

EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA PARA EL  
APROVECHAMIENTO DE LA CASCARILLA DE ARROZ

PAULA ANDREA GARZÓN TOVAR

MONOGRAFÍA PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE ESPECIALISTA  
EN GESTIÓN AMBIENTAL

ORIENTADOR

ING. HARVEY ANDRES MILQUEZ SANABRIA

INGENIERO QUÍMICO

MsC INGENIERÍA QUÍMICA

PhD ENERGÍAS RENOVABLES

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL  
BOGOTÁ D.C.

2023

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

---

---

---

**Nombre**  
**Firma de presidente del jurado**

---

**Nombre**  
**Firma del presidente Jurado**

---

**Nombre**  
**Firma del Jurado**

---

**Nombre**  
**Firma del Jurado**

**Bogotá, D.C. marzo de 2023**

## **DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García-Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada Garcia-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

Decana Facultad de Ingenierías

Dra. Naliny Patricia Guerra Prieto

Director de Programa Especialización Ingeniería Ambiental

Ing. Nubia Liliana Becerra Ospina

Las directivas de la Universidad de 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	7
INTRODUCCIÓN	8
1. OBJETIVOS	10
1.1. Objetivo general	10
1.2. Objetivos específicos	10
2. METODOLOGÍA	11
3. DIAGNÓSTICO DE LA PROBLEMÁTICA AGROAMBIENTAL DE LOS CULTIVOS DE ARROZ EN COLOMBIA	13
3.1. Arroz en el mundo	13
3.2. Arroz en Colombia	15
3.2.1. <i>Producción de arroz en el Casanare</i>	16
3.2.2. <i>Producción de arroz en el Meta</i>	17
3.3. Tipos de arroz	17
3.4. Cascarilla de arroz	20
3.4.1. <i>Técnicas de combustión de cascarilla de arroz</i>	24
4. IDENTIFICACIÓN DE PRÁCTICAS SOSTENIBLES MÁS UTILIZADAS EN EL MUNDO RELACIONADAS CON LA DISPOSICIÓN DE LA CASCARILLA DE ARROZ	26
4.1. Controles y alternativas a la quema de residuos agrícolas	27
4.2. Producción de combustibles como etanol o biogás (metano).	27
4.3. Producción de compost	30
4.3.1. <i>Condiciones ambientales determinantes durante el proceso de compostaje</i>	32
4.4. Alimento para animales.	34
4.5. Material de construcción	34
4.6. Investigaciones emergentes de la cascarilla de arroz	37
5. SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA SOSTENIBLE QUE SE ADAPTEA A LOS AGRICULTORES COLOMBIANOS	39
5.1. <i>Ventajas y Desventajas de las alternativas de aprovechamiento</i>	39
5.2. Matriz Pugh	45
6. CONCLUSIONES	51

BIBLIOGRAFÍA	53
ANEXOS	59

## RESUMEN

El incremento en la producción de cultivos de arroz ha causado un aumento en la generación de residuos agrícolas, residuos que frecuentemente se disponen mediante la quema a cielo abierto debido a que es una práctica tradicional y frecuentemente utilizada por los agricultores, sin embargo, los efectos más relevantes producidos por el fuego incluyen modificaciones en las propiedades físicas, químicas y alteraciones biológicas en el suelo, efectos que dependen de la intensidad, recurrencia y duración de la quema.

Por este motivo el presente documento tiene como objetivo evaluar alternativas de producción más limpia para el aprovechamiento de cascarilla de arroz, el cual permitirá identificar prácticas ambientalmente sostenibles para la disposición de este residuo agrícola.

Para ello, inicialmente se realiza un diagnóstico de la situación actual de la producción de arroz en Colombia, esto con el fin de determinar la cantidad de cascarilla que se genera a partir de la cosecha del arroz, así como describir las regiones con mayor producción a nivel nacional y las prácticas frecuentemente utilizadas para disponer la cascarilla. Posteriormente se evaluó las diferentes alternativas, priorizando aquellas que según sus características se adaptan mejor a las necesidades de los agricultores en términos sociales, económicos y ambientales.

Finalmente, de acuerdo a la metodología empleada y las alternativas encontradas a lo largo del proyecto, se evidenció que hay una gran variedad, con relación a tratamientos y/o usos que se le pueden dar a la cascarilla de arroz, sin embargo, la que más se ajusta en cuanto a atributos económicos, sociales y ambientales, fue la producción de compost, ya que esto disminuye no solo la generación de residuos post cosecha sino también el uso de fertilizantes sintéticos, por lo que esta estrategia suple más de una necesidad a la vez, sin olvidar la reducción de impactos negativos al suelo y aire.

**Palabras clave:** Residuos agrícolas, aprovechamiento de residuos, producción de arroz, quema de residuos, impacto ambiental.

## INTRODUCCIÓN

El arroz (*Oryza sativa*), es uno de los cultivos con mayor importancia a nivel mundial, es el cereal que más se consume en el mundo después del trigo. Se trata de un cultivo tropical y subtropical, aunque la mayor producción a nivel mundial se concentra en los climas húmedos tropicales (Buelvas, 2021). Es considerada como una de las plantas más antiguas, razón por la cual se ha dificultado establecer con exactitud la época en que el hombre inició su propagación (Federación Nacional de Arroceros. [Fedearroz], 2021). En Colombia son utilizados para la cosecha de arroz, el cultivo tipo riego que se realiza a través de la irrigación de parcelas y el de tipo secano que se realiza en tierras que no están inundadas, por ello el crecimiento del arroz se realiza en seco (González y Alonso, 2016).

Para el año 2021 la producción a nivel mundial de arroz fue de 515,08 millones de toneladas, registrándose en China e India la mayor producción (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. [FAO], 2021). Por otra parte, en Colombia la producción de arroz en los últimos diez años ha tenido una variación positiva de 31,3% equivalente a 2.283.981 toneladas para el año 2011 y de 3.326.529 toneladas para el año 2021 sembradas en 451.390 Ha y 586.687 Ha respectivamente (Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE], 2022), siendo Tolima, Meta, Casanare y Huila los departamentos productores más importantes a nivel nacional (Fedearroz, 2021).

El incremento en la producción de cultivos ha causado un aumento en la generación de residuos agrícolas, siendo las disposiciones que se brindan para estos las menos adecuadas (Lagos, 2014). En los cultivos de arroz, la cascarilla es un subproducto generado tras la cosecha; por cada diez toneladas de arroz que se cultivan, se generan dos toneladas de cascarilla (Agencia de noticias UNAL, 2020), es decir que para el año 2021 se generaron 665.305 toneladas de dicho subproducto. La quema es una práctica tradicional y frecuentemente utilizada por los agricultores para disponerla, debido principalmente a los costos y menor tiempo en su implementación (Vara y Marín, 2016); sin embargo los efectos más relevantes producidos por el fuego incluyen modificaciones en las propiedades físicas, químicas y alteraciones biológicas en el suelo, efectos que dependerán de la intensidad, recurrencia y duración de la quema (Parada et al., 2016), otros efectos son emisiones al aire, de partículas y gases resultantes de la combustión en el lugar y en zonas aledañas (Cotrina., 2021).

En Colombia no se prohíbe la quema de estos residuos agrícolas, sin embargo, el Ministerio de

Agricultura promueve la reincorporación de la paja como abono orgánico, práctica que los agricultores desaprueban ya que la descomposición de este residuo tarda más tiempo con respecto a la quema, impidiendo inmediatamente la recuperación del suelo tras la cosecha (FAO, 2014). Para los agricultores disponer de un suelo oxigenado, con buena estructura y equilibrio en sus nutrientes es necesario para una buena cosecha ya que la producción de arroz, así como de otros productos agrícolas esenciales para la vida humana, dependen totalmente de este recurso (Morales et al., 2022), en consecuencia, las prácticas que se lleven a cabo antes, durante y después de la cosecha influyen en garantizar producciones futuras.

Por otro lado, el concepto de Producción Más Limpia (PML) fue introducido en el año de 1989 por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUM) y definido como “la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva, integrada y aplicada a procesos, productos y servicios para mejorar la ecoeficiencia y reducir los riesgos para los humanos y el medio ambiente” (Gamboa y Flórez, 2018). Por lo tanto, es una estrategia de carácter preventivo la cual se le puede aplicar a los diferentes procesos industriales y comerciales, cuyo principal fin es disminuir las emisiones y/o descargas en la fuente para reducir riesgos para la salud humana y ambiental, así como para aumentar la productividad y la competitividad en las labores (Gamboa y Flórez, 2018).

Por ello esta investigación tiene como objetivo evaluar alternativas de producción más limpia para el aprovechamiento de la cascarilla de arroz. El trabajo comprende, además de la introducción, las secciones de Desarrollo, Conclusiones y Referencias Bibliográficas. En el Desarrollo se presenta el método aplicado, los resultados obtenidos y su discusión.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1. Objetivo general**

Evaluar alternativas de producción más limpia para el aprovechamiento de la cascarilla de arroz en Colombia

### **1.2. Objetivos específicos**

- Diagnosticar el estado actual de la disposición final de la cascarilla de arroz en Colombia
- Identificar las prácticas sostenibles más utilizadas en el mundo relacionadas con la disposición de la cascarilla de arroz.
- Seleccionar las alternativas sostenibles que se adapten a las necesidades de los agricultores colombianos.

## 2. METODOLOGÍA

El presente trabajo se llevó a cabo mediante una revisión bibliográfica de los aspectos e impactos ocasionados por la quema a cielo abierto de cascarilla de arroz, así como evaluar aquellas alternativas ambientalmente sostenibles, para su disposición final. El trabajo se realizó en tres (3) etapas:

Etapas I: Diagnóstico de la problemática agroambiental en los cultivos de arroz en Colombia. Para ello se llevaron a cabo los siguientes pasos:

- a) Identificar el área de estudio. Se identificaron las dos (2) áreas de mayor producción a nivel nacional, considerando los aspectos de vegetación, tipo de suelos, hidrografía, fauna, aspectos socioeconómicos y legales.
- b) Diagnóstico agroambiental del área de estudio. Posteriormente se realizó un diagnóstico, mediante la búsqueda en artículos originales, trabajos de grado y revisiones bibliográficas en inglés y español publicados en las bases de datos de MEDLINE/Pub- Med, Scielo, Science Direct. Las palabras claves utilizadas en la estrategia de búsqueda fueron: “Cascarilla de arroz” “Cultivos de arroz en Colombia” “área cultivada de arroz” “rice Husk”
- c) Para contrastar la información recopilada en las bases de datos anteriormente mencionadas, se obtuvieron datos e información complementaria del departamento administrativo nacional de estadística, esta información fue clave para determinar un diagnóstico oportuno, ya que las prácticas y alternativas para disponer la paja de arroz varía según el área sembrada y la cantidad cosechada.

Etapas II: Identificación de las prácticas sostenibles más utilizadas en el mundo relacionadas con la disposición de la cascarilla de arroz. Para ello se llevaron a cabo los siguientes pasos:

- a) Identificar prácticas agrícolas ambientalmente sostenibles a nivel mundial. Para ello, se llevó a cabo una revisión bibliográfica. Se buscaron artículos originales, trabajos de grado y revisiones en inglés y español publicados en las bases de datos de MEDLINE/Pub- Med, Scielo, Science Direct, Las palabras claves utilizadas en la estrategia de búsqueda fueron: “estrategias de aprovechamiento de residuos agrícolas” “Cultivos de arroz en Colombia” “Aprovechamiento de residuos agrícolas” “compost de residuos agrícolas” “agricultural residuals”.
- b) Después de identificar dichas prácticas agrícolas, se emprendieron las siguientes acciones: se elaboró una descripción de los procesos que se llevan a cabo como alternativa para disponer

residuos agrícolas en campo, identificando además sus ventajas y desventajas. Asimismo se elaboró una matriz de priorización de posibles soluciones, encontradas en la revisión, propuestas por los agricultores y por investigaciones, en términos de sustentabilidad agroambiental y económica por cada práctica que aplican, con el fin de evaluar cada una de ellas.

Etapa III: Selección de las alternativas sostenibles que se adapten a las necesidades de los agricultores colombianos. Para ello se llevaron a cabo los siguientes pasos:

- a) Después de evaluar las diferentes alternativas sostenibles en la disposición final de la cascarilla de arroz, se priorizaron aquellas que según sus características se adaptan mejor a las necesidades de los agricultores en términos sociales, económicos y ambientales. Esto con el fin de seleccionar las alternativas más apropiadas al área de estudio.
- b) Finalmente se hizo una descripción de la propuesta, basado en la información consultada a lo largo del proyecto.

