

**OBTENCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLE MEDIANTE PIRÓLISIS CON BASE EN EL  
APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS AGRÍCOLAS PARTIENDO DE LA  
CASCARILLA DE ARROZ EN LOS CULTIVOS DE LA REGIÓN DE TOLIMA  
GRANDE (TOLIMA Y HUILA)**

**ALEXANDRA ROJAS MEJÍA**

**PROYECTO INTEGRAL DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
ESPECIALISTA EN GERENCIA DE PROYECTOS**

**ORIENTADOR**

**JULIÁN ANDRÉS GÓMEZ  
ADMINISTRADOR DE EMPRESAS**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE CIENCIAS ECONOMICAS Y ADMINISTRATIVAS  
ESPECIALISTA EN GERENCIA DE PROYECTOS  
BOGOTÁ D.C**

**2022**

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Nombre  
Firma del Director

---

Nombre  
Firma del presidente Jurado

---

Nombre  
Firma del Jurado

---

Nombre  
Firma del Jurado

Bogotá, D.C. marzo de 2022

## **DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García Peña

Vicerrector Académico de Recursos Humanos

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretario General

Dr. José Luis Macías Rodríguez

Decano Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas

Dr. Marcel Hofstetter,

Director de programa

Dr. Julián Andrés Gómez

Las directivas de la Universidad América, Los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

## TABLA DE CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	6
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
2. IDEA DE INVESTIGACIÓN	10
3. PREGUNTA PROBLEMA.	11
4. OBJETIVOS	12
4.1 Objetivo general	12
4.2 Objetivos específicos	12
5. JUSTIFICACIÓN	13
6. MARCO TEÓRICO	15
7. CASCARILLA DE ARROZ COMO PRINCIPAL BIOMASA PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL	21
9. NORMATIVAS AMBIENTALES NECESARIAS PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO	26
10. BENEFICIOS AMBIENTALES DE LA PIROLISIS	29
11. RESULTADOS	33
BIBLIOGRAFIA	35

## RESUMEN

El presente trabajo, busca analizar la viabilidad ambiental de desarrollar bio-etanol utilizando un residuo agrícola como lo es la cascarilla de arroz como biomasa, mediante el proceso de lapirolisis. A partir de esta investigación, se encontró que este residuo es un gran candidato parabiomasa, gracias a la cantidad producida a nivel nacional e internacional; a su aprovechamiento y disposición final que actualmente se le da y claramente la composición de esta, que permite una gran degradación de biomasa en el proceso de la pirolisis.

Asimismo, se establecerán las normativas colombianas necesarias para la producción de bio-oil, y su manejo en motores de vehículos particulares con la mezcla de ACPM en los diferentes motores, así como su estandarización para un óptimo proceso y aprovechamiento de este producto.

Por otro lado, se estudia la viabilidad de realizar pirolisis, para ayudar el medio ambiente, partiendo de que este proceso siempre cuenta con 3 productos, que son el bio-etanol, bio- carbón, y bio-gas, se analiza darles un uso a todos los subproductos para mejorar la eficacia del proceso, y así optimizar recursos económicos. Esto permite generar un valor a cada uno de los subproductos que inicialmente no eran deseados y así mejorar el impacto ambiental que genera la cascarilla de arroz, a las tierras, fuentes hídricas y al medio ambiente al día de hoy.

Palabras claves: Gestión ambiental, Pirolisis, Bioetanol, Cascarilla de Arroz

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El interés mundial de mejorar los procesos y productos para que sean más limpios y amigables con el medio ambiente, ha dado paso al aprovechamiento de los diferentes recursos naturales. En especial aquellos que son derivados de la biomasa vegetal y presentan grandes beneficios como su reutilización y su baja cantidad de CO<sub>2</sub> emitido por proceso, gracias a que estos recursos no se extraen de fuentes de carbono secuestradas de la atmósfera, como lo son los combustibles fósiles. (Sánchez Riaño, Rivera Barrero, & Murillo Perea, 2010)

Por otro lado, Colombia es conocida como un país agricultor debido a su ubicación geográfica, disponibilidad de tierras y aguas frescas. Lo que le permite tener una diversidad de productos resultantes de las cosechas como café, plátano, arroz, entre otros. No obstante, estos cultivos generan gran cantidad de residuos que, en su mayoría, no están siendo aprovechados para obtener su mejor beneficio tanto ambiental como económico.

Un ejemplo claro de ello es el arroz, pues como resultado de su producción, además del grano, también se obtiene cascarilla. Esta suele ser desechada y pasa a considerarse como un residuo con gran potencial de contaminación debido al mal manejo que se le administra en su proceso, a la quema indiscriminada de este, que genera gran cantidad de gases de efecto invernadero y como es poco biodegradable, se convierte en un desecho altamente contaminante para las fuentes hídricas.

Además de esto, se debe tener en cuenta que los costos de transporte de este desecho incrementan el valor total de la producción de arroz, lo que causaría el crecimiento del precio neto de su producto. Por esto, gran parte de los agricultores optan por desechar este residuo, que no tiene valor alguno para ellos, en fuentes hídricas o en suelos cercanos a estas, sin importar su baja degradabilidad natural, dado a su alto contenido en sílice que es aproximadamente el 20%. (Prada & Cortés, 2010)

A pesar de que su intención es evitar gastos, estos actos, generan grandes daños ambientales. Para lo cual, se busca una solución con el fin de poder brindar un beneficio a todos los interesados, tanto los agricultores, como aquellos que utilicen la cascarilla de arroz para la producción de biomasa. Esto proporcionará una mejor calidad de fuentes hídricas y suelos alrededor de dicho proyecto, por esto, una de las mejores opciones es la zona del Tolima, Huila.

Sin embargo, una de las limitaciones del uso de este residuo es que no se ha llegado a la etapa de implementación de los diferentes productos obtenidos a partir de este, por lo que no se tiene una información real de la cantidad de cascarilla de arroz consumida en cada proceso, así como la viabilidad ambiental, técnica y económica. Del mismo modo, la composición de la cascarilla de arroz, presenta otros inconvenientes al momento de llevar a cabo un proceso de tratamiento, por ejemplo, si se desea desintegrar la cascarilla de arroz por medios biológicos debido al contenido de silicio (cerca del 17%) se convierte en un material de muy baja degradabilidad por lo que la acumulación de este residuo en el ambiente es inevitable. (Prada & Cortés, 2010)

Actualmente, existen varios métodos para la producción de biomasa, entre esos están clasificados por conversión bioquímica o termoquímica. La pirólisis es una alternativa de la segunda, es un proceso de transformación básica, en la cual obtenemos tres tipos de productos favorables, todos utilizables como lo son el gas, el aceite y el carbón que en ese mismo orden generarán calor, electricidad, y combustible, haciendo de un desecho totalmente contaminante, tres oportunidades de mejoramiento en la calidad de vida del sector en el que se realice el método, y además una alta reducción en el impacto ambiental que producía este residuo.

El principal interés por la técnica de pirólisis térmica de la cascarilla de arroz, es que gracias a su composición química puede realizar biocarbón, bio-oil y biogás. De los cuales, el primordial producto será el biocombustible obtenido ya que esta materia prima a su temperatura óptima de 550°C, tendrá un rendimiento del 45,35%. (Fermanelli, Gonzalez, Saux, & Pierella, 2011) Sin contar que sus otros derivados también serán reutilizados en la generación de energía en forma de calor y electricidad. Igualmente, sus otros subproductos, como el bio-carbón, pueden convertirse en provecho de mayor valor agregado, como lo es el carbón activado.

Teniendo en cuenta que la cascarilla de arroz es un tejido vegetal constituido por polímeros de celulosa, hemicelulosa y sílice, los cuales son componentes que mediante procesos físicos, químicos o biológicos pueden convertirse en biocombustibles. Para poder llegar a esto, es necesario realizar unos pretratamientos a la celulosa manejando la presión, temperatura y medio y sistemas de reacción para producción de hidrógeno. Esto permitirá que el proceso se dé con un buen rendimiento y a mejorar las condiciones óptimas de reacción para realizar el proceso de la pirólisis.

