



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

PRODUCCIÓN POTENCIAL DE BIO OIL Y BIOCHAR POR PIRÓLISIS DE
RESIDUOS DE BANANO Y ARROZ

LAM SANMARTIN ERIKA PATRICIA
INGENIERA QUÍMICA

MACHALA
2020



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

PRODUCCIÓN POTENCIAL DE BIO OIL Y BIOCHAR POR
PIRÓLISIS DE RESIDUOS DE BANANO Y ARROZ

LAM SANMARTIN ERIKA PATRICIA
INGENIERA QUÍMICA

MACHALA
2020



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

EXAMEN COMPLEXIVO

PRODUCCIÓN POTENCIAL DE BIO OIL Y BIOCHAR POR PIRÓLISIS DE
RESIDUOS DE BANANO Y ARROZ

LAM SANMARTIN ERIKA PATRICIA
INGENIERA QUÍMICA

FERRER GUTIERREZ JUAN PEDRO

MACHALA, 08 DE DICIEMBRE DE 2020

MACHALA
08 de diciembre de 2020

TRABAJO COMPLEXIVO

por Erika Patricia Lam San Martin

Fecha de entrega: 08-nov-2020 06:07p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 1439905878

Nombre del archivo: CASO_PR_CTICO_FINAL-LAM_ERIKA.pdf (1.05M)

Total de palabras: 8164

Total de caracteres: 44133

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

La que suscribe, LAM SANMARTIN ERIKA PATRICIA, en calidad de autora del siguiente trabajo escrito titulado PRODUCCIÓN POTENCIAL DE BIO OIL Y BIOCHAR POR PIRÓLISIS DE RESIDUOS DE BANANO Y ARROZ, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

La autora declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

La autora como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 08 de diciembre de 2020



LAM SANMARTIN ERIKA PATRICIA
0707042933

DEDICATORIA

A Dios por el inmenso amor y nunca abandonarme por demostrarme día a día de lo capaz que soy para lograr mis sueños y que siempre va estar a mi lado en cualquier momento y que me enseñó a creer, tener fe en mí, a mis padres, que son los que cuando he querido abandonar mis sueños me recuerda mi propósito en esta vida y caminan junto a mi guiándome hacia mis sueños me enseña que con ellos siempre voy a contar, a mis abuelitos Sra. Zenovia Padilla y Sr. Jorge San Martín (+) gracias por ser mis segundos padres y cuidarme siempre y amarme incondicionalmente este triunfo se los dedico a todos ellos gracias por estar antes, durante y sé que estarán después de cada uno de mis procesos .

Erika Patricia Lam San Martín

Autora

AGRADECIMIENTO

Quiero dar gracias en primer lugar a Dios por que él ha sido mi fortaleza, mi guía en todos los momentos de mi vida ya que sin él no hubiera podido cumplir mis sueños, a mis padres Sra. Patricia San Martin y Sr. Ramón Lam por ser mi apoyo fundamental durante todo la vida y estar a mi lado para recorrer este camino hacia mi futuro profesional, porque a pesar diversas circunstancias que he pasado ellos han estado a mi lado siempre, dándome consejos, cuidándome, y sobre todo inculcándome que la perseverancia es lo que te hace cumplir cada meta que te tras en la vida, y teniendo presente una frase que mi padre siempre me dice en los momentos más importantes de mi vida “Tiempo Al Tiempo”, todo tiene su tiempo solo debes saber esperar y disfrutar cada momento que te da Dios, y por último agradezco a mis Abuelos y a la familia San Martin Padilla que ellos son portadores de su apoyo incondicional, que ha sido sumamente importante en mi vida, a mi tutor y maestros que me han impartido sus conocimientos durante todo estos años de estudio.