### 3. DIAGNÓSTICO DE LA PROBLEMÁTICA AGROAMBIENTAL DE LOS CULTIVOS DE ARROZ EN COLOMBIA

El presente capítulo muestra una descripción del impacto social, económico y ambiental de la industria arrocera en Colombia, con el fin de hacer un diagnóstico de la problemática causada a partir de los residuos generados en el sector arrocero. Para ello se exponen los aspectos generales del arroz y su producción como: las condiciones óptimas del cultivo, el área cultivada en el país, las toneladas de residuos generados a partir de la cosecha, y descripción de los residuos generados en el proceso y a partir de esto identificar la necesidad de aprovechamiento de los residuos mediante estrategias de sostenibilidad de PML.

#### 3.1. Arroz en el mundo

De acuerdo con el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA), la producción mundial de los tres principales cereales, trigo, maíz y arroz ascendió aproximadamente a 2,65 millones de toneladas en el año 2020. Esta producción conjunta mantuvo un crecimiento promedio de 2,1% en el periodo comprendido entre los años 2000 y 2020. En este sentido, de acuerdo con la USDA, en el año 2020 la producción mundial de arroz paddy seco fue estimada en 751 millones de toneladas, siendo China, India, Indonesia, Bangladesh, y Vietnam, donde se concentran el 73% de la producción mundial con 544 millones de toneladas (USDA, 2020).

Referente al panorama de producción, el grupo de países que reporta producciones superiores a 2 millones de toneladas e inferiores a 10 millones; acumula el 9% de la producción (Fedearroz, 2021). En este grupo se encuentra Colombia, con una producción cercana a los 2 millones de toneladas de arroz paddy seco para el año 2020. Para el caso particular del continente americano, Estados Unidos es el mayor exportador de la región en términos de volumen con una cifra cercana a 2,9 millones de toneladas, lo que representa cerca del 50% de su producción anual (Fedearroz, 2021). En términos generales, como se observa en la Tabla 1 el continente americano importa el 15% del arroz blanco transado globalmente, con una participación agregada de 25% de importaciones sobre el total producido transado en volumen (Parra et al., 2021).

**Tabla 1.**

*Producción e importaciones de arroz en el continente americano 2020.*

PAÍS	Producción de arroz (Miles de t.)	Importaciones (Miles de t.)	Producción (importaciones / producción)
------	--------------------------------------	--------------------------------	---

Brasil	7.548	820	10,9%
Estados Unidos	7.226	1.134	15,7%
Perú	2.250	295	13,1%
Colombia	1.998	227	11,4%
Ecuador	1.023	50	4,9%
México	197	800	403,1%
Uruguay	858	0	0,0%
Argentina	806	7	0,9%
Paraguay	616	2	0,3%
Venezuela	130	550	423,1%
Guyana	688	0	0,0%
R. Dominicana	620	30	4,8%
Cuba	240	500	208,3%
Haití	70	510	728,6%
Canadá	0	430	-
Bolivia	380	13	3,4%
Panamá	205	130	63,4%
Nicaragua	272	110	40,4%
Chile	111	201	181,1%
Costa Rica	93	170	182,8%
Honduras	59	145	245,8%
Surinam	183	0	0,0%
Guatemala	16	120	750,0%
Salvador	22	70	318,2%
<b>Total</b>	<b>25.611</b>	<b>6.314</b>	<b>25%</b>

*Nota.* Representa el total de la producción de arroz blanco, importaciones y la proporción importación/producción en el continente americanos. Toma. Fedearroz, 2021. [https://fedearroz.s3.amazonaws.com/media/documents/Cartilla\\_Contexto\\_Mundial\\_y\\_Nacional\\_del\\_cultivo\\_de\\_arroz\\_2000-2020\\_dXUQLuQ.pdf](https://fedearroz.s3.amazonaws.com/media/documents/Cartilla_Contexto_Mundial_y_Nacional_del_cultivo_de_arroz_2000-2020_dXUQLuQ.pdf)

### 3.2. Arroz en Colombia

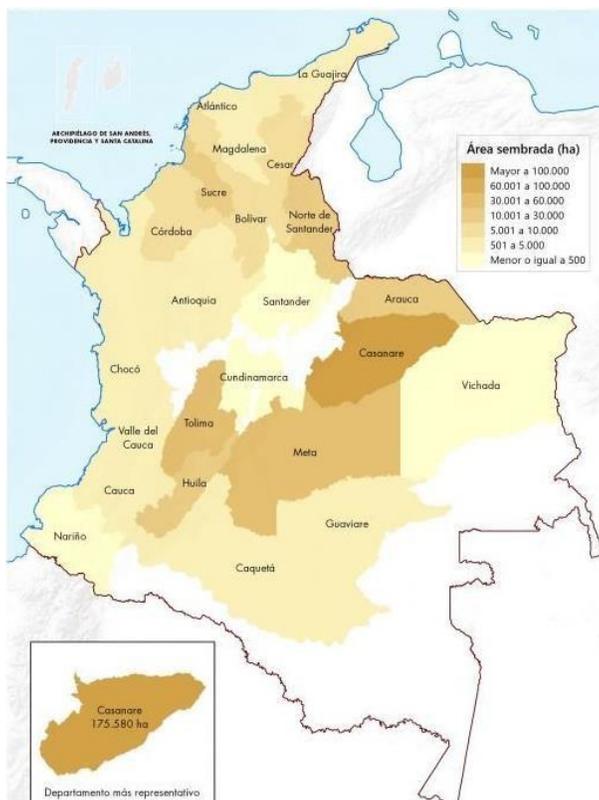
En Colombia, el arroz es el tercer cultivo de mayor importancia en términos de área cultivada y de producción y generación de empleo, después del café y el maíz. Según cifras de la Federación Nacional de Arroceros (Fedearroz), durante el 2021 hubo una producción estimada de 3,85

millones de toneladas de arroz, lo cual generó alrededor de 500 mil empleos en al menos 211 municipios cuya actividad económica depende, en un 90% de la actividad arrocera. La siembra de arroz en Colombia se desarrolla en dos campañas correspondientes a los dos semestres de año, siendo el primero entre enero y junio, el período donde se siembra el mayor número de hectáreas, aproximadamente el 65% del total nacional anual, en el segundo semestre julio-diciembre las siembras son principalmente en las zonas de riego, concentrándose en los meses de septiembre y octubre y equivalen a un 35% del área sembrada en el año (Fedearroz, 2021).

En el país existen cinco zonas de cultivo de arroz. La Zona Centro y la Zona de los Llanos producen 80% del total nacional. En la Figura 1 se muestra la ubicación geográfica de estas zonas. Los mayores rendimientos se logran en los principales departamentos productores de arroz (Meta, Casanare, Tolima, Huila) (DANE, 2022). De acuerdo a la encuesta nacional de arroz mecanizado (ENAM) para el primer semestre del año 2022, las siembras de arroz se localizaron en los departamentos de Meta con 66.576 has (con una participación de 18,6%), Casanare con 160.626 has (44,9%), Tolima con 39.180 has (11,0%), Huila con 16.007 has (4,5%) y Resto departamentos con 75.304 has (21,9%) ) (DANE, 2022).

**Figura 1.**

*Mapa de área sembrada de arroz, I semestre 2021*



*Nota.* Representa zonas geográficas de área de siembra. Tomado de: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2021). [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/arroz/boletin\\_ENAM\\_Isem21.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/arroz/boletin_ENAM_Isem21.pdf)

### **3.2.1. Producción de arroz en el Casanare**

El departamento del Casanare cuenta con una extensión de 44.640  $km^2$  que representa el 3.9% del territorio nacional y el 17.55% de la Orinoquía colombiana. Al norte limita con Arauca, al oriente con Vichada, al sur con Meta y al occidente con Boyacá y Cundinamarca (Barrera, 2019). En el departamento de Casanare debido a que se presentan óptimas condiciones para la producción de arroz, como son sabanas inundables, temperaturas entre los 23 y 35 °C y un régimen de lluvias entre los meses de marzo a septiembre tiempo en que tiene lugar la cosecha, pone a este departamento en el primer puesto a nivel nacional en la producción de arroz (Ríos,2021).

En el año 2021 el cultivo del arroz ocupó un área de 544.636 has a nivel nacional, repartidas en 392.648 has para el primer semestre del año y 151.988 has para el segundo semestre del año, de

las cuales 189.423 has se sembraron en el departamento de Casanare, distribuidas en 175.580 has en el primer semestre (Arroz seco) y 13.843 has en el segundo semestre (Arroz bajo riego). Se siembra principalmente en 13 municipios, que corresponden al 44% del total nacional, a esta actividad se dedican 6.400 agricultores a nivel nacional y 1.130 en Casanare según reporta el Censo Arrocero del año 2022 (DANE, 2022).

### **3.2.2. Producción de arroz en el Meta**

El departamento del Meta es uno de los departamentos más grandes de Colombia, con una extensión de 85.635 km<sup>2</sup>. Al norte limita con Cundinamarca, al oriente con Vichada, al sur con el Guaviare y Caquetá y al occidente con Huila (Gobernación del Meta, 2022). El cultivo más importante para el departamento del Meta es el arroz, el cual se ha adaptado a la poca riqueza nutritiva del suelo, aprovechando el alto índice de lluvias que caen sobre la región ya que, según Buevas (2021) la luminosidad, la precipitación, la humedad relativa y los vientos son los principales factores climáticos que tienen incidencia sobre el cultivo de arroz.

En el año 2021 el cultivo del arroz en el departamento del Meta, ocupó un área de 72.549 has, distribuidas en 57.992 has en el primer semestre (Arroz seco) y 14.557 has en el segundo semestre (Arroz bajo riego). Se siembra principalmente en 20 municipios, que corresponden al 18% del total nacional (DANE, 2022).

### **3.3. Tipos de arroz**

Existen unas 10.000 variedades de arroz, todas ellas pertenecen a una de las dos subespecies de *Oryza sativa*: la índica, cultivada en los trópicos, o la japónica, cultivada en zonas de clima templado (Fedearroz, 2021). El arroz se puede clasificar en función de su forma, color o tratamiento.

- **Tipos de arroz según su forma:**

- Arroz de grano corto: Se encuentra en Japón, Norte de China y Corea. Esta variedad presenta una altura promedio de 67 cm, con un rango entre 57 y 77 cm. El tiempo entre la siembra y floración está en 89 y 110 días (Alvarado y Hernaiz, 2005).
- Arroz de grano medio: Se consume principalmente en América Latina. La altura promedio de esta variedad está entre 90,6 y 109,3 cm (Rodríguez et al., 2022).
- Arroz de grano largo: requiere una proporción alta de agua para su cocción debido a su tamaño. Se utiliza mucho en la cocina china e india (Fedearroz, 2021). La altura de esta variedad puede llegar hasta los 120cm (Rodríguez et al., 2022).

- **Tipos de arroz según el tratamiento industrial:**

- Arroz vaporizado: es un arroz al que se le ha removido el salvado cociéndolo ligeramente en agua, es más completo nutricionalmente y no se rompe al cocinarse. Es el arroz tradicional de la comida India y Pakistaní (Zúñiga, 2019).
- Arroz precocido: este arroz ha pasado por un breve proceso de cocción para reducir el tiempo de cocinado en casa (Fedearroz, 2021).

- **Tipos de arroz según el color, tacto o aroma:**

- Arroz glutinoso: necesita poca cantidad de agua y se usa para preparar platos dulces en la cocina asiática (Oteiza, 2017).
- Arroz aromático: son diferentes arroces de grano medio o largo con aroma, incluyendo la mayoría de arroces de la India y Pakistán como el Basmati y los arroces jazmín (Oteiza, 2017).
- Arroz pigmentado: arroces con pigmentos que le dan color púrpura o rojo. Cuando el salvado se elimina, el color desaparece (Gottau, 2022).

- **Arroz redondo**

Este arroz es de cocción homogénea. Absorbe el sabor de los alimentos que acompaña y es el más utilizado para elaborar paellas, arroces caldosos y guisados (Gottau, 2022).

- **Arroz vaporizado**

Este arroz ha sido sometido a un tratamiento de vapor con agua que le da su característico tono dorado. Es rico en fibra y minerales y siempre queda suelto, no se pasa. Se utiliza para paellas, ensaladas, arroces caldosos y guarniciones (Gottau, 2022).