Para finalizar, se puede considerar el método de pirólisis para obtener biocombustible a partir de cáscara de arroz, como una opción interesante y a la vez viable para la región de Tolima grande dado que es un proceso que es amigable con el ambiente e igualmente, el biocombustible que se obtendrá en comparación a los combustibles actuales (combustibles fósiles), reducen las emisiones del CO<sub>2</sub> que incrementan el efecto invernadero.

## **2. IDEA DE INVESTIGACIÓN**

Obtención de biocombustible mediante pirólisis con base en el aprovechamiento de residuos agrícolas partiendo de cascarilla de arroz en los cultivos de la región de Tolima Grande (Tolima, Huila), con el objetivo de reducir los impactos ambientales que estos pueden provocar tanto en los suelos, como en las fuentes hídricas y así obtener un beneficio a los productos secundarios de este proceso en su totalidad.

### **3. PREGUNTA PROBLEMA.**

¿Cuáles son los beneficios ambientales de obtener biocombustible mediante el método de pirólisis a partir de residuos agrícolas generados por la cascarilla de arroz?

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1. Objetivo general**

Analizar la viabilidad ambiental de la obtención de biocombustible a partir de la cascarilla de arroz utilizando el método de pirólisis.

### **4.2. Objetivos específicos**

- Estudiar la cascarilla de arroz como principal biomasa para la obtención de biocombustible en la región de Tolima grande.
- Identificar cuáles son las normativas ambientales para desarrollar el proyecto de obtención de biocombustible a partir de cascarilla de arroz utilizando el método de pirólisis.
- Enunciar cuáles son los beneficios ambientales que trae el método de pirólisis en la obtención de biocombustible a partir de la cascarilla de arroz.

## 5. JUSTIFICACIÓN

Colombia es un país subdesarrollado que se encuentra en constante búsqueda de convertirse en un país desarrollo, a esto lo aventaja ser considerado el cuarto país con mayor biodiversidad tanto en fauna como en flora, que según *National Geographic* en su totalidad tendría el 10% de la biodiversidad del planeta. Gracias a esto, es un excelente candidato para implementar el desarrollo de energías y fuentes renovables a partir de desechos orgánicos que en su mayoría se dan de los residuos de cosechas, cultivos, etc.

Ahora bien, una alternativa para la reutilización de residuos, con fin de ayudar al medio ambiente sin afectar la flora del país, es la obtención de biomasa a partir de productos de desecho, en este caso de cosecha. Puesto que Colombia es un país agricultor, y se busca tener una gran cantidad de materia prima, y este es un producto al que no se le está dando la utilidad apropiada y en su mayoría es contaminante, el brindar esta propuesta de estudio permitiría una reducción en los costos y así mismo el impacto ambiental de estos subproductos.

Además, se debe tener en cuenta que, gracias a sus composiciones las mejores opciones para la producción de biomasa son la caña de azúcar, la panela, la cáscara de arroz, café, banano, maíz, palma de aceite, entre otros. Sin embargo, se decide que la mejor opción será la cascarilla de arroz puesto que Colombia al ser un país arrocero produce cantidades ingentes de este, tanto para el país, como para exportar. Por lo que genera grandes porciones de desecho, que en su mayor composición contienen la sílice, elemento que lo hace totalmente contaminante para las tierras y fuentes hídricas donde en su normalidad los agricultores lo desechan. Con base en esto, se logra lo que se buscaba que era tener una gran cantidad de materia prima que reducirá costos a los agricultores y al mismo tiempo reducirá el daño ambiental que esta causa.

Según el atlas de potencial energético de biomasa residual en Colombia, la región de Tolima grande (Tolima y Huila) cuenta con 1.500 a 46.000 hectáreas cosechadas por año para los residuos de cultivos de arroz, además la cantidad municipal de este residuo medida en miles de toneladas por año está entre 40 a 1.500. (Escalante, Orduz, Zapata, Cardona, & Duarte, 2008) Sin embargo, al tener esta ventaja para producir biocombustibles a partir de cascarilla de arroz esta región se encuentra atrasada en la producción de estos debido a que no cuenta con instalaciones industriales para tal fin. (Sánchez Riaño, Rivera Barrero, & Murillo Perea, 2010)

Por otro lado, existen variedad de métodos para la obtención de biomasa a partir de residuos agrícolas, tales como la gasificación, degradación microbiana, degradación térmica, entre otros. No obstante, cabe resaltar que todos son muy útiles dependiendo del producto que se desee obtener, para el objetivo que se busca en esta investigación la mejor opción hablando de costos y de bajo impacto ambiental es la pirólisis, también conocida como degradación térmica.

No obstante, también cabe resaltar que este proceso de pirólisis es de importancia básica pues posee una condición autónoma de transformación de biomasa y hace parte de los procesos iniciales de otros posibles métodos, como la gasificación y la combustión.

De igual manera, es preciso conocer otro aspecto llamativo de este método, tal como que, normalmente se efectúa en una atmósfera inerte y sus condensados contienen una alta concentración de compuestos oxigenados, entre los que se encuentran principalmente fenoles y ácido acético, la concentración de parafinas es mínima y no se detectan hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs).

## 6. MARCO TEÓRICO

Según Salinas y Gasca en la revista El Cotidiano, (2009)

Se entiende por biocombustible aquellos combustibles que se obtienen de biomasa. El término biomasa, en el sentido amplio, se refiere a cualquier tipo de materia orgánica que haya tenido su origen inmediato en el proceso biológico de organismos recientemente vivos, como plantas, o sus desechos metabólicos (el estiércol); el concepto de biomasa comprende productos tanto de origen vegetal como de origen animal (Salinas y Gasca. 2009, p.15)

En otras palabras, la biomasa es la materia orgánica que está presente en un ecosistema, el cual conserva energía acumulada que puede ser liberada sometiéndola a diversos procesos de aprovechamiento energético, esta se puede obtener de residuos industriales, residuos de poda, residuos agrícolas y residuos forestales por lo tanto se procedió en el transcurso de la investigación a indagar en la clasificación de esta, y se escogió la biomasa a partir de residuos agrícolas debido al potencial en Colombia, luego se averiguo un residuo agrícola que en Colombia se desaprovechara, y se halló la cascarilla arroz como principal candidato para el estudio.

De acuerdo con Quintero y Quintero (2015):

Diversas organizaciones y entidades en todo el mundo prevén que la producción de energía mediante biomasa juega un papel importante en una matriz de energía sostenible para el futuro. Países como China, Japón, India, España, Portugal, Estados Unidos, Colombia, Brasil y Argentina están promoviendo el uso activo de biomasa para la energía y el impulso del desarrollo de los conocimientos y la tecnología necesarios para los sistemas de energía de biomasa avanzados.

Asimismo, la cascarilla de arroz genera muchos residuos debido a que únicamente se utiliza el grano en la industria alimenticia, pero en este caso, su desecho tiene un gran valor energético. Se estima aproximadamente que las cantidades obtenidas de cascarilla y paja de arroz son de aproximadamente 2000 Kg por hectárea. (Bretaña del Campo, 2007)

Según Sierra Aguilar en 2009 la planta de arroz está constituida por cuatro componentes

principales: el germen (parte más rica en nutrientes, ácidos grasos, aminoácidos y enzimas, queda lugar al crecimiento del grano), el endospermo (representa el 70% del volumen del grano y constituye al final del proceso el producto denominado arroz blanco), la cutícula o polvillo (alcanza un 6,8% del volumen en el grano de arroz utilizado como alimento para animales por su alto contenido de grasas) y la cáscara o pajilla (constituye el 20% en peso del grano y es separado en el proceso de pilado que ocasiona problemas de acumulación de este desecho).

Para Pinedo, (2013):

La pirólisis es un proceso termoquímico que convierte la materia orgánica en combustible útiles, con un alto rendimiento, mediante calentamiento a temperatura moderadamente alta (350-650°C) y en ausencia de oxígeno. Por su capacidad de tratamiento, es el método más eficaz para competir con las fuentes de combustibles no renovables. Desde un punto de vista químico, la pirólisis es un proceso complejo. Generalmente, se lleva a cabo a través de una serie de reacciones en las que influyen muchos factores: la estructura y composición de la materia prima, la tecnología utilizada, la velocidad de calentamiento, el tiempo de residencia, la velocidad de enfriamiento y la temperatura del proceso, es la conversión termoquímica de la biomasa en tres productos (ruta clásica): líquido (bioaceites), gas (biogás) y residuo carbonoso (biocarbón). (Pinedo, 2013)

Teniendo en cuenta esto, se analiza la obtención de biocombustibles a partir de cáscara de arroz utilizando el método de pirólisis, como una gran posibilidad para desarrollarse en el país, para esto se estudiaron diferentes investigaciones realizadas en Bangladesh y Taiwán.

