

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK**

**MAESTRIA DE ECOEFICIENCIA INDUSTRIAL MENCIÓN EN GESTIÓN DE LA  
ENERGÍA**

**Trabajo de Fin de Carrera Titulado:  
“CARACTERIZACIÓN DE CASCARILLA DE ARROZ  
COMO BIOMASA RESIDUAL PARA COMBUSTIBLE  
TERMICO”**

**Realizado por:  
JUAN FRANCISCO ARTEAGA QUINTANA**

**Director del proyecto:  
Ing. Jefferson Rubio, MBA.**

**Como requisito para la obtención del título de:  
MÁSTER EN ECOEFICIENCIA INDUSTRIAL MENCIÓN EN GESTIÓN DE LA  
ENERGÍA**

**Quito, Marzo de 2020**



## DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, JUAN FRANCISCO ARTEAGA QUINTANA, con cédula de identidad # 171967828-4, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



FIRMA

171967828-4

**DECLARATORIA**

**El presente trabajo de investigación titulado:**

**“CARACTERIZACIÓN DE CASCARILLA DE ARROZ  
COMO BIOMASA RESIDUAL PARA COMBUSTIBLE  
TERMICO”**

**Realizado por:**

**JUAN FRANCISCO ARTEAGA QUINTANA**

**Como Requisito para la Obtención del Título de:  
MÁSTER EN ECOEFICIENCIA INDUSTRIAL MENCION EN GESTION DE LA  
ENERGÍA**

**Ha sido dirigido por el profesor**

**JEFFERSON RUBIO**

**Quien considera que constituye un trabajo original de su autor**



**FIRMA**

**LOS PROFESORES INFORMANTES**

**Los Profesores Informantes:**

**WALBERTO GALLEGOS**

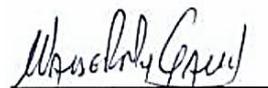
**EDILBERTO LLANES**

**Después de revisar el trabajo presentado,**

**Lo han calificado como apto para su defensa oral ante el tribunal examinador**



**FIRMA**



**FIRMA**

**Quito, 20 de Marzo de 2020**

## **DEDICATORIA**

A Jesús.

## **AGRADECIMIENTO**

A mi familia y amigos.

Financiamiento como proyecto de la Universidad Internacional SEK,

**Para someter a: To be submitted:**

**“Caracterización de cascarilla de arroz como biomasa residual para combustible  
térmico”**

**Juan Francisco Arteaga<sup>1</sup>**

**<sup>1</sup> universidad Internacional SEK,**

**<sup>2</sup> IIGE Instituto de Investigación Geológico y Energético.**

**\*AUTOR DE CORRESPONDENCIA: Ing. Jefferson Rubio, Universidad Internacional  
SEK, Facultad de Ciencias Ambientales y Naturales, Quito, Ecuador.**

**Teléfono: +593-987905726**

**Email: [jefferson.rubio@uisek.edu.ec](mailto:jefferson.rubio@uisek.edu.ec)**

**Título corto o Running title: Biomasa, como combustible térmico.**

## ***Resumen.***

El presente trabajo expone la Caracterización de la Cascarilla de Arroz como Biomasa Residual para combustible Térmico, y ésta busca en los residuos sólidos obtenidos de procesos industriales de Piladoras, un combustible de biomasa para brindar solución a problemas ambientales causantes del cambio climático, mejoras energéticas y de costos. La cantidad obtenida de este residuo a nivel nacional, pueden justificar la necesidad de promover el cambio de la matriz energética mediante el uso de biocombustibles. Por esta razón, el objetivo del proyecto es caracterizar la biomasa para transformarla en un combustible térmico, dichos residuos pueden caracterizarse en función de parámetros establecidos y mediante ensayos de peletización, humedad, poder calorífico, durabilidad mecánica entre otros. Estos resultados se compararon con la norma ISO 17225-2 de biocombustibles sólidos, determinando que el pellet obtenido es apto aplicarlo como combustible, traducido a energía viable dentro de calderas o quemadores a nivel industrial; generando menores costes energéticos y aplicando energía limpia para poder remplazar combustibles fósiles, para el calentamiento en procesos industriales que provocan las emisiones de efecto invernadero y obteniendo de un proceso de transformación de biomasa con Eficiencia Energética.

***Palabras clave:*** Cascarilla de Arroz, Pellets, Biomasa, Caracterización, Eficiencia Energética.

## ***Abstract.***

The present work contains the Characterization of the Rice Husk as Residual Biomass as Thermal fuel and these searches in the frequently affected residues of industrial processes, a biomass fuel to provide solution to environmental problems causing climate change and energy improvements and of costs. The amount obtained from this waste at the national level, can justify the need to promote the change of the energy matrix through the use of biofuels. For this reason, the objective of the project is to characterize the biomass to transform it into a thermal fuel. Said residues can be characterized based on established parameters and through pelletizing, humidity, calorific value, mechanical durability tests, among others. These results were compared with the ISO 17225-2 standard for solid biofuels, determining that the pellet obtained is suitable for application in viable energy inside boilers at an industrial level; generating lower energy costs and applying clean energy to be able to replace fossil fuels, for heating in industrial processes that cause greenhouse emissions and obtaining a biomass transformation process Energy Efficiency.

# ÍNDICE

DECLARACIÓN JURAMENTADA .....	3
DECLARATORIA .....	4
LOS PROFESORES INFORMANTES.....	5
DEDICATORIA .....	6
AGRADECIMIENTO .....	7
Resumen.....	9
Abstract.....	9
1.- INTRODUCCIÓN.....	14
1.1    Estado del Arte.....	15
1.2    Distribución de las Piladoras de Arroz. ....	20
1.3    Costos y Biodisponibilidad .....	26
1.4    Potencial Bioenergético de la Cascarilla de Arroz.....	27
1.5    Biomasa. ....	30
2. ANTECEDENTES Y SITUACIÓN PROBLEMÁTICA .....	33
2.1    PROBLEMA CIENTÍFICO.....	34
2.2    INTERROGANTES DE INVESTIGACIÓN .....	35
2.3    OBJETIVO GENERAL.....	35
2.4    OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	35
3. METODOLOGÍA.....	37
3.1    CASCARILLA DE ARROZ.....	39
4. ENSAYOS REALIZADOS EN EL LABORATORIO DEL IIGE: .....	44
4.1    Poder Calorífico .....	44
4.2    Humedad .....	45
4.3    Longitud.....	46
4.4    Diámetro .....	47
4.5    Estudio de los datos .....	47
5. RESULTADOS.....	48
5.1    Presentación y Análisis de Resultados.....	48
BIBLIOGRAFÍA. ....	65

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Estructura del Consumo por fuente (Balance Energético Nacional, 2017).....	14
FIGURA 2. Aprovechamiento del arroz y Cascarilla (MAGAP, 2002).....	16
FIGURA 3. Partes constituyentes del grano de arroz (blanquita.com.co/img/grano_de_arroz.jpg. 2008). .....	17
FIGURA 4. Producción de cascara de arroz seco y limpio. (MAGAP, 2017).....	18
FIGURA 5. Arroz en el Ecuador (Atlas Bioenergético, 2014).....	20
FIGURA 6. Distribución de Piladoras a nivel país (Geo Portal, 2016). .....	21
FIGURA 7. Distribución provincial de Piladoras de Guayas (MAGAP). Fuente: (Echeverría, 2010). ..	24
FIGURA 8. Distribución provincial de Piladoras de Los Ríos (MAGAP). Fuente: (Echeverría, 2010). .....	25
FIGURA 9. Típica eliminación de residuos en piladoras a nivel país (MEER, 2014). .....	26
FIGURA 10. Producción y rendimiento de Arroz en el Ecuador (INEC, 2016). .....	27
FIGURA 11. Estructura química de la Celulosa. Fuente: <a href="http://www.scientificpsychic.com/fitness/carbohidratos2.html">www.scientificpsychic.com/fitness/carbohidratos2.html</a> .....	31
FIGURA 12. Ejemplo de la estructura de la Hemicelulosa. Fuente: <a href="http://www.scientificpsychic.com/fitness/carbohidratos2.html">http://www.scientificpsychic.com/fitness/carbohidratos2.html</a> .....	31
FIGURA 13. Estructura química de la Lignina (Ysambertt, 2009). .....	32
FIGURA 14. Laboratorios del IIGE (Instituto del Investigación Geológico Energético). (Arteaga 2019). .....	37
FIGURA 15. Muestreo de la Cascarilla Arteaga 2019. ....	38
FIGURA 16. Técnica de Muestreo (Sakurai, 1981). .....	39
FIGURA 17. Muestreo de la Cascarilla Arteaga 2019. ....	40
FIGURA 18. Homogenización de la cascarilla de arroz para iniciar los análisis de laboratorio. (Arteaga, 2019). .....	41
FIGURA 19. Determinación de Humedad o Pérdida por Secado de muestras de cascarilla de arroz mediante balanza halógena (Arteaga, 2019). .....	42
FIGURA 20. Peletizadora del Laboratorio del IIGE. (Arteaga, 2019). .....	42
FIGURA 21. Especificaciones de Peletizadora. (Arteaga, 2019). .....	43
FIGURA 22. Proceso de Peletización a Cascarilla de Arroz (Arteaga, 2019). .....	43

FIGURA 23. Pellet de Cascarilla de Arroz (Arteaga, 2019).....	44
FIGURA 24. Diagrama de poder Calorífico (Ramón, 2018).....	45
FIGURA 25. Esquema de características físicas y químicas de los Biocombustibles Sólidos. Se evidencia el Poder Calorífico como parámetro principal a medir. (Camps y Marcos, 2008). .....	45
FIGURA 26. Equipo de perdida por secado halógeno. Mettler Toledo (Arteaga 2019) .....	46
FIGURA 27. Pellet y Cascarilla de Arroz (Arteaga, 2019). .....	47
FIGURA 28. Valoración del comportamiento del PCI versus la humedad de la cascarilla de Arroz (Arteaga, 2019). .....	48
FIGURA 29. Valoración de HUMEDAD de diferentes estudios. (Arteaga, 2019). .....	53
FIGURA 30. Valoración de CARBON VOLATIL de diferentes estudios. (Arteaga, 2019).....	54
FIGURA 31. Valoración de CENIZAS de diferentes estudios. (Arteaga, 2019).....	55
FIGURA 32. Valoración de CARBON FIJO de diferentes estudios. (Arteaga, 2019).....	56
FIGURA 33. Valoración de CARBONO de diferentes estudios. (Arteaga, 2019).....	57
FIGURA 34. Valoración de NITROGENO de diferentes estudios. (Arteaga, 2019). .....	57
FIGURA 35. Valoración de HIDROGENO de diferentes estudios. (Arteaga, 2019).....	58
FIGURA 36. Valoración de AZUFRE de diferentes estudios. (Arteaga, 2019).....	59
FIGURA 37. Valoración de PODER CALORÍFICO de diferentes estudios. (Arteaga, 2019). .....	59
FIGURA 38. Transformación de Cascarilla de Arroz en Pellet. (Arteaga, 2019). .....	61

## INDICE DE TABLAS

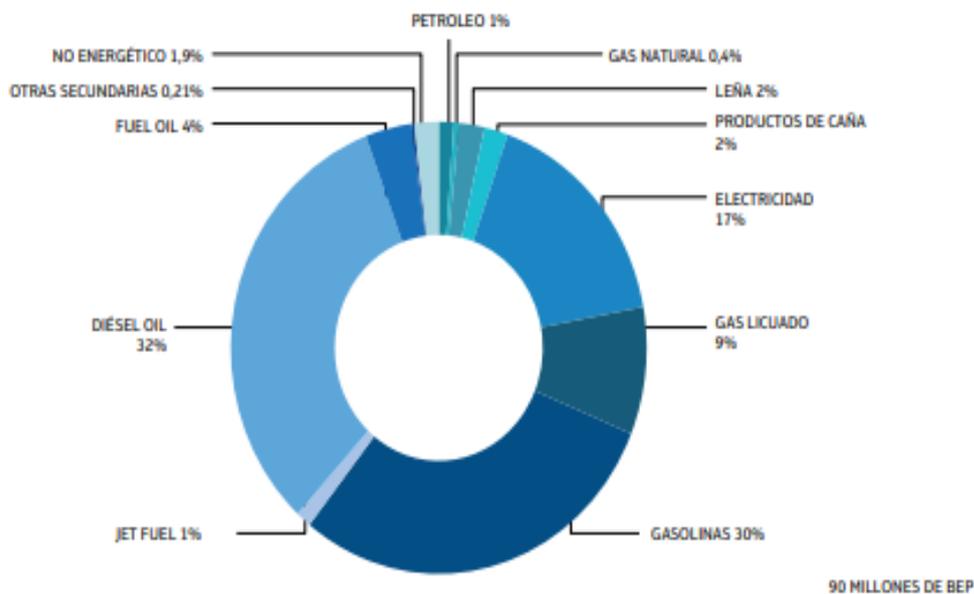
TABLA 1. Producción a nivel provincial de Arroz en el Ecuador, superficie y rendimiento (Velezquez, 2014). .....	16
TABLA 2. Asignación de hectáreas producción de arroz en el Ecuador. MAGAP 2017. ....	17
TABLA 3. Producción de Arroz de Cascara seco. MAGAP 2017. ....	18
TABLA 4. Piladoras de Arroz por Categoría y producción en qq/hora. (Echeverría & López 2010)...	21
TABLA 5. Poder Calorífico de diferentes tipos de Biomosas. Atlas Bioenergético 2014. ....	28
TABLA 6. Muestreo Aleatorio Simple (Otzen, 2017).....	40
TABLA 7. Parámetros de medición de biomasa arrocera antes de peletizarlas y después de Peletizada. (IIGE, 2019).....	48
TABLA 8. Parámetros de medición de Combustibles Sólidos (Pellet Madera). (ISO 17225-2, 2012).	49
TABLA 9. Parámetros de medición de Combustibles Sólidos (Pellet Residuo Agrícola). (ISO 17225-6, 2012). ....	54
TABLA 10. Resultados del Pellet Producido. (IIGE,2020).....	59

# “CARACTERIZACIÓN DE CASCARILLA DE ARROZ COMO BIOMASA RESIDUAL PARA COMBUSTIBLE TERMICO”

## 1.- INTRODUCCIÓN

Diversidad de trabajos referentes al cuidado del ambiente y mejoras energéticas a lo largo del tiempo se han venido desarrollando, en un contexto por el cual se toma importancia a la utilización de energías renovables y cómo aprovecharlas para bien de una población.

En los años 1970 con la crisis del petróleo dio impulso el interés en los biocombustibles, como alternativa a los combustibles fósiles, para su uso en el transporte (Bautista, 2013). En el Ecuador siendo un país petrolero por naturaleza ha dependido de los combustibles fósiles en el sector industrial, como lo expone la Cámara Nacional de Distribuidores de Derivados del Petróleo del Ecuador (CANDDPE) en 2016, lo cual indicó que en promedio se emplean 212,4 millones de galones de Diesel al año para las diferentes actividades representando el 32% del total de energía consumido para el país, así como también el uso de gasolinas 30% y el Fueloil o Bunker que representa el 4% de consumo en el país (Balance Energético, 2017).



*Figura 1.* Estructura del Consumo por fuente (Balance Energético Nacional, 2017).

Los sectores de consumo son en primera instancia transporte y por debajo el industrial, es por ello que hay ciertas propuestas de cambio a biomasa de diferentes matrices incluida la arroceras, que genere menor impacto ambiental y menores costos considerando tener un buen

desempeño energético. (Valdivieso, 2016).

### **1.1 Estado del Arte.**

Estudios sobre biomasa a partir de maderas han sido realizados por (Telmo et al., 2010) que determinó las características de un tipo de residuo de biomasa en Portugal. El autor realizó el análisis proximal, elemental y la determinación del poder calorífico, con fines a su uso eficiente en la industria mediante una forma de pellet a partir de la biomasa, para así tener alternativas de cambio de combustibles fósiles. Así como también (Viana et al., 2012) estudiaron la caracterización y la combustión de diferentes tipos de biomasa en el centro de Portugal y el noroeste de España, también (Robert et al., 2006) compararon los diferentes métodos para la determinación del contenido de la humedad en la biomasa. Los investigadores utilizaron 20 tipos de muestras de biomasa de diferentes partes de Europa, que fueron analizadas para determinar la humedad total en un horno de secado atmosférico, a tres temperaturas diferentes (80, 105 y 130 °C), lo cual determinaron una humedad ideal dependiendo de la biomasa para poder peletizarla.

Otros artículos exponen la eficiencia energética en procesar muestras de biomasa de diferentes matrices como los estudios publicados por Protásio et al. (2013) que expone acerca de su tecnología para caracterización de Biomasa en donde analizó las propiedades de diferentes matrices de biomasa en los cuales usó residuos herbáceos de los bosques y también utilizó los residuos de la agricultura en los cuales determinó que los residuos de bosques ofrecieron mejores propiedades bioenergéticas que los otros residuos provenientes de la agricultura lo que nos demuestra que los residuos más uniformes herbáceos de una determinada estructura lignocelulósica son de mayor impacto en energía producida y de menor impacto ambiental ya que se evitan toneladas de CO<sub>2</sub> generadas al ambiente.

Un estudio sobre la caracterización del eucalipto en seis zonas de Portugal fue realizado por (Jorge Miranda et al., 2012). Ellos recogieron diferentes muestras de esas seis localidades para hacer la evaluación física y química, a fin de utilizarlos como combustible. Así como también (Changdong Sheng y Azevedo, 2005) hicieron un estudio de recopilación de las propiedades y características de diferentes tipos de biomasa disponibles en la literatura. Ellos han estudiado la determinación del PCS (Poder Calorífico Superior) de diferentes tipos de biomasa, evaluaron sus correlaciones comparándolas con los datos obtenidos de la

literatura. (Al-Karany et al., 2013) evaluaron un estudio descriptivo y de análisis de los productos de combustión de la madera. Los autores vieron que la totalidad de las emisiones de CO provenientes de combustión de la madera a nivel doméstico son ciertamente bajos en comparación de los combustibles fósiles.

(Fernández y Costa 2010) han enfocado sus estudios en la evaluación del potencial de residuos de biomasa, tanto residuos forestales como residuos agrícolas para la producción de energía y su utilización en la región de Marvão en Portugal. Se ha concluido que la biomasa anual residual producida en la zona de Marvão es de 10600 toneladas, lo que corresponde a un potencial de producción de energía de 106000 GJ por año.