Erika Patricia Lam San Martin

Autora

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es una propuesta de revalorización de los residuos del banano y arroz de la provincia El Oro, mediante la estimación de la producción potencial de bio-oil y biochar utilizando tratamientos térmicos. Para poder llegar a estimación de la producción potencial de estos productos se realizó la determinación de las hectáreas sembradas, total de producción de anual, cantidad de biomasa lignocelulósica generada por los cultivos de banano y arroz dentro de la provincia, teniendo como resultado que en el año 2019 se generó una producción 1.649.079 ton de banano en 190.381 hectáreas de sembrío y 8.290 ton de arroz en 4.946 hectáreas, generando así un total de biomasa de 72.012 y 3.991 ton/ ha de respectivamente. Las cifras de la producción potencial de bio-oil con un rendimiento del 50% fue de 3,600.530 y 199,500 ton/año y al 75% la producción fue de 5,400.795 y 299,325 ton/año, mientras que en el biochar se obtuvo 86.127 y 47.892 ton/año con un rendimiento del 12%, pero si rendimiento aumenta a un 20% se genera un total de 1,440.21 y 79.820 ton/año con respecto a los residuos de banano y arroz. Los usos principales de estos productos es la utilización del bio-oil como combustible además que puede servir como materia prima para la fabricación de productos químicos y del biochar para la elaboración de carbón activado para tratamiento de aguas, gases y como nutrientes para suelos.

Palabras claves: Biomasa lignocelulósicos, bio-oil, biochar, banano, arroz.

ABSTRACT

The objective of this work is a proposal to revalue banana and rice waste from El Oro province, by estimating the potential production of bio-oil and biochar using heat treatments. In order to reach an estimate of the potential production of these products, the determination of the hectares planted was carried out, Also the total annual production, amount of lignocellulosic biomass generated by banana and rice crops within the province, resulting in 1,649,079 tonnes of bananas being produced in 2019 on 190,381 hectares of planting and 8,290 ton of rice on 4,946 hectares, generating a total biomass of 72,012 and 3,991 tonnes/hectares respectively. The figures for potential bio-oil production with a yield of 50% were 3,600,530 and 199,500 tonnes/year and at 75% production was 5,400,795 and 299,325 tonnes/year, while in biochar 86,127 and 47,892 ton/year were obtained with a yield of 12%, but if the yield increases to 20% a total of 1,440.21 and 79,820 ton/year is generated with respect to banana and rice waste. The main uses of these products are the use of bio-oil as fuel, it can also serve as a raw material for the manufacture of chemicals and biochar for the production of activated charcoal for water, gas and soil nutrient treatment.

Keywords: Biomass lignocellulosic, bio-oil, biochar, banana, rice.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
RESUMEN	IV
ABSTRACT.....	V
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	IX
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	3
OBJETIVO GENERAL.....	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1. MARCO TEÓRICO	4
1.1. Marco Legal Ambiental del Ecuador Aplicable al cambio climático	4
1.1.1. Código Orgánico del Ambiente Libro IV del cambio climático.....	4
1.1.2. Constitución de la República del Ecuador	4
1.1.3. Proyecto de Ley Orgánica de Economía circular	5
1.1.4. Acuerdo de París sobre cambio climático.....	6
1.2. Banano: residuos, producción y composición.....	7
1.2.1. Residuos.....	8
1.2.2. Producción	8
1.2.3. Composición	9
1.3. Arroz: residuos, producción y composición.....	9
1.3.1. Residuos.....	10
1.3.2. Producción	10
1.3.3. Composición	11
1.4. Pirólisis: descripción del proceso y principales productos.	11

1.4.1.	Descripción del proceso.....	12
1.4.2.	Principales Productos.....	13
2.	METODOLOGÍA.....	15
2.1.	Tipo de investigación	15
2.2.	Fases de la investigación.....	15
3.	RESULTADOS Y ANÁLISIS	17
3.1.	Caracterización de los residuos lignocelulósicos de banano y arroz	17
3.2.	Producción potencial de bio-oil y biochar para cada tipo de cultivo	18
3.3.	Principales usos de los productos de pirólisis en el país	20
	CONCLUSIONES	21
	RECOMENDACIONES.....	22
	BIBLIOGRAFÍA	23