- **Arroz basmati**

Es originario de la India y Pakistán, de grano largo y se caracteriza por su fragancia y sabor. Cocido o al vapor resulta esponjoso y su aroma recuerda al de las nueces. Su sabor único es perfecto para ensaladas, guarniciones y recetas exóticas (Fedearroz, 2021).

- **Arroz integral**

No ha sido tratado, por lo que conserva el salvado que lo envuelve y es más rico en fibra y otros nutrientes. Su aspecto es más oscuro que los otros arroces. Necesita más tiempo de cocción que el arroz blanco y es ligeramente más duro al masticar jazmín (Oteiza, 2017).

- **Arroz salvaje**

Es de origen canadiense y realmente se trata de hierbas acuáticas. Los granos son estrechos y oscuros, muy perfumados y ricos en fibra, proteínas, minerales y vitaminas. Necesita más tiempo

de cocción. Se puede preparar solo o, una vez cocido, mezclarlo con otros arroces cocinados (Oteiza, 2017).

- **Arroz rojo**

El arroz rojo es muy utilizado en la cocina y medicina china y cuenta con numerosos beneficios para la salud. Al no sufrir el proceso de molienda, conserva una capa de salvado sobre el grano que contiene nutrientes y fibra. Su sabor recuerda a la nuez (Zúñiga, 2019).

En general, como se evidencia en la Figura 2, la industria arrocera colombiana desempeña varias funciones dentro de la cadena: financia productores, acopia, acondiciona, almacena y financia almacenaje, procesa, hace mercadeo y desarrollo de productos, y vende (Vargas y Aguirre, 2011).

En este último tema, la década de los noventa se caracterizó por la consolidación de las marcas líderes y por una actividad más agresiva en términos de mercadeo, como respuesta a la recesión económica y en años recientes a la generación de productos con valor agregado. Sin embargo, la industrialización de alimentos de consumo masivo trae consigo una serie de problemas a resolver, que van desde la producción de materias primas hasta la utilización de los subproductos que se generan durante el proceso, que muchas veces son un factor de impacto ambiental negativo. (Vargas y Aguirre, 2011)

**Figura 2.**

*Cadena de producción del arroz*



**Nota.** Se evidencian las etapas por las que debe pasar el arroz desde la siembra hasta el consumidor final, evidenciándose los residuos que se generan a partir de dicha actividad. Tomado: [https://www.elmundo.com/porta/noticias/nacional/como\\_se\\_afecta\\_la\\_cadena\\_productiva\\_por\\_el\\_paro\\_camionero.php#.Y08NjnbMKUk](https://www.elmundo.com/porta/noticias/nacional/como_se_afecta_la_cadena_productiva_por_el_paro_camionero.php#.Y08NjnbMKUk)

### 3.4. Cascarilla de arroz

La cascarilla de arroz recubre de manera natural al grano y le otorga protección contra microorganismos, oxígeno atmosférico, humedad y luz ultravioleta. En la industrialización del arroz, en el proceso de abrasión, conocido como “molienda”, del cual se obtiene como producto principal el arroz blanco o pulido (Mattey et al., 2015).

La cascarilla es considerada como subproducto. La cascarilla representa cerca del 20% del arroz paddy seco, siendo éste un material de desecho agrícola que constituye alrededor del 20% de la producción mundial de arroz, la cascarilla de arroz es el mayor residuo resultante de la producción agrícola de este grano y su disposición final es uno de los mayores problemas existentes en los países productores de arroz como Colombia (Mattey et al., 2015).

La producción de arroz en Colombia es de aproximadamente 3.326.529 toneladas, de las cuales 665.305 corresponden a cascarilla (DANE, 2022), estas son cantidades apreciables de desechos que se producen a nivel nacional y que deben ser aprovechados eficientemente para reducir la contaminación por este residuo; Por otro lado, la cascarilla de arroz es un tejido vegetal lignocelulósico constituido por un 85 % de material orgánico, representado por celulosa, lignina,

D-xilosa y pequeñas cantidades de D- galactosa. La Tabla 2 muestra la composición general de la cascarilla de arroz, donde se evidencia una gran proporción de celulosa (60,12 %). Se le atribuye la capacidad de adsorción de la cascarilla de arroz a los compuestos lignocelulósicos que posee (Llanos et al., 2016).

**Tabla 2.**

*Componentes de la cascarilla de arroz*

ANÁLISIS COMPOSICIONAL	%ABUNDANCIA
Celulosa	60,12
Hemicelulosa	11,19
Lignina	6,66
Cenizas	15,9

*Nota.* La celulosa representa el 60,12% de la cascarilla de arroz, siendo el material orgánico más abundante. Llanos (2016).  
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1909-04552016000200013](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552016000200013)

La cascarilla de arroz es un residuo generado en los molinos de las empresas productoras. Generalmente estos residuos son abandonados en potreros ubicados a lo largo de la carretera como lo muestra la Figura 3 sin realizar algún aprovechamiento de este. Por el contrario, se encuentra una gran acumulación de cáscara dispuesta para su posterior quema (Bernal y Carvajal, 2019).

Entre otras prácticas comunes también se encuentra la producción de silicatos, biocombustibles y como material para la producción de cemento puzolánico; otra alternativa es el uso como material adsorbente en procesos de remoción de contaminantes, con el fin de solucionar problemas de contaminación (Bernal y Carvajal, 2019).

**Figura 3.**

*Cascarilla de arroz*



**Nota.** Acumulación de cáscara dispuesta por los molinos de arroz. Tomado de: Vargas (2019). [https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/2141/Bernal\\_Vargas\\_Antonella\\_\\_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/2141/Bernal_Vargas_Antonella__2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Con respecto a la presencia de sílice dentro de la estructura de la cascarilla de arroz, ésta se conoce desde 1938. No obstante, desde 1934 científicos japoneses ya habían observado que el silicio es benéfico para el crecimiento normal del arroz, el contenido de sílice presente en diferentes partes de la planta (raíz, tallo, hojas, cáscara o vaina) varía entre 2,63 y 13,3%, presentándose en mayor cantidad con respecto a la parte orgánica en la cáscara del grano de arroz (Lazo, 2019).

En el proceso de combustión, se genera una variedad de óxidos, dentro de los que se destaca el dióxido de silicio en una proporción del 98% según se observa en la Tabla 3. Adicionalmente la cascarilla tiene unas propiedades que le confieren su capacidad de adsorción como lo es su área superficial y el tamaño de partícula. Aprovechando y modificando estas características se podrían lograr altos porcentajes de remoción de metales pesados (Lazo, 2019).

**Tabla 3.**

*Composición de la ceniza de la cascarilla de arroz.*

COMPUESTO	PESO TOTAL (%)
SiO <sub>2</sub>	98,08
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,52
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,11
MnO	0,01
MgO	0,11
CaO	0,23
Na <sub>2</sub> O	0,10
K <sub>2</sub> O	0,38
TiO <sub>2</sub>	0,02
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,08
Otros	0,42

*Nota.* El silicio representa el 90,02% del peso total de la ceniza de la cascarilla de arroz. Tomado de: Llanos (2015). [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-62302007000300001#figura8](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-62302007000300001#figura8)

La quema de residuos agrícolas, como la cascarilla de arroz, constituye una fuente importante de emisión de contaminantes al aire, de compuestos como el metano (CH<sub>4</sub>), monóxido de carbono (CO), bióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), hidrocarburos (NMHC) y partículas menores a 10 micras (PM<sub>10</sub>) (Quintero y Moncada, 2009).

En muchos países, quemar residuos agrícolas (tallos, pastos, hojas y cáscaras, entre otros) continúa siendo la manera más económica y fácil de deshacerse o reducir el volumen de materiales combustibles producto de las actividades agrícolas (Comisión para la cooperación ambiental CCA, 2014), por ello se realiza con el propósito principal de evitar costos. Algunas quemas agrícolas se pueden considerar "necesarias", para prevenir pestes y enfermedades, ya que algunos materiales de cosecha están infectados y es preciso eliminarlos de inmediato, por ejemplo el espárrago y el trigo infectado con carboncillo negro (Quintero y Moncada, 2009).

### **3.4.1. Técnicas de combustión de cascarilla de arroz**

Según la Oficina de Recursos del Aire de California (CARB, por sus siglas en inglés), para realizar una quema adecuada de residuos agrícolas, se pueden emplear varias técnicas como:

- Utilizar un combustible que no genere humo negro, como el butano, propano, gas licuado a

presión o quemadores de aceite diesel. En Colombia se prohíbe la práctica de quemas abiertas en zonas rurales, salvo las quemas controladas en actividades agrícolas y mineras (Minambiente, 2005).

- Encender un fuego de prueba. Observar qué tan bien se quema el residuo agrícola y hacia dónde se dirige el humo. Hay que dejar de hacerlo si el combustible está muy húmedo o si el humo se dirige hacia áreas pobladas (Cherlinka, 2023).
- Quemar por varios lados de la parcela al mismo tiempo, para que la quema y la dispersión sean lo más rápidas posible (Quintero y Moncada, 2008).
- Encender el lado del campo que está a favor del viento. El fuego arde lentamente, pero de manera más completa. Así produce menos partículas y no deja partes que arden sin llama (UNGRD, 2019).
- Quemar en franjas o a guardarraya, pero siempre en dirección del viento (UNGRD, 2019).
- Quemar cuando el cultivo y el ambiente tengan menos humedad; lo más recomendable es entre las 10:00 y 15:00 horas (Cherlinka, 2023).
- Esperar que no haya inversión térmica, pues puede contribuir a que la pluma de humo se mantenga cerca del suelo y dañe a poblaciones cercanas (Cherlinka, 2023).

Los contaminantes emitidos en las quemas agrícolas, como HAP y PM<sub>2.5</sub>, tienen un efecto directo sobre los seres humanos, ya que pueden causar cáncer y enfermedades agudas de las vías respiratorias, tos, flemas y asma (CCA, 2014). Por ejemplo, durante la temporada de quema de la caña de azúcar se ha observado un aumento de los casos de ataques de asma en la población que vive cerca de los cañaverales en el sur de Luisiana, Estados Unidos, donde las admisiones hospitalarias por diversos problemas respiratorios aumentan en un 50% durante esta época.

En Brasil, primer productor de caña de azúcar del mundo, también se han observado concentraciones elevadas de PM y un incremento en los problemas respiratorios durante la época de la quema agrícola (CCA, 2014).

#### **4. IDENTIFICACIÓN DE PRÁCTICAS SOSTENIBLES MÁS UTILIZADAS EN EL MUNDO RELACIONADAS CON LA DISPOSICIÓN DE LA CASCARILLA DE ARROZ**

El presente capítulo muestra una descripción de las alternativas frecuentemente utilizadas para la disposición de cascarilla de arroz en Colombia, con el fin de identificar aquellas prácticas que sean beneficiosas a nivel social, económico y ambiental, sin dejar de lado aquellas alternativas que no han sido aplicadas en nuestro país, pero que han dado un buen resultado en otras partes del mundo. Como bien se sabe, el arroz es un producto fundamental en la economía del país, lo que ha llevado a los productores, empresarios, entre otros, a experimentar diferentes formas de cultivarlo y cosecharlo, y de esta manera aprovechar al máximo lo que dicho grano puede ofrecer, puesto que gran parte de la planta es subproducto (tallo, cascarilla y paja) (Cerquera, 2022). Es de recalcar, que con el pasar del tiempo, los avances tecnológicos y creatividad del hombre, a la cascarilla de arroz se le ha dado un importante y estratégico aprovechamiento, para sacar un beneficio de esta e innovar con la misma; uno de los principales usos que se le da, es convertirla en abono para usarla en la misma producción, siendo esta una alternativa muy buena y de bajo costo, sin embargo, se han identificado varias razones por las cuales los agricultores optan por incinerar los restos de las cosechas, como (Quintero y Moncada, 2007):

- a) **Las económicas:** el agricultor evita el uso de maquinaria, esto ahorra diesel, sueldo del operador y desgaste del equipo.
- b) **Las técnicas:** cuando el agricultor quiere incorporar los residuos agrícolas al suelo, primero requiere de varias pasadas del arado de discos por el terreno, lo que tiende a amontonar la paja y dificultar el barbecho (voltrear la tierra de 20 a 30 cm de profundidad), y en ocasiones requiere regar para ablandar la paja (esto también genera gastos).
- c) **Las cronológicas:** cuando el agricultor tiene que quemar los residuos para ahorrar tiempo y preparar el suelo para el siguiente cultivo. Esto es muy común en la agricultura intensiva.