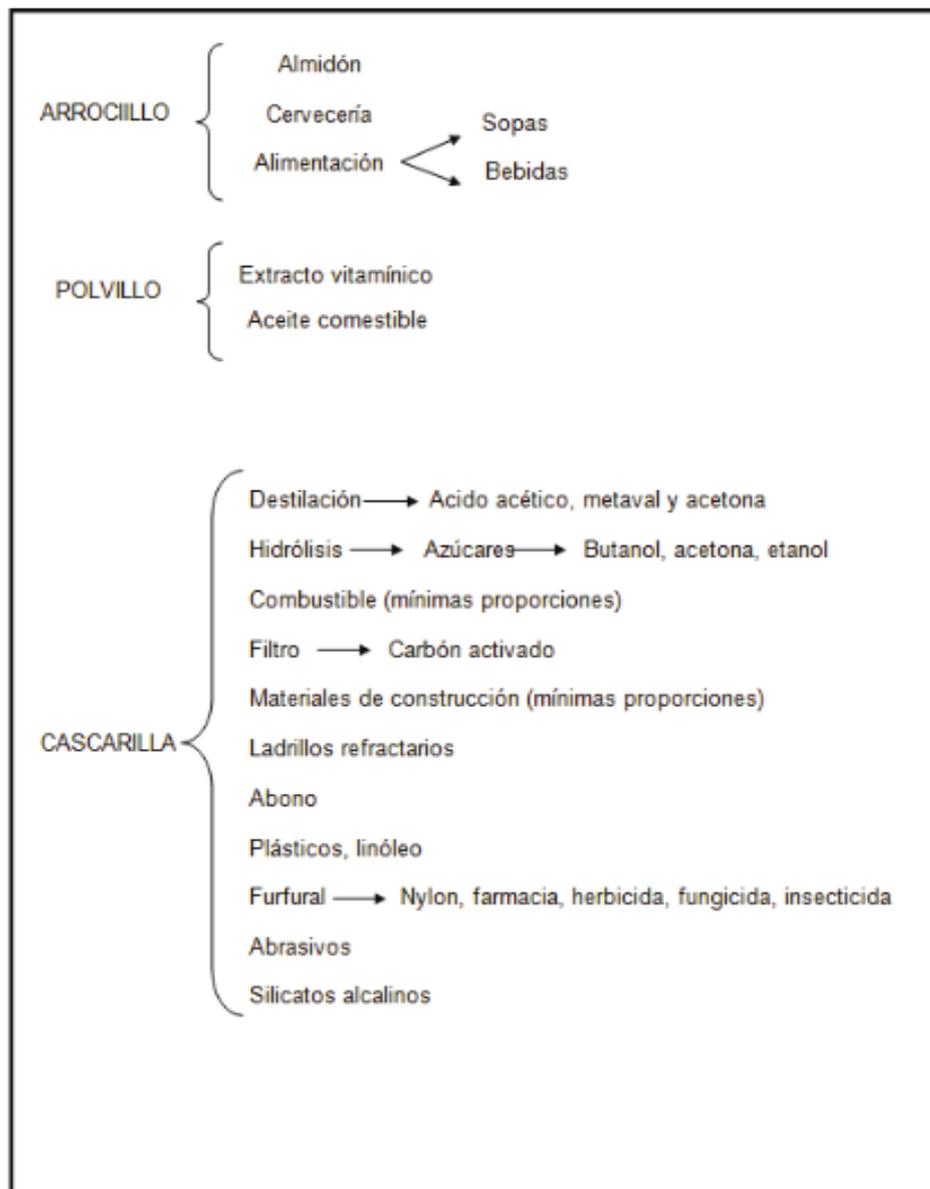
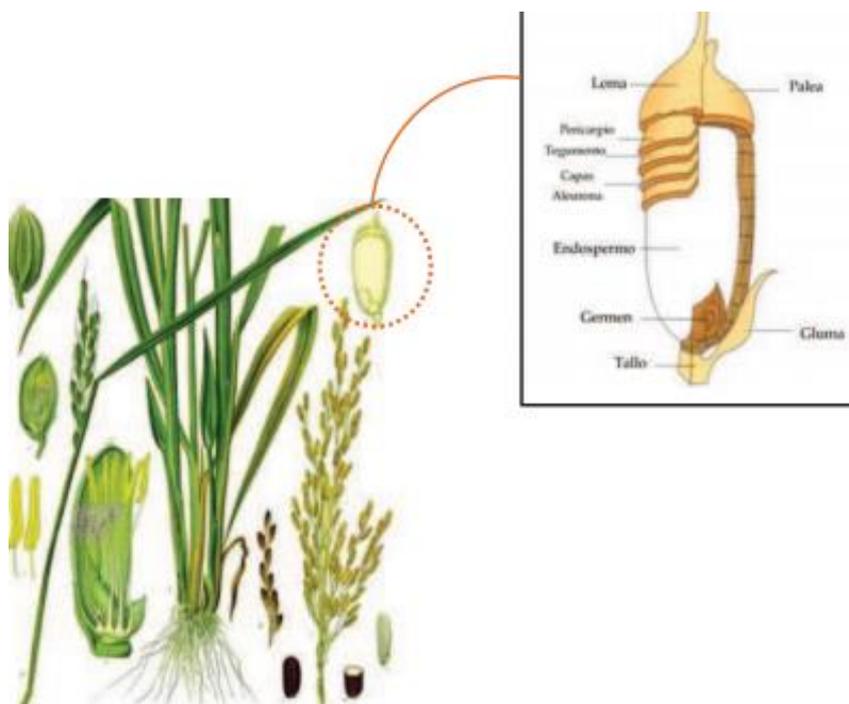


Figura 2. Aprovechamiento del arroz y Cascarilla (MAGAP, 2002).

El arroz es un cereal y un alimento indispensable para una dieta sana y equilibrada, en el Ecuador el arroz es el segundo alimento más consumido después del trigo, es el primer alimento en Asia y está presente en todas las cocinas del mundo, la producción mundial de arroz se considera sobrepasa los 491 millones de toneladas, la cascarilla representa el 25% aproximadamente 123 millones de toneladas, según información de la FAO.



*Figura 3.* Partes constituyentes del grano de arroz (blanquita.com.co/img/grano\_de\_arroz.jpg. 2008).

En el año 2018 el arroz alcanzó en 1'350.093 de toneladas métricas en una superficie sembrada en el país de 301.853 ha, concentrándose el 72,7% de la producción en la provincia del Guayas de acuerdo a lo que publica el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos.

De acuerdo a ciertos estudios publicados por Álava, et al 2015 la producción de arroz en cuanto al sembrío y cosecha se centra en las provincias del Guayas con un 60% y Los Ríos con un 34 % del 98,71% sembrado en lo que respecta la región Costa, cabe destacar que el rendimiento de los sembríos de arroz en las dos provincias es diferente, en la provincia de Guayas la producción se lo hace 2 o 3 ciclos al año por tener terrenos técnicamente equipados mientras que en Los Ríos es únicamente 1 ciclo al año por ausencia de tecnificación (INEC, 2018).

**Tabla 1.**

*Producción a nivel provincial de Arroz en el Ecuador, superficie y rendimiento. (Velázquez, 2014).*

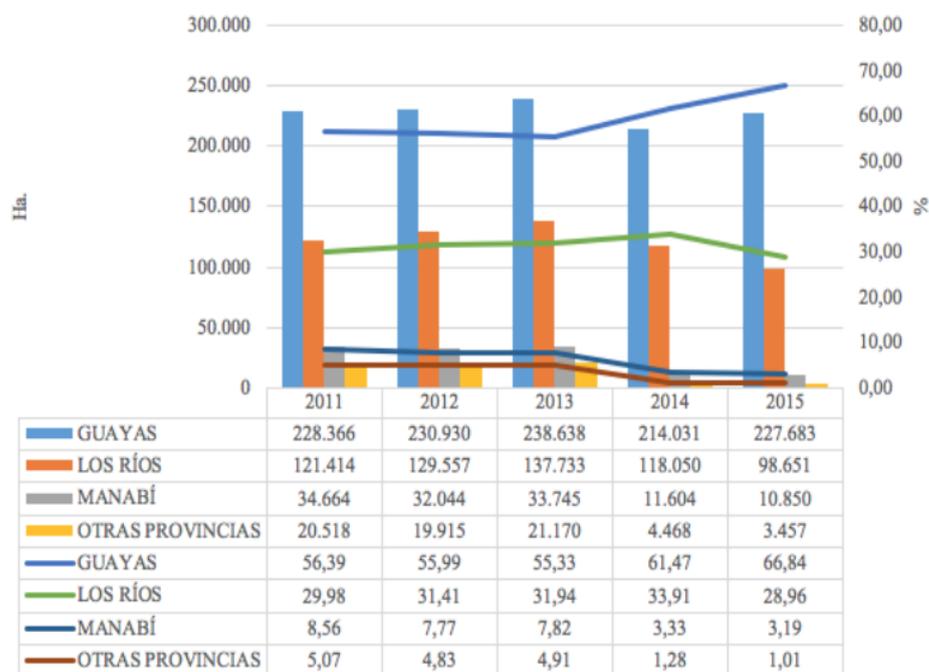
PROVINCIA	2014						
	Superficie sembrada		Superficie cosechada		Producción de arroz en cáscara, humedo y sucio (Tm.)		Rendimiento (Tm./Ha.)
	(Ha.)		(Ha.)				
<b>Total Nacional</b>	<b>397.958</b>		<b>376.182</b>		<b>1.448.392</b>		<b>3,85</b>
<b>Guayas</b>	251.010	63,07%	239.770	63,74%	968.168	66,84%	<b>4,04</b>
<b>Los Ríos</b>	118.090	29,67%	109.280	29,05%	410.909	28,37%	<b>3,76</b>
<b>Manabí</b>	15.580	3,91%	14.310	3,80%	45.624	3,15%	<b>3,19</b>
<b>Otros</b>	13.278	3,34%	12.822	3,41%	23.691	1,64%	<b>1,85</b>



*Figura 4.* Producción de cascara de arroz seco y limpio. (MAGAP, 2017)

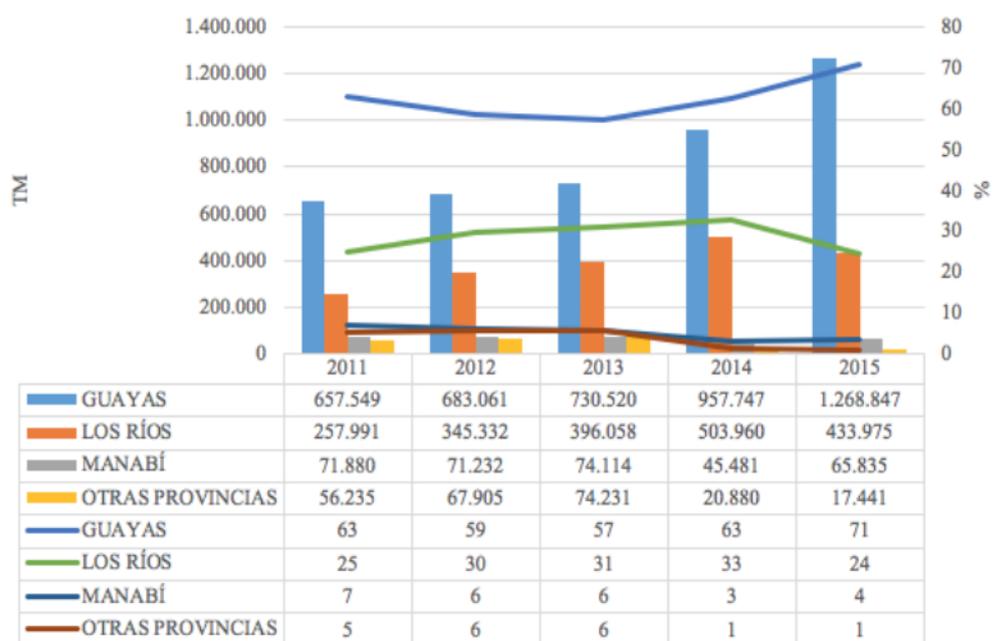
En cuanto al uso de suelo en el país como la superficie de labor agropecuaria según datos del MAGAP se determina que la provincia con mayor territorio agropecuario es Manabí, sin embargo las provincias que más destinan uso del suelo para cultivo de arroz son Guayas y Los Ríos como se puede observar en la siguiente tabla:

**Tabla 2.**  
Asignación de hectáreas producción de arroz en el Ecuador. MAGAP 2017.



Los valores de producción de arroz seco limpio en las provincias del Ecuador se ha venido incrementando, por lo tanto el porcentaje de residuos arroceros también se incrementa considerablemente, siendo las mismas provincias (Guayas y Los Ríos) las que lideran la producción como se puede observar en la siguiente tabla.

**Tabla 3.**  
Producción de Arroz de Cascara seco. MAGAP 2017.



El Atlas Bioenergético expone que en el Ecuador el arroz es el segundo alimento más

consumido en el mundo después del trigo y el primer alimento en Asia lo que indica una producción alta de Cascarilla de Arroz, sus cultivos pueden llegar hasta 1,8 metros de altura y se puede cultivar hasta los 2500 msnm, puede crecer en diferentes tipos de suelos desde suelo arenoso hasta arcilloso y crece favorablemente en suelos donde hay sedimentación en llanuras inundadas, las condiciones de pH son de 6,6 en donde el cultivo requiere de altas cantidades de fosforo. En la siguiente tabla se muestra la producción de arroz y la cantidad de residuo que éste genera:

Producción	1.565.535 t/año en cáscara
Superficie sembrada total	411.459 ha
Tipo de Cultivo	Transitorio
Provincias productoras importantes (Producen más del 70% de la producción total del país)	Guayas Los Ríos
Otras Provincias	Manabí Loja El Oro
Periodo de Cosecha	Abril - Mayo y Septiembre - Noviembre
Producto	Arroz
Variedades	INIAP 2, INIAP 6, INIAP 7, INIAP 415, INIAP 10, INIAP 11, INIAP 12, INIAP 13, INIAP 14, INIAP 15, INIAP 16, INIAP 17, INIAP 18
Residuo de campo	Panca (pajilla)
Residuo de procesamiento	Cáscara
Utilización	Industria Alimenticia
Destino	Consumo interno
Tecnologías de aplicación	Gasificación Combustión
PCI - Residuos de Campo	13,349 (MJ/kg)
Producción de Energía Eléctrica	744,38 kWh/t (base seca)

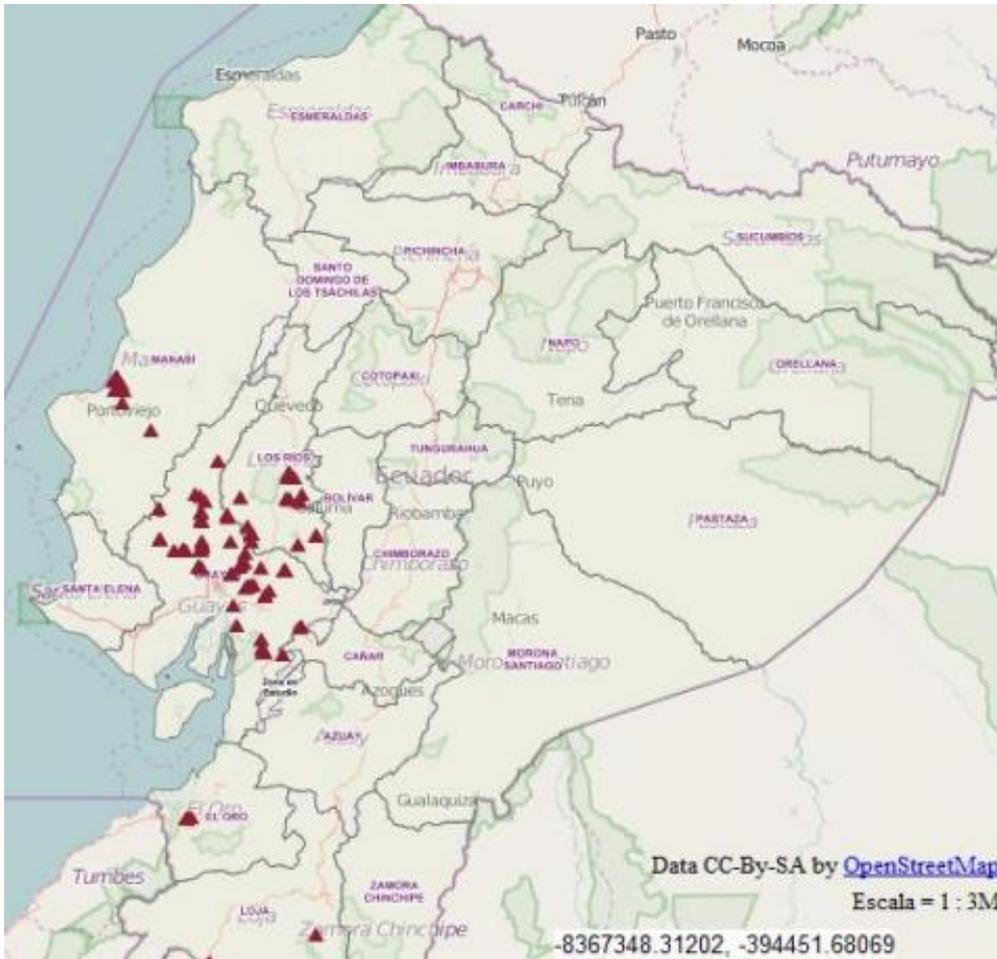


*Figura 5. Arroz en el Ecuador (Atlas Bioenergético, 2014).*

## 1.2 Distribución de las Piladoras de Arroz.

Respecto a la demanda de arroz en el Ecuador se ha venido optando por la tecnificación de Piladoras más que todo en las provincias del Guayas y en una menor parte en la provincia de los Ríos, además por las respuestas del gobierno del Ecuador ha existido

facilidades en cuanto a créditos, es por ello que se han venido desarrollando negocios de Piladoras de arroz en estas 2 provincias así como también en Manabí en menor proporción, En el estudio de Velázquez en el año 2016 se puede observar una distribución de Piladoras en el Ecuador.



*Figura 6.* Distribución de Piladoras a nivel país (Geo Portal, 2016).

En el Ecuador existen 933 piladoras de arroz, las cuales son:

375 Piladoras de Primera categoría capacidad de producción más de 20 quintales por hora.

558 piladoras de Segunda categoría capacidad de producción menos de 20 quintales por hora.

Además hay Piladoras que tienen la capacidad de producir en forma continua al año ya que poseen sus procesos de secado artificial de manera tecnificada.