Shafique, Salam, Nurul & Shahidul investigaron la pirólisis de la cáscara de arroz recolectada de un molino ubicado en Paharty Bazar, Raozan, Chittagong- Bangladesh en un reactor de lecho fijo el cual obtuvieron un rendimiento de bio-oil de 40 % en peso con propiedades ácidas y una corrosividad suave para los materiales del reactor. En su estudio se realizó un pretratamiento de la cáscara de arroz, primero secaron la muestra de cáscaras de arroz al sol, luego la limpiaron y se procedió a un tamizado para obtener los tamaños 0.5 a 7 mm de diámetro, estos se secaron en un horno a 115°C y se almacenaron en recipientes de plástico hermético posteriormente, para el proceso de la pirólisis procedieron de la siguiente manera:

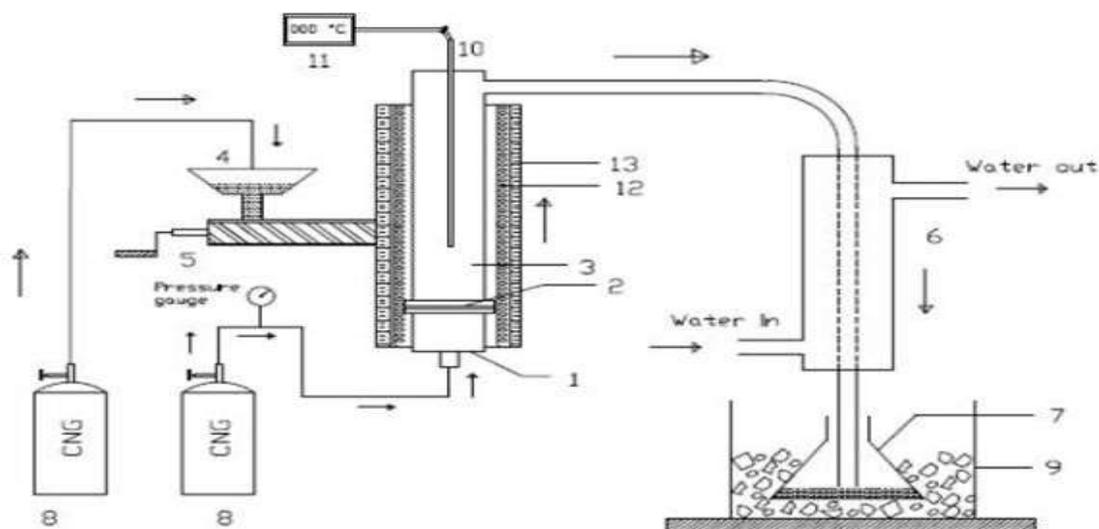
El reactor fue calentado externamente por calentadores eléctricos, la velocidad de

alimentación fue de 200 gramos por hora y el gas portador era gas natural. Alrededor de 100 gramos de cáscara de arroz se colocaron en la tolva y el suministro eléctrico fue controlado y a su vez monitoreado por los reguladores de voltaje. La temperatura en el lecho del reactor se midió por medio de un termopar tipo K, después de unos pocos minutos, la temperatura se elevó a aproximadamente 400°C. El gas natural a 1,5 L/min se introdujo en el precalentador, luego a través de la placa de distribución, el gas se introdujo en la cámara del reactor y cuando la temperatura del lecho alcanzó una temperatura adecuada de aproximadamente 500 ° C, la cáscara de arroz se dejó caer en el reactor desde la tolva sellada, el tiempo de residencia fue de 1,2 minutos. Los vapores y gases abandonaron el reactor y entraron en el condensador enfriado por agua, estos vapores de pirólisis se enfriaron cuando pasaban a través del condensador. Así, el producto líquido, el aceite de pirólisis se recogió en el colector enfriado con hielo y el bio-carbón fue recogido después de completar las carreras. El bio-aceite fue analizado por sus propiedades como combustibles, Las propiedades físicas fueron analizadas y la composición química del bio-aceite se investigó mediante técnicas cromatográficas y espectroscópicas (FTIR y GC-MS). (Shafique, Salam, Islam, & Islam, 2014)

A pesar, de que este es un estudio realizado en Bangladesh se interpreta el esquema de proceso que utilizaron para esta investigación como se puede observar en la figura 1, que es el posible esquema que proponen para la obtención de biocombustible a partir de la cascara de arroz utilizando el método de la pirólisis, en donde como se puede ver en la imagen para el proceso se utilizarían cilindros de CNG, es decir cilindros de almacenamiento de gas natural.

**Figura 1.**

*Esquema de proceso utilizado en la investigación de Bangladesh para la “Puesta en marcha de combustible alternativo de pirólisis de cáscara de arroz”*



*Nota.* (1) Precalentador, (2) distribuidor de gas, (3) Reactor, (4) Tolva, (5) Tornillo de alimentación, (6) Condensador, (7) Colector de líquidos, (8) Cilindros de GNC, (9) Caja de hielo, (10) Termocupla, (11) Monitor de Temperatura, (12) Calentadores eléctricos, (13) Aislamiento. Tomado de Shafique, H., Salam, B., Islam, N., & Islam, S. (2014). *Alternative Fuel from pyrolysis of rice husk. Proceedings of the International Conference on Mechanical Engineering and Renewable Energy.* Chittagong, Bangladesh.

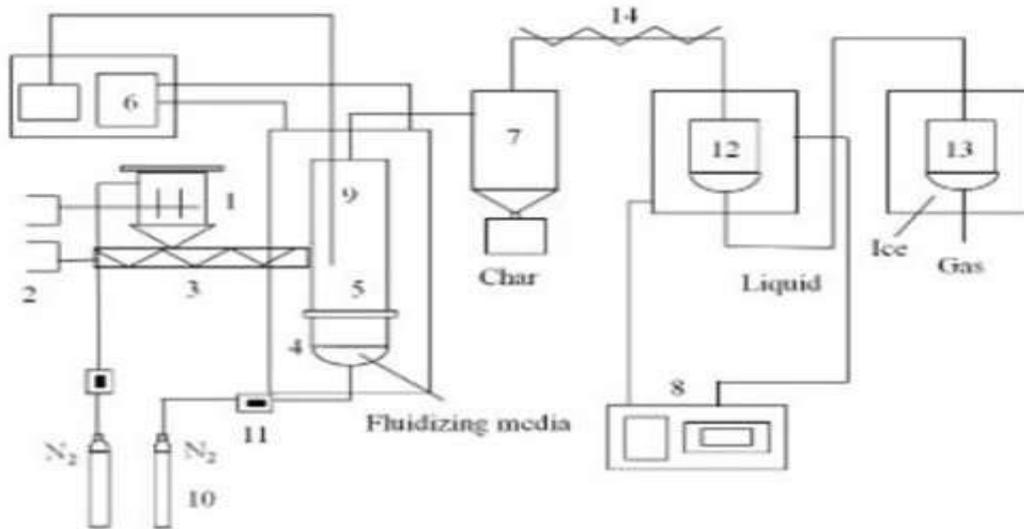
Igualmente, Hsu, Huang & Kuo analizaron el producto elaborado de la pirólisis de cascarilla de arroz cosechada en el condado de Changhua, en Taiwán, al contrario de Shafique, Salam, Nurul & Shahidul, en este estudio se utilizó un lecho fluidizado como reactor con perlas de vidrio como medio de fluidificación, la mayor fracción de bio-oil obtenida en el producto fue alrededor de 30%, es decir un 10% menos que el estudio realizado en Bangladesh.