##### **4.1. Controles y alternativas a la quema de residuos agrícolas**

Es muy importante resaltar que el objetivo de esta investigación es evaluar y determinar las diferentes estrategias de aprovechamiento de la cascarilla del arroz, con el fin de establecer una estrategia de producción más limpia PML que pueda ser adoptada y aplicada en las regiones productoras de arroz a nivel nacional, puesto que, a raíz de la gran producción de arroz anual, y residuos que esta deja, se está generando un impacto ambiental negativo a los recursos naturales,

especialmente al recurso aire y al recurso suelo.

Con respecto a la quema de la cascarilla de arroz, se puede lograr una disminución de las emisiones estableciendo un programa de quemas controladas y escalonadas para producir menos humo en un determinado periodo de tiempo. Se debe procurar también que los residuos tengan la menor cantidad de humedad posible, así como la recolección de residuos y su utilización para (CCA, 2014):

- Producción de combustibles como etanol o biogás (metano).
- Producción de compost.
- Alimento para animales.
- Material de construcción.
- Investigaciones emergentes

A continuación, se desarrollará cada una de las alternativas utilizadas para el aprovechamiento de la cascarilla de arroz:

#### **4.2. Producción de combustibles como etanol o biogás (metano).**

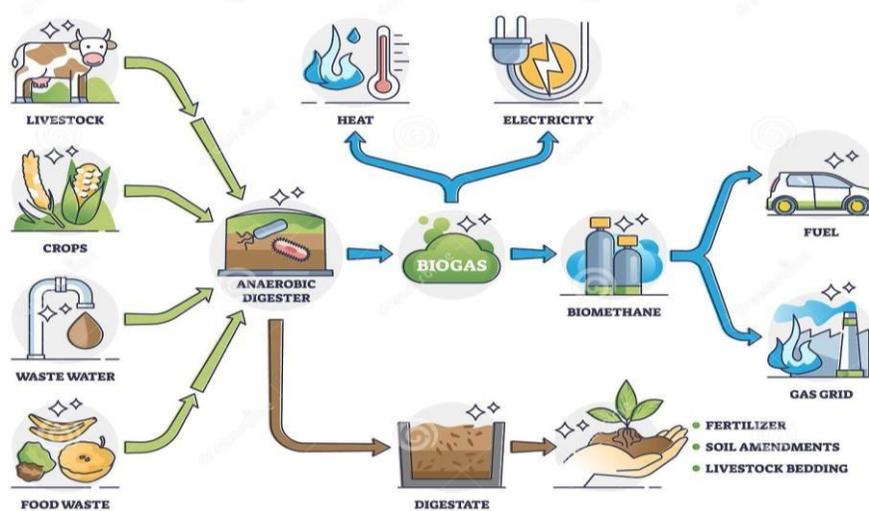
Para la producción de energía, los residuos agrícolas pueden ser quemados directamente o ser sometidos a procesos térmicos o mecánicos para la obtención de biocombustibles sólidos, como carbón vegetal, briquetas o pellets (Cerquera, 2022). Cuando los residuos agrícolas son sometidos a procesos termo-mecánicos aumenta la densidad energética de los mismos y los hacen más aptos para el consumo final de energía (Núñez, 2012). Las energías se pueden clasificar en dos: renovables o no renovables; las renovables son la solar, la eólica, hidráulica, biomasa y geotérmica, estas se consideran inagotables. Las fuentes no renovables se caracterizan por su agotabilidad y disminuyen con su consumo, como: el carbón, petróleo, gas natural, entre otros (Núñez, 2012). Según Ortega y Quispe (2021) la energía utilizada en el mundo depende de fuentes de combustible fósiles (petróleo, carbón y gas) y solo un 10% es generado a partir de la biomasa, este valor es pequeño con respecto al potencial energético que tiene este material orgánico.

Para la producción de biogás la materia prima proviene de la biomasa, ésta es la materia viva presente en la superficie terrestre. Los residuos que se generan a partir de procesos de transformación natural o artificial de la materia viva, también constituyen biomasa como se evidencia en la Figura 4. Ésta es renovable debido a que forma parte del flujo natural y repetitivo de procesos en la naturaleza, siendo las plantas quienes inician los procesos con la fotosíntesis para captar la energía solar. La biomasa es indispensable para conservar y enriquecer la diversidad

biológica y el suelo. (Instituto Universitario de Investigación en Gestión Forestal Sostenible, 2012)

**Figura 4.**

*Ciclo del Biogás*



*Nota.* Biogás para consumo de energía y esquema de fuentes. y la ilustración de vectores de combustible o calor y electricidad. Tomado de: <https://es.dreamstime.com/divisi%C3%B3n-de-biog%C3%A1s-o-para-consumo-energ%C3%ADa-y-esquema-fuentes-recursos-educativos-renovables-naturales-etiquetados-la-grilla-gas-image236890312>

En la actualidad la cascarilla de arroz, es catalogada como una de las tantas energías alternativas y puede ser utilizada como combustible para la generación de calor, vapor y electricidad (Sánchez, 2017), de acuerdo a lo mencionado previamente a continuación se describen cada uno de los procesos para la obtención de energía a partir de cascarilla de arroz (Ortega y Quispe, 2021):

- **Combustión:** La combustión directa es una técnica termoquímica en la que la biomasa es quemada al aire libre o en presencia de aire en exceso. En el proceso se libera agua y dióxido de carbono con el fin de obtener energía térmica, que puede ser utilizada para la calefacción doméstica o para la producción de calor industrial (Sánchez, 2017).
- **Pirólisis:** Es un proceso de transformación térmica de materia orgánica utilizando un catalizador en ausencia de oxígeno. Durante el proceso se produce la ruptura por calor de las moléculas más grandes en otras de tamaño más pequeño, originando gases y un sólido carbonoso (char), cuyas cantidades y composición dependen de la biomasa original, el tiempo de residencia, la temperatura de pirólisis, la velocidad de calentamiento y el tipo de reactor a

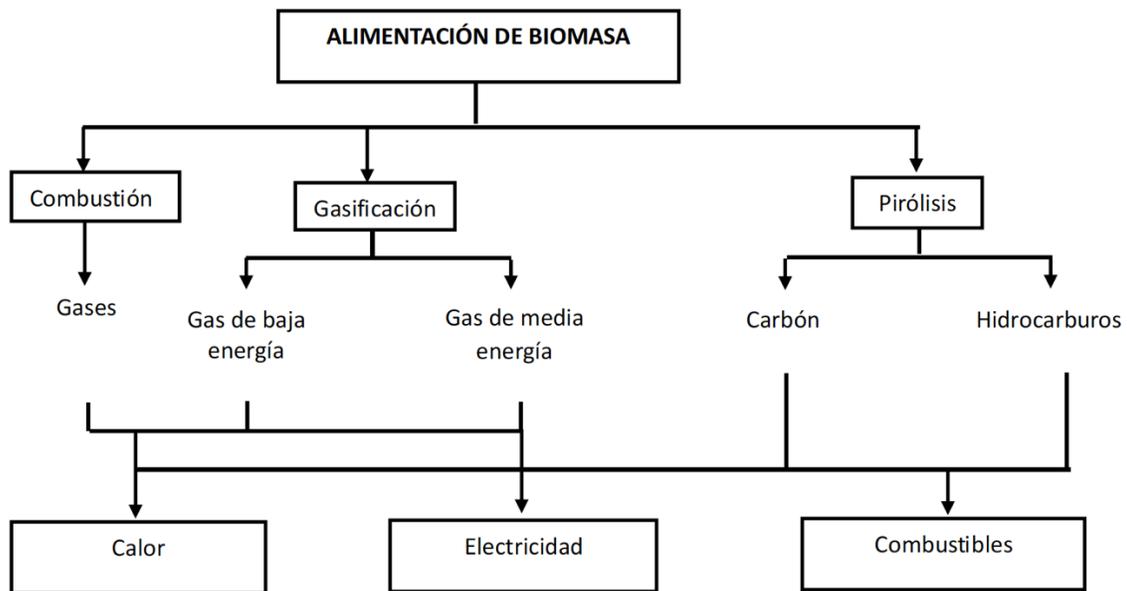
emplear (Sánchez, 2017).

- **Gasificación:** Es un proceso constituido por un conjunto de reacciones termoquímicas, esto ocurren un ambiente pobre de oxígeno y da como resultado la transformación de un sólido en gas de síntesis. El proceso tiene lugar a temperaturas elevadas ( $\leq 850$  C) y en presencia de ciertos agentes gasificantes que aportan al medio escasa contribución de oxígeno. El interés actual de esta tecnología está relacionado con la valorización energética de combustibles (Sánchez, 2017).

En la Figura 5 se puede observar los procesos térmicos anteriormente descritos, las transformaciones necesarias y los principales productos energéticos obtenidos que se dan a altas temperaturas que se aplican fundamentalmente a la biomasa seca como lo es la paja de arroz.

**Figura 5.**

*Proceso de obtención de energía*



*Nota.* Conversión termoquímica de la biomasa. Tomado de: Ortega y Quispe, (2021). <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistafuentes/article/view/12981/11945>

### 4.3. Producción de compost

El compostaje consiste en la descomposición biológica de sustratos orgánicos, este proceso biológico controlado permite la degradación y estabilización de la materia orgánica por la acción de microorganismos, por ello es realizada por una población microbiana diversa

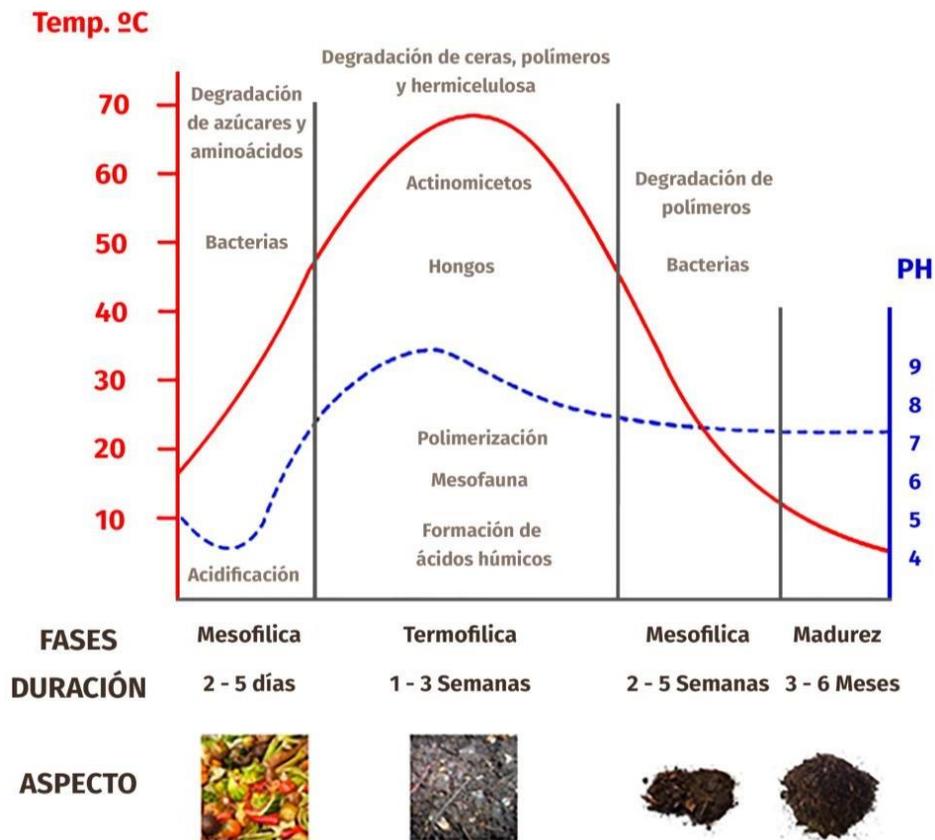
predominantemente aerobia y en condiciones ambientalmente específicas que favorezcan la curva de crecimiento de dichos microorganismos, esto con el fin de generar un material estable, libre de patógenos, que puede aplicarse al suelo como fertilizante natural; adicionalmente se generan CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y SO<sub>4</sub>. en el proceso (Oviedo et al., 2017).

El compost de cascarilla de arroz se puede mezclar con otros abonos o directamente con la tierra de cultivo, ya que actúa como mejorador de la fertilidad del suelo y como material de cobertura, siendo ideal para suelos mal drenados (Rodríguez, 2007). En el proceso de compostaje se presentan principalmente cuatro etapas como se evidencia en la Figura 6, dentro de las cuales se realiza el desarrollo microbiano para que la descomposición se lleve a cabo en las condiciones adecuadas, es por ello que la temperatura y el pH son fundamentales para evidenciar un progreso en el proceso (González y Medina, 2014).