Lo que se dictamina en la distribución a nivel país es que a simple vista es que más del 90% de la producción de arroz del país se encuentran en estas 2 provincias antes mencionadas. Según estadísticas del MAGAP únicamente en la provincia del Guayas existen

como 502 Piladoras de las cuales 300 son de Primera Categoría y 201 son de Segunda Categoría.

En el estudio de cascarilla de arroz y su aplicabilidad propuesto por Echeverría & López en 2010 realizaron un trabajo de la distribución de piladoras en las provincias de los Ríos y Guayas resultando un total de 1066 piladoras en todo el país y de igual manera demuestran una distribución de piladoras en las provincias de Guayas y Los Ríos.

**Tabla 4.**

Piladoras de Arroz por Categoría y producción en qq/hora. (Echeverría & López 2010).

PROVINCIA/CANTÓN	PILADORAS POR CATEGORIAS			PROCESAMIENTO QQ/HORA
	1ra. CAT	2ra. CAT	TOTAL	
<b>GUAYAS</b>	<b>208</b>	<b>292</b>	<b>500</b>	<b>13.321</b>
Alfredo Baquerizo Moreno	8	14	22	512
Balzar	3	12	15	415
Colimes	4	18	22	507
Daule	25	27	52	2.000
El Empalme	2	14	16	413
El triunfo	8	2	10	189
Eloy Alfaro	10	4	14	341
Guayaquil	9	6	15	538
Lomas de Sargentillo	15	15	30	726
Milagro	12	6	13	504
Naranjal	5	8	13	217
Naranjito	-	4	4	80
Nobol	9	7	16	310
Palestina	5	15	20	538
Pedro Carbo	-	7	7	77
Samborondón	30	33	63	1.258
Santa Lucía	12	29	41	1.304
Simón Bolívar	11	14	25	357
Salitre	18	38	56	1.844
Yaguachi	22	19	41	1.191
<b>LOS RIOS</b>	<b>103</b>	<b>458</b>	<b>561</b>	<b>9.860</b>
Buena Fe	5	5	10	186
Baba	3	50	53	670
Babahoyo	32	108	140	2.633
Mocache	2	19	21	366
Montalvo	8	27	35	651
Palenque	1	37	38	474
Pueblviejo	13	19	32	605
Quevedo	11	19	30	903
Urdaneta	12	17	29	551
Ventanas	8	70	78	1.223
Vinces	8	87	95	1.598
<b>CAÑAR</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>76</b>
La Troncal	1	4	5	76
<b>TOTAL NACIONAL</b>	<b>312</b>	<b>754</b>	<b>1.066</b>	<b>23.257</b>

En la Tabla 3. Se observa de manera contundente la producción de arroz mediante piladoras de primera y segunda categoría, lo que se puede determinar que en la provincia del Guayas hay más piladoras de primera categoría que en Los Ríos lo que da el indicio de mayor producción en Guayas incluso sabiendo que hay más piladoras en Los Ríos, pero se concentran más en piladoras de segunda categoría. Además se determina que a medida que han pasado los años hay disminución de piladoras como lo expone Velázquez en 2016 donde argumenta la reducción principalmente a las exigencias crecientes y a la falta de competitividad de pequeñas piladoras, sin embargo en los últimos años se han fortalecido las piladoras de primera categoría.

Las piladoras de primera y segunda categoría se ven distribuidas en las figuras 6 y 7 sabiendo que son las provincias de mayor producción, es por ello que el presente estudio fue enfocado en realizar un muestreo al azar para poder cubrir piladoras de las provincias del Guayas y Los Ríos, con la finalidad de tener un muestreo representativo y poder aplicar la pelletización de residuos de cascarilla como biocombustible sólido para generación de energía.

El presente estudio se enfocó en el muestreo en las zonas indicadas de las provincias de Guayas y Los Ríos en la figuras 6 y 7 respectivamente, se realizó un muestreo al azar en 5 Piladoras diferentes de los cantones Daule, Milagro, Samborondón pertenecientes a Guayas y Baba perteneciente a Los Ríos.

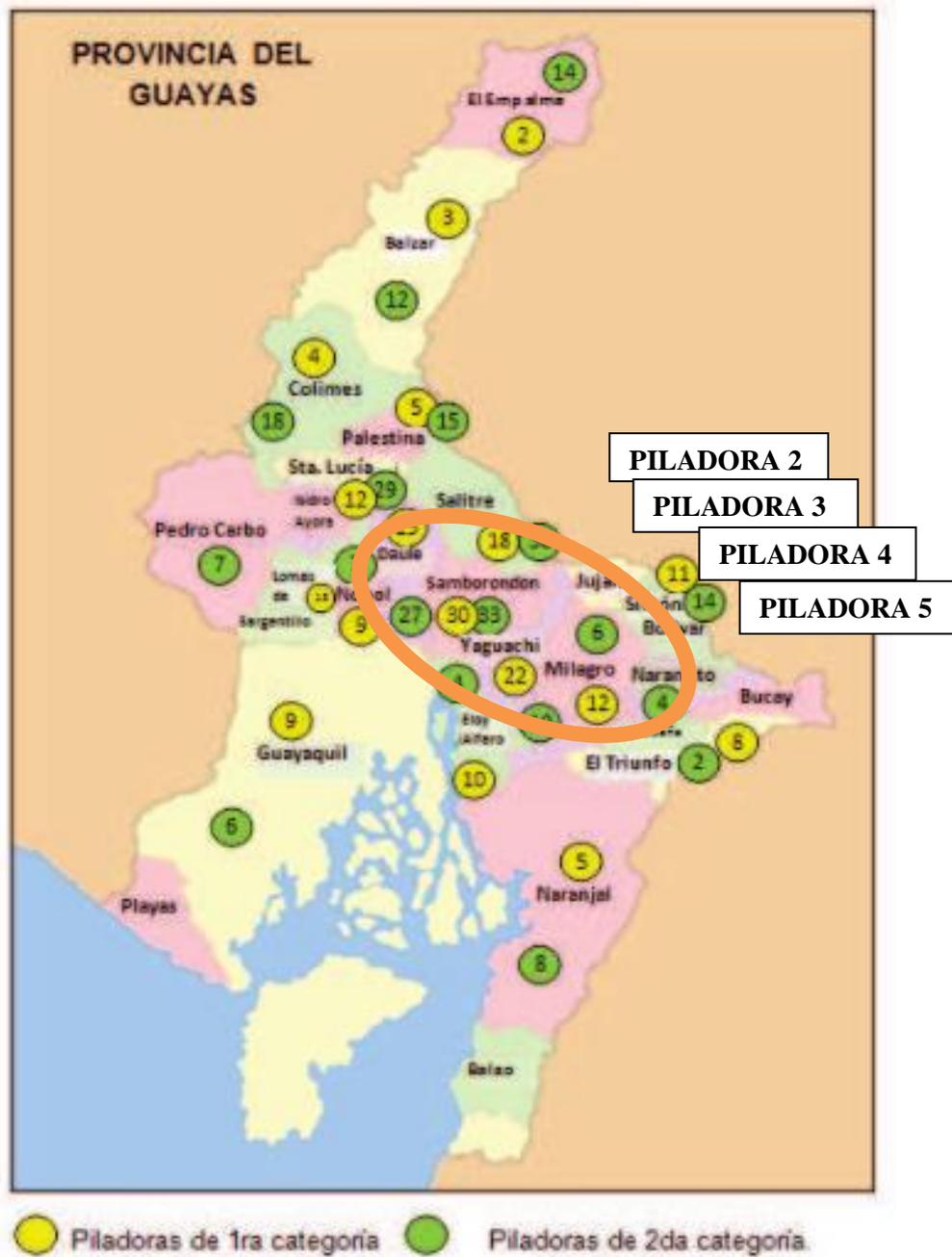
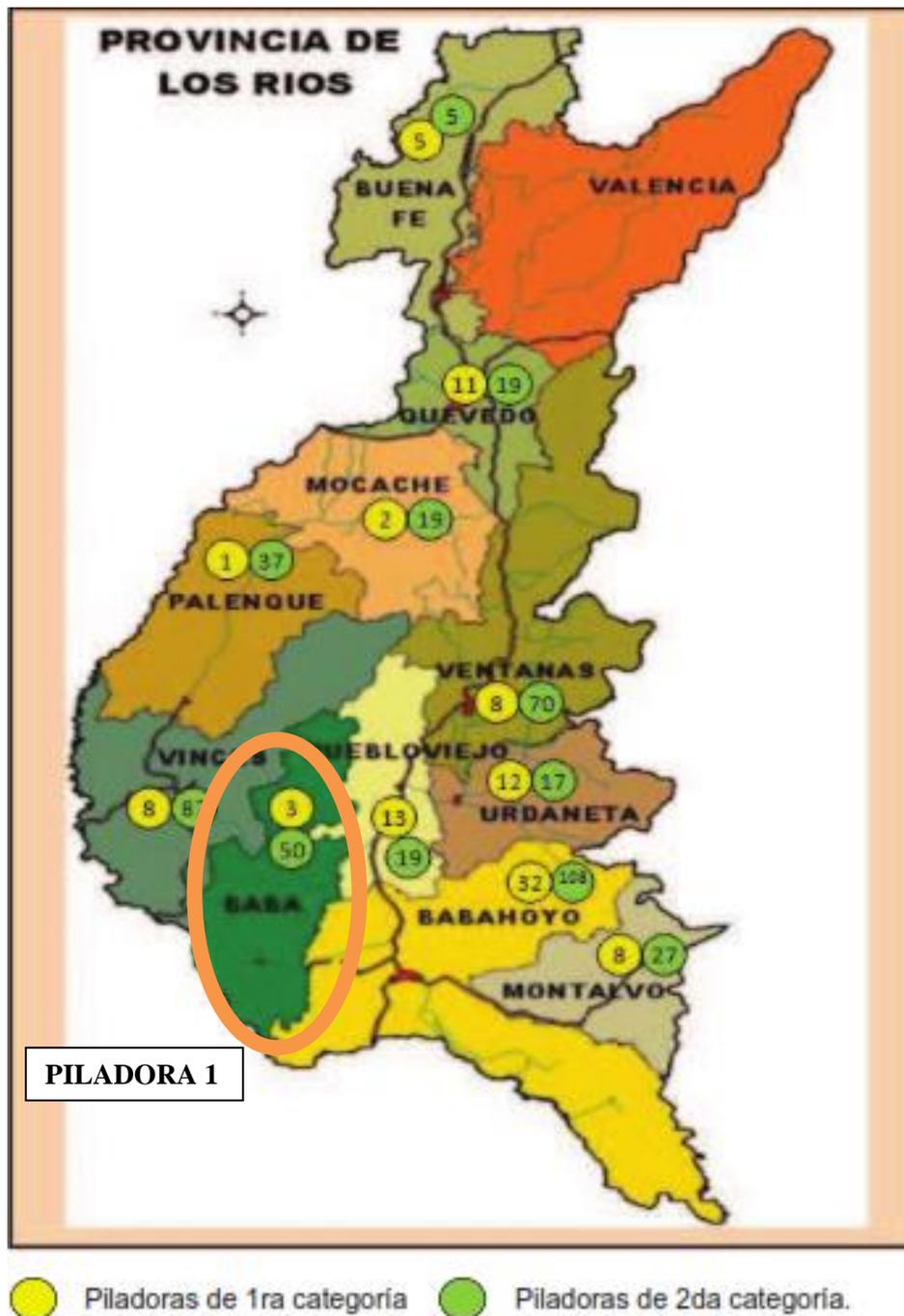


Figura 7. Distribución provincial de Piladoras de Guayas (MAGAP). Fuente: (Echeverría, 2010).



*Figura 8.* Distribución provincial de Piladoras de Los Ríos (MAGAP). Fuente: (Echeverría, 2010).

Mientras que haya mayor producción de cascarilla de arroz se generará problemas ambientales ya que hasta los días de hoy los residuos se los queman sin ninguna clase de aprovechamiento de cualquier índole lo que indica que existe un potencial energético de un buen aprovechamiento de estos residuos con miras a obtener un biocombustible de calidad a niveles industriales.



*Figura 9.* Típica eliminación de residuos en piladoras a nivel país (MEER, 2014).

Como se puede observar en la figura 8 actualmente la eliminación de cascarilla es en mayor proporción quemándola o desechándola en los diferentes terrenos, lo cual en términos ambientales genera mucho daño, es por ello que se estudian tecnología de aprovechamiento para obtener una mayor y mejor sostenibilidad de esta biomasa.

En definitiva se observó en la tabla 4 la cantidad de piladoras de primera generación y la producción de qq/hora, así como también en la figura 4 se determina según el Atlas Bioenergético la producción en toneladas de la cascarilla de arroz brindando los argumentos necesarios del aprovechamiento de este residuo como biocombustible térmico,

En términos ambientales también es viable al aprovechamiento energético ya que con ello se puede evitar la quema descontrolada de cascarilla o la eliminación del residuo a ríos u orillas de carreteros como comúnmente se hace, que conlleva a problemas ambientales (MEER, 2014).

### **1.3 Costos y Biodisponibilidad**

En cuanto a los costos el precio de los sacos de cascarilla de arroz en el Ecuador van desde \$ 15 dólares aproximadamente la Tonelada de residuo (Echeverría, 2010). De eso da inicio a que se tiene una biomasa que además de estar disponible es viable ya que por ser liviana, una tonelada representa mucho volumen para poder peletizarla.

Según preguntas realizadas a todos las piladoras a nivel provincial en Los Ríos y Guayas expusieron que la “*Camionada de Cascarilla de Arroz*” que contiene aproximadamente de 6 a 7 Toneladas esta por los \$100 dólares Americanos.

La cascarilla presenta características que dificultan su manipulación y uso, entre ellos se destacan su bajo peso específico y su alta abrasividad. Los métodos practicados en la actualidad para la disposición final de este material son diversos. Dentro de la disposición final de la cascarilla de arroz lo que generalmente hacen es la combustión incontrolada y esto conlleva problemas ambientales de falta de aprovechamiento de la biomasa y la disposición final, además del problema de emisión de gases de efecto invernadero como el monóxido de carbono altamente contaminante.

En contraste si no se combustiona; el residuo demora de biodegradarse hasta por 5 años (Mayer, 2009), es por ello lo que genera importantes cantidades de metano (CH<sub>4</sub>) si el proceso es anaeróbico. El metano es uno de los grandes causantes del efecto invernadero.

La necesidad de limitar la generación de CH<sub>4</sub> durante la biodegradación y la necesidad de controlar las emisiones de CO<sub>2</sub> y CO producidos durante la combustión, la urgencia de corregir los métodos de disposición final, así como la necesidad de mejorar la estética de algunas zonas rurales donde la cascarilla es abandonada en dichas zonas, son motores que impulsan el aprovechamiento de la biomasa arrocerera en el Ecuador.

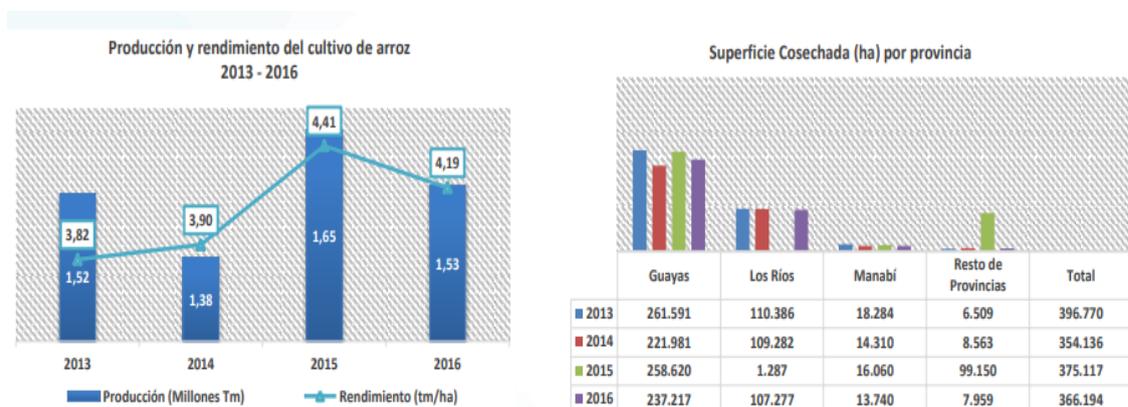


Figura 10. Producción y rendimiento de Arroz en el Ecuador (INEC, 2016).

En la figura se presenta la producción en los últimos años de arroz y se ve claramente un alza en producción en especial el año 2015, por ende la biomasa disponible a medida del pasar de los años aumenta.

#### 1.4 Potencial Bioenergético de la Cascarilla de Arroz.

Discutiendo la Cascarilla de arroz algunos autores presentan artículos al respecto

como el estudio de Valverde et al (2007) donde expone el análisis fisicoquímico de muestras de cascarilla de arroz como potencial energético para generación de energías limpias a partir de esta biomasa arroceras, los autores toman como matriz de diferentes lugares del mundo, las muestras para analizarlas y concluyen que independientemente sea el lugar de procedencia de las muestras los análisis arrojaron resultados muy similares al potencial energético, que estos tuvieren para producir energía eléctrica, otro dato importante es que dichos residuos arrojan el 67% del potencial energético o poder calórico en lo referente a la combustión.

(Cadena & Bula, 2002) en su artículo de estudio acerca de la conductividad térmica de la Cascarilla de Arroz; básicamente recomiendan tener en cuenta este tipo de residuos para el aislamiento térmico, el cual es apto para algunas aplicaciones donde aprovechan la biomasa y su poca capacidad de conducir calor para que pueda servir de aislante térmico, los autores compararon la capacidad que posee la cascarilla de arroz de tener dicha propiedad como aislante térmico.

Gaona (2014) en su tesis Mezcla de cascarilla de nuez de palmiste y raquis como combustible alternativo para generación eléctrica expone que los residuos de arroz ayudan a un potencial energético, pero es necesaria una caracterización tanto física, química y energética. En cuanto a la obtención energética se determina en el artículo propuesto el año del 2013 por Elmay, et al. Como precursor de energías haciendo una caracterización de material donde los autores determinaron en primera instancia la división de los residuos de arroz duro lo que indica que hay que hacer otra caracterización adicional que es la transformación en gránulos para poder peletizar, ellos determinaron características fisicoquímicas en general y los respectivos análisis calorífico, posteriormente estos residuos se quemaron en una caldera de pallets lo que resulto que aproximadamente el 80% de eficacia de combustión lo que concluyen que es una alternativa prometedora para la utilización como energía renovable para combustión.

