20
2022	S/ 577 129,71
2023	S/ 608 977,22
2024	S/ 640 824,73
2025	S/ 672 672,24
2026	S/ 726 103,47
2027	S/ 761 759,87
2028	S/ 797 416,28

Diferencia entre ingresos y egresos

Resultado de VAN: S/. 747 653.20

Resultado de TIR: S/. 5%

CAPITULO V:

CONCLUSIONES

Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- ✓ Se ha cumplido con el objetivo propuesto , logrando proyectar la capacidad de electricidad generada mediante el aprovechamiento energético de la cascarilla de arroz, considerando la cantidad de cascarilla de arroz producido en los años 2017 y 2018 hacia un horizonte de seis años a partir del presente año
- ✓ Se estableció que el potencial energético de la cascarilla de arroz producido en la provincia de Lambayeque es muy elevada, ello se debe a que se obtiene más de 10 000 toneladas mensuales durante el proceso de pilado de arroz, lo que permite producir un gas combustible con gran contenido energético. Por ello, se puede disponer de muchas posibilidades para aprovechar la energía contenida en este gas, lo cual posibilita plantear un proyecto de generación de biogás para la producción de electricidad, logrando un tratamiento responsable de este residuo y reduciendo las emisiones de CO₂.
- ✓ El análisis financiero mediante los parámetros TIR y VAN de la propuesta nos permite garantizar la sostenibilidad el uso de la Cascarilla de arroz con fines energéticos en el Departamento de Lambayeque.
- ✓ La producción de cascarilla de arroz en los próximos cinco años garantiza contar con la materia prima necesaria para la generación de biogás, pues la cantidad de residuo producido pronosticado para los próximos años, producirá una cantidad generosa de energía dentro del estándar de las energías limpias.

5.2. RECOMENDACIONES

- ✓ El factor económico no resulta relevante para determinar la relevancia del presente proyecto, existen varios beneficios tanto sociales como medioambientales que se deben tener en cuenta. La reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, el tratamiento adecuado de residuos, el uso del efluente como fertilizante o la reducción de humos y olores son ejemplos de estos beneficios.
- ✓ La inversión inicial calculada en el proyecto podría ser mayor en la realidad, debido a los componentes adicionales del sistema que sea necesario adquirir y a la inaccesibilidad de algunos de ellos. Además, el costo derivado de la obra y el posterior mantenimiento del sistema de generación podría desencadenar nuevos gastos.
- ✓ La situación del Sistema Eléctrico Peruano se encuentra en un estado cambiante, y esto puede resultar en variaciones del coste de generación en el futuro. Pues en 2017, el sector industrial incrementó en un 4,1% la tarifa de electricidad, donde diversos sectores han sido perjudicados, lo que llevó a algunas empresas optar por la cogeneración y otras amortiguaron el impacto de las mayores tarifas a través de la mejora en sus procesos productivos o la adquisición de maquinaria más eficiente.
- ✓ La construcción tanto de los biodigestores como de varios elementos del sistema de aprovechamiento del biogás han de construirse artesanalmente, por lo que su buen funcionamiento dependerá en buena medida de la calificación de la mano de obra, ya que si no se dispone de este personal aumentan el riesgo de un mal funcionamiento y la probabilidad de fallos en la construcción e instalación. Algunos de los elementos del sistema pueden ser de difícil acceso y los costes de envío e impuestos aplicados a los mismos pueden aumentar notablemente el precio final de los equipos.

- ✓ Actualmente, se considera que los biodigestores de más de 200 m³ requieren tecnologías de generación de biogás más complejas que las elegidas en el diseño, ya que el volumen grande de la cámara de digestión hace que no sea posible alcanzar las condiciones de operación adecuadas para que se produzca la digestión anaerobia. Este factor representaría el principal problema si se pretendería ampliar el número de biodigestores.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 1) Cristian Alexander Rojas Sánchez. Generación de Biogás a partir de la Cascarilla de arroz para reducir costos energéticos en la Piladora La Merced.
- 2) MINAGRI: Plan nacional de cultivos 2018-2019
- 3) Flores, J. Procesamiento, Comercialización y Distribución de arroz en el Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina, Tesis para optar el título de Ing. Agrónomo-Lima Perú
- 4) Masera, O et al, Estimación del recurso y Prospectiva Tecnológica de la Biomasa como Energético Renovable en México
- 5) Ministerio de Agricultura del Perú Arroz: Agroindustria Arroceras
- 6) Ministerio de Agricultura del Perú informe "Los Molinos de Arroz en el Perú. Dirección de Estadística de la Dirección General de Información Agraria.
- 7) Ministerio de Agricultura del Perú "Reglamento de Calidad e Inocuidad alimentaria de los Granos de arroz.
- 8) BTG World, "Utilización de cascarilla de arroz para secado de arroz en horno de combustión, setiembre 2006
- 9) Piedra Lara, A. L. (2011). Proyecto de una central geotérmica en el Ecuador. Quito.
- 10) UPME. (2003). Formulación de un programa básico de normalización para aplicaciones de energías alternativas y difusión. Bogotá.