La etapa de mayor relevancia dentro del proceso es la termófila, ya que en esta se da la descomposición de azúcares; cuando los microorganismos oxidan la materia orgánica, se promueve el rompimiento de las moléculas de carbono y la liberación de energía en forma de calor (González y Medina, 2014).

**Figura 6.**

*Etapas del proceso de compostaje*



*Nota.* Presenta las cuatro etapas del proceso de compostaje con relación a las condiciones de temperatura y pH. Tomado de: <https://puntocompost.wordpress.com/productos/>

#### 4.3.1. *Condiciones ambientales determinantes durante el proceso de compostaje*

- **El sitio:** Para el compostaje debe ser techado como se evidencia en la Figura 7, esto con el fin de controlar la humedad, y nivelado que permita el manejo adecuado de los lixiviados (líquidos) que se puedan producir durante el proceso (Biopunto, 2020).

**Figura 7.**

*Compostera de cascarilla de arroz.*



*Nota.* Las condiciones de luz, temperatura y humedad influyen para compostaje. Tomado de:  
<https://www.biopunto.cl/2020/07/30/proceso-compostaje-em/>

- **La temperatura de la pila:** Es un factor importante que varía en función de la actividad biológica de los microorganismos, por ello debe estar en un nivel intermedio entre 45° a 60°C. Temperaturas superiores a los 60°C ocasionan la pérdida del Nitrógeno por volatilización y obtendremos un Compost pobre en este nutriente (Biopunto, 2020) y (González y Medina, 2014).
- **pH:** El pH está fuertemente influido por el tipo de iones aportados por los materiales que se compostan, sin embargo, el valor de pH ideal para el compostaje se ubica entre 6,5-8,0 (Pierre et al., 2009). Es recomendable que el sustrato tenga un pH dentro de este rango, para que los nutrientes se encuentren disponibles ya que los problemas nutritivos más comunes ocurren en los cultivos cuando el pH se encuentra fuera del rango óptimo (Rizzo et al., 2019). Existen técnicas para corregir el pH del componente o sustrato formulado, si el valor de pH es inferior al rango, se recomienda corregir el material con cal, caliza, dolomita o mezclando con otros materiales ácidos, y en el caso de superar el rango, mediante la adición de azufre, sulfato ferroso, sulfato de aluminio u otros compuestos azufrados (Rizzo et al., 2019).
- **La humedad:** Para un buen compostaje los microorganismos presentes necesitan humedad (agua) con el fin de disolver y transportar los nutrientes (González y Medina, 2014). La humedad óptima es de 40%, si la humedad al inicio del proceso está por debajo del 35-40 %, la

actividad microbiana disminuye, pudiendo llegar hasta la inhibición y afectar todo el proceso (Biopunto, 2020) y (González y Medina, 2014).

Por el contrario, cuando hay exceso de humedad hay putrefacción y malos olores, es muy recomendable utilizar aserrín o similar, el cual sirve como absorbente y mejora la relación Carbono/Nitrógeno, esencial para el control de amoniacos. (Biopunto, 2020).

- **La relación C/N:** Para un correcto compostaje, la relación C/N debe ser la adecuada, ya que es un factor importante en la evolución del proceso y la pérdida de amonio. Por ello para el inicio del compostaje debe estar comprendida entre 25-35/1, esta relación va bajando hasta llegar a valores cercanos a 10-15/1 y es cuando el material está listo para ser usado (Biopunto, 2020) y (Delgado et al., 2020).

Por otro lado, es bien conocida la ceniza de cascarilla de arroz como fertilizante para suelos, ya que permite la reincorporación de nutrientes, principalmente minerales (Diaz, 2019). Estudios reportan la mejora en producción agrícola con la aplicación de la ceniza, mejorando hasta en un 54% (Sharifzadeh et al., 2019), uno de estos casos son las plantaciones de palma africana en el Departamento de Casanare compran a los molinos la ceniza de cascarilla y la aplican a sus suelos productivos (Diaz, 2019).

Por último, un caso fuera de Colombia es el de los cultivos de *Pometia Pinnata* en Indonesia que mezclan la cascarilla con estiércol de vaca, para ser usada como fertilizante, encontrándose que estimula el crecimiento de las plantas (Diaz, 2019). También se ha reportado el uso de cascarilla con mezclas de suelo y materia orgánica en los cultivos de limón con mejoras en los rendimientos de producción (Peña y Galecio, 2018).

#### **4.4. Alimento para animales.**

Ya hace varias décadas los residuos agrícolas vienen recibiendo gran atención por parte de ganaderos e investigadores en ciencia animal, debido a su potencial uso en la alimentación animal (Godoy et al., 2020). Se sabe que la cascarilla de arroz tiene un alto contenido de fibra; al presentar altos niveles en este carbohidrato, se podría cumplir con el rol mecánico necesario en las dietas muy concentradas para animales (Martínez et al., 2011).

En la Amazonía peruana, se cuenta con una gran biodiversidad de cultivos que, en el proceso de industrialización, generan residuos no convencionales que pueden ser incluidos en la dieta de vacunos lecheros y de engorde de la zona. Según Godoy 2020 los residuos con mayor potencial de uso en alimentación del ganado vacuno por el mayor aporte de energía son los provenientes de la

molienda del arroz. De acuerdo con lo anterior, es importante mencionar las distintas maneras de aprovechar la cascarilla de arroz como alimento para los animales: Concentrado para bovinos, pollos, peces y cerdos.

#### **4.5. Material de construcción.**

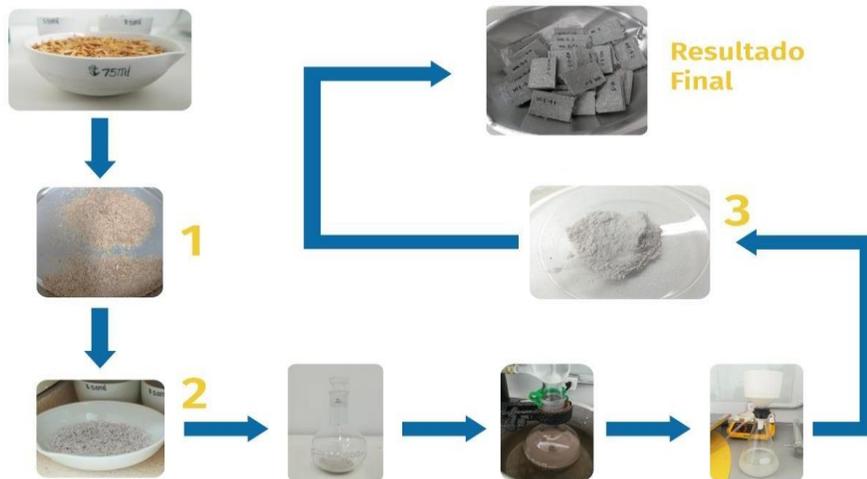
Gracias a la gran cantidad de sílice presente en la ceniza de la cascarilla de arroz, se han realizado varios estudios donde se ha evaluado la capacidad de este subproducto, para utilizarlo como materia prima para la fabricación de materiales de construcción. Según el estudio realizado por Pulido en el año 2019, se evidenció que algunos efectos de la ceniza de cascarilla de arroz como fuente de sílice en sistemas cementantes, presentaron resistencias a compresión de hasta 61 MPa en 28 días, superiores a las resistencias presentadas por los mismos sistemas activados con silicato de sodio, material actualmente utilizado para dichos materiales (Pulido et al., 2019).

Otro estudio realizado por Sánchez, Leiva y Monteza en el año 2021, demostró que la adición de ceniza de cascarilla de arroz para la fabricación de ladrillos, en distintas concentraciones, influyó sobre la fuerza de compresión y el porcentaje de absorción de agua, mostrando que el tratamiento con una concentración del (5%) era similar estadísticamente ( $p < 0,05$ ) al testigo con 24,6 MPa, esto pone en evidencia, el gran potencial de este residuo para la fabricación de materiales de construcción como el ladrillo (Sánchez et al., 2021), por ello en el sector de la construcción para la fabricación de ladrillos, se ha venido utilizado la sílice y la cascarilla de arroz como componente en el proceso de endurecimiento del cemento, que al ser agregada con agua y aditivos forma una pasta que fragua y endurece por medio de reacciones y procesos de hidratación que, una vez endurecido conserva su resistencia y estabilidad incluso bajo el agua.

Por otra parte la Universidad Autónoma de Manizales y Tecnoparque nodo Pereira Regional Risaralda, lideraron la investigación para la obtención de sílice a partir de la cascarilla de arroz y convertirlo en fibrocemento mediante varios procesos evidenciados en la Figura 8 (Martínez, 2022), esta iniciativa de la ingeniera física y gestora de la línea de biotecnología y nanotecnología del Tecnoparque, Diana Marcela Gómez Mejía, preocupada no solo por el desperdicio sino por la afectación al medio ambiente, la llevó a que realizará dicha investigación permitiendo darle un uso a este residuo agrícola. Otra de las finalidades de esta iniciativa, es poder utilizar la cascarilla del arroz para la construcción de tejas o placas de construcción y reemplazar el asbesto que es cancerígeno y está prohibido en Colombia (SENA, 2020).

**Figura 8.**

*Proceso de elaboración de fibrocemento*



*Nota.* 1. Para obtener las nanopartículas se muele e incinera la cascarilla de arroz; 2. se realiza tratamiento químico a la ceniza para la remoción de impurezas. La pureza posterior al tratamiento químico, se incrementa hasta un 98,48; 3. Posteriormente se obtienen nanopartículas de sílice en diferentes porcentajes -0, 3, 5 y 7 %. Tomado de: <https://www.autonoma.edu.co/blog/noticias/cascarilla-de-arroz-en-materiales-de-construccion-para-reemplazar-el-asbesto>

Para la investigadora "este compuesto denominado fibrocemento es un material liviano y resistente usado en la construcción especialmente en sistemas de construcción liviano, como revestimiento, aislamiento e impermeabilización de numerosas estructuras. Está compuesto de cemento, sílice, carbonato, bentonita, fibras de celulosa y fibras de acetato de polivinilo o polímeros" explicó (SENA, 2020).

#### **4.6. Investigaciones emergentes de la cascarilla de arroz**

**Tabla 4.**

*Descripción de investigaciones emergentes para la disposición de cascarilla de arroz*

PRODUCTO	IMAGEN	DESCRIPCIÓN
<p><b>1. Muebles</b></p>		<p>Esta estrategia propone crear muebles que, por sus características de composición química, casi en lo único que se diferencia del aglomerado es en la disposición de las fibras internas. Esto permite que su producción "dentro de la industria de este material" sea una alternativa sostenible (Martínez, 2020).</p> <p>El proceso con la cascarilla y tamo del arroz contempla secado, apropiación del tamaño, etapa de remojo, desfibrado, separación de fibras, mezcla con resina, una etapa de pre formación, prensado y lijado del material para darle los últimos ajustes (Martínez, 2020)</p>
<p><b>2. Envases Desechables</b></p>		<p>Esta estrategia tiene como objetivo desarrollar envases térmicos biodegradables (ETB) a base de diferentes materiales orgánicos como la harina de cáscara de mango, cascarilla de arroz y almidón de yuca, con el fin de desarrollar una alternativa a la utilización del plástico, para ello Ramírez 2021, en su estudio realizó una variación en las concentraciones de las harinas, con la finalidad de evaluar su efecto en las propiedades físicas como el coeficiente de conductividad térmica y su tiempo de degradación, concluyendo que si cumplen con las condiciones para reemplazar el plástico.</p>

**Tabla 4. (Continuación)**

<p><b>3. Cama para animales</b></p>		<p>La cascarilla de arroz para cama de animales es considerada como el. Producto mas adecuado para cama de ganado. Un estudio realizado por la Real Escuela Oficial y Superior de Avicultura ha demostrado que, frente a materiales tradicionales, como la paja o la viruta de madera, la cascarilla de arroz aporta ventajas como su fácil manejo</p>
-------------------------------------	---	--

*Nota.* Descripción de investigaciones emergentes, relacionadas con el aprovechamiento de lacascarilla de arroz.

## **5. SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA SOSTENIBLE QUE SE ADAPTE A LOS AGRICULTORES COLOMBIANOS**

Es importante tener en cuenta diferentes aspectos, tales como: ventajas, desventajas, beneficios, costos, entre otros, al momento de seleccionar una de las estrategias o subprocesos de la cascarilla de arroz, para ser aplicados y/o desarrollados en las regiones con mayor producción de arroz en Colombia, es por ello que se realiza una búsqueda con el fin de realizar la mejor elección y con la cual los agricultores se vean favorecidos en relación costo/beneficio, por supuesto pensando también en la reducción y/o mitigación de los impactos ambientales generados a los recursos naturales.