Por su parte Gómez et al. En 2004 aborda las metodologías de extracción de biomásas para producción a nivel industrial y hace un análisis de los procesos tanto bioquímicos, termoquímicos y fisicoquímicos y a su vez se engloban en subprocesos que son la pirólisis, gasificación, la licuefacción y la combustión.

Quintero en 2018 en su tesis argumentó la evaluación energética de diferentes tipos de biomasa como el Raquis de Palma el cual es parte del desempeño energético para combustión en donde realizó una serie de análisis incluyendo el Poder Calorífico el cual dio un estimado de 16 a 19 MJ/Kg, lo cual se está subestimando a este tipo de residuo el cual es capaz de proveer la suficiente energía para cualquier proceso con un mínimo impacto ambiental.

En Ecuador las cifras energéticas y de poder calorífico de la Cascarilla de Arroz (Tabla 4), exponen un PC de 14,951 lo cual, si bien es cierto está por debajo del estudio publicado por Quintero, sin embargo, es un valor lo suficientemente alto para la combustión de biomasa. (Atlas Bioenergético, 2014).

**Tabla 5.**  
Poder Calorífico de diferentes tipos de Biomosas. Atlas Bioenergético 2014.

TIPO DE BIOMASA		PODER CALORÍFICO INFERIOR (MJ/kg)
AGRÍCOLA	Palma Africana residuo de campo	12,471
	Palma Africana residuo de proceso	16,404
	Banano residuos de campo	12,625
	Banano residuos de empaque	4,180
	Cacao residuo de campo	6,464
	Cacao residuo beneficio	15,526
	Cacao residuo de proceso	12,000
	Arroz residuo de campo	13,349
	Cáscara de Arroz	14,951
	Caña de Azúcar residuo de campo	19,849
	Maíz Duro residuo de campo	12,553
	Plátano residuo de campo	12,625
	Plátano residuos de empaque	4,180
	Café residuo de campo	6,464
	Café residuo de beneficio	13,460
	Café residuo de proceso	12,000
	Palmito residuo de campo	12,603
	Palmito residuo de proceso	15,630
	Piña residuo de campo	9,036
	Piña residuo de proceso	11,081
FORESTAL	Residuo de monte implantado	19,259

## **1.5 Biomasa.**

Según la Unión Europea (UE) define la biomasa como:

*«La fracción biodegradable de productos, desechos y residuos de la agricultura (incluyendo sustancias vegetales y animales), silvicultura e industrias relacionadas, así como la fracción biodegradable de los residuos municipales e industriales»*

La biomasa siendo una energía renovable es capaz de obtener combustibles de todo tipo con alta eficiencia energética con miras a sustituir los combustibles fósiles tanto en el transporte terrestre, aéreo y marítimo así como también en la industria (Chum et al., 2011).

### **1.3.- Caracterización de Biomasa.**

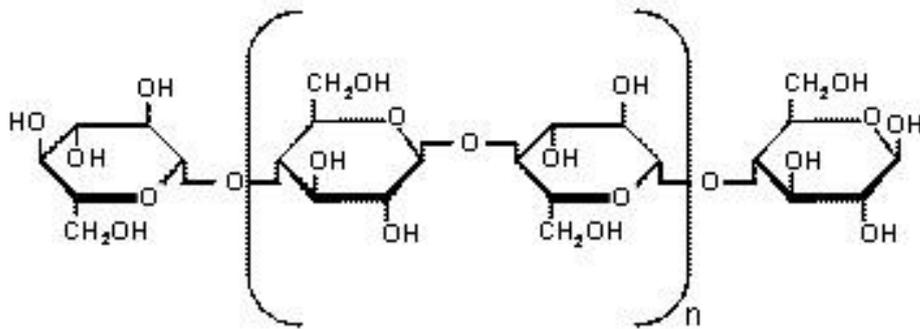
Dentro de la caracterización se evalúan los siguientes parámetros (1). CARACTERISTICAS FISICAS: En lo que respecta a Humedad, Densidad real, Densidad Aparente. (2). ANALISIS ELEMENTAL: Reporta el porcentaje en peso de oxígeno, carbono, hidrogeno, azufre y nitrógeno. (3). ANALISIS PRÓXIMO: Evalúa el contenido de carbono fijo, material volátil y cenizas. (4). EL ANALISIS ESTRUCTURAL: En lo que respecta al análisis de lignina, celulosa y Hemicelulosa, además se evaluó los parámetros del Pellet final el cual se determinó según la norma ISO 17225-2 la cual expone los parámetros de medición de la biomasa pelletizada de cascarilla de arroz, dentro de los parámetros están Humedad, Dimensiones, Durabilidad Mecánica y Poder Calorífico.

La celulosa es sin duda, el material orgánico más abundante en la tierra, es renovable por naturaleza y de la cual es materia prima para muchos productos. Como compuesto primario de la naturaleza, y en muchos casos considerando que es un desperdicio, su utilización presenta ventajas tanto económicas como ecológicas (Galindo & Morales, 1987).

La celulosa es parte de la pared celular por la unión de moléculas de  $\beta$ -glucosa mediante en la ces  $\beta$ -1,4-O-glucosídicos, es una larga cadena polimérica de peso molecular variable, con fórmula empírica ( $C_6H_{10}O_5$ ) (Purwadi, 2006).

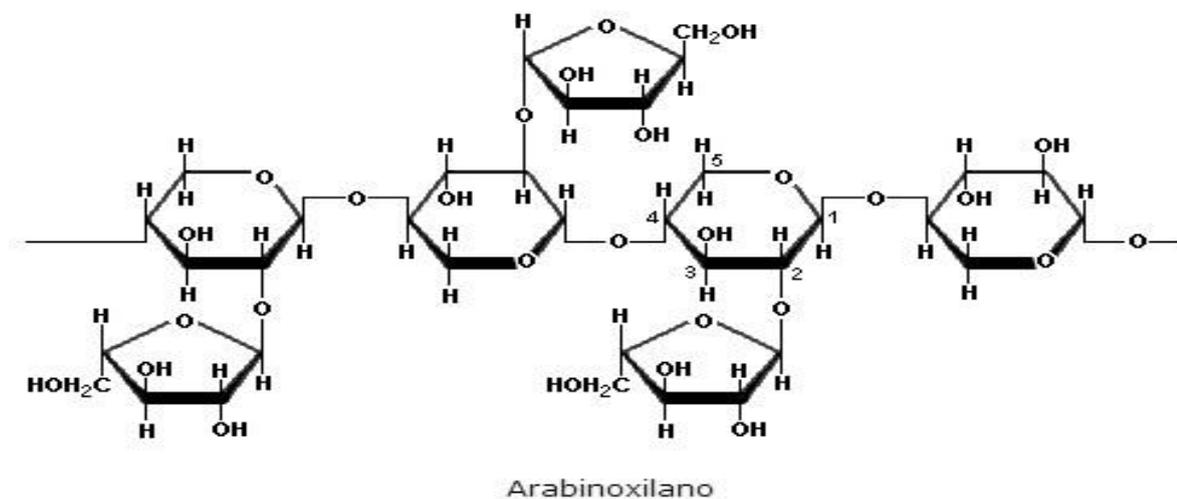
La celulosa tiene una estructura lineal y fibrosa, en la existen muchos puentes de hidrógeno

entre los grupos hidroxilo de distintas cadenas asociadas de glucosa (Levín, 1998).



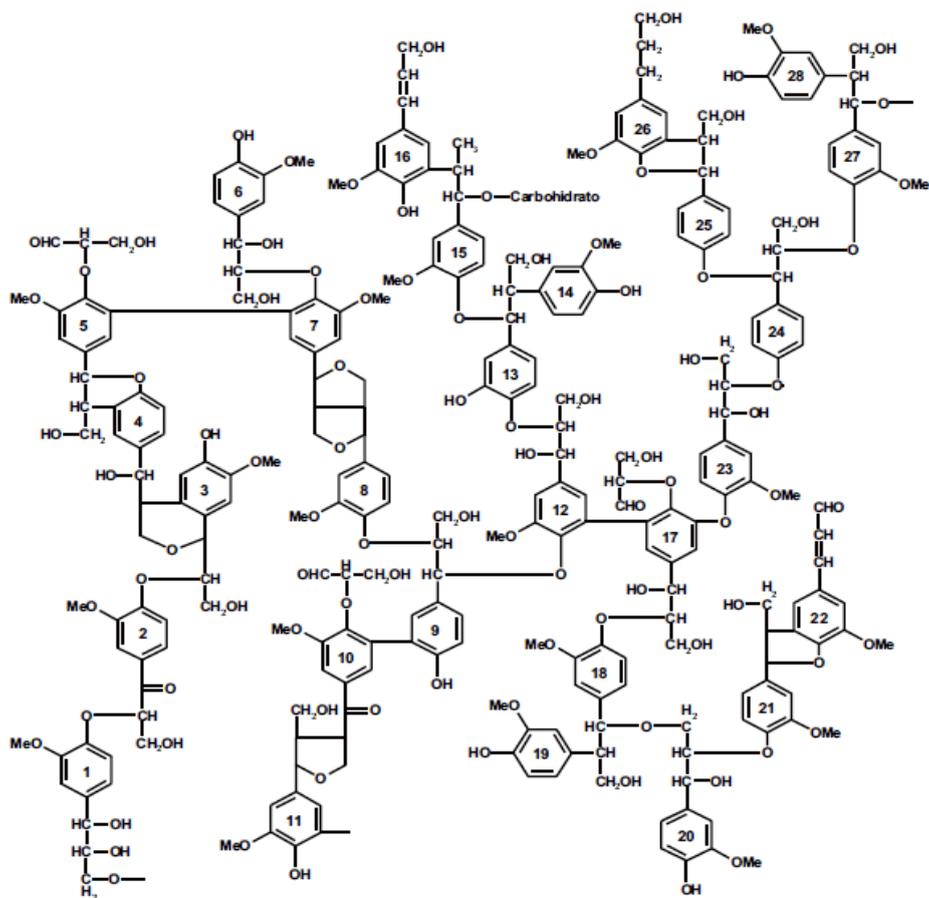
*Figura 11.* Estructura química de la Celulosa. Fuente: [www.scientificpsychic.com/fitness/carbohidratos2.html](http://www.scientificpsychic.com/fitness/carbohidratos2.html)

Las hemicelulosas son heteropolisacáridos (polisacárido compuesto por más de un tipo de azúcar) unido por enlaces  $\beta$  (1-4) (fundamentalmente xilosa, arabinosa, galactosa, manosa, glucosa y ácido glucurónico), que forman una cadena lineal ramificada. Entre estos monosacáridos destacan más: la glucosa, xilosa, galactosa y fructosa, dentro de la estructura podemos encontrar aldohexosas y aldopentosas (Carballo & Arteaga 2009).



*Figura 12.* Ejemplo de la estructura de la Hemicelulosa. Fuente: <http://www.scientificpsychic.com/fitness/carbohidratos2.html>

la masa lignocelulósica es la fuente de energía renovable más abundante de la tierra, está formada por tres componentes principales que son dichas estructuras: Celulosa, hemicelulosa y lignina, y su contenido es bajo en cenizas, proteínas, grasas y ceras (Ponce & Pérez, 2002). El contenido de ligninas en los materiales lignocelulósicos naturales es da 30% aproximadamente incluyendo la cascarilla de arroz (Galindo & Morales, 1987).



*Figura 13.* Estructura química de la Lignina (Ysambertt, 2009).

Aproximadamente el 70% de la biomasa vegetal se compone por azúcares de 5 y 6 átomos de carbono; estos azúcares se encuentran en la biomasa lignocelulósica y comprenden principalmente celulosa (un homo polímero conteniendo largas cadenas de glucosa); en menos proporción se encuentra la hemicelulosa (un heteropolímero de 5 y 6 átomos de carbono) y todavía en menor grado se encuentra la lignina (un polímero aromático complejo) (Rubín, 2008). Las principales fuentes lignocelulósicas están conformadas por restos de madera, flores, plantaciones, residuos primarios de bosques, residuos de procesamiento secundarios, residuos agrícolas (trigo, arroz, cebada), bagazo (caña de azúcar), residuos municipales, residuos de papel, entre otros. La lignocelulosa está presente como un bloque dentro de la estructura de la pared celular de la planta. Los principales constituyentes de la lignocelulosa son la celulosa, la hemicelulosa y la lignina (Lind, 1996).

Las variables que juegan un papel importante en el aprovechamiento de la biomasa según el Atlas Bioenergético. La biomasa como combustible térmico eficiente van a depender

de contenidos de humedad, cenizas y materia volátil pero además dependen de la relación C/H (Carbono-Hidrogeno) y la relación O/C (Oxígeno-Carbono), estas a su vez son evidentes en el poder calorífico de la biomasa. Dentro de los procesos termoquímicos que se aplican están la Combustión, la Gasificación y la Pirolisis, en este trabajo se caracterizaron las diferentes muestras de Cascarrilla de Arroz, para posteriormente peletizarlas y así revisar el pellet para que en próximos estudios tomen éste por referencia para controlar el comportamiento del procesos de combustión con la finalidad de saber el comportamiento de la Cascarrilla de Arroz.

Cerdá en 2012 en su artículo: Energía obtenida a partir de biomasa expone las tres tecnologías de aprovechamiento de biomasa, la pirolisis se trata de un proceso de descomposición de biomasa a través de una oxidación incompleta en ausencia de oxígeno que genera compuestos sólidos (carbón vegetal), líquidos y gaseosos aptos como materiales para distintas industrias o como combustibles. Las cantidades relativas de los tres productos que se obtienen dependen de la temperatura a la que se opere y del tiempo de residencia utilizado en el proceso. La combustión por su parte se trata de un proceso en el que el carbono y el hidrógeno contenidos en el combustible reaccionan con el exceso de oxígeno para formar CO<sub>2</sub>, agua y liberar calor. Los procesos de combustión son bien conocidos y existe una amplia variedad de tecnologías comerciales adaptadas a las características de la biomasa y a la escala de sus aplicaciones. La combustión consiste en la combustión de biomasa junto con carbón en las plantas de generación de energía eléctrica de carbón. La Gasificación de biomasa. Ocurre cuando se produce una oxidación parcial de biomasa a través del calor. Ello produce un combustible.

## **2. ANTECEDENTES Y SITUACIÓN PROBLEMÁTICA**

Sin combustibles es impensable la realización del comercio, la industria, el turismo, la agricultura y la ganadería en los tiempos actuales.

En general los combustibles fósiles tienen valores del orden de 10.000 kcal/kg, mientras que las biomásas, los combustibles fósiles se quedan por debajo de 5.000 kcal/kg. (Torres, 2008).

Es importante distinguir entre combustibles de origen fósil y los procedentes de la biomasa. Los primeros, el carbón mineral, el petróleo y el gas natural. Las biomásas tienen muchas variantes: desde las maderas de todo tipo hasta los biocarburantes, el biogás.

En Ecuador la producción de Cascarilla de arroz es representativa, Según el Atlas Bioenergético, los Residuos Agrícolas de Campo (RAC) se dividen prácticamente en los residuos provenientes agrícolas de cuercos, raquis en las plantaciones de palma, los frutos, hojas y tallos de descarte de las cosechas y las excretas de cerdos, aves de corral y reses.

Cierto porcentaje de dichos RAC se los debe dejar en el suelo ya que es una fuente de nutrientes para evitar los diferentes procesos de erosión que podrían causar, existe un gran porcentaje de dichos residuos que se los puede incluir en el proceso de conversión de biomasa en combustibles amigables con el ambiente en concordancia con la base tecnológica que se posee en la actualidad, es por ello de gran importancia caracterizar dichos residuos para poder potencializarlos como alternativa industrial en la producción de bioenergías no contaminantes.

Los combustibles, tanto de origen fósil como natural, son muy importantes para el bienestar de los seres humanos pero su uso implica procesos complicados y con grandes impactos ambientales que están llevando a una situación de riesgo excesivo.

Eso nos debe hacer recapacitar y buscar –rápidamente- soluciones alternativas, que no pueden ser otras que prescindir de los combustibles fósiles y recurrir a fuentes renovables de energía, incluidos los combustibles biomásicos que tienen un impacto neto cero e incluso negativo si cuidamos los detalles de su uso. Caso puntual la cascarilla del arroz.

## **2.1 PROBLEMA CIENTÍFICO**

La demanda de combustibles fósiles es alta, para que la humanidad pueda cumplir sus actividades primarias en cuanto al transporte, las empresas puedan cumplir sus actividades productivas de forma eficiente y las industrias puedan producir en forma efectiva.

Los combustibles de origen fósil están llevando a una situación de riesgo excesivo, que nos obliga a recurrir a fuentes renovables de energía, incluidos los combustibles biomásicos, que tienen un impacto neto: cero e incluso negativo, si cuidamos los detalles de

su uso.

La cascarilla es un residuo agrícola de campo, potencial energético para generación de energías limpias a partir de esta biomasa arroceras.

## **2.2 INTERROGANTES DE INVESTIGACIÓN**

¿Cuáles son las características de la cascarilla y del Pellet del residuo de arroz, de las piladoras muestreadas de las provincias de Los Ríos y Guayas, donde se produce la mayor cantidad de arroz del Ecuador?

¿La Caracterización de la biomasa y del Pellet es importante para el proceso de combustión y obtener la mayor eficiencia energética utilizando este recurso teniendo un menor impacto ambiental a la quema descontrolada?

¿Cuáles son las variables que influyen en la paletización de la cascarilla de arroz para constituirse en biomasa residual para combustible térmico”?

## **2.3 OBJETIVO GENERAL**

Analizar las características físicas, elementales, estructurales de la cascarilla de arroz como biomasa residual y el pellet constituido para combustible térmico.

## **2.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Transformar la cascarilla del arroz en pellets, que sirvan para una combustión térmica y aplicar en un futuro como otra opción y suprimir el uso de combustibles fósiles.

Identificar el comportamiento de la biomasa residual el momento de ser peletizada y analizar la los resultados del proceso en comparación con otros estudios de caracterización de la biomasa.

Estudiar las Características del Pellet de Cascarilla de arroz con la finalidad de tener un Pellet capaz de combustionar eficientemente y poder tener una alternativa viable de sustitución de combustibles fósiles.

## **2.5 HIPÓTESIS Y/O IDEAS A DEFENDER**

La cascarilla de arroz como biomasa residual pelletizada es un combustible térmico que puede generar combustión uniforme mediante su caracterización.

## **2.6 VARIABLE INDEPENDIENTE.**

Cascarilla de arroz como biomasa residual

## **2.7 VARIABLE DEPENDIENTE.**

Combustible térmico que puede reemplazar en parte a los combustibles fósiles.