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Cifras de la superficie de sembrado de banano de la provincia del oro del Periodo 2015-2019	8
Tabla 2: Composición Química de los residuos de banano	9
Tabla 3: Cifras de la Superficie de sembrío de arroz en la provincia del Oro del Periodo 2015-2019	10
Tabla 4: Composición Química de la cascarilla de arroz	11
Tabla 5: Parámetros de los Residuos de Banano y Arroz	17
Tabla 6: Valores de producción potencial de bio-oil y biochar para cada tipo de cultivo	18

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Esquema del proceso básico de Pirólisis Rápida para biomasa	13
Gráfico 2: Principales Productos que se obtiene de biomasa a partir de la pirólisis.	13
Gráfico 3: Mapa de área de cultivo de Arroz y Banano en la provincia del Oro	19

INTRODUCCIÓN

En el Ecuador la agroindustria es variada debido a su ubicación geográfica y a sus diferentes cambios climáticos contribuyendo así al crecimiento de los diversos productos agrícolas, además de tener propiedades únicas que lo hacen apetitosos dentro del comercio mundial. La zona agrícola es fundamental dentro de la economía del país debido a que en el 2018 se generaron cerca de 23000 millones de kg con respecto a la producción de las diferentes plantaciones que se encuentra dentro del país¹.

Específicamente, dentro de la provincia del Oro el sector agrícola en el año 2019 aportó a nivel nacional, con el banano siendo un cultivo permanente, una producción anual de 1.649.079 Ton, y el arroz con una producción dentro de los cultivos transitorios de un total de 8.290 Ton². Asociado a estos niveles de producción y a pesar de que el sector agroindustrial juega un papel importante en la economía del país, también se debe tener en cuenta que se generan grandes cantidades de residuos que no están siendo tratados a tiempo, lo cual representa un foco de contaminación ambiental¹.

Los residuos agroindustriales generados durante la producción agrícola bananera y arroceras no son aprovechados de manera apropiada ni por las mismas industrias, ni por los pequeños productores. Estos desechos ocasionan consecuencias ambientales significativas: quema a cielo abierto y apilamiento al margen de cuerpos de agua³. En el Ecuador los desechos que se producen durante la siembra y cosecha de arroz son de 1,714.912 Ton al año, mientras que en la provincia de El Oro los cultivos de banano generan 198.602 de toneladas de residuos lignocelulósicos anuales⁴. Estos tipos de residuos se pueden llegar a transformar en productos nuevos mediante la implementación de procesos térmicos como es la pirólisis rápida que comprende la descomposición de la materia orgánica a altas temperaturas, convirtiéndolos así en nuevos productos con valor económico⁵.

El Oro siendo una de las provincias con mayor producción agroindustrial, y que al mismo tiempo produce grandes volúmenes de residuos que se disponen sin alternativa de uso,

requiere un cambio de paradigma hacia el enfoque de la economía circular, procurando que estos puedan ser reutilizados, reducidos y/o reciclados para convertirlos en energía renovable, mitigando el cambio climático, contribuyendo al incremento de fuentes de trabajo, potenciar el desarrollo sustentable tanto de los sectores privados como públicos del país⁶.

De acuerdo al contexto mencionado, esta investigación tiene como objetivo central estimar la producción potencial de biochar y bio-oil (principales productos de pirólisis), a partir de la pirólisis rápida de residuos de banano y arroz generados en la provincia de El Oro, fomentando prácticas de economía circular, mitigando los efectos adversos al ambiente, potenciando el desarrollo económico y haciendo más competitivo el sector agroindustrial local.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Analizar la revalorización de residuos de banano y arroz de la provincia El Oro, a través de la producción potencial de bio-oil y biochar de pirólisis para el fomento de prácticas de economía circular.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Determinar la producción total de residuos lignocelulósicos generados en las plantaciones de banano y arroz de la provincia El Oro.
- ✓ Determinar la producción potencial de bio-oil y biochar a partir de residuos de banano y arroz de la provincia El Oro mediante pirólisis rápida.
- ✓ Proponer usos de los productos de pirólisis en el sector industrial y energético del país.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Marco Legal Ambiental del Ecuador Aplicable al cambio climático

En el Ecuador existen múltiples regulaciones ambientales que están regidas por leyes, normas, planes, programas y reglamento, que fomentan alternativas de obtener un mejor manejo de residuos, llegando al resultado de producciones sustentables y a su vez protección de los ecosistemas mediante su cumplimiento.