Inicialmente, se realiza la comparación de las estrategias de aprovechamiento como se evidencia en la Tabla 5, las cuales son: Producción de combustibles como etanol o biogás (metano), Producción de compost, Alimento para animales, Material de construcción, Camas en establos, envases y muebles. Posteriormente, teniendo en cuenta los conceptos definidos y las comparaciones de dichas estrategias, se logran establecer los criterios determinantes para la selección, a partir de una matriz PUGH para la toma de decisiones.

### **5.1. Ventajas y Desventajas de las alternativas de aprovechamiento**

A continuación, se exponen las ventajas y desventajas de cada una de las estrategias y finalmente se selecciona una, que cumpla con las necesidades y beneficien los cultivos, como también al medio ambiente.

**Tabla 5.**

*Comparación de estrategias para el aprovechamiento de cascarilla de arroz*

<b>ESTRATEGIA</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>	<b>IMPACTOS</b>
<p><b>Producción de biogás</b></p>	<p>-Posibilidad de disponer de electricidad y energía calorífica en cualquier lugar, incluso en las zonas rurales más remotas (Bioenergy, 2022).</p> <p>-No depende de las condiciones climáticas para su generación(Martínez, 2022).</p> <p>-Control del metano en la atmósfera, ungas mucho mayor poder de efecto invernadero que el CO2 (Fischer, 2021).</p> <p>-Suministro eléctrico descentralizado(Izquierdo, 2020).</p> <p>-Reduce la concentración de partículascontaminantes en el aire (Bioenergy,2022).</p>	<p>-Si bien es cierto que el ahorro a medio y largo plazo es notable, es necesario realizar un importante desembolso antes de empezar a producir biogás (Bueno, 2011).</p> <p>-El producto del biogás puede contener impurezas que dañen los motores cuando se utiliza como carburante (Villasur, 2021)</p> <p>-En caso de que los centros generadores de cascarilla de arroz estén lejos, el costo logístico puede ser una traba (Orlandi, 2022).</p>	<p><b>Económicos:</b></p> <p>-Inversión inicial alta para infraestructura idónea para el desarrollo del proyecto.</p> <p>-Ganancias significativas a mediano plazo</p> <p><b>Ambientales:</b></p> <p>-Disminución en emisión de gases efecto invernadero como el metano.</p> <p>-Producción mediante energías renovables</p>
<p><b>Producción de compost.</b></p>	<p>- Mejora las propiedades físicas y químicas del suelo (Oviedo et al., 2017).</p> <p>-favorece la estabilidad de la estructura de los agregados del suelo agrícola (Oviedo et al., 2017).</p>	<p>-La climatología, ya que, si el climaes muy frío, el proceso se alargadebido a las bajas temperaturas e incluso a veces se detiene (Vargas etal., 2018).</p>	<p><b>Económicos:</b></p> <p>-Reducción de costos de producciónal utilizar abonos orgánicos en vez de fertilizantes químicos en loscultivos.</p>

**Tabla 5. (Continuación)**

	<p>-Reduce la densidad aparente, aumentala porosidad y permeabilidad, y aumenta su capacidad de retención de agua, por lo que se obtienen suelos más esponjosos y con mayor humedad, lo que se traduce en mejores condiciones para cultivos, al existir un aporte adicional de nutrientes (FAO, 2013).</p>	<p>-Disponibilidad de terreno, poder llevar a cabo cada una de las diferentes fases del proceso (Álvaro, 2019).</p> <p>Se requiere mayor cantidad de compost a aplicar en los cultivos ya que los nutrientes presentes en el compost se encuentran en formas muy complejas y tardan más tiempo en ser asimilados (Álvaro, 2019).</p>	<p>-Bajo costo de inversión en infraestructura o materiales.</p> <p><b>Ambientales:</b></p> <p>-Mejoramiento de la fertilidad y estructura del suelo. Activación del microbiota del suelo.</p>
<p><b>Alimento para animales.</b></p>	<p>-Puede aumentar la sensación de saciedad y reducir el estrés producido por el hambre y la competencia (García, 2017).</p> <p>-Abundancia y bajo costo (García, 2017)</p> <p>-Beneficioso para regiones con escasos pastos y poca ganadería, y su agricultura está basada en la siembra de arroz (García, 2017)</p>	<p>-Posee características abrasivas y resistentes a la digestión y fermentación, por lo que se ha limitado su uso debido a baja digestibilidad (Pineda, 2022).</p> <p>-Estas alternativas podrían superar las limitantes operativas, evitando el manejo de grandes volúmenes y la incorporación de infraestructura adecuada para el manejo de la fibra (Martínez, 2011).</p>	<p><b>Económicos:</b></p> <p>-Reducción de costos en suplementación alimenticia para los animales.</p> <p><b>Ambientales:</b></p> <p>-Disminución de residuos generados inmediatamente después de la cosecha del arroz.</p>
<p><b>Material de construcción</b></p>	<p>- Presenta resistencias a compresión de hasta 61 MPa (Camargo, 2017).</p>	<p>- Uso excesivo de agua en el proceso de producción (Serrano, 2012).</p>	<p><b>Económicos:</b></p> <p>-Inversión inicial alta para</p>

**Tabla 5. (Continuación)**

	<p>-Influye positivamente en el porcentaje de absorción de agua (Camargo, 2017).</p> <p>-Permite reemplazar el asbesto (Camargo, 2017).</p>	<p>-La cáscara de arroz tan sólo tratada con una disolución ácida, inhibe las reacciones de hidratación del cemento, por lo que no se produce el fraguado del mismo (Serrano, 2012).</p>	<p>infraestructura idónea para el desarrollo del proyecto.</p> <p><b>Ambientales:</b></p> <p>-Afectación en el recurso hídrico, debido a los altos niveles requeridos</p>
<p><b>Camas para animales</b></p>	<p>-Fácil manejo al ser un producto totalmente suelto (Aviporto, 2023).</p> <p>- Fácil almacenamiento y Menor porcentaje de humedad (Aviporto, 2023).</p> <p>-Más tiempo de permanencia de la cama, debido a su mayor drenaje (Aviporto, 2023).</p>	<p>El principal inconveniente que presenta la cascarilla de arroz cuando se usa como sustrato único en camas, es su baja capacidad de retención de humedad y lo difícil que es lograr el reparto homogéneo de la misma (humectabilidad) (Lozano, 2020).</p>	<p><b>Económicos:</b></p> <p>-No requiere inversión para transformación ya que se utiliza como sale de la cosecha</p> <p><b>Ambientales:</b></p> <p>-Su proceso de producción no genera impactos negativos al ambiente</p>
<p><b>Envases</b></p>	<p>-Reemplazaría los plásticos de un solo uso (Coca, 2021).</p> <p>-Requiere menos energía en la fabricación de productos biodegradables en comparación con los plásticos (Coca, 2021).</p>	<p>- Nuestro sistema de gestión de residuos no está preparado para tratar plásticos biodegradables (Instituto de ingeniería sanitaria, 2011).</p> <p>El envase debe contar con la resistencia necesaria para no quebrarse al caer, pero, además, debe de ser ligero (Añanca et al., 2020).</p>	<p><b>Económicos:</b></p> <p>-La inversión inicial es baja</p> <p><b>Ambientales:</b></p> <p>-El tiempo de degradación es menor</p> <p>-Los impactos ambientales en el proceso de producción es menor en</p>

**Tabla 5. (Continuación)**

<p><b>Muebles</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Evita la tala de arboles</li> <li>- Es resistente y no propaga el fuego (esignífugo) resiste hasta 250°C (Soria,2021).</li> <li>Resiste a la humedad, pues absorbe menos de 3 por ciento en peso (Soria, 2021).</li> </ul>	<p>-Para desarrollar los muebles se debe importar una planta que cuente con maquinaria diseñadaespecíficamente para trabajar con estos residuos, desde su recolecciónhasta la elaboración final del mueble, lo que implica una inversión monetaria importante (Agencia UNAL, 2020).</p>	<p>comparación de los plásticos tradicionales.</p> <p><b>Económicos:</b></p> <p>-La inversión para la fabricación de muebles es alta, debido a la maquinaria que requiere para tal fin.</p> <p><b>Ambientales:</b></p> <p>-Genera menor impacto al ambiente debido a que no requiere tala deárboles.</p>
-----------------------	---	---	--

*Nota.* Ventajas y desventajas de cada alternativa para el aprovechamiento de cascarilla de arroz

## 5.2 Matriz Pugh

La Matriz de Pugh es una herramienta cuantitativa que permite comparar opciones entre sí mediante un arreglo multidimensional (Arias y Botero, 2020). Su aplicación más habitual es durante la fase de diseño de un producto, ya sea completamente nuevo o una actualización de uno existente (Beltrán, 2021). El primer paso es identificar los criterios que serán evaluados, estos criterios son básicamente las necesidades del cliente.

Los criterios de selección de la alternativa de aprovechamiento más viable se basaron en la revisión bibliográfica sobre los diferentes tipos de estrategias de PML especificadas en el capítulo anterior y de la descripción de las ventajas y desventajas, mediante el cuadro comparativo de la Tabla 5, por ende, a continuación, se presentan los criterios de selección explicados uno a uno:

- **Costos de implementación:** Este criterio involucra los costos de inversión inicial, esto debido a los impactos económicos que repercuten sobre los agricultores, a la hora de disponer la cascarilla.
- **Tiempo de producción:** Este criterio involucra el volumen producido en unidades por cosecha, buscando siempre mayor eficiencia en las alternativas, es decir la mayor producción en el menor tiempo.
- **Ganancias económicas:** Este criterio involucra las ganancias que pueden dejar las estrategias evaluadas, esto con el fin de garantizar el costo/beneficio de su implementación.
- **Insumos y/o maquinaria:** Este criterio está relacionado con los materiales que se implementarían para la ejecución de la estrategia, sin dejar de lado los costos que implica la adquisición de maquinaria e insumos, por lo que este criterio resulta ser muy necesario en la evaluación, ya que se buscan alternativas de bajo costo.
- **Mantenimiento:** Este criterio se evalúa de acuerdo al periodo que se espera utilizar la maquinaria (si la requiere) para la fase de producción, por consiguiente, entre mayor sea el tiempo de duración mejor será este criterio ya que implicara menores costos en la inversión.
- **Espacio y ubicación:** En este criterio se tiene en cuenta, debido a los altos volúmenes de cascarilla que se genera a partir de la cosecha, ya que se debe contar con un espacio amplio para su manipulación, a esto se le suma si la estrategia requiere maquinaria o insumos, criterio que se traduce en costos para las adecuaciones.

Posterior a la identificación de los criterios de selección, y su respectiva descripción, se procede a ubicar las alternativas en las columnas y los criterios en las filas, esto con el fin de relacionar la

información consignada en la matriz y poder realizar la respectiva evaluación, la cual se efectúa de forma cuantitativa; para ello se utilizan símbolos para indicar las diferencias:

**+(mas):** La alternativa es mejor que la práctica actual (quema de la cascarilla)

**-(menos):** La alternativa es peor que la práctica actual (quema de la cascarilla)

**0(cero):** La alternativa es igual a la práctica actual (quema de la cascarilla)

Para realizar la evaluación se toma como referencia la quema de la cascarilla de arroz, teniendo en cuenta el objetivo de la presente investigación, de evaluar alternativas que generen menor impacto con relación a las prácticas actuales.

Para relacionar la información de la matriz, se toma la primera alternativa para el aprovechamiento de la cascarilla de arroz y se analiza criterio por criterio si su cumplimiento es superior, es inferior o es igual. Si es superior se coloca un signo "+", si es inferior un signo "-" y si es igual un "0" como se mencionó previamente, sin embargo, se suelen utilizar los números +1, -1 y 0 respectivamente ya que permiten operar en planillas de cálculo (Beltrán, 2021). Por ello se utilizará esta nomenclatura.

Una vez completada toda la Tabla 6, se realiza la suma de cada columna, es decir se suman primero los positivos (+) y luego los negativos (-), seguido se realiza la suma general de los dos resultados previos. El concepto de alternativa que obtenga un resultado mayor, producto del balance entre aspectos positivos y negativos, será la mejor opción.