## **2.8 JUSTIFICACIÓN**

Con esta investigación pretendo dar un importante aporte a la producción de combustibles térmico, con la utilización de la cascarilla de arroz convertida en biomasa residual mediante la peletización, para tener un análisis cuantitativo de caracterización de la biomasa antes de peletizar y la caracterización del Pellet como tal con miras a no recurrir a los combustibles fósiles que son la fuente de energía primaria más utilizada por las sociedades modernas. Actualmente, el petróleo y el gas cubren casi el 90% de la producción energética (Osorio, 2019).

Es indispensable que la comunidad ecuatoriana, el estado y empresarios conozcan el comportamiento de los diferentes tipos de biomasa, cuál de ellos tiene mejor aplicabilidad como energía, a fin de tomar conciencia del perjuicio que estamos causando al medio ambiente con la utilización de los combustibles fósiles.

Los resultados cuantitativos y cualitativos de esta investigación nos permitirán conocer, comprender y analizar la caracterización energética de la biomasa residual, como uno de los recursos más importantes al utilizar la cascarilla del arroz un residual vegetal que en nuestro medio, no se utiliza, y esperamos utilizar como un recurso aplicable en los

procesos de combustión.

Este estudio nos permitirá presentar datos que inciden en la producción de calor útil, y la consecuente disipación de contaminantes al ambiente, en los actuales momentos el planeta es agredido, básicamente por la utilización de combustibles fósiles, que representan altos costos y consecuencias nefastas; la cascarilla del arroz representa una posibilidad de evitar y mejorar el sistema energético en nuestro país.

### 3. METODOLOGÍA.

La investigación se efectuó en la estación de biomasa del IIGE (Institución de Investigación Geológico y Energético) para la respectiva caracterización y peletización, ubicado en la entrada de Carapungo.



*Figura 14.* Laboratorios del IIGE (Instituto del Investigación Geológico Energético). (Arteaga 2019).

En un contexto de estimación de residuos de cascarilla de arroz generados en el Ecuador, como residuo importante para el respectivo aprovechamiento se visitó varias piladoras de arroz en la provincia de Guayas y Los Ríos donde por excelencia son los mayores productores de arroz en el Ecuador (Atlas, 2014), en lo cual se realizó un muestreo en algunas piladoras en general aplicando la técnica del muestro en cuarteo (Tabla 6). La población es la cascarilla de arroz que funciona como materia prima que va a ser caracterizada y aplicada cada uno de los

tratamientos de peletización para obtener los resultados esperados o inesperados del proyecto. El muestreo se lo realizó entre los sectores de la provincia del Guayas y Los Ríos y se lo realizó al azar en 5 diferentes piladoras de arroz:

- **PILADORA 3:** INDUSTRIA ARROCERA PORTILLA: Km. 3.5 Vía a Milagro.
- **PILADORA 2:** PILADORA CHINA: Km 42.5 vía Daule
- **PILADORA 5:** ARROCERA DEL PACÍFICO: Km 26 Vía Samborondón.
- **PILADORA 4:** PILADORA LA YOLANDITA: Samborondón.
- **PILADORA 1:** CORPORACIÓN DE PRODUCCIÓN DE GRANOS Y CEREALES MACOBA: Comuna Matecito, Cantón Baba Los Ríos Ecuador.

Aproximadamente 20 kg de Cascarilla de Arroz en cada una piladoras se muestreó, posterior al muestreo se homogenizó todas las muestras para tener una sola muestra representativa la cual se realizó la caracterización y peletización, en total se muestreó 100Kg de muestra. Las muestras se recolectaron entre los meses de mayo y junio del 2019 para su posterior tratamiento, el modo de recolección fue trasportando las muestras desde las piladoras hacia el destino los laboratorios de la IIGE.



*Figura 15. Muestreo de la Cascarilla Arteaga 2019.*

Aproximadamente se tomaron 10 kg en peso de muestra donde se realizaron los diferentes análisis que caracterización en el IIGE y del restante 80 Kg se realizó varias experimentaciones en el proceso de peletización de muestras que contenían los residuos de biomasa arrocerca.

Residuos de biomasa arroceras obtenida principalmente de las piladoras como se mencionó fueron muestreados ya que este residuo actualmente no tiene una adecuada gestión ambiental terminando así con su uso dentro de la fabricación de camas avícolas, floricultura, concentrados para animales o también para compostaje (Álava, 2015).

Cada uno de los diferentes muestreos en las piladoras se los realizó según la metodología de Gauss la cual se procuró tener la mayor representación de una muestra al azar en cada uno de los depósitos de Cascarilla, para así determinar el mejor resultado de la medición y tener cuantificaciones más acertadas. (Álvarez. J & Lozada. R 2012).

El método que se aplicó para el muestreo proveniente de las piladoras fue el muestreo aleatorio Gauss con cuarteo en donde de una población universal se tomó en varios puntos las muestras de tal manera que se pueda deducir que se ha tomado muestras al azar y así determinar que el estudio tiene muestras representativas y al azar (Sakurai, 1981).

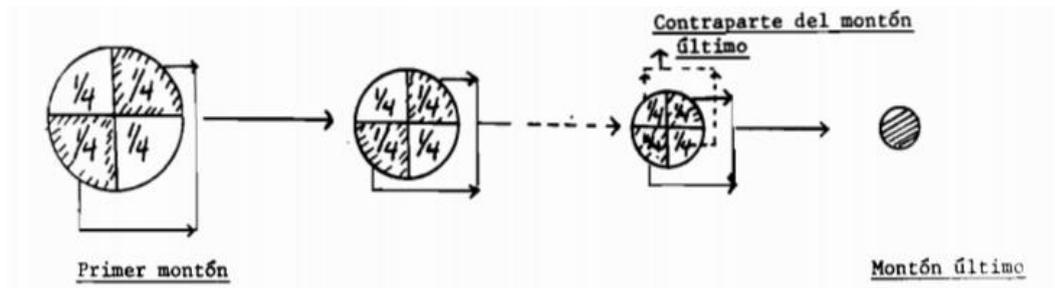


Figura 16. Técnica de Muestreo (Sakurai, 1981).

El protocolo de Caracterización se corroboró de la siguiente manera:

### 3.1 CASCARILLA DE ARROZ

**3.1.1 Selección de materiales:** Como anteriormente se mencionó en cuanto al muestreo se tomó mediante las diferentes piladoras en la región de Los Ríos y Guayas, finalmente, la metodología se ha dividido por tema, de la siguiente manera:



*Figura 17.* Muestreo de la Cascarilla Arteaga 2019.

### 3.1.2 Selección de cascarilla de arroz

La selección de los residuos arroceros se realizó de acuerdo a los siguientes muestreos para así determinar que sea el muestreo lo más robusto posible. En este estudio fue propuesto el muestreo Aleatorio simple Otzen, et al 2017.

**Tabla 6.**  
Muestreo Aleatorio Simple (Otzen, 2017).

Tipo	Características	Ventajas	Desventajas
Aleatorio simple	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Selección de una muestra de tamaño "n", a partir de una población de "N" unidades.</li> <li>• Cada elemento tiene la misma probabilidad de inclusión (n/N).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sencillo y de fácil comprensión.</li> <li>• Cálculo rápido de medias y varianzas.</li> <li>• Existen paquetes informáticos para analizar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere listado completo de toda la población.</li> <li>• Al trabajar con muestras pequeñas puede no representar de forma adecuada a la población.</li> </ul>

### 3.1.3 Tamaño de las muestras de Cascarilla de Arroz

El tamaño es aproximadamente de 0.5 a 1 cm y se obtuvo de los residuos después de terminar su proceso de cosecha en el cual fueron previamente mezclados de todas las piladoras para un proceso uniforme.



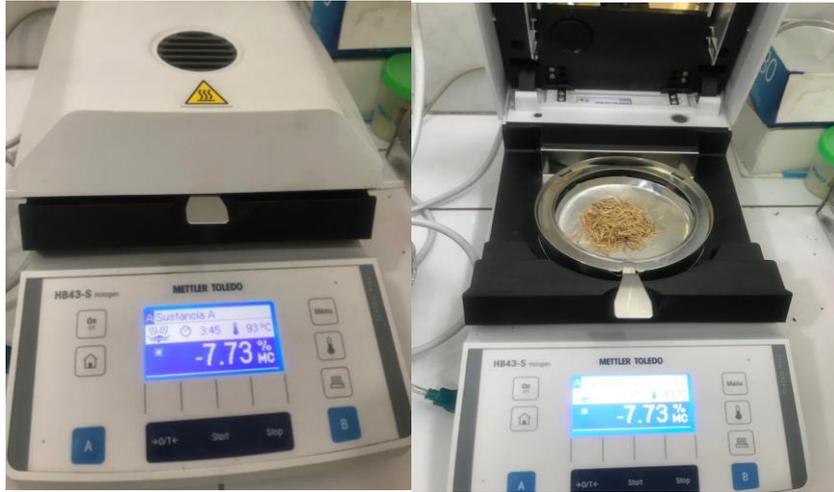
*Figura 18.* Homogenización de la cascarilla de arroz para iniciar los análisis de laboratorio. (Arteaga, 2019).

### 3.1.4 Humedad de la materia prima

La humedad con la que se recibió los residuos fue con la que los mismos salieron del proceso industrial, el cual se lo midió para corroborar si fue la humedad ideal el ingreso en la Peletizadora para una correcta peletización.

Para garantizar la humedad se llevó cuidadosamente las muestras hasta el IIGE, para que no ganen humedad en el proceso de transporte.

La presencia de mucha humedad influye en la cuantificación del Poder Calorífico y por lo tanto se reduce la actividad de combustión térmica (Echeverría, 2010).



*Figura 19.* Determinación de Humedad o Pérdida por Secado de muestras de cascarilla de arroz mediante balanza halógena (Arteaga, 2019).

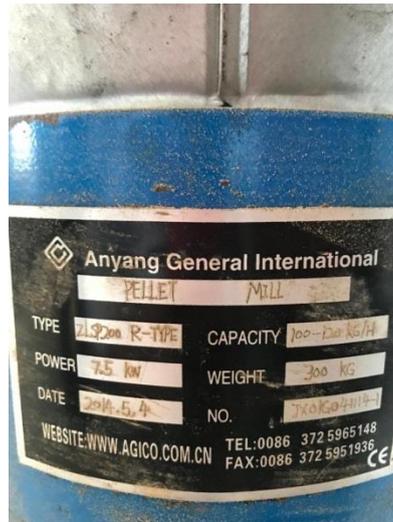
### **3.1.5 Peletización de residuos IIGE.**

Se realizó la peletización en las instalaciones del IIGE específicamente dentro de su peletizadora de laboratorio, la cual se la puso en marcha por el convenio de la UISEK con el IIGE para realizar ensayos de peletización de materiales residuales.



*Figura 20.* Peletizadora del Laboratorio del IIGE. (Arteaga, 2019).

### **3.1.6 Peletizadora de Laboratorio**



*Figura 21.* Especificaciones de Peletizadora. (Arteaga, 2019).

Para este tipo de ensayo se necesitó saber algunas de las características principales necesarias para la peletización de los residuos donde se determinó las siguientes:

### **3.1.7 Presión de Peletización**

La determinación de la presión necesaria se obtuvo mediante una revisión bibliográfica donde se determinó que según (García, 2015), el cual expone la calibración específica del equipo para poder tener la mayor compactación de la biomasa y convertirla fácilmente en Pellet.



*Figura 22.* Proceso de Peletización a Cascarilla de Arroz (Arteaga, 2019).

### **3.1.8 Longitud final deseada basada en normativa ISO**

La longitud que se determinó está basada en la tabla 2 dentro de la columna I3 que es sobre la caracterización de biocombustibles sólidos de residuos de madera de la normativa ISO 17225-2, la cual norma una longitud entre 3,15 y 40 mm para poder ser usado y comercializado como un combustible normado.



*Figura 23. Pellet de Cascarilla de Arroz (Arteaga, 2019).*

### **3.1.9 Diámetro final basado en normativa ISO**

En cuanto al diámetro de los pellets la normatividad ISO 17225-2 en su legislación juntamente con el apartado ISO 17829 determina el tamaño ideal de los Pellets con el objetivo de no perder poder calorífico y determinar la uniformidad de combustión. Dentro de los tamaños la literatura recomienda valores entre 6 mm hasta 12 mm (Fernández, 2017).

## **4. ENSAYOS REALIZADOS EN EL LABORATORIO DEL IIGE:**

### **4.1 Poder Calorífico**

Desde el punto de vista energético el Poder calorífico definiéndose como el calor presente desprendido por kilogramo de muestra combustible (biomasa), en condiciones de combustión completa a presión constante (Ramón, 2018). Y este se representa como

diferentes tipos de PC el Superior y el Inferior, es por ello que tener un intervalo considerable es una buena opción ya que este y la humedad son prácticamente los parámetros más importantes para un buen desempeño en la combustión, se utilizaron bombas calorimétricas del IIGE.

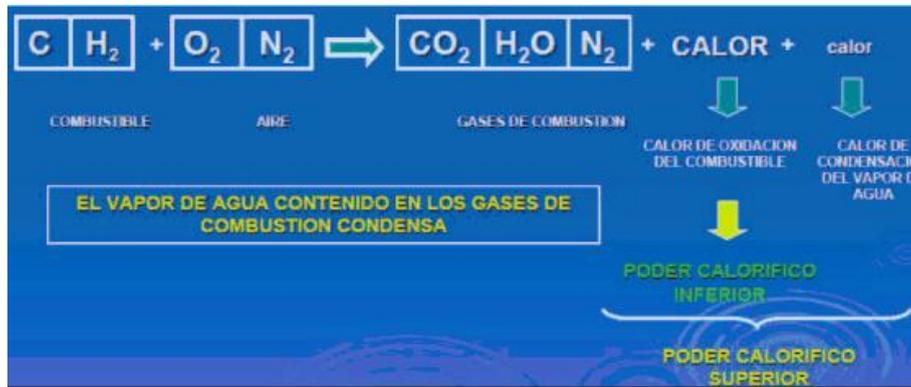


Figura 24. Diagrama de poder Calorífico (Ramón, 2018).

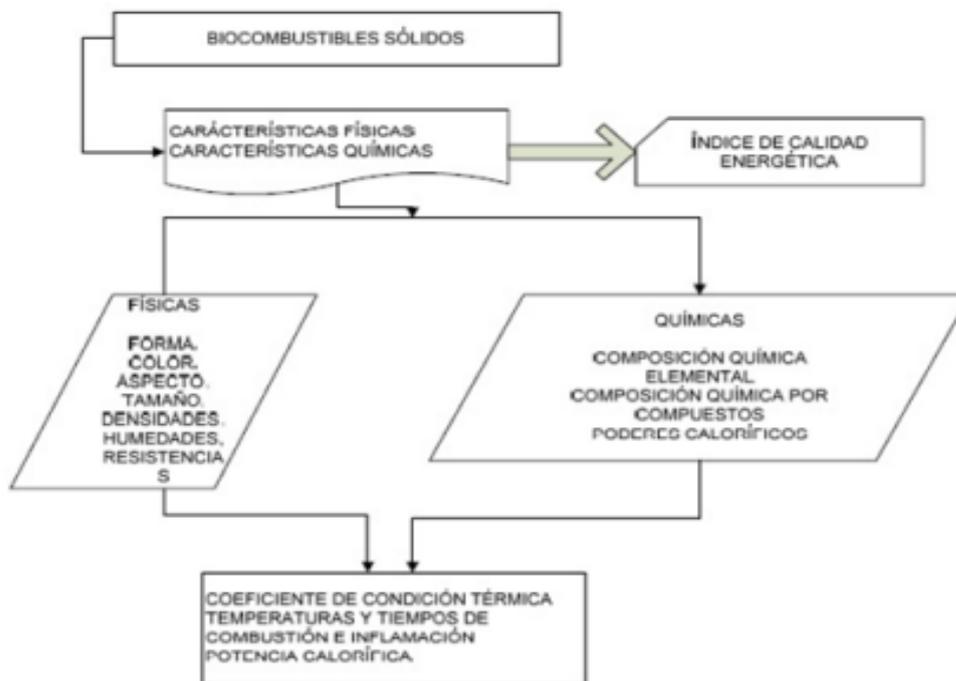


Figura 25. Esquema de características físicas y químicas de los Biocombustibles Sólidos. Se evidencia el Poder Calorífico como parámetro principal a medir. (Camps y Marcos, 2008).

## 4.2 Humedad

Para la determinación de humedad se lo realizó de acuerdo a la metodología del Standard Methods en 2012, el cual se determinó mediante balanza halógena que brinda resultados rápidos y confiables de las diferentes matrices. Este parámetro es importante ya que de esto dependerá la buena peletización de la biomasa y por lo tanto la buena combustión de la misma (Nogués, 2010).



*Figura 26.* Equipo de pérdida por secado halógeno. Mettler Toledo (Arteaga 2019)

### **4.3 Longitud**

Se determinó aproximadamente el diámetro de los pellets mediante un metro en el cual fue de utilidad para estimar un promedio de medida de estos para asegurar un desarrollo de pellets exitosa.



*Figura 27. Pellet y Cascarilla de Arroz (Arteaga, 2019).*

#### **4.4 Diámetro**

En cuanto a este parámetro se lo determinó en medida al equipo que dispone los laboratorios del IIGE el cual tiene estandarizado un diámetro específico para un buen pellet.

#### **4.5 Estudio de los datos**

En el desarrollo del estudio se tomó como referencia los resultados obtenidos de la caracterización de algunos estudios, los cuales sirvieron para realizar una comparación con la caracterización de las muestras de cascarilla de arroz que dependan del resultado obtenido con miras tener la mejor biomasa para combustión. Como se llevó a cabo el muestreo se lo realizó al azar en las piladoras y se homogenizó en una sola muestra y mediante los resultados se evaluaron el comportamiento de cada una de las variables mediante tablas para determinar la mejor muestra caracterizada y el mejor pellet.

## RESULTADOS

En la Figura 2 se observa que el poder calorífico de la cascarilla de arroz se ve afectado directamente por el contenido de humedad de la biomasa.