En esta investigación primero se almacenó la cáscara de arroz después se introdujo por 12 horas en un horno a 50°C, luego se envió al reactor de lecho fluidizado, este tenía 50 mm y 350 mm de diámetro interno y de longitud, respectivamente. Posteriormente, el reactor se llenó con 200 g de perlas de vidrio (0,42 mm – 0,84 mm) como materiales de lecho. A continuación, la pirólisis de las cáscaras de arroz produce biogás, bio-oil y bio-carbón. El biocarbón se recoge dentro del reactor y es el primer ciclón del sistema. El bio-oil se recoge en la trampa de agua a 20 °C y 0 °. El biogás se introduce en un respiradero. El nitrógeno del cilindro de gas se inyecta en el reactor con un caudal de gas portador de 30 l/min a 40 l/min. La temperatura del reactor se establece en 600 °C. Una vez que el sistema alcanza el estado estable durante 30 minutos, las cáscaras de arroz se alimentan

al sistema a través del alimentador de tornillo con una velocidad de 10 g/min a 20 g/min. Posterior al proceso de alimentación, se sigue inyectando nitrógeno en el sistema durante 30 minutos para asegurar que no haya acumulación de sustancias volátiles. (Hsu, Huang, & Kuo, 2015)

**Figura 2**

*Esquema del proceso utilizado en la investigación de Taiwán. Dibujo gráfico del procesorápido de pirólisis*



**Nota.** (1) corriente de alimentación de lo almacenado. (2) Alimentador de tornillo, (3) horno, (4) Pirolizador de lecho fluidizado, (5) Termocupla, (6) Controlador de temperatura, (7) ciclón, (8) alambre calefactor, (9) trampa fría a 20°C, (10) trampa de hielo a 0°C, (12) cilindro de gas, (13) controlador del flujo másico. Tomado de Hsu, C.-P., Huang, A.-N., & Kuo, H.-P. (2015). Analysis of the Rice Husk Pyrolysis Products from Fluidized Bed Reactor. *Science Direct*, 1183-1186.

Asimismo, García investigó sobre la pirólisis como un estudio preliminar para la obtención de biocombustible, esta cascarilla de arroz es obtenida de residuos sólidos municipales luego enviada al laboratorio de suelos del IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi) en el cual se realizó el análisis de composición elemental para determinar el porcentaje de carbono, nitrógeno, hidrógeno y azufre, en un reactor de acero inoxidable calibre 40 en el cual no se obtuvo fracción líquida con un contenido energético significativo, se obtuvo una fracción sólida que es considerado un tipo de carbón denominado turba, en términos energéticos. El mejor producto obtenido con una capacidad calorífica de 3957 kcal/g (17 MJ/Kg) fue obtenido a una temperatura de 700°C, para la cual la reducción de volumen fue del 60% y se generaron porcentajes de sólidos y alquitrán del 40% y del 5,5% respectivamente. Además, este proceso fue una pirólisis rápida con una tasa de calentamiento de 8,9°C/min y una tasa de enfriamiento de 4,6 °C/min. (García, 2007)

Además, Fermanelli, González, Saux & Pierella investigaron sobre la pirólisis de la cáscara de arroz fue provista por la empresa Duval Flores, en La Paz, Entre Ríos. y la de maní por Lorenzatti, Ruetsch y Cia, en Ticino, Córdoba. Los experimentos se realizaron en un reactor de vidrio, de lecho fijo, bajo atmósfera de nitrógeno y durante 10 minutos. El reactor se colocó dentro del horno una vez alcanzada la temperatura de reacción. Se determinó que la temperatura que mayor rendimiento a bio-oil produjo fue de 550 °C. El rendimiento a bio- carbón es de 42% p/p el cual se explica debido al alto contenido en sustancias inorgánicas que la misma presenta y presenta un rendimiento de 45% p/p de bio-oil. (Fermanelli, Gonzalez, Saux, & Pierella, 2011)

Del mismo modo, Abu bakar, Titiloye: Investigaron la pirólisis catalítica para la producción de bio-oil el experimento se realizó en un reactor de lecho fijo con catalizadores ZSM-5, Al- MCM-41, Al-MSU-F y Brunei ceniza de cáscara de arroz (BRHA) a 450°C donde se obtiene un rendimiento bio-oil líquido de hasta 40% (en peso) se registró para los experimentos catalíticos, que es ligeramente más alto que el rendimiento de carreras no catalíticos. El cambio significativo que se observó, fue el aumento de los gases de rendimiento para todas las pistas catalíticas, en el estudio realizado se identificó que, para casi todas las carreras catalíticas, a excepción de Al-MCM-41 que aumentó el contenido de CO, se encontró que el rendimiento líquido a ser afectados por ZSM-5 y BRHA con reducción leve en comparación con carreras no catalíticos.

Estos hidrocarburos (PHAs) se denominan contaminantes orgánicos persistentes prioritarios en cuanto a su monitoreo y control a nivel mundial, ya que numerosas investigaciones alrededor del mundo han abordado esta problemática para conocer el comportamiento y destino de los PAHs en el medioambiente, en particular se encuentran en sistemas costeros antropizados e industrializados, pero, la contaminación ambiental de estos se analiza desde varios aspectos; uno de estos es la presión antrópica sobre los ecosistemas, esta presión es suficiente para generar un estado dinámico de contaminación.

Por lo tanto, se puede afirmar que al minimizar la producción de estos contaminantes se reducirá el impacto ambiental de estos mejorando y ampliando la calidad de vida de los ciudadanos.

## 7. CASCARILLA DE ARROZ COMO PRINCIPAL BIOMASA PARA LA PRODUCCION DE BIOETANOL

Colombia es un país con gran potencial agricultor, gracias a la cantidad y calidad de suelo que posee. No obstante, de estos procesos agrícolas siempre salen residuos que no son comestibles o de poca utilidad para los campesinos. La cascarilla de arroz es uno de los productos de desecho agroindustriales que más se acumulan en el país. De acuerdo a la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) la producción de arroz en el 2020 en Colombia fue de 581.126 hectáreas, donde la industria local da una cuenta de producción anual de 3.242.119 Toneladas donde la segunda región con más producción de arroz es el Tolima con 102.905 hectáreas producidas (Gómez, 2021).

### Figura 3.

*Aspecto de la cascarilla de arroz*



*Nota.* Acá se ve como luce la cascarilla de arroz cuando sale de cosecha, en la industria arrocera, tomado de Valdemar de la Garza. (2015). Cascarilla de arroz. Tomado de la red: <https://www.delagarzamateriasprimas.com/producto/cascarilla-de-arroz/>

En la actualidad, el principal desecho que se genera en la industria arrocera es la cascarilla de arroz que recubre el grano de arroz, este suele ser de consistencia quebradiza, abrasiva y su color puede variar entre pardo rojo o púrpura oscuro, tiene una densidad muy baja lo que implica que es un reto almacenarla, ya que esta cuenta con un peso específico de  $125 \text{ Kg/m}^3$  almacenar 1 tonelada ocuparía en promedio un espacio de  $8 \text{ m}^3$  al granel (Prada & Cortés, 2010). Es por esto que los molineros suelen eliminarlos mediante la incineración al aire libre, lo que se convierte en una preocupación ambiental por el impacto nocivo que genera este desecho tanto ambiental como para los seres humanos. Además de implicar un sobre costo para la industria arrocera.

Teniendo en cuenta que la cascarilla de arroz es aproximadamente el 20% de la producción de arroz, en el año 2020 la región de Tolima alcanzó la producción de 789.988 toneladas de arroz, lo que indicaría que en promedio anual se obtuvo 157.997,6 toneladas de cascarilla, esto indica inicialmente que hay suficiente materia prima para empezar la producción de bioetanol utilizando este residuo como principal biomasa. (Nuevo Día, 2021)

Además de esto, cabe resaltar que las propiedades de este residuo hacen que tenga un gran potencial mundial en la producción de etanol, entre 21 y 24 giga litros anuales, es decir que, sólo usando la cascarilla de arroz (de todo el mundo) como principal fuente de biomasa para producir bioetanol, se supliría la quinta parte de la necesidad mundial de bioetanol para una mezcla E10 (10% Etanol). (ISAAA, 2011)

Además, este residuo presenta un poder calorífico alto de entre 3,3 – 3,6 Cal/Kg, y los rangos obtenidos para el análisis químico a nivel mundial de la cascarilla de arroz indican que su composición consiste en 25,89 - 35,5% de celulosa, 18,1 – 21,35% de hemicelulosa y 18,2 – 24,6% de lignina. (Valverde, Sarria, & Monteagudo, 2007). Los altos niveles de celulosa y su poder calorífico permiten que la cascarilla sea considerada como una de las principales opciones para realizar el bioetanol ya que para este proceso se necesita de cualquier tipo de azúcar que se pueda fermentar y para este caso, estas grandes cantidades de celulosa, se pueden transformar en azúcares fermentables por descomposición enzimática y así producir el bioetanol.