**Tabla 6.**

Matriz PUGH

		ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO Vs QUEMA DE LA CASCARILLA DE						
		ARROZ						
		Producción de biogás	Producción de compost	Alimento para animales	Materiales de construcción	Camas para animales	Envases desechables	Fabricación de muebles
CRITERIOS	COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN	-1	1	0	-1	1	-1	-1
	TIEMPO DE PRODUCCIÓN	-1	-1	-1	-1	0	-1	-1
	GANANCIAS ECONÓMICAS	1	1	0	1	0	1	1
	INSUMOS Y/O MAQUINARIA	-1	0	-1	-1	0	-1	-1
	MANTENIMIENTO	-1	1	0	-1	1	0	-1
	UBICACIÓN Y ESPACIO	-1	-1	0	-1	0	0	-1
	SUMA POSITIVOS	1	3	0	1	2	1	1
SUMA NEGATIVOS	-5	-2	-2	-5	0	-3	-5	
<b>SUMA GENERAL</b>	<b>-4</b>	<b>1</b>	<b>-2</b>	<b>-4</b>	<b>2</b>	<b>-2</b>	<b>-4</b>	

*Nota.* Resultado de la matriz Pugh sin ponderar.

Posterior a completar la tabla y realizar la suma correspondiente, se obtiene que la mejor alternativa para el aprovechamiento de la cascarilla de arroz, es la cama para animales, sin embargo, no se puede garantizar la confiabilidad de este resultado debido a que no todos los criterios poseen el mismo impacto o no tienen la misma relevancia para los agricultores, a la hora de su implementación. Por ello se ponderó cada criterio con el fin de que unos criterios tengan mayor peso que otros. Para llevar a cabo dicha ponderación se agregó una columna de peso para cada criterio, como podemos ver en la Tabla 7.

El peso ponderado se tuvo en cuenta de acuerdo a una escala de 0 a 100% y fue asignado a cada uno de los criterios teniendo en cuenta la importancia de este criterio al momento de la selección de la mejor alternativa. El criterio de “ganancias económicas” recibió un peso de 30% que es el mayor otorgado a los criterios, ya que este resulta ser el más determinante al momento de la elección; los criterios “costos de implementación” e “insumos y/o maquinaria” recibieron un peso de 20% cada uno, esto debido a que se busca tener un menor impacto en cuanto a costos económicos se refiere, tomando como base la práctica de quema a cielo abierto.

Finalmente se otorgó un peso de 10% a los criterios “tiempo de producción”, “Mantenimiento” y “Ubicación y espacio”, si bien todos los criterios son determinantes en una decisión final, estos últimos pueden llegar a ser un poco más flexibles a la hora de determinar la estrategia más acorde, por ello se les asignó los pesos más bajos.

**Tabla 7.**

*Matriz PUGH Ponderada*

		PESO %	ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO Vs QUEMA DE CASCARILLA DE ARROZ						
			Producción de biogás	Producción de compost	Alimento para animales	Materiales de construcción	Camas para animales	envases desechables	Fabricación de muebles
CRITERIOS	COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN	2	-2	2	0	-2	2	-2	-2
	TIEMPO DE PRODUCCIÓN	1	-1	-1	-1	-1	0	-1	-1
	GANANCIAS ECONÓMICAS	3	3	3	0	3	0	3	3
	INSUMOS Y/O MAQUINARIA	2	-2	0	-2	-2	0	-2	-2
	MANTENIMIENTO	1	-1	1	0	-1	1	0	-1
	UBICACIÓN Y ESPACIO	1	-1	-1	0	-1	0	0	-1

<b>SUMA POSITIVOS</b>	3	6	0	3	3	3	3
<b>SUMA NEGATIVOS</b>	-7	-2	-3	-7	0	-5	-7
<b>SUMA GENERAL</b>	<b>-4</b>	<b>4</b>	<b>-3</b>	<b>-4</b>	3	<b>-2</b>	<b>-4</b>

*Nota.* Resultado de la matriz Pugh ponderada.

Una vez introducidos todos los valores dentro de la matriz Pugh, teniendo en cuenta la priorización de los criterios, mediante ponderación, se obtiene lo que sería la mejor alternativa de acuerdo con los parámetros introducidos en la misma. Los resultados obtenidos muestran que la alternativa más viable es la producción de compost, ya que obtuvo un ponderado de 6, superior a las otras alternativas propuestas.

Finalmente, analizando la tabla de comparación de cada una de las estrategias de aprovechamiento de la cascarilla de arroz, se puede inferir que la más beneficiosa de las estrategias para los agricultores, es la producción de compost ya que con esta se puede beneficiar y reducir costos en la inversión de fertilizantes para sus cultivos, y adicional a esto se reduce el impacto ambiental que actualmente están generando al recurso suelo y aire, por la quema de cascarilla de arroz.

## 6. CONCLUSIONES

El arroz es uno de los principales productos agrícolas de Colombia debido a que se producen 23 de los 32 departamentos que posee el país, aportando sustento económico con cerca de 500 mil empleos al año. Se identificó que la producción de arroz genera gran cantidad de cascarilla que constituye alrededor del 20% de la producción total, es decir 665.000 toneladas al año.

Se compararon 7 alternativas para el aprovechamiento de la cascarilla del arroz, basados en las investigaciones realizadas en la literatura, las cuales son: Producción de combustibles como etanol o biogás (metano), Producción de compost, Alimento para animales, Material de construcción, Camas en establos, envases y muebles, dichas alternativas poseen características propias que los identifican, logrando entender su funcionamiento según la necesidad que se tenga, justificando cuales son las mejores alternativas y cuál es la más beneficiosa para los agricultores.

Se seleccionaron 6 criterios como fundamentales para la toma de decisión de la mejor alternativa que fueran acordes a las necesidades de los agricultores, los cuales fueron evaluados por medio de la matriz Pugh, donde se dieron valores y peso a cada uno de los criterios, logrando predecir que la mejor opción es la producción de compost.

Se concluyó que la alternativa más adecuada para el aprovechamiento de la cascarilla de arroz es la producción de compost debido a su bajo costo, bajo mantenimiento, buena producción, materiales de construcción económicos, un tamaño adecuado y buenos beneficios para suelos de producción agrícola, logrando que con la cantidad de residuos obtenidos se produzca una cantidad de compost óptima para el uso necesario de los agricultores.

Al usar el residuo de la producción de arroz para la generación de compost es posible eliminar los impactos ambientales negativos asociados a la quema de cascarilla, como lo son las emisiones al recurso aire y modificaciones fisicoquímicas al recurso suelo, por el contrario, al implementar dicha alternativa, se puede generar otros beneficios como reducción en costos relacionados a fertilizantes para sus cultivos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Agencia de noticias UNAL, 2020. Guía para fabricar ecoempaques con cascarilla de arroz. <http://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/article/guia-para-fabricarecoempaques-con-cascarilla-de-arroz.html>
- Álvaro, G.T. (2019). Ventajas y desventajas del compostaje. <https://www.fertibox.net/single-post/ventajascompost#:~:text=Problemas%20de%20rentabilidad%20y%20competitividad,de%20los%20sistemas%20de%20tratamiento>
- Añanca, P. Córdova, D. Correa, J. Palacios, E. Pascual, D. (2020). Diseño del proceso productivo de envases biodegradables a base de cascarilla de arroz y hojilla de algarrobo en la región Piura. [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4619/PYT\\_Informe\\_Final\\_Proyecto\\_BioEnvases.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4619/PYT_Informe_Final_Proyecto_BioEnvases.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Arias, J. Botero, J. (2020). Diseño de un sistema de lavado del grano despulpado de café para el cafetal el triunfo del municipio de Guaduas, Cundinamarca. <https://repository.usta.edu.co/jspui/bitstream/11634/33855/8/2021juanbotero.pdf>
- Aviporto. (2023). Cascarilla de arroz para cama de animales. CAMAGAN. <https://www.aviporto.com/camagan.html>
- Barrera, J. (2019). Del Cultivo Tradicional a la Cadena Agroindustrial del Arroz (*Oryza sativa L.*) en el Departamento de Casanare. <https://alimentos hoy.acta.org.co/index.php/hoy/article/viewFile/546/416>
- Beltrán, J. (2021). Evaluación de una tecnología para el aprovechamiento sostenible de los residuos sólidos orgánicos para la obtención de biogás en la finca “El Rubí” en Sylvania Cundinamarca. <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/8403/1/95047-2021-I-GA.pdf>
- Bernal, A. Carvajal, L. (2019). Evaluación de un biocomposito elaborado con residuos agroindustriales del cultivo de arroz (cascarilla y tamo) y su potencial aplicación en viviendas de interés social, Paz de Ariporo, Casanare. Universidad El Bosque Facultad de Ingeniería. [https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/2141/Bernal\\_Vargas\\_Antonella\\_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/2141/Bernal_Vargas_Antonella_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Biopunto, (2020). Compostaje y abonos orgánicos. <https://www.biopunto.cl/2020/07/30/proceso-compostaje-em/>
- Buelvas, M. (2021). Importancia de los factores climáticos en el cultivo de arroz. Fedearroz.

- file:///D:/iha\_comercial1/Downloads/anafrango,+2105+Diagramado+JF.pdf
- Camargo, N. (2017). La ceniza de cascarilla de arroz como aporte a la resistencia del concreto hidráulico. <http://investigacion.unitropico.edu.co/wp-content/uploads/2017/07/CUERPO-REVISTA-33-38.pdf>
- Cerquera, M. (2022). Evaluación de las diferentes estrategias de aprovechamiento de la pulpa de café en la finca La Lindosa, Palermo, Huila, Colombia. Universidad de América. <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/8898/4/555980-2022-I-GA.pdf>
- Cherlinka, V. (2023). Quema prescrita: como usar el fuego de forma adecuada. <https://eos.com/es/blog/quema-prescrita/>
- Coca, M. (2021). *Oryzite*, una alternativa real al plástico. <https://www.pimealdia.org/es/oryzite-alternativa-real-plastico/>
- Comisión para la cooperación ambiental CCA, (2014). La quema de residuos agrícolas: fuente de dioxinas. <http://www.cec.org/files/documents/publications/11405-la-quema-de-residuos-agr-colas-es-una-fuente-de-dioxinas-es.pdf>
- Cotrina, L. (2021). Efecto de las quemas agrícolas en la cantidad de los macroinvertebrados del suelo en el distrito de Aco, Concepción. Universidad continental de Huancayo, Perú. [https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/11367/2/IV\\_FIN\\_107\\_TE\\_Cotrina\\_Tantavilca\\_2022.pdf](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/11367/2/IV_FIN_107_TE_Cotrina_Tantavilca_2022.pdf)
- DANE. (2022). Encuesta Nacional de Arroz Mecanizado (ENAM). [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/arroz/boletin\\_ENAM\\_Isem21.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/arroz/boletin_ENAM_Isem21.pdf)
- DANE. (2014). Censo Nacional Agropecuario. <https://www.dane.gov.co/files/CensoAgropecuario/entrega-definitiva/Boletin-12-UPNA/12-Boletin.pdf>
- Departamento de agricultura de los Estados Unidos, (USDA). (2020). <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/advQuery>
- Díaz, D. (2019). Usos potenciales de la cascarilla de arroz en el departamento de Casanare. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/30131/80811242.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Fedearroz, (2021). Contexto mundial y nacional del cultivo del arroz 2000 – 2020. [https://fedearroz.s3.amazonaws.com/media/documents/Cartilla\\_Contexto\\_Mundial\\_y\\_Na](https://fedearroz.s3.amazonaws.com/media/documents/Cartilla_Contexto_Mundial_y_Na)

cional\_del\_cultivo\_de\_arroz\_2000-2020\_dXUQLuQ.pdf

FAO. (2014). Residuos agrícolas y residuos ganaderos. <https://www.fao.org/3/bp843s/bp843s.pdf>

Gamboa, A. Flórez, G. (2018). Análisis de la utilización de estrategias de producción más limpia y adaptación de un sistema de indicadores de manejo ambiental en las empresas del clúster textil confecciones del Tolima. <https://uamerica-ambientalex-info.ezproxy.uamerica.edu.co/articulo/detalle/10758/analisis-de-la-utilizacion-de-estrategias-de-produccion-mas-limpia-y-adaptacion-de-un-sistema-d-10758/pdf>

Gobernación del Meta. (2022). El Meta. <https://meta.gov.co/elmata>

García, J. Blanco, I. Perea, J. Hernández, F. Matías, J. Izquierdo, M. (2017). La cascarilla de arroz como estrategia alimentaria en el cerdo ibérico durante la premontanera: estudio comportamental y valoración del bienestar animal. [https://www.aida-itea.org/aida-itea/files/jornadas/2017/comunicaciones/2017\\_SBA\\_12.pdf](https://www.aida-itea.org/aida-itea/files/jornadas/2017/comunicaciones/2017_SBA_12.pdf)

Godoy, D. Daza, R. Fernández, L. Layza, A. Roque, R. Hidalgo, V. Gamarra. S. Gómez, C. (2020). Caracterización del valor nutricional de los residuos agroindustriales para la alimentación de ganado vacuno en la región de San Martín, Perú. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0122-87062020000201374](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-87062020000201374)

González, M. Alonso, A. (2016). Tecnologías para ahorrar agua en el cultivo de arroz. Revista Scielo. <http://www.scielo.org.co/pdf/nova/v14n26/v14n26a07.pdf>

González, J. Medina, M. (2014). Diseño y evaluación del compostaje como alternativa para el tratamiento de residuos de aditivos en la construcción. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1909-04552014000100004](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552014000100004)

Instituto de ingeniería sanitaria. (2011). Estudio de calidad de los residuos sólidos urbanos del área metropolitana de buenos aires. <https://www.ceamse.gov.ar/wp-content/uploads/2012/06/Tercer-Informe-ECRSU-AMBA.pdf>

Instituto Universitario de Investigación en Gestión Forestal Sostenible. (2012). Biomasa, Biocombustibles y Sostenibilidad. Universidad de Valladolid-INIA (IUGFS). <http://sostenible.palencia.uva.es/system/files/publicaciones/Biomasa%2C%20Biocombustibles%20y%20Sostenibilidad.pdf>

Lagos, E. (2014). Evaluación de la degradación del tamo de arroz por un extracto enzimático lignocelulolítico obtenido a partir de *Penicillium sp.* H1-364 y *Pleurotus ostreatus* MF 1-83.