Humedad (%)	PC <sub>BH</sub> (MJ/kg)
6,4	13,50
10	12,89
15	12,05
20	11,21
25	10,37
30	9,53
35	8,68
40	7,84
45	7,00
50	6,16

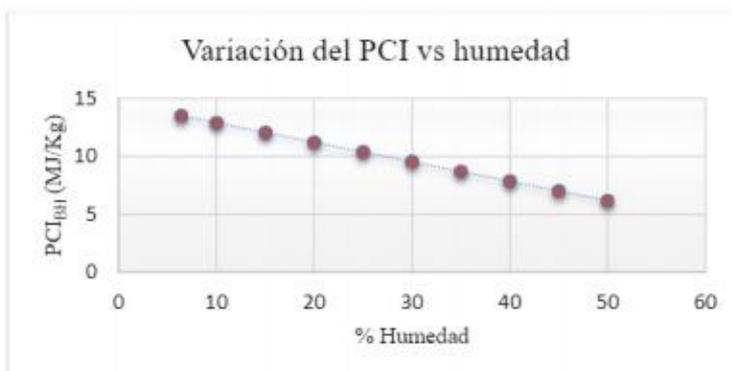


Figura 2. Variación del PCI con el contenido de humedad de la biomasa

*Figura 28.* Valoración del comportamiento del PCI versus la humedad de la cascarilla de Arroz (Varón, 2004).

## 5. RESULTADOS

A continuación se explicará de manera detallada los resultados obtenidos de la determinación de los datos de las variables en laboratorio del IIGE, hechas durante el periodo de los meses de Junio y Julio (2019). Se reportaron los resultados de los análisis de la caracterización de cada variable tomados en referencia al análisis Proximal, Elemental y Poder Calorífico (Tabla 7), se interpretaron los datos mediante gráficos y tablas comparativas con estudios similares que indicaran cuál de las variables tiene un mejor comportamiento en obtener un mejor pellet y por lo tanto mejor combustión.

### 5.1 Presentación y Análisis de Resultados.

A continuación se presentaron los resultados hechos mediante gráficos y tablas los cuales se analizaron cada uno de los parámetros que dieron indicio de la biomasa a ser trasformada en Pellet.

En el Siguiete cuadro se muestran los análisis de Caracterización de Biomasa de Cascarilla

de Arroz:

**Tabla 7.**

Parámetros de medición de biomasa arrocera antes de peletizarlas y después de Peletizada. (IIGE, 2019).

<b>PARAMETRO</b>	<b>REFERENCIA A NORMA</b>
% HUMEDAD	BS 1477743:2009
% CARBÓN VOLATIL	BS 15148:2009
% DE CARBÓN FIJO	METODO INTERNO
% CENIZAS	BS 147775:2009
% CARBONO	BS 15104:2011
% NITRÓGENO	BS 15104:2011
% HIDRÓGENO	BS 15104:2011
% AZÚFRE	BS 15104:2011
PODER CAORÍFICO SUPERIOR MJ/Kg	ASTM D 1989-96
PODER CAORÍFICO SUPERIOR PELLET MJ/Kg	ASTM D 1989-96

Después de Peletizada

<b>PARAMETRO</b>	<b>REFERENCIA A NORMA</b>
% HUMEDAD	BS 17225-2: 2012
PODER CAORÍFICO SUPERIOR MJ/Kg	BS 17225-2: 2012
% DURABILIDAD	BS 17225-2: 2012
% FINOS	BS 17225-2: 2012
% CENIZA	BS 17225-2: 2012
DENSIDAD GRANEL	BS 17225-2: 2012

En el recuadro de los parámetros para la Peletización se realizan más análisis elementales, sin embargo se tomaron los principales análisis para determinar de manera general si el Pellet es funcional. Dentro de los análisis que se realizaron se determinaron los parámetros de Poder Calorífico, Humedad y Durabilidad Mecánica.

En el Siguiete cuadro se presentan los parámetros según norma del Pellet para su

combustión, según la norma ISO 17225-2 de combustibles sólidos:

**Tabla 8.**

Parámetros de medición de Combustibles Sólidos (Pellet Residuo Maderero). (ISO 17225-2, 2012).

Property	Standard	I1	I2	I3
Origen y fuente	ISO 17225-1	1.1.3 <u>Stemwood</u> 1.2.1 <u>Madera no tratada</u> químicamente*	1.1 Plantación Forestal y otras maderas vírgenes  1.2.1 Madera no tratada químicamente*	1.1 Plantación Forestal y otras maderas vírgenes  1.2 Por productos y residuos 1.3.1 Madera usada no tratada químicamente
*Los niveles insignificantes de pegamento, grasa y otros aditivos de producción de madera utilizados en aserraderos durante la producción de madera y productos de madera virgen son aceptables si todos los parámetros químicos de los gránulos están claramente dentro de los límites y las concentraciones son demasiado pequeñas para preocuparse.				
Diámetro y Longitud	ISO 17829	D06, 6 ± 1; 3,15 < L < 40 D08, 8 ± 1; 3,15 < L < 40 (1 % <u>longer</u> , <45mm)	D06, 6 ± 1; 3,15 < L < 40 D08, 8 ± 1; 3,15 < L < 40 (1 % <u>longer</u> , <45mm)	D06, 6 ± 1; 3,15 < L < 40 D08, 8 ± 1; 3,15 < L < 40 D10, 10 ± 1; 3,15 < L < 40 D12, 12 ± 1; 3,15 < L < 40 (1 % <u>longer</u> , <45mm)
Humedad (M, w-%)	ISO 18134	M10 ≤ 10	M10 ≤ 10	M10 ≤ 10
Ash (A), % d	ISO 18122	A1.0 ≤ 1,0	A1.5 ≤ 1,5	A3.0 ≤ 3,0
Densidad Granel (BD, kg/m <sup>3</sup> )	ISO 17828	BD600 ≥ 600	BD600 ≥ 600	BD600 ≥ 600
Finos (F, w-%)	EN 15210-1	F4.0 ≤ 5.0	F5.0 ≤ 5.0	F6.0 ≤ 6.0
Durabilidad (DU, w-%)	ISO 1783-1	97.5 ≤ DU ≤ 99.0	97.0 ≤ DU ≤ 99.0	96.5 ≤ DU ≤ 99.0
Poder Calorífico (as received, MJ/kg)	ISO 18125	Q16.5 ≥ 16,5	Q16.5 ≥ 16,5	Q16.5 ≥ 16,5
Cl (w-% <u>dry</u> )	ISO 16994	Cl0.03 ≤ 0,03	Cl0.05 ≤ 0,05	Cl0.06 ≤ 0,06
N (w-% <u>dry</u> )	ISO 16948	N0.3 ≤ 0,3	N0.3 ≤ 0,3	N0.6 ≤ 0,6
S (w-% <u>dry</u> )	ISO 16994	S0.05 ≤ 0,05	S0.05 ≤ 0,05	S0.05 ≤ 0,05
As (mg/kg d)	ISO 16968	≤ 2	≤ 2	≤ 2
Cd (mg/kg d)	ISO 16968	≤ 1	≤ 1	≤ 1
Cr (mg/kg d)	ISO 16968	≤ 15	≤ 15	≤ 15
Cu (mg/kg d)	ISO 16968	≤ 20	≤ 20	≤ 20
Pb (mg/kg d)	ISO 16968	≤ 20	≤ 20	≤ 20
Hg (mg/kg d)	ISO 16968	≤ 0.1	≤ 0.1	≤ 0.1
Zn (mg/kg d)	ISO 16968	≤ 200	≤ 200	≤ 200
P (%)	ISO 17830	≥99% (<3.15 mm) ≥95% (<2.0 mm) ≥60% (<0.1 mm)	≥99% (<3.15 mm) ≥90% (<2.0 mm) ≥50% (<0.1 mm)	≥97% (<3.15 mm) ≥85% (<2.0 mm) ≥40% (<0.1 mm)
Ash melting behaviour*	CEN/TS 153701	<u>Informative, should be stated</u>		

Así también como se puede ver en la (tabla 9) los valores umbral para distintas clases de pellets de origen no leñoso. Los tipos A y B corresponden a biomasa herbácea, de frutos, acuática y combinaciones entre sí o con biomasa leñosa, en la categoría B está la cascarilla de arroz.

**Tabla 9.**

Parámetros de medición de Combustibles Sólidos (Pellet Residuo Agrícola). (ISO 17225-6, 2012).

PARÁMETRO	UNIDAD	A	B	PAJA DE CEREALES
<b>Diámetro y longitud</b>	mm	Según ISO17825		
<b>Humedad</b>	% base húmeda	≤12	≤15	≤10
<b>Cenizas</b>	%	≤6,0	≤10,0	≤6,0
<b>Durabilidad mecánica</b>	%	≥97,5	≥96,0	≥97,5
<b>Finos</b>	%	≤2,0	≤3	≤1
<b>Aditivos</b>	%	≤5,0	≤5,0	declarar tipo y cantidad
<b>Densidad a granel</b>	kg/m <sup>3</sup>	≥600		
<b>Poder calorífico neto</b>	MJ/kg	≥14,5		declarar valor mínimo
<b>N</b>	% base seca	≤1,5	≤2,0	≤0,7
<b>S</b>	% base seca	≤0,2	≤0,3	≤0,1
<b>Cl</b>	% base seca	≤0,1	≤0,3	≤0,1
<b>As</b>	mg/kg base seca	≤1,0		
<b>Cd</b>	mg/kg base seca	≤0,5		
<b>Cr</b>	mg/kg base seca	≤50		
<b>Cu</b>	mg/kg base seca	≤20		
<b>Pb</b>	mg/kg base seca	≤10		
<b>Hg</b>	mg/kg base seca	≤0,1		
<b>Ni</b>	mg/kg base seca	≤10		
<b>Zn</b>	mg/kg base seca	≤100		
<b>Comportamiento de fusión de cenizas</b>	°C	Se debería declarar		

ISO 17225	Wood Pellets ISO 17225-2 A1	Wood Pellets ISO 17225-2 A2	Wood Pellets ISO 17225-2 B	Wood Chips ISO 17225-4 A1	Wood Chips ISO 17225-4 A2	Wood Chips ISO 17225-4 B	AGROPELLETS ISO 17225-6 A	AGROPELLETS ISO 17225-6 B
Moisture (w-% ar)	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10 ≤ 25	≤ 35	be mentioned	≤ 12	≤ 15
LHV (kWh/kg, ar)	≥ 4,6	≥ 4,6	≥ 4,6	be mentioned	be mentioned	be mentioned	≥ 4	≥ 4
Ash (w-% db)	≤ 0,7	≤ 1,2	≤ 2	≤ 1	≤ 1,5	≤ 3	≤ 6	≤ 10
N (w-% db)	≤ 0,3	≤ 0,5	≤ 1	-	-	1,00	≤ 1,5	≤ 2
S (w-% db)	≤ 0,03	≤ 0,05	≤ 0,05	-	-	0,10	≤ 0,2	≤ 0,3
Cl (w-% db)	≤ 0,02	≤ 0,02	≤ 0,03	-	-	0,05	≤ 0,1	≤ 0,3
As (mg/kg)	≤ 1	≤ 1	≤ 1	-	-	1,0	≤ 1	≤ 1
Cd (mg/kg)	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5	-	-	2,0	≤ 0,5	≤ 0,5
Cr (mg/kg)	≤ 10	≤ 10	≤ 10	-	-	10,0	≤ 50	≤ 50
Cu (mg/kg)	≤ 10	≤ 10	≤ 10	-	-	10,0	≤ 20	≤ 20
Pb (mg/kg)	≤ 10	≤ 10	≤ 10	-	-	10,0	≤ 10	≤ 10
Hg (mg/kg)	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,1	-	-	0,1	≤ 0,1	≤ 0,1
Ni (mg/kg)	≤ 10	≤ 10	≤ 10	-	-	10,0	≤ 10	≤ 10
Zn (mg/kg)	≤ 100	≤ 100	≤ 100	-	-	100,0	≤ 100	≤ 100
shrinkage starting temp. (°C)	be mentioned	be mentioned	be mentioned	-	-	-	be mentioned	be mentioned
deformation temp. (°C)	be mentioned	be mentioned	be mentioned	-	-	-	be mentioned	be mentioned
hemisphere temp. (°C)	be mentioned	be mentioned	be mentioned	-	-	-	be mentioned	be mentioned
flow temp. (°C)	be mentioned	be mentioned	be mentioned	-	-	-	be mentioned	be mentioned

Figura 29. ISO 17225 (ISO 17225, 2012).

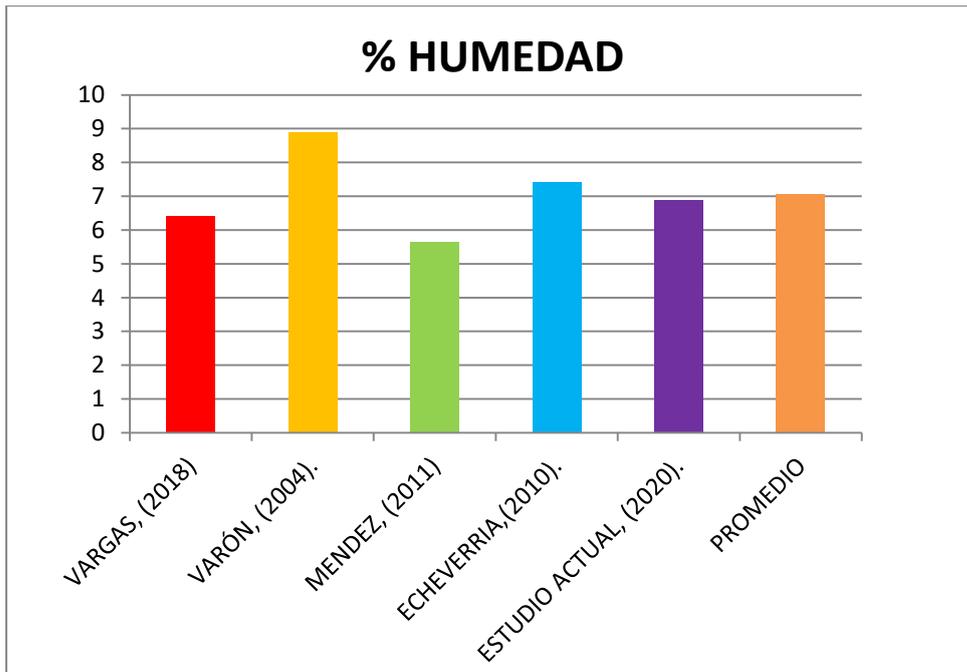
Hay que recalcar que de estos parámetros de la norma se tomaron los principales parámetros que dieron un indicio de tener una mejor combustión del Pellet de Cascarilla de Arroz, en otras palabras mediante los parámetros de Durabilidad Mecánica, Humedad y Poder Calorífico Superior, se obtienen resultados viables para una posible aceptación de un Pellet capaz de tener una combustión uniforme. (ISO 17225-2, 2012).

## 5.2 Mediciones de parámetros.

### 5.2.1 Humedad.

Porcentaje de humedad de los residuos Arroz, en los siguientes resultados se pudo observar el porcentaje de los análisis proximales para la cascarilla de arroz en comparativa a otros estudios publicados, lo cual da un indicio de la caracterización efectiva de la biomasa residual.

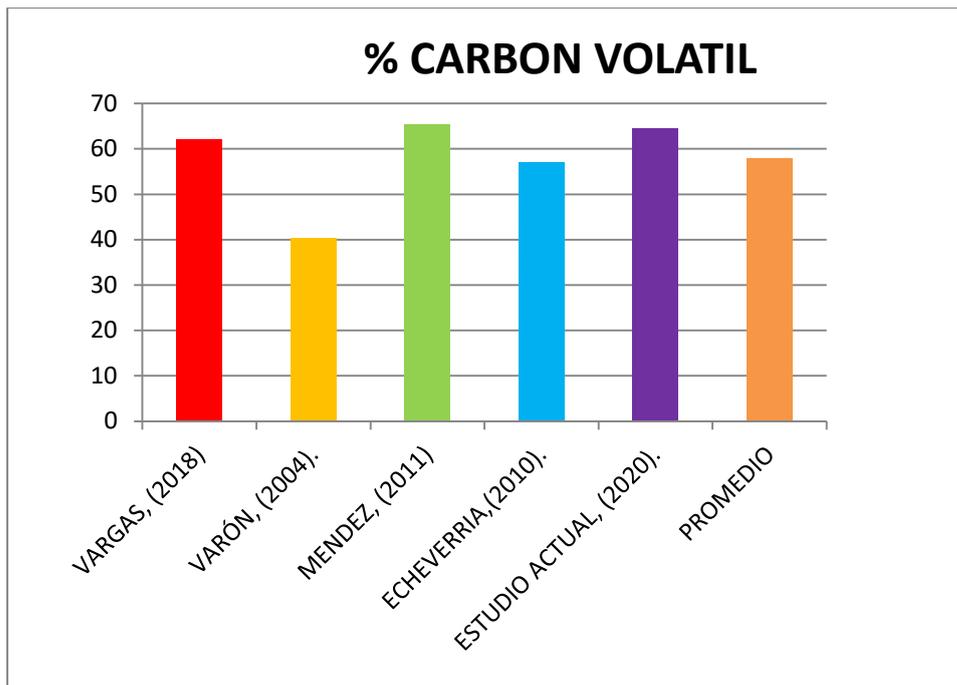
En cuanto a la humedad podemos determinar que ninguna de las muestras supera el límite permisible del 10% para humedad antes de entrar a peletizar, lo que respecta una humedad ideal para poder realizar el proceso de peletización (ISO 1477743:2009).



*Figura 30.* Valoración de HUMEDAD de diferentes estudios. (Arteaga, 2019).