Antes que nada, es importante aclarar que el bioetanol se puede producir a partir de cualquier base orgánica que clasifique como biomasa, dependiendo del tipo de esta, se clasificará el biocombustible como de primera o segunda generación; Cuando hacemos referencia al primero estamos hablando de biomasa que provenga de cualquier tipo de alimento. Mientras que el segundo, hace referencia a sus residuos, es decir, que no habría una competencia respecto a la producción de alimentos, ni se entraría en la polémica de ¿Qué sería realmente prioridad, si la producción de alimentos o el combustible?

Por esta razón se vuelve factible aprovechar este desecho de forma mundial, ya que en el mundo se producen cantidades ingentes de arroz y hasta el momento no hay ninguna actividad que reutilice o le dé un nuevo uso a este. Los principales productores de arroz en el mundo son India y China, ejecutar este proyecto en estos países arroceros, incrementaría el sector económico y la supliría parte de la demanda de energía actual.

Adicional a esto, otra ventaja además de no involucrarse en dicha polémica, es que, escoger un residuo agrícola para producir bioetanol, beneficiaría el medio ambiente y a los agricultores

como tal. Puesto que se considera que este residuo es realmente contaminante debido a su composición química, su baja degradabilidad natural, su alto contenido de ceniza y sílice en esta, a que el manejo actual que le dan a este desecho es la incineración sin techo, lo que indica que no hay un verdadero control en los gases que esta actividad genera.

Por lo mismo, es importante aclarar que es lo que hace a este residuo tan contaminante para ello, se empezará por exponer su composición química natural como se muestra en la tabla 1, y como se puede observar en esta su mayor composición se basa principalmente en Carbono Oxígeno y la Ceniza de la cascarilla de arroz.

**Tabla 1**

*Composición Química de la Cascarilla de Arroz.*

COMPONENTE	PORCENTAJE (%)
Carbono	39,1
Hidrogeno	5,2
Nitrógeno	0,6
Oxígeno	37,2
Azufre	0,1
Cenizas	17,8
<b>TOTAL</b>	<b>100,00</b>

*Nota.* En la tabla se explican los principales componentes químicos que contiene la cascarilla de arroz. Tomado de: Prada, A., Cortés, C. (2010). La descomposición térmica de la cascarilla de arroz: Una alternativa de Aprovechamiento integral. Orinoquia, 14. (p. 155-170)

Como se puede observar en la anterior tabla, uno de los mayores componentes es la ceniza y es gracias a este que se considera tan contaminante, en la tabla 2 se ilustra la composición química de esta, donde se puede observar que los mayores compuestos de esta son el Óxido de Potasio ( $K_2O$ ), Sulfatos ( $SO_3$ ) y la Ceniza de Sílice ( $SiO_2$ ). Este último es el 96% de la composición en total y es un compuesto que no suele sufrir una disociación al quemarse, lo que provoca complejidad para obtener una combustión continua y completa, además de generar contaminación ambiental, genera que la cascarilla de arroz no se pueda utilizar como un subproducto alimenticio, puesto que

disminuye la digestibilidad de los alimentos y se consideramuy difícil de biodegradar.

**Tabla 2**

*Composición de la Ceniza en la Cascarilla de Arroz.*

COMPONENTE	PORCENTAJE (%)
Oxido de Potasio (K <sub>2</sub> O)	1,10
Oxido de Sodio (Na <sub>2</sub> O)	0,78
Oxido de Calcio (CaO)	0,25
Oxido de Magnesio (MgO)	0,23
Sulfatos (SO <sub>4</sub> )	1,13
Sílice (SiO <sub>2</sub> )	96,51
<b>TOTAL</b>	<b>100,00</b>

*Nota.* Representa porcentajes de la composición de la cascarilla del arroz Tomado de: Valverde, A., Sarria, B., & Monteagudo, J. (2007). Análisis Comparativo de las Características Físicoquímicas de la Cascarilla de Arroz. Scientia et Technica, 255-260

Teniendo en cuenta que el mayor porcentaje es de Oxido de Silicio también conocido como Sílice (SiO<sub>2</sub>), explica por qué del contenido de humedad en la cascarilla de arroz en tan bajo, ya que este compuesto tiene la facilidad de absorber el agua. “El alto contenido de ceniza no es la razón principal por la que no puede ser quemada satisfactoriamente, su mayor problema radica en la mínima reducción de tamaño y la retención del carbono en su estructura de sílice”(Torres, 2018)

Otro aspecto a tener en cuenta, es que la quema de la cascarilla de arroz a cielo abierto, presenta un impacto nocivo no sólo para el medio ambiente sino también para la salud humana, pues este proceso altera las condiciones físicoquímicas y biológicas del suelo, a las fuentes hídricas que se encuentren a su alrededor, e incluso a la atmosfera con los gases y partículas en suspensión generadas. Por tal motivo el Ministerio de Salud, reglamento una norma para la prohibición de quemar a cielo abierto a través del Decreto 948 de 1995 en su Artículo 138. Decreto que desconocen la mayoría de los agricultores.

Así mismo, utilizar este residuo beneficiaría a los agricultores y molineros en sector

arrocero, ya que habría una reducción en los sobrecostos que generan los fletes y las incineraciones de estos desechos, realizar este proyecto con este subproducto como principal biomasa beneficiar a ambas partes, pues por un lado se tiene la cantidad necesaria de biomasa y por el otro le damos solución al uso propio de este sin generarle más preocupaciones a la industria sino que se generaría una mejor ganancia en su producción y trabajo. Por ende, tomarla cascarilla de arroz como principal fuente de biomasa permitiría reducir el impacto, ambiental, y económico que en la actualidad se está generando indiscriminadamente a partir de la producción arrocería no sólo en Tolima y Huila, sino en el sector colombiano.

## 9. **NORMATIVAS AMBIENTALES NECESARIAS PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO**

Con el fin de realizar un biocombustible con altos estándares es necesario basarse en la normativa para cumplir con los parámetros, establecidos por el gobierno y así realizar un producto de alta calidad y funcionalidad, como en todos los casos, cada país tiene su propia reglamentación para la producción de cualquier producto, en el caso de Colombia, está la Ley 693 de 2001,

Esta Ley, tuvo como objetivo principal la diversificación de la canasta energética colombiana a través del uso de alternativas compatibles con el desarrollo sostenible en lo ambiental, lo económico y lo social. Mediante esta reglamentación se estableció un comprensivo marco legal y normativo, que además de promover el uso de los agro carburantes, proporcionó los estímulos necesarios para la producción, comercialización y consumo (UPME, 2009)

**Figura 4**

*Criterios para la diversificación de la canasta familiar a través del uso de Biocombustibles.*



**Nota.** A continuación, se observan los criterios esperados para la diversificación de la canasta familiar a través de los biocombustibles. Tomado de UPME. (2009). Biocombustibles en Colombia. *República de Colombia - Ministerio de Minas y energía*, pp.4 – 10.

Como se puede observar en la figura 3. La ley 693 de 2001 busca la producción de bioetanol a partir del origen vegetal buscando mantener los 6 criterios nombrados que son; sostenibilidad ambiental, mejora en la calidad de los combustibles, desarrollo agroindustrial, y agrícola, generación de empleo, y abastecimiento energético. Posteriormente se expidió la Ley 939 de 2004, donde se actualizaron conceptos no comprendidos en la anterior ley como la aprobación de la producción del bioetanol a partir de origen animal y aquí se excluye el biodiesel del pago de impuestos de ventas y globales.