- <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/16181/LagosReveloEstefania2014.pdf?sequence=1>
- Lazo, W. (2019). Propuesta para la industrialización del proceso de obtención de Sílice a partir de cáscara de arroz en la Provincia de Camaná. [https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/2474/Wiliams%20Lazo\\_Tesis\\_Titulo%20Profesional\\_2019.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/2474/Wiliams%20Lazo_Tesis_Titulo%20Profesional_2019.pdf?sequence=4&isAllowed=y)
- Llanos, O. Navarro, A. Jaramillo, C. Rodríguez, L. (2016). La cascarilla de arroz como una alternativa en procesos de descontaminación. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1909-04552016000200013](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552016000200013)
- Lozano, C. (2020). Alternativas de usos de la cascarilla de arroz (*Oriza sativa*) en Colombia para el mejoramiento del sector productivo y la industria. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/33698/cllozanor.pdf?sequence=1>
- Martínez, G. Innovarroz: Muebles hechos de residuos de arroz para disminuir el uso de madera. <https://www.innovaspain.com/innovarroz-muebles-residuos-de-arroz/>
- Martínez, J. (2022). Cascarilla de arroz en materiales de construcción para reemplazar el asbesto: Investigación UAM. <https://www.autonoma.edu.co/blog/noticias/cascarilla-de-arroz-en-materiales-de-construccion-para-reemplazar-el-asbesto>
- Martínez, V. Aycaguer, S. Iriñiz, J. (2011). Evaluación de fuentes alternativas de fibra en dietas altamente concentradas para novillos y terneros alimentados a corral. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/9780/1/3794ayc.pdf>
- Mattey, P. Robayo, R. Diaz, J. Delvasto, S. Monzo, J. (2015). Aplicación de ceniza de cascarilla de arroz obtenida de un proceso agro-industrial para la fabricación de bloques en concreto no estructurales. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0255-69522015000200015#:~:text=La%20cascarilla%20de%20arroz%20es,final%20es%20un%20de%20los](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0255-69522015000200015#:~:text=La%20cascarilla%20de%20arroz%20es,final%20es%20un%20de%20los)
- Ministerio de Agricultura. (2017). Arroz indicadores y acciones. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Arroz/Documentos/2017-1230%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. (2005). Requisitos, términos, condiciones y obligaciones, para las quemadas abiertas controladas en áreas rurales en actividades agrícolas y mineras. <https://www.minambiente.gov.co/wp->

content/uploads/2021/08/resolucion-0532-de-2005.pdf

- Morales, M. Locoli, G. Villamil, M. Zabaloy, M. (2022). Efecto de los cultivos de cobertura invernales sobre el microbioma del suelo. *Revista Argentina de microbiología*.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0325754121000420>
- Núñez, D. (2012). Uso de residuos agrícolas para la producción de biocombustibles en el departamento del Meta.  
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0123-921X2012000400011](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-921X2012000400011)
- Orlandi, A. (2022). Biogás: ventajas y desventajas. <https://www.greentecher.com/blog-biogas-ventajas-y-desventajas/>
- Ortega, T. Quispe, M. (2021). Alternativas del uso de la cascarilla de arroz como fuente energética.  
[file:///D:/iha\\_comercial1/Downloads/ART+5+\(1\).pdf](file:///D:/iha_comercial1/Downloads/ART+5+(1).pdf)
- Oviedo, E. Marmolejo. L. Torres, P. (2017). Avances en investigación sobre el compostaje de biorresiduos en municipios menores de países en desarrollo. *Lecciones desde Colombia*.  
[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-77432017000100031#:~:text=El%20compostaje%20es%20la%20descomposici%C3%B3n,Haug%2C%201993%3B%20Stentiford%20y%20de](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432017000100031#:~:text=El%20compostaje%20es%20la%20descomposici%C3%B3n,Haug%2C%201993%3B%20Stentiford%20y%20de)
- Parada, C. Rueda, S. Carrero, C. Quintero, N. Cárdenas, D. (2016). Efecto de la quema en cultivos de hortalizas en Villa del Rosario, Norte de Santander, Colombia, sobre las micorrizas y propiedades del suelo. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1316-33612016000300004](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612016000300004)
- Parra, R. Flórez, S. Rodríguez, D. (2022). La competitividad de la cadena del arroz en Colombia. Un compromiso con el bienestar del agricultor.  
<https://www.andi.com.co/Uploads/Estudio%20Completo.pdf>
- Peña, R. Galecio, M. (2018). Aplicación de cascarilla de arroz como fuente de silicio y fertilización mineral del cultivo de limonero (*Citrus aurantifolia*) en suelos de textura arenosa - Piura.  
[https://redib.org/Record/oai\\_articulo3779593-aplicación-de-cascarilla-de-arroz-como-fuente-de-silicio-y-fertilización-mineral-del-cultivo-de-limonero-citrus-aurantifolia-en-suelos-de-textura-arenosa--piura](https://redib.org/Record/oai_articulo3779593-aplicación-de-cascarilla-de-arroz-como-fuente-de-silicio-y-fertilización-mineral-del-cultivo-de-limonero-citrus-aurantifolia-en-suelos-de-textura-arenosa--piura)
- Pierre, F. Rosell, M, Quiroz, A. Granda, Y. (2009). Evaluación química y biológica de compost de pulpa del café en caspito municipio Andrés Eloy blanco, estado Lara, Venezuela

- [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1316-33612009000200004](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612009000200004)
- Pineda, O. (2022). Experto desaconseja el uso de cascarilla de arroz en la alimentación animal. <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/experto-desaconseja-el-uso-de-la-cascarilla-de-arroz-en-la-alimentacion-animal>
- Pulido, J. Aperador, J. Aperador, W, Pinzón, M. Chunga, M. Ospina. M. (2019). Cenizas de cascarilla de arroz para la activación alcalina de cementantes binarios (ceniza volante/escoria de alto horno). <https://www.scielo.br/j/rmat/a/XLRPKjD8DqjbJQn4ZmMQXmw/?lang=es>
- Quintero, M. Moncada, A. (2008). Contaminación y control de las quemas agrícolas en Imperial, California, y Mexicali, Baja California. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-39252008000300001](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-39252008000300001)
- Ramírez, C. (2021). Desarrollo de un envase térmico biodegradable a base de harinas de cascarilla de (*Oryza sativa*), cáscara de mango (*Mangifera indica*) y almidón de yuca (*Manihot esculenta*). <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/16139/1/T-UCSG-PRE-TEC-CIA-77.pdf>
- Ríos, D. (2021). Establecimiento de 3 hectáreas de arroz *Oryza Sativa* secano como modelo de producción viable para los pequeños agricultores del municipio de Nunchía Casanare. [https://ciencia.lasalle.edu.co/ingenieria\\_agronomica/238/](https://ciencia.lasalle.edu.co/ingenieria_agronomica/238/)
- Rizzo, P. Riera, N. Karlanian, M. Bárbaro, L. (2019). Caracterización de diferentes compost para su uso como componente de sustratos. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/chjaasc/v35n2/0719-3890-chjaasc-00309.pdf>
- Rodríguez, G. (2007). Efecto de la cobertura del suelo con cascarilla de arroz en el crecimiento y rendimiento del tomate de ramillete. [https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-16202007000300006&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-16202007000300006&script=sci_arttext)
- Sánchez, A. (2017). Diseño de una planta de gasificación con cogeneración para el aprovechamiento energético de la cascarilla de arroz en un proceso industrial. [https://oa.upm.es/47702/1/TFG\\_ALEJANDRO\\_SANCHEZ\\_LARIO.pdf](https://oa.upm.es/47702/1/TFG_ALEJANDRO_SANCHEZ_LARIO.pdf)
- Sánchez, E. Leiva, J. Monteza, C. (2021). Elaboration and Characterization of Bricks Made with Addition of Calcined Rice Husk. <http://www.scielo.org.co/pdf/rfing/v30n57/2357-5328-rfing-30-57-e13031.pdf>

- Serrano, T. Borrachero, V. Monzó, J. Payá. J. (2012). Morteros aligerados con cascarilla de arroz: diseño por mezclas y evaluación de propiedades. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0012-73532012000500015&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0012-73532012000500015&script=sci_arttext)
- Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). (2020). Aprovechamiento de la cascarilla de arroz en materiales de construcción <https://www.sena.edu.co/es-co/Noticias/Paginas/noticia.aspx?IdNoticia=4511>
- Sharifzadeh, M. Sadeqzadeh, M. Guo, M. Borhani, T. Konda, M. Cortada, M. Wang, L. Hallet, J. Shah, N. (2019). The multi-scale challenges of biomass fast pyrolysis and bio-oil upgrading: Review of the state of art and future research directions. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S036012851830025X?via%3Dihub>
- Soria, A. (2021). Muebles fabricados con residuos de arroz. <https://www.elixirsameq.com/desarrollo-tecnologia/muebles-fabricados-con-residuos-de-arroz>
- UNGRD, (2019). Lo que usted debe saber sobre incendios de cobertura vegetal. [https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/28309/Cartilla\\_Incendios\\_2019-.pdf?sequence=4](https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/28309/Cartilla_Incendios_2019-.pdf?sequence=4)
- Vara, J. Marín, A. (2016). Guía de buenas prácticas agrícolas para el cultivo de arroz en corrientes. Capítulo VII Preparación del suelo. Pg. 49. [https://www.academia.edu/40296435/GUIA\\_BPA\\_ARROZ\\_CTES\\_](https://www.academia.edu/40296435/GUIA_BPA_ARROZ_CTES_)
- Vargas, O. Trujillo, J. Torres, M. (2018). El compostaje, una alternativa para el aprovechamiento de residuos orgánicos en las centrales de abastecimiento. <http://www.scielo.org.co/pdf/rori/v23n2/0121-3709-rori-23-02-123.pdf>
- Villasur, S. (2021). Ventajas y desventajas de la energía de biogás. <https://energia.roams.es/energia-renovable/biogas/ventajas/>

## **ANEXOS**

## **ANEXO 1**

### **RECOMENDACIONES**

Se recomienda analizar el proyecto, desde el modelo de una comunidad, es decir, evaluar la conveniencia de la implementación de una alternativa de aprovechamiento de cascarillade arroz, reuniendo varias fincas productoras de arroz y hacerlo en sociedad, para esto se necesitaría realizar una evaluación financiera detallada que reafirme cual es la mejor opción, teniendo en cuenta que el factor económico es fundamental para la implementación de una nueva práctica.

Al momento de implementar la estrategia de producción de compost en las fincas arroceras, es necesario evaluar un sistema de monitoreo que ayude a controlar el proceso de producción y que a su vez pueda garantizar una mayor eficiencia en los procesos.