### 5.2.2 Carbón Volátil.

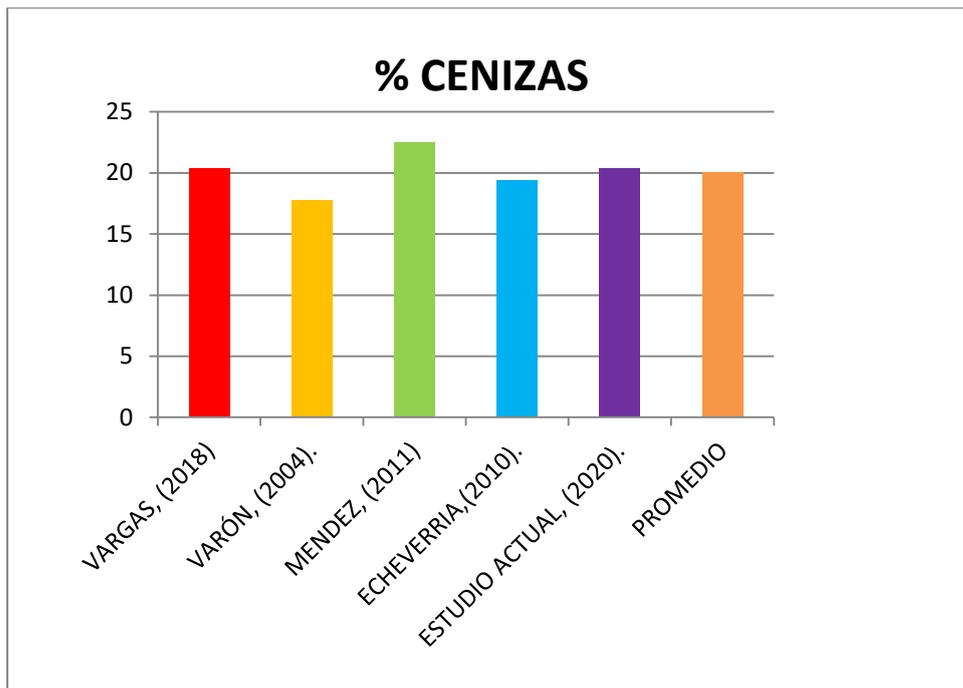
En cuanto al % de Carbón Volátil como parámetro proximal se lo determino y se exponen resultados muy similares, sabiendo que este parámetro indica la cantidad de gases del combustible e influye mucho el momento de la quema del pellet para que ocurra un correcto desalojo de humos (Medievilla 2010), en la tabla podemos ver un comportamiento estable en las diferentes Estudios, es por ello que si depende del suelo la calidad de cascarilla en términos energéticos, pero no constituyen diferencias significativas o que afecten a una correcta combustión.



*Figura 31.* Valoración de CARBON VOLATIL de diferentes estudios. (Arteaga, 2019).

### 5.2.3 Cenizas

El ensayo efectuado en % de Cenizas es un indicativo al resultado en términos de combustión, es decir hay influencia de combustión si los niveles de ceniza son altos (Ramón, 2018). Los resultados exponen que los niveles de ceniza son menores que 30% es recomendable tener poco % de ceniza ya que estos afectan a tener una combustión completa de la biomasa siendo la sílice el elemento que no se disocia el momento de quemarse, a niveles altos de ceniza este elemento causa pérdidas energéticas a la biomasa y por lo tanto una difícil combustión continua.

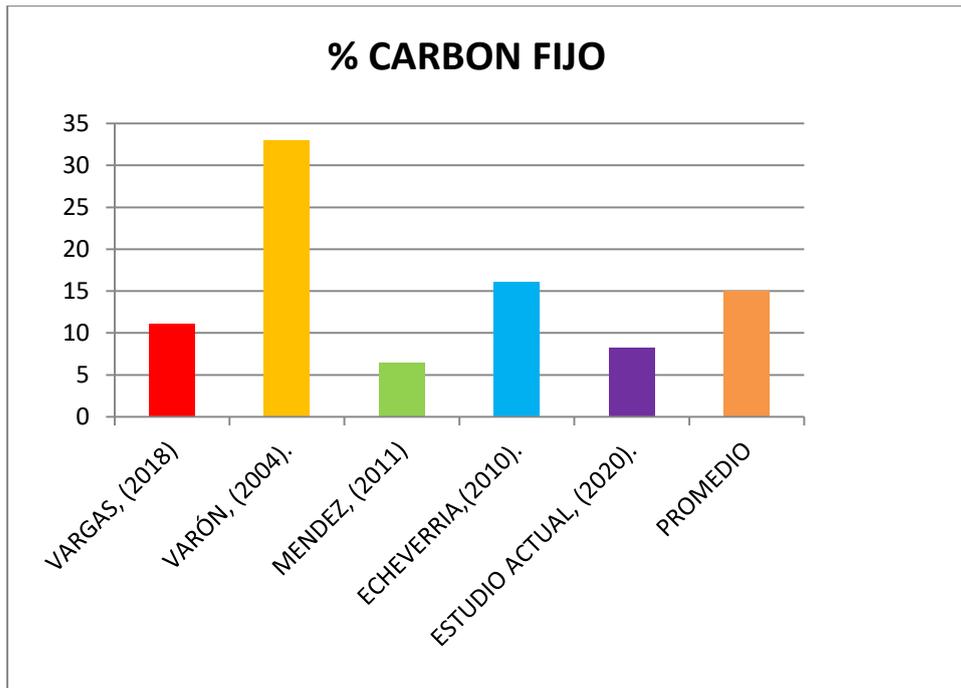


*Figura 32. Valoración de CENIZAS de diferentes estudios. (Arteaga, 2019).*

#### 5.2.4 Carbono Fijo.

El ensayo de % de Carbono fijo se lo determina por la sumatoria de 3 parámetros menos el 100% en porcentaje (ASTM), esto indica que es la masa efectiva a ser combustionada después que los volátiles ya despojaron, en la tabla se puede determinar los resultados de los diferentes estudios la mayoría cuantifican un % de Carbón Fijo baja, lo que indica un comportamiento uniforme de combustión de la biomasa arrocerá, además aproximadamente a 20% de Carbón Fijo se logra la eficiencia de combustión o el mejor aprovechamiento del biocombustible. (Echeverría, 2010).

$$\text{Carbono fijo \%} = 100 - (\text{humedad} + \text{cenizas} + \text{materia volátil})$$



**Figura 33.** Valoración de CARBON FIJO de diferentes estudios. (Arteaga, 2019).

### 5.3 Análisis elemental:

El análisis elemental en este ensayo contemplo los elementos más importantes los cuales son Carbono, Nitrógeno, Azufre e Hidrógeno en comparativa con los estudios publicados de esta manera se obtienen resultados claros de la mezcla perfecta para combustión eficiente de la biomasa, Vargas et al, 2018 en su estudio *Caracterización Térmica Y Estequiometria De La Combustión De La Cascarilla De Arroz*, expone que una mezcla perfecta de elementos en la combustión deberá ser una mezcla eficiente en términos tanto energéticos como ambientales.

#### 5.3.1 Carbono.

Como se ve en la figura 32 los porcentajes de este elemento van de acuerdo a los demás estudios que van aproximadamente desde 35% a 40% lo que indica un promedio considerable de Carbono en la biomasa apto para ser combustionado (Valverde, 2007).

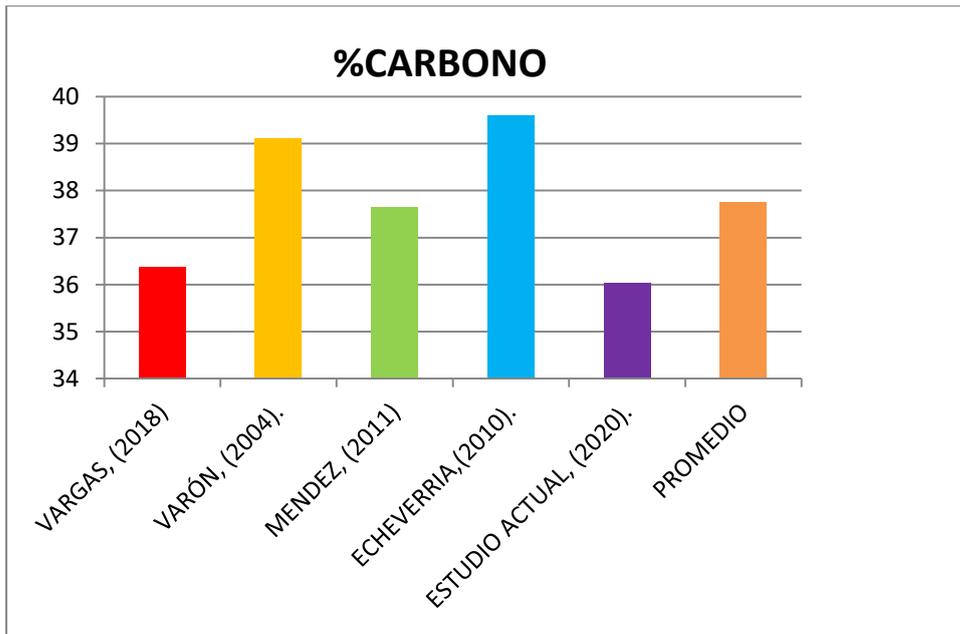


Figura 34. Valoración de CARBONO de diferentes estudios. (Arteaga, 2019).

### 5.3.2 Nitrógeno.

Así mismo los resultados reportan una uniformidad en el Nitrógeno de los diferentes artículos llegando únicamente un estudio hasta 2% lo que determina un potencial de combustión uniforme ya que los demás estudios a nivel mundial muestran similitudes en la cantidad de nitrógeno de la biomasa. (Valverde, 2007).

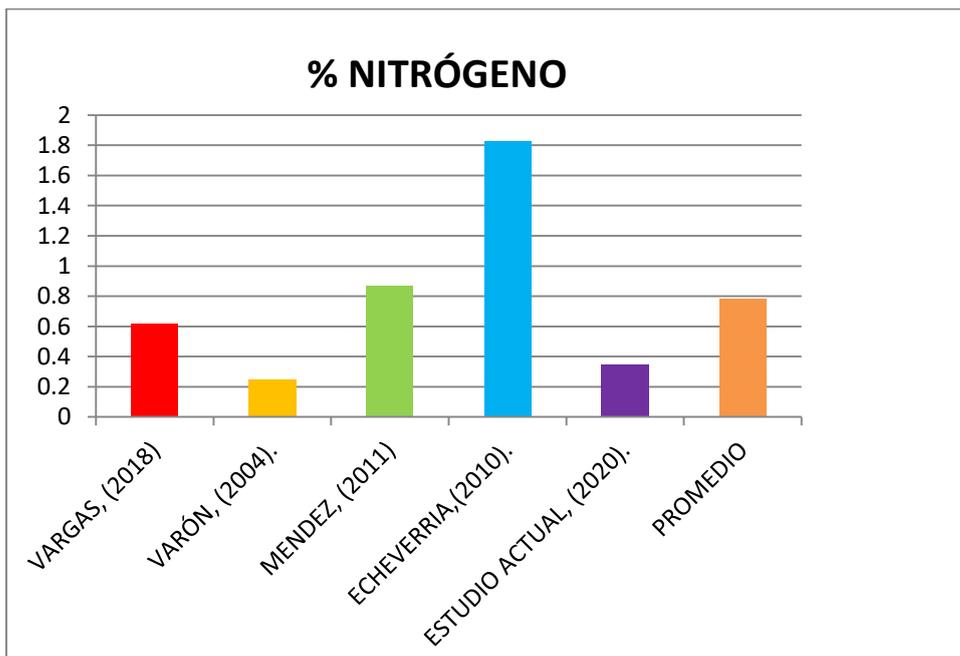
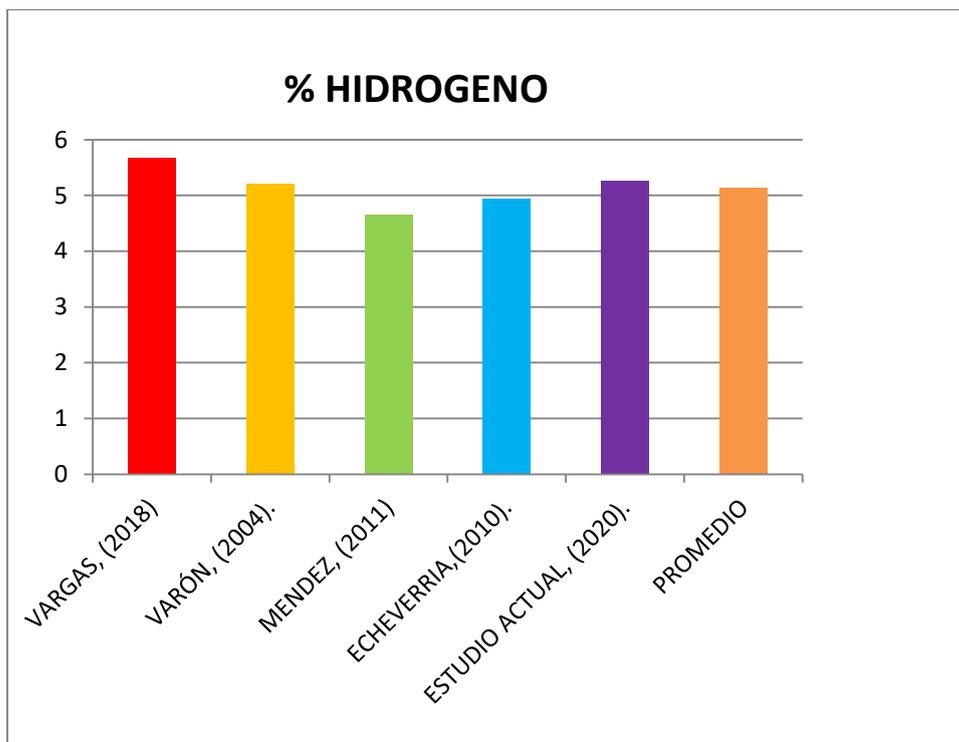


Figura 35. Valoración de NITROGENO de diferentes estudios. (Arteaga, 2019).

### 5.3.3 Hidrógeno.

El calor presenta en una combustión permite al hidrogeno actuar como combustible y aportar en la combustión uniforme (Rubín, 2008), Los resultados de estos ensayos como era de esperarse también tuvieron sus similitudes de rangos en el % de Hidrógeno, es por ello que los datos 5,5 aproximadamente cumple con una mezcla ideal para obtener excelentes beneficios energéticos.



*Figura 36.* Valoración de HIDROGENO de diferentes estudios. (Arteaga, 2019).

### 5.3.4 Azúfre.

En este caso a menor cantidad de azufre hay una mejor quema de la cascarilla lo que indica una menor contaminación ambiental, los resultados exponen poco % de azufre en los diferentes estudios, es por ello que de igual forma cumple con la mezcla perfecta para tener una buena combustión de la biomasa.

En definitiva lo que se puede observar son limites bajos de elementos como el Nitrógeno Azufre lo que indica una disminución de emisiones al ambiente.

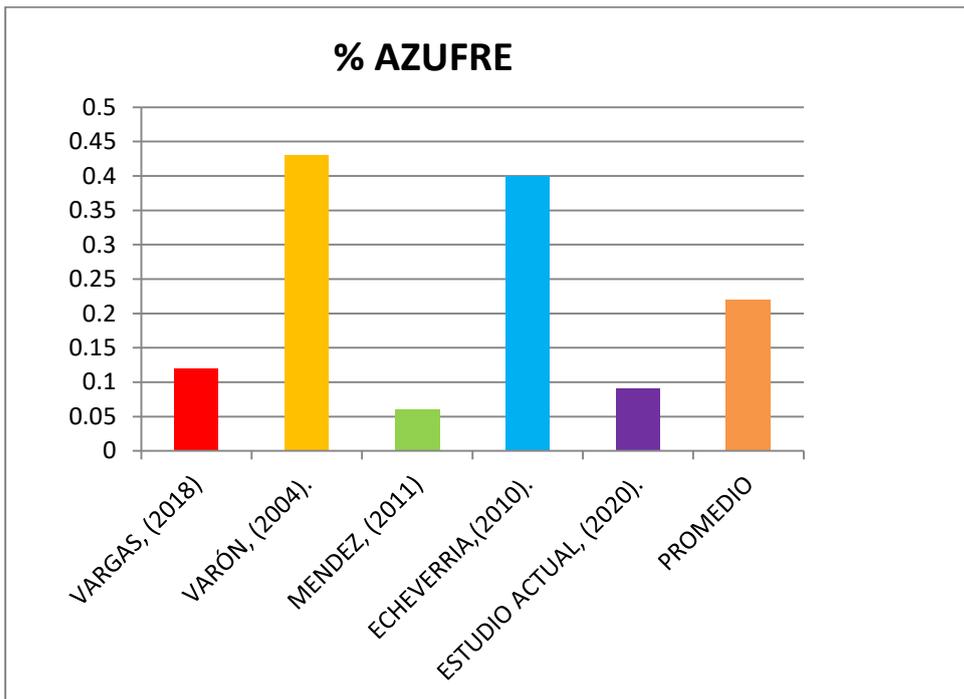


Figura 37. Valoración de AZUFRE de diferentes estudios. (Arteaga, 2019).

#### 5.4 Poder Calorífico.

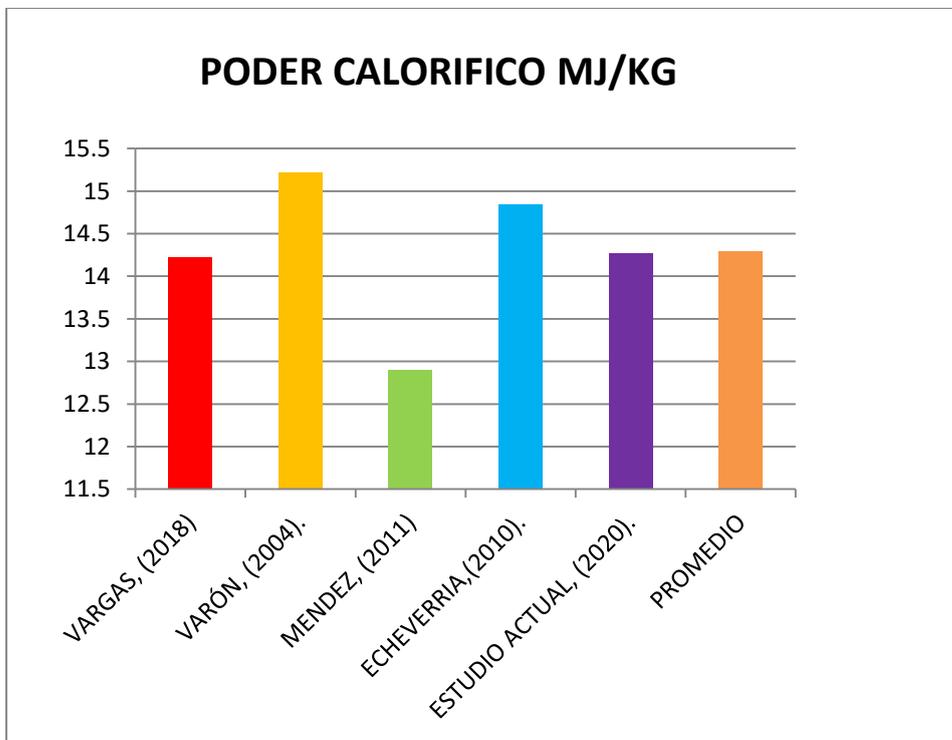


Figura 38. Valoración de PODER CALORÍFICO de diferentes estudios. (Arteaga, 2019).