Por otra parte, también se encuentra La Ley 1151 de 2007, que principalmente se encarga de encontrar y promover políticas que no solo desarrollen el mercado de biocombustibles para diversificar la canasta energética, sino que permitan sentar las bases para avanzar hacia el desarrollo sostenible en un contexto de sostenibilidad social, ambiental, económica y financiera.

En este sentido, en marzo del 2008 se publicó el documento CONPES 3510, que establece la política a largo plazo para el sector de biocombustibles, la cual está orientada a promover la producción sostenible de biocombustibles en Colombia, aprovechando las oportunidades de desarrollo económico y social que ofrecen los mercados emergentes de los biocombustibles. De esta manera, se busca expandir los cultivos de biomasa conocidas en el país y diversificar la canasta energética dentro de un marco de producción eficiente y sostenible económica, social y ambientalmente, que permita competir en el mercado nacional e internacional. (UPME, 2009)

Asimismo, hay que tener en cuenta que en la actualidad, siempre se busca hacer proyectos que sean sostenibles en todo aspecto, ambiental, social, económico. Para cumplir con esto, en el presente año se actualizaron 3 resoluciones en donde se modifica el contenido de alcohol carburante en la mezcla con gasolina motor corriente y extra, el contenido de biocombustible - biodiesel en la mezcla con diésel fósil; se establece el contenido máximo de alcohol carburante-etanol en la mezcla con gasolina motor corriente extra y el contenido de biocombustible máximo en la mezcla con combustible diésel fósil a nivel nacional; y se establecen parámetros de calidad del ACPM, los biocombustibles para uso en motores de encendido por compresión como componentes de mezcla en procesos de combustión y de sus mezclas y, de las gasolinas básicas y gasolinas oxigenadas con etanol anhidro, combustible para uso en motores de encendido por chispa, todas estas modificaciones y parámetros

se enfocaron en la Resolución 40261 de 2021, La Resolución 40111 de 2021, y la Resolución 40103 de 2021 respectivamente.

Asimismo, también hay que basarse en la Ley 1715 de 2014, su objetivo es promover el desarrollo e innovación de las energías renovables no convencionales, además de orientar las políticas públicas y definir los instrumentos tributarios, arancelarios, contables y de participación en el mercado energético colombiano, establecer mecanismos de cooperación entre entidades públicas y privadas en el desarrollo de fuentes no convencionales.

Como se puede ver existen muchas leyes, y resoluciones vigentes en el país colombiano que trazan los parámetros necesarios y buscan el desarrollo sostenible del funcionamiento de energías renovables, en donde se establece la funcionalidad actual del biodiesel, la composición, y el contenido que debe tener de alcohol carburante, la mezcla de biodiesel con gasolina, se establecen parámetros y requisitos de calidad de los biocombustibles para el uso de estos en motores de encendido por comprensión como componentes de mezcla en proceso de combustión, porcentaje de mezcla de biocombustibles para uso de motores diéselen Bogotá, centro del país y los llanos orientales.

## 10. BENEFICIOS AMBIENTALES DE LA PIROLISIS

Hoy en día existen variedad de métodos para la producción de bioetanol, entre esos son los tratamientos químicos, microbiológicos, y enzimáticos, de igual forma se puede realizar produciendo una hidrólisis ácida, seguida de una enzimática, y por último la fermentación, también existen métodos como la gasificación, o la degradación térmica, la pirolisis hace parte de esta última. La pirolisis es una degradación térmica de una sustancia en ausencia de oxígeno, por lo que dichas sustancias se descomponen mediante calor, sin que se produzcan las reacciones de combustión.

En este método, siempre se obtienen como resultado los siguientes subproductos; Gas, cuyos componentes básicos son CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y compuestos más volátiles que puedan provenir del cracking de moléculas orgánicas, además de los residuos ya preexistentes, estos se asemeja al gas de síntesis que se da en el método de la gasificación. No obstante, lo que realmente diferencia a estos dos es que este último contiene una mayor presencia de alquitranes y ceras, por lo que la pirolisis trabaja con temperaturas bajas en comparación a la gasificación; Residuo líquido, este principalmente compuesto por hidrocarburos de cadenas largas como alquitranes, aceites, fenoles, ceras formadas al condensar a temperatura ambiente; y el Residuo sólido, que está compuesto por el material no combustible, que bien puede que no se hayan transformado, o bien pueden proceder de una condensación molecular con un alto contenido de carbón, metales pesados y otros componentes.

No obstante, existen técnicas que mejoran la productividad ambiental de la pirolisis en el aprovechamiento de sus subproductos, como lo es la tecnología de Biochar, que es la aplicación del biocarbón, utilizándose para remediar las tierras agrícolas, con el fin de sustituir otras clases de combustibles o para secuestrar carbón en la tierra, este incrementa la fertilidad de la tierra, la cosecha anual y su productividad modula el agua y la nutrición de la tierra, debido a su consistencia porosa, en esta metodología se entiende que a diferencia del fuego normal la pirolisis atrapa el CO<sub>2</sub> en el biochar en lugar de soltarlo a la atmósfera como se acostumbra en la actualidad.

Una de las oportunidades que permite este método, es que cuando hay escasez de agua, el Biochar conserva la conserva y la suelta lentamente en la planta, del mismo modo si en un caso opuesto hay exceso de agua, el biochar actuará como esponja y absorberá el agua con el fin de evitar y prevenir inundaciones.

El proceso de pirolisis involucra una red compleja de reacciones asociadas a la

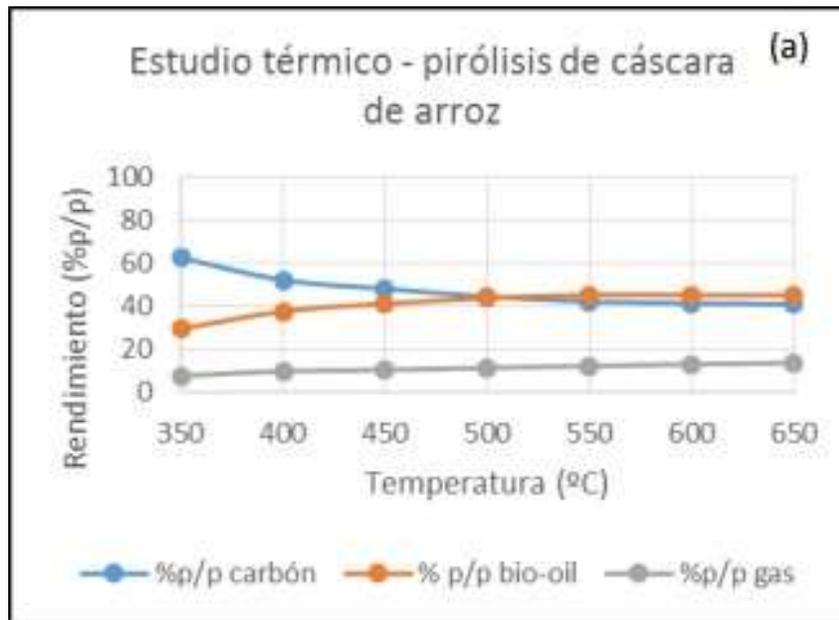
descomposición de los principales constituyentes de la biomasa, como son la celulosa, la hemicelulosa y la lignina, que se caracterizan por su reactividad diferente. La celulosa es uno de los componentes importantes de los residuos agrícolas, por ello resulta interesante observar cuál es su cambio durante la pirólisis. Su degradación térmica entre 250 y 350 °C da lugar a muchos compuestos volátiles quedando una matriz de carbono amorfa y rígida (Novak, Lima, Gaskin, & Christoph, 2009)

Anteriormente se realizaron estudios sobre la producción de bioetanol a partir de la cascarilla de arroz utilizando la pirolisis en este caso de estudio se decidió que las condiciones más óptimas para realizar el proceso, es inicialmente utilizar un reactor de lecho fijo a diferentes temperaturas, en el rango 350°C a 650°C. Posteriormente se analizó el efecto de la temperatura sobre el tipo de biomasa y el rendimiento y composición que se obtiene en esta variante en cada uno de los productos de la reacción que como se ha dicho ya anteriormente son (bio-oil, bio-gas, y bio-carbón). Al realizar el estudio se determinó que la temperatura óptima utilizando la cascarilla de arroz como biomasa es de 550°C, donde su máximo rendimiento en la obtención del bioetanol fue de 45,35%. (Fermanelli, Gonzalez, Saux, & Pierella, 2011)