En la Figura 36 se puede observar que los diferentes datos de poder calorífico de las diferentes muestras de Cascarilla de Arroz no tienen variación significativa, y según lo corroborado con el Atlas Bioenergético se define que el PCS de la cascarilla de arroz tiene un comportamiento similar a los otros estudios, haciendo apta la utilización de los combustibles sólidos como la cascarilla de arroz para la utilización en diferentes matrices energéticas además de mejoras en el ambiente.

### 5.5 Resultados del Pellet Producido.

*Tabla 10.*

Resultados del Pellet Producido. (IIGE, 2020).

PARAMETRO	RESULTADO
% HUMEDAD	14,75%
PODER CAORÍFICO SUPERIOR	13,48 MJ/Kg
% DURABILIDAD	96,84%

Los resultados demuestran que el pellet producido de Cascarilla de Arroz se encuentra en los valores mínimos, ya que con las especificaciones establecidas de Pellets de residuos Madereros en la norma ISO 17225-2 (Tabla, 8); la humedad está ligeramente por encima de las especificaciones establecidas de < a 10%; pero en la norma 17225-6 de pellets de residuos agrícolas está dentro de los parámetros establecidos que son < a 15% teniendo como resultado 14,75% lo cual cumple con dicha condición para la combustión correcta.

En cuanto a la Durabilidad Mecánica se puede determinar que tiene un porcentaje de 96.84 % lo que indica que cumple con la norma y se determina que en este parámetro es un pellet apto para combustión.

Únicamente en el parámetro de poder calorífico está por debajo de la especificación de la norma ISO 17225-2 que es de 16.0 MJ/Kg y la ISO 17225-6 que es de >14,5 MJ/Kg; el dato de Poder Calorífico fue de 13,75 del Pellet no cumpliendo con la norma.



*Figura 39. Transformación de Cascarilla de Arroz en Pellet. (Arteaga, 2019).*

## 6. CONCLUSIONES

Una vez finalizada la investigación se concluye que:

Las zonas más arroceras del país están distribuidas en las provincias del Guayas y de Los Ríos, que representan aproximadamente el 85% de la producción a nivel nacional, además según proyecciones futuras se determinan que la producción de arroz y cascarilla de arroz va en aumento lo que determina la excelente biodisponibilidad y potencial Bioenergético del combustible en el Ecuador.

El análisis proximal, elemental y Poder Calorífico dieron en promedió valores en los cuales las muestras de las diferentes Piladoras son aptas para poder biotransformarlas en Pellets y poder tener un excelente comportamiento energetico de la biomasa en función del aprovechamiento de este residuo agrícola.

Con estos resultados se puede concluir que las propiedades fisicoquímicas (Caracterización) de la Cascarilla de Arroz en el Ecuador, están entre los rangos que se manejan a nivel mundial y nacional.

La propiedad más importante de entre todas en la caracterización energética de la biomasa, es el PODER CALOLIFICO el cual servirá posteriormente a otros estudios para realizar combustión aplicada a una caldera cualquier otra actividad como en quemadores de parrilla, lo que lleva a conocer cuanta cantidad de Biomasa es necesaria para poder

Peletizarlas.

También se concluye que es muy probable que cuando se quemé la Biomasa es necesario evaluar el proceso de combustión de manera específica ya que por la cantidad de ceniza podría haber ensuciamiento ya que en comparación con otros residuos dicha cantidad está considerada como alta.

La peletización figura como una opción viable de aprovechamiento térmico, ya que los productos obtenidos pueden ser utilizados en calderas y equipos industriales para el aprovechamiento energético.

El proceso de peletización ocasiona que el contenido de humedad de los residuos originales sea reducido, debido a que durante el procedimiento se da un aumento de la temperatura como consecuencia del rozamiento entre los rodillos y la biomasa, con el respectivo calentamiento del producto y la evaporación de una porción de la humedad contenida, es por ello que tener una humedad no menor a 5% y no mayor a 15% es importante para una excelente peletización de cascarilla de arroz (Echeverría, 2010). En otras palabras para un óptimo proceso de peletización es importante el control de variables tales como la humedad, durabilidad mecánica, poder calorífico entre otros.

También se concluye que mediante la tabla 7 se puede definir que el pellet cumple con la norma ISO.17225-6 de Caracterización de Combustibles Sólidos de Pellets de Residuos Agrícolas, lo que indica que la Biomasa peletizada es apta en todos los parámetros de la normatividad excepto en poder calorífico y podría complementar a los combustibles de origen fósil, aplicando mayores eficiencias en cuanto al bajo desperdicio del residuo de arroz y por ende con mejoras ambientales en la disposición final de los residuos.

## ANEXOS:

### Anexo 1: Análisis Elemental, Proximal y Poder Calorífico De La Cascarilla De Arroz y del Pellet (IGE, 2019).



INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN  
GEOLÓGICO Y ENERGÉTICO

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN GEOLÓGICO Y ENERGÉTICO  
LABORATORIO DE BIOMASA

Av. Giovanni Calles s/n y Av. Padre Luis Vaccari

INFORME DE ENSAYOS N° LB-17-2019

SOLICITANTE	Jefferson Rubin/ Juan Francisco Arteaga- Universidad Internacional SEK	FECHA DE RECEPCIÓN	2019-07-05
MUESTRA	Cascarilla de arroz	FECHA DE INFORME	2019-07-31
NÚMERO	LB-464-2019	ENVASE	Envase aprox. 4 kg
ENSAYO REQUERIDO	Análisis elemental, análisis proximal, poder calorífico		
DOCUMENTO			
TÉCNICO ASIGNADO	O. Estévez, M. Romero		

#### RESULTADOS

MATRIZ DE ENSAYO	ENSAYO	MÉTODO	MÍNIMO	MÁXIMO	RESULTADO
Cascarilla de arroz (LB-464-2019)	Humedad, % (p/p)	BS EN 14774-3:2009	a	a	6,88
	Carbón Volátil, % (p/p)	BS EN 15148:2009	a	a	64,46
	Carbón Fijo, % (p/p)	Método Interno	a	a	8,31
	Cenizas, % (p/p)	BS EN 14775:2009	a	a	20,35
	Carbono, % (p/p)	BS EN 15104:2011	a	a	36,04
	Nitrógeno, % (p/p)	BS EN 15104:2011	a	a	0,35
	Hidrógeno, % (p/p)	BS EN 15104:2011	a	a	5,27
	Azufre, % (p/p)	BS EN 15104:2011	a	a	0,09
	Poder calorífico superior, MJ/kg	ASTM D 1989-96	a	a	14,27
	Poder calorífico superior *, MJ/kg	ASTM D 1989-96	a	a	13,48

Los ensayos fueron realizados en base a la muestra recibida en el laboratorio y bajo los métodos mencionados

a: El método utilizado no presenta valores de mínimo y máximo para estos ensayos

\*: Poder calorífico de la biomasa pelletizada (14,75 % p/p de humedad)

Danny Sinche  
Responsable Laboratorio



Michelle Romero  
Técnico 2

## Anexo 2: Análisis de Durabilidad Mecánica del Pellet de Cascarilla de Arroz (IIGE, 2020).



INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN  
GEOLÓGICO Y ENERGÉTICO

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN GEOLÓGICO Y ENERGÉTICO  
LABORATORIO DE BIOMASA  
Av. Giovanni Calles s/n y Av. Padre Luis Vaccari

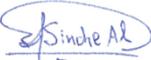
INFORME DE ENSAYOS N° LB-01-2020

SOLICITANTE	Juan Francisco Artesaga Quintana UISEK	FECHA DE RECEPCIÓN	2020-02-28
MUESTRA	Pellets de Cascarilla de Arroz	FECHA DE INFORME	2020-03-03
NÚMERO	LB-01-2020	ENVASE	Bolsa aprox. 150 g
ENSAYO REQUERIDO	Durabilidad Mecánica	MUESTREO	Solicitante
DOCUMENTO	Oficio Nro. S/N		
TÉCNICO ASIGNADO	C. Velalcázar		

### RESULTADOS

MATRIZ DE ENSAYO	ENSAYO	MÉTODO	MÍNIMO	MÁXIMO	RESULTADO
Pellets de Cascarilla de Arroz (LB-01-2020)	Durabilidad Mecánica, %	BS EN ISO 17831-1	a	a	96.84*

\*: El ensayo se realizó con la cantidad de muestra proporcionada por el solicitante y no bajo la cantidad indicada en la norma BS EN ISO 17831-1. A pesar de este particular el solicitante solicitó que se realice el ensayo

  
Danny Sinche  
Responsable Laboratorio



## BIBLIOGRAFÍA.

- ALAVA-Vera, M. F., POAQUIZA-Cornejo, J. T., & CASTILLO, G. H. La producción arrocerá del Ecuador: Caso Samborondón, 2011–2015.
- Al-Karany, R. A. K. (2013). Caracterización y Preparación de residuos de biomasa con ensayos experimentales de secado térmico y combustión no contaminante (Doctoral disertación).
- Álvarez, J. L., & Losada, R. (2012). Estadística y probabilidad en el Proyecto Gauss.
- Arias-Gómez, J.; Villasís-Keever, M. Á. & Miranda-Navales, M. G. The research protocol III. Study population. *Rev. Alerg. Mex.*, 63(2):201-6, 2016.
- Aruna, P. B., Laarman, J. G., Araman, P. A., Coulter, E., & Cubbage, F. (1997). Used pallets as a source of pellet fuel: Current industry status. *Forest Products Journal*. 47 (9): 51-56.
- Bautista, E. P. (10 de Abril de 2013). Alternativas Energéticas Internacionales: el caso del Etanol en Brasil . Obtenido de La Crisis del Petróleo 1990: <http://132.248.9.195/ptd2013/abril/301062372/301062372.pdf>
- Balance Energético Nacional, (2017), Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables, extraído de: <https://www.recursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2020/01/Presentacio%CC%81n-BEN-2017.pdf>
- Cadena, C. G., & Bula Silvera, A. J. (2011). Estudio de la variación en la conductividad térmica de la cascarilla de arroz aglomerada con fibras vegetales. *Revista Científica Ingeniería y Desarrollo*, 12(12), 1-9.
- Camps Michelena, M., Marcos Martín, F., & Hernández Álvarez, F. (2008). Energías renovables: Los biocombustibles. Colección energías renovables (España).
- Carballo, I, Arteaga, Y (2010). Degradación de Hemicelulosa maderas. Extraído de: Cortines. V Comparación de pre tratamientos en residuos forestales para la producción de bioetanol de segunda generación: hidrólisis ácida y líquidos iónicos. Universidad de Chile. Tesis de Grado.
- Cerdá, E. (2012). Energía obtenida a partir de biomasa. *Cuadernos Económicos, Información Comercial Española*, 83, 117-140.
- Cerdá, E. (2012). Energía obtenida a partir de biomasa. *Cuadernos económicos de ICE*, (83).
- Chum, H., Faaij, A. P. C., Moreira, J. R., & Junginger, H. M. (2011). Bioenergy.

- Echeverría, M., & López, O. (2010). Caracterización energética de la cascarilla de arroz para su aplicación en la generación de energía termoeléctrica. Proyecto de Titulación, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Elmay, Y., Trouvé, G., Jeguirim, M., & Said, R. (2013). Energy recovery of date palm residues in a domestic pellet boiler. *Fuel processing technology*, 112, 12-18.
- FAO. Área cosechada y producción mundial de cultivos por países. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Obtenido de <http://www.fao.org/faostat/es/# data/QC/visualize> 2017.
- Fernandez U., Costa M., Potential of bio mass residues for energy production and utilization in a region of Portugal, *Biomass & Bioenergy* 2010; 34: 661–666.
- Fernández-Puratich, H., Hernández, D., & Arce, V. L. (2017). Characterization and cost savings of pellets fabricated from Zea mays waste from corn mills combined with *Pinus radiata*. *Renewable Energy*, 114, 448-454.
- Galindo. A, Morales. A (1987). Pretratamiento de residuos Lignocelulósicos para una mejor Digestibilidad. Departamento de Biotecnología y Bioingeniería. Pp.: 231-234.
- Gaona Reinoso, D. A. (2014). Mezcla de cascarilla de nuez de palmiste y raquis como combustible alternativo para generación eléctrica (Bachelor's thesis, Quito: UCE).
- García, L. (2015). Densificación y torrefacción de biomasa de chumbera, 125.
- Gómez, A., Klose, W., Rincón, S. L., & Wiest, W. (2004). Transformación termoquímica de la biomasa residual del proceso de extracción del aceite de palma: tecnologías y perspectivas. *Revista Palmas*, 25(especial,), 388-397.
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos) Datos de siembra de arroz en el Ecuador 2018.
- ISO, E. 17225-2: 2014. Solid biofuels—Fuel specifications and classes—Part, 2, 17225-2.
- Kirkels, A. F., & Verbong, G. P. (2011). Biomass gasification: Still promising? A 30-year global overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(1), 471-481.
- Levín. L (1998) Biodegradación por materiales lignocelulosicos por *Trametes trogii*. Tesis Doctoral Universidad de Buenos Aires, Argentina.
- Lind, T., van Zanten, S. V., Unge, P., Spiller, R., Bayerdörffer, E., O'Morain, C., ... & Cederberg, C. (1996). Eradication of *Helicobacter pylori* using one-week triple therapies combining omeprazole with two antimicrobials: the MACH I Study. *Helicobacter*, 1(3), 138-144.

- MAGAP (Ministerio de Agricultura Ganadería, Acuacultura y Pesca) Panorama de la Cascarilla de Arroz. 2002.
- MAGAP (Ministerio de Agricultura Ganadería, Acuacultura y Pesca) Estadística de producción de arroz en cascara de Arroz. 2017.
- Mediavilla, I., Esteban, L. S., & Fernández, M. J. (2012). Optimisation of pelletisation conditions for poplar energy crop. *Fuel Processing Technology*, 104, 7-15.
- MEER (Ministerio de Electricidad y Energías Renovables). Eliminación de residuos de Piladoras a nivel país 2014.
- Miranda, I., Gominho, J., Mirra, I., & Pereira, H. (2012). Chemical characterization of barks from *Picea abies* and *Pinus sylvestris* after fractioning into different particle sizes. *Industrial Crops and Products*, 36(1), 395-400.
- Nogués, F. S. (2010). *Energía de la Biomasa (volumen I) (Vol. 173)*. Universidad de Zaragoza.
- Osorio, I. O., Rodríguez, E. C., Matute, M. C., & Solís, D. P. (2019, September). Resultado del cambio en la matriz energética en el sector de producción de electrodomésticos de Cuenca. In *Conference Proceedings (Vol. 3, No. 1, pp. 502-515)*.
- Otzen, Tamara, & Manterola, Carlos. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *International Journal of Morphology*, 35(1), 227-232. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037>
- Ponce, T., & Pérez, O. (2002). Celulasas y xilanasas en la industria. *XXX Aniversario de Biotecnología y Bioingeniería*, 21, 273.
- Protásio, T., Bufalino, L., Tonoli, G. H. D., Junior, M. G., Trugilho, P. F., & Mendes, L. M. (2013). Brazilian lignocellulosic wastes for bioenergy production: characterization and comparison with fossil fuels. *BioResources*, 8(1), 1166-1185.
- Purwadi, R. (2006). Continuous ethanol production from dilute-acid hydrolyzates: detoxification and fermentation strategy (Doctoral dissertation, Göteborg: Chalmers tekniska högskola).
- Quintero López, L. A. (2018). Evaluación de potencial energético de los residuos sólidos agroindustriales del proceso de extracción de aceite de palma africana como alternativa energética para el reemplazo de la leña en la zona norte del departamento del Cesar.
- Ramón, S. A. R., Gutiérrez, J. A. C., & Rojas-Suárez, J. P. (2018). Poder calorífico de la cascarilla de arroz usada como combustible en hornos de secado. *Mundo FESC*,

8(16), 63-67.

- Robert Samuelssona, Jan Burvalla, Raida Jirjis, Comparison of different methods for the determination of moisture content in biomass, *Biomass & Bioenergy* 2006; 30: 929–934.
- Rubín, E. M. (2008). “Genomics of cellulosic biofuel”. *Nature Reviews*, 454, 841845, extraído de Castro. C, Valverde. L, López. O (2009) *Biocombustibles: biomasa lignocelulósica y procesos de producción*. Ideas Concyteg. Pp. 1249-1256.
- SA, E. C. (2014). *Atlas Bioenergético del Ecuador*.
- SA, E. C. (2014). *Atlas Bioenergético del Ecuador*. Recuperado de: <http://www.energia.gob.ec/biblioteca/>(Agosto, 2019).
- Sheng, C., & Azevedo, J. L. T. (2005). Estimating the higher heating value of biomass fuels from basic analysis data. *Biomass and Bioenergy*, 28(5), 499-507.
- Telmo, C., Lousada, J., & Moreira, N. (2010). Proximate analysis, backwards stepwise regression between gross calorific value, ultimate and chemical analysis of wood. *Bioresource technology*, 101(11), 3808-3815.
- Torres, L. O. (2008). Producción de biocombustibles sólidos de alta densidad en España. *Boletín Informativo CIDEU*, (5), 107-123.
- Valdivieso Salazar, M. F. (2016). Levantamiento y diseño de un manual de procesos de una empresa comercializadora de combustibles y derivados: caso PX (Tesis de Grado).
- Valverde, A., Sarria, B., & Monteagudo, J. P. (2007). Análisis comparativo de las características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz. *Scientia et technica*, 1(37).
- Vásquez Ruiz, S. M. (2019). Obtención de bioetanol a partir de biomasa lignocelulósica presente en la cascarilla del arroz para ser utilizados en equipos motorizados (Tesis de Grado).
- Velásquez Burbano, V. A. (2016). Análisis económico, social y político de la cadena agroalimentaria del arroz en el Ecuador, periodo 2005-2014 (Tesis de Grado, PUCE).
- Viana H., Vega-Nieva D.J., Ortiz Torres L., Lousada J., Aranha J., Fuel characterization and biomass combustion properties of selected native woody shrub species from central Portugal and NW Spain, *Fuel* 2012; 102: 737-745.cd
- Viana H., Vega-Nieva D.J., Ortiz Torres L., Lousada J., Aranha J., Fuel characterization and biomass combustion properties of selected native woody shrub species from central Portugal and NW Spain, *Fuel* 2012; 102: 737-745.

- Ysambertt, F., Delgado, N., González, T., Bravo, B., Chávez, G., Márquez, N., & Infante, M. (2009). Reacciones de esterificación-sulfonación asistidas por microondas de ligninas kraft: Influencia de los cambios estructurales sobre la tensión superficial. *Ciencia*, 17(3), 255-265.