De este estudio se determinan los rendimientos a las diferentes fracciones de la cascarilla de arroz en las temperaturas estudiadas, cómo se puede observar en la ilustración 4 se empieza desde una temperatura de 350°C que es donde el biocarbón alcanza su mayor rendimiento. Sin embargo, a esta temperatura no obtenemos gran conversión de bioetanol, ni bio gas, por lo que no se considera una buena opción esta temperatura en el proyecto ya que el producto que estamos buscando obtener en mayor cantidad es el bioetanol. No obstante, la línea naranja representa el porcentaje peso a peso del bio-oil que como vemos tuvo la reacción contraria al biocarbón hasta que en el rango de temperatura entre 500°C - 550°C aproximaron su rendimiento, formando una asíntota. Por otro lado, la línea gris, que marca el rendimiento del biogás, muestra que, aunque su rendimiento es alto, entre mayor sea la temperatura, su crecimiento no es notable o considerable en comparación a los otros dos subproductos, es gracias a esta gráfica que se decide que la temperatura óptima de reacción es de 550°C, pues ahí es donde se encuentran los rendimientos estables tanto de biocarbón como bio-oil.

**Figura 5**

*Rendimiento a productos de reacción en pirólisis térmica de cascara de arroz*



*Nota.* Se observa el estudio de pirólisis de la cascara de arroz, donde se observa que la línea azul es el rendimiento del bio-carbón, la naranja hace referencia, al bioetanol, y la gris al biogás. Fermanelli, C., Gonzalez, D., Saux, C., & Pierella, L. (2011). *Pirólisis de residuos agrícolas: Estudio comparativo de cascara de maní y cascara de arroz*. Cordoba, Argentina: CITEQ (Centro de Investigación y Tecnología Química).

Naturalmente, en de estos 3 subproductos dados por este método solo se utiliza el bioetanol y depende claramente del rendimiento y la conversión que haya dado el bio-oil, pero los otros dos productos son o dispuestos en celdas de seguridad, los gases quemados o enviados al ambiente al ser una cantidad mínima, pero se propone para este proyecto que, el biocarbón en este caso al salir de la cascara de arroz que es biomasa de origen agrícola, y la temperatura óptima de la pirólisis es de 550°C permite que ese biocarbón salga con las características de un biochar al ser temperatura menores a los 700°C.

Es decir que, el biochar se puede utilizar para los suelos, para remediarlos y así obtener un beneficio en donde empieza la etapa de producción que son las tierras agricultoras, preferiblemente de la industria arroceras para comenzar un ciclo de mejora del arroz y sus subproductos. Asimismo, también se propone que en lugar de permitir la salida de bio-gas al ambiente, se utilice una corriente de reciclaje en este subproducto para que pase a la caldera de la pirólisis y ayude a la combustión y calentamiento del reactor, dándoles un uso a todos estos, se permite reducir los impactos ambientales

que actualmente tiene la quema a cielo abierto de la cascarilla.

Aunque, es importante aclarar que la pirólisis no es el único método viable, durante el proceso de investigación de este proyecto se encontraron otras opciones como lo es la obtención de bioetanol a partir de la celulosa que tiene la biomasa escogida, en este caso se hace una etapa de pretratamiento, que es donde se extrae la celulosa de la materia prima mediante un tratamiento químico con ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) al 0,4%, hidróxido de sodio (NaOH) al 20% y cloruro de sodio (NaCl) al 0,5%. Luego de esto se puede realizar una hidrólisis ácida, seguida de una enzimática para convertir la celulosa en azúcares reductores con ácido sulfúrico al 2% para las dos hidrólisis a  $125^{\circ}C$  y se obtienen conversiones del 70 y 85% respectivamente y por último se hace la fermentación alcohólica hasta obtener el bioetanol deseado con las características específicas. (Samantha, 2019)

Finalmente, se puede decir que, aunque puede haber muchos métodos para lograr este fin, la pirólisis se vuelve competitiva en el punto de que se pueden aprovechar todos los productos y subproductos dados en este proceso, y así prevenir el impacto que tiene en la actualidad la disposición de la cascarilla de arroz, y en lugar de contaminar, realizar el proceso correcto para poder nutrir el suelo y las tierras de los agricultores.

## 11. RESULTADOS

Finalmente, se puede concluir que la cascarilla de arroz es de las mejores opciones para utilizarse como biomasa apropiada para la producción de biocombustibles, gracias los grandes beneficios que esta ofrece a nivel ambiental y económico; como lo son la gran cantidad de materia prima disponible en la región de Tolima y en el mundo; su composición química llenade celulosa, hemicelulosa, y lignocelulosa, que son aspectos claves al momento de producir bioetanol de alta calidad; asimismo, el hecho de que sea un residuo orgánico y no un producto de primera línea alimenticia, permite aprovechar este residuo sin involucrarse en la polémica del hambre mundial y la pregunta de que es más importante si la comida o el combustible. Además de esto, también permite una reducción en el impacto ambiental, al frenar y regular las quemas a cielo abierto que genera grandes cantidades de contaminación a sus alrededores, suelos y fuentes hídricas y por último sería de gran ayuda para los agricultores, al ayudarles con este.

Por otra parte, también es importante entender y analizar cada una de las leyes y resoluciones que sean consideradas relevantes y necesarias para el desarrollo óptimo del proyecto, entre estas están las que nos dicen la calidad y cantidad exacta que puede o no tener el bioetanol de todos sus componentes, los parámetros de calidad establecidos por la normativa colombiana para el uso del mismo en motores en automóviles, de igual forma se establece el contenido máximo de biocombustible en motores diésel de 12% en mezclas de combustible diésel fósil, todas estas normas se encuentran en la página web de fedebiocombustibles, y aquellas que tratan estos aspectos más importantes son la Resolución 40261 y la Resolución 40103 del 2021, La Resolución 40178 de 2020, Resolución 40730 y la Resolución 40666 de 2019.

Por último, este proyecto también busca analizar la viabilidad ambiental y técnica que tiene el uso de la pirólisis en este proceso. A pesar, de que existen varios métodos para realizar bioetanol a partir de biomasa de residuos agrícolas, la degradación térmica también conocida como la pirolisis, se vuelve una gran oportunidad para realizar el proceso y aprovechar todos los posibles subproductos dados durante este proceso, como lo es el bio-oil, utilizarlo como bioetanol, el biocarbón se convierte en biochar, y se vuelve factible reutilizarlo para remediar los mismos suelos donde se cultiva el arroz, y mientras el bio-gas, lo ideal sería no sacarlo a la atmósfera para que no exista una contaminación como tal, así que se propone el reciclaje de esta corriente para generar combustión y así obtener la temperatura adecuada en la degradación térmica. No obstante, durante el proceso de investigación también se encontró que hay más métodos que permiten la producción de bioetanol de forma óptima

sin generar un impacto al medio ambiente, como lo son las hidrolisis ácidas y enzimáticas para hacerlo mediante una fermentación. Esta puede ser una opción, sin embargo, para proceder con esto, sería importante revisar la actividad y subproductos dados en el proceso, ya que la sílice puede reaccionar de otra forma en estos casos.

## BIBLIOGRAFIA

- Bretaña del Campo, E. (2007). Estudio técnico-económico de la instalación de una planta de biomasa para generación eléctrica. [Trabajo de grado] (Ingeniero en organización industrial). España: Universidad Pontificia Comillas. <https://studylib.es/doc/8065088/estudio-t%C3%A9cnico--econ%C3%B3mico-de-la-instalaci%C3%B3n-de-una-plant...>
- El Nuevo Dia. (27 de 02 de 2021). Sector arrocero del Tolima el más competitivo del país. *El periódico del Tolimense*. <http://www.elnuevodia.com.co/nuevodia/actualidad/economica/462212-sector-arrocero-del-tolima-el-mas-competitivo-del-pais>
- Escalante, H., Orduz, J., Zapata, H., Cardona, M., & Duarte, M. (2008). *Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia*. 50-54: República de Colombia Ministerio de minas y energía. Recuperado el 13 de septiembre de 2021, de <https://bdigital.upme.gov.co/jspui/handle/001/1058>
- Fermanelli, C., Gonzalez, D., Saux, C., & Pierella, L. (2011). *Pirólisis de residuos agrícolas: Estudio comparativo de cáscara de maní y cáscara de arroz*. Cordoba, Argentina: CITEQ (Centro de Investigación y Tecnología Química). Recuperado el 10 de septiembre de 2021
- García, J. (2007). *Estudio Preliminar de la pirólisis de la cascarilla de arroz para la obtención de biocomustibles*. Bogotá: Universidad de los Andes.
- Gómez, A. (2021). Producción y Mercado del Arroz en Colombia. *Redagrícola*. Recuperado el 5 de Noviembre de 2021, de <https://www.redagricola.com/co/produccion-y-mercado-del-arroz-en-colombia/>
- Gutierrez, C., Trejo, D., & García, J. (2019). Conversión de Residuos a Biocombustibles. *Ciencia*, 65- 70. Recuperado el 5 de noviembre de 2021, de [https://www.amc.edu.mx/revistaciencia/images/revista/70\\_1/PDF/ResiduosBiocombustibles.pdf](https://www.amc.edu.mx/revistaciencia/images/revista/70_1/PDF/ResiduosBiocombustibles.pdf)
- Hsu, C.-P., Huang, A.-N., & Kuo, H.-P. (2015). Analysis of the Rice Husk Pyrolysis Products from Fluidized Bed Reactor. *ScienceDirect*, 1183-1186. Recuperado el 15 de septiembre de 2021, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705815002635>
- Huila, D. d. (2017). *FINAGRO*. Recuperado el 5 de Noviembre de 2021, de

- <https://www.finagro.com.co/noticias/huila-en-camino-potencia-arrocera-nacional>.
- ISAAA. (2011). La cáscara de arroz, materia prima potencial para producir bioetanol en los países arroceros. *International Service For The Acquisition Of Agri-Biotech Applications*. Recuperado el 5 de Noviembre de 2021, de <https://www.isaaa.org/kc/cropbiotechupdate/translations/spanish/biofuels/default.asp?Date=5/1/2011#top>
- Ley 693 de 2001. Por la cual se dictan normas sobre el uso de alcoholes carburantes, se crean estímulos para su producción, comercialización y consumo, y se dictan otras disposiciones. 27 de septiembre de 2001. D.O. 44564
- Ley 1151 de 2007. Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2006-2010. El Congreso de Colombia. 25 de julio de 2007. D.O 46700
- Ley 939 de 2004. Por medio de la cual se subsanan los vicios de procedimiento en que incurrió en el trámite de la Ley 818 de 2003 y se estimula la producción y comercialización de biocombustibles de origen vegetal o animal para uso en Motores diésel y se dictan otras disposiciones. 31 de diciembre de 2004. D.O 45778
- Ley 1715 de 2014. Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional. 13 de mayo de 2014.
- M.S.A. Bakar, J.O. Titiloye, (2010). *Catalytic pyrolysis of rice husk for bio-oilproduction*, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. Recuperado el 23 de septiembre de 2021, de <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.425.6125&rep=rep1&type=pdf>
- Novak , J., Lima, I., Gaskin , J., & Chistoph , S. (2009). Characterization of Designer Biochar Produced at Different Temperatures and their Effects on a Loamy Sand. *Annals of Environmental Science*, 3, 195-206. Recuperado el 22 de noviembre de 2021
- Pinedo, A. (2013). *Obtención de Biocarbones y Biocombustibles mediante Pirólisis de Biomasa Residual*. Universidad Nacional de Educación a Distancia. Recuperado el 20 de septiembre de 2021, de [https://digital.csic.es/bitstream/10261/80225/1/BIOCARBONES\\_CENIM\\_CSIC.pdf](https://digital.csic.es/bitstream/10261/80225/1/BIOCARBONES_CENIM_CSIC.pdf)
- Prada, A., & Cortés, C. (2010). La descomposición térmica de la cascarilla de arroz: Una alternativa de aprovechamiento integral. *Orinoquia*, 14, 155-170. Recuperado el 10 de septiembre de 2021, de <http://www.scielo.org.co/pdf/rori/v14s1/v14s1a13.pdf>
- Quintero, J., & Quintero , L. (2015). Perspectivas del potencial energético de la biomasa en el marco global y latinoamericano. *Gestión y Ambiente*, 18.

Resolución 40261 de 2021 [Ministerio de minas y energía y Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible Ministerio de Agricultura y desarrollo rural]. Por lo cual se modifica el contenido de alcohol carburante en la mezcla con gasolina motor corriente y extra, el contenido de biocombustible – biodiesel en la mezcla con diésel fósil y se dictan otras disposiciones, con el fin de darle continuidad al abastecimiento de combustibles en el territorio nacional. 12 de Agosto de 2021

Resolución 40111 de 2021. Por la cual se establece el contenido máximo de alcohol carburante, etanol en la mezcla con gasolina motor corriente y extra a nivel nacional, el contenido de biocombustible máximo en la mezcla con combustible diésel fósil a nivel nacional. 9 de abril de 2021

Resolución 40103 de 2021. [Ministerio de minas y energía Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible]. Por la cual se establecen los parámetros y requisitos de calidad del combustible diésel (ACPM), los biocombustibles para uso en motores de encendido por compresión como componentes de mezcla en procesos de combustión y de sus mezclas y, de las gasolinas básicas y gasolinas oxigenadas con etanol anhidro, combustible para uso en motores de encendido por chispa, y se adoptan otras disposiciones. 7 de abril de 2021 D.O. 51.638

Salinas, E., & Gasca, V. (2009). Los biocombustibles. *El Cotidiano*. Recuperado el 10 de septiembre de 2021, de <https://www.redalyc.org/pdf/325/32512739009.pdf>

Samantha, V. (2019). *Obtención de bioetanol a partir de biomasa lignocelulosica presente en la cascarilla del arroz para ser utilizados en equipos motorizados*. Ecuador: Universidad Politecnica Salesiana. Recuperado el 2021 de noviembre de 22

Sánchez Riaño, A. M., Rivera Barrero , C. A., & Murillo Perea, E. (Diciembre de 2010). Perspectivas de uso de subproductos agroindustriales para la producción de bioetanol. *Scientia et Technica Año XVII*, 232- 235. Recuperado el 10 de septiembre de 2021, de <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/259/33>

Shafique, H., Salam, B., Islam, N., & Islam, S. (2014). Alternative Fuel from pyrolysis of rice husk. *Proceedings of the International Conference on Mechanical Engineering and Renewable Energy*. Chittagong, Bangladesh. Recuperado el 13 de septiembre de 2021

- Sierra Aguilar, J. (2009). *Alternativas de aprovechamiento de la cascarilla de arroz en Colombia*. Universidad de Sucre, Sincelejo. Recuperado el 10 de septiembre de 2021, de <https://repositorio.unisucre.edu.co/bitstream/handle/001/211/333.794S571.pdf;jsessionid=FABBE7469B1600F623DC74E49AAD63B8?sequence=2>
- Torres, D. (2018). *Caracterización de la Cascarilla de Arroz y Extracción de Celulosa*. Universidad de Los Andes, Bogotá D.C. Recuperado el 7 de Noviembre de 2021, de <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/39503/u821604.pdf?sequence=1#:~:text=La%20ceniza%20de%20la%20cascarilla,trazas%20de%20otros%20%C3%B3xidos%20met%C3%A1licos.&text=Seg%C3%BAAn%20Valverde%20%5B5%5D%20los%20rangos,18.2%2D24.6%25%20de%2>
- UPME. (2009). Biocombustibles en Colombia. *República de Colombia - Ministerio de Minas y energía*, 4 - 10. Recuperado el 20 de Noviembre de 2021, de [http://www.upme.gov.co/docs/biocombustibles\\_colombia.pdf](http://www.upme.gov.co/docs/biocombustibles_colombia.pdf)
- Valverde, A., Sarria, B., & Monteagudo, J. (2007). Análisis Comparativo de las Características Físicoquímicas de la Cascarilla de Arroz. *Scientia et Technica*, 255-260. Recuperado el 5 de Noviembre de 2021