A continuación, detallaremos algunos que servirán para la investigación.

1.1.1. Código Orgánico del Ambiente Libro IV del cambio climático

Art.248.- Fines. Los fines del Estado en materia de cambio climático serán:

1. Prevenir y evitar la ocurrencia de los daños ambientales y con ellos reducir los efectos del cambio climático;
2. Regular y controlar las acciones y medidas para la adaptación y mitigación del cambio climático;
3. Impulsar el desarrollo sostenible en los modelos de gestión y planificación a nivel local, regional y nacional;
4. Fomentar el uso y garantizar el acceso de energías renovables

Art.249.- Prioridades en la gestión del cambio climático. Las medidas y acciones para la gestión del cambio climático, considerarán prioritariamente reducir y minimizar las afectaciones causadas a las personas en situación de riesgo, grupos de atención prioritaria y con niveles de pobreza, a la infraestructura, proyectos nacionales y estratégicos, a los sectores productivos, a los ecosistemas y a la biodiversidad.

Para ellos se deberán fortalecer las capacidades institucionales, tecnológicas y humanas, tanto locales y nacionales⁷.

1.1.2. Constitución de la República del Ecuador

Capítulo Segundo, Derechos del Buen Vivir, **Art 14.-** *“Reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir”,* *sumak kawsay. Declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados”.* **Art. 15.-** *“El Estado promoverá en el sector público y*

privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto...”

Capítulo Cuatro, Régimen de competencias, **Art.264.-** “*Los gobiernos municipales tendrán las siguientes competencias exclusivas sin perjuicio de otras que determine la ley.*” **Inciso 4.** “*Prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, **manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental** y aquellos que establezca la ley*”.

Sección Séptima, Biosfera, ecología urbana y energías alternativas. **Art. 415.-...Los Gobiernos Autónomos Descentralizados desarrollarán programas de uso nacional del agua, y de reducción del reciclaje y tratamiento adecuado de desechos sólidos y líquidos....**⁸.

1.1.3. Proyecto de Ley Orgánica de Economía circular

Mediante la propuesta del proyecto de la ley orgánica de economía circular, esta pretende integrar la sostenibilidad ambiental, transformando así la mentalidad del consumidor, para poder conseguir que los productos mantengan sus valores, los materiales y los recursos conforme a la economía se siga manteniendo e incluso se pueda incrementar logrando disminuir los residuos producidos por las diferentes actividades industriales del Ecuador, cabe destacar que este proyecto aún sigue en discusión en la Asamblea Nacional ya que es necesario integrar un marco legal en donde se incluirá objetivos para que se pueda llevar a cabo la visión de la economía sustentables y a la vez responsable con el medio ambiente, aumentando el crecimiento de la economía y desarrollo de empleos, a continuación, se presenta los objetivos de esta ley :

Art.15.- Objetivos de la ley de economía circular. Esta ley persigue los siguientes objetivos⁹:

1. Promover un desarrollo económico sostenible para el Ecuador y generación de empleo de calidad.
2. Fomentar la transición de una economía lineal a una economía circular, contribuyendo a la lucha contra el cambio climático y la transición energética, mediante la reducción de recursos y materias primas.
3. Reducir la generación de residuos y su carga contaminante, fomentando la prevención de origen.

4. Promover la valorización de los residuos como fuente de materias primas secundarias y desincentivar la generación de residuos que no puedan ser valorizables o integrados en el ciclo productivo.
5. Minimizar los riesgos para la salud humana y el medio ambiente por medio de una gestión eficiente y sostenible de los recursos.
6. Fomentar la investigación, el desarrollo y la innovación en los ámbitos de la economía circular.
7. Promover la información, la participación y la concientización, fomentando una cultura de corresponsabilidad ambiental en el comportamiento diario de las personas consumidoras y de las administraciones.
8. Mejorar la calidad, transparencia y la accesibilidad de la información de las personas.
9. Aumentar la durabilidad de los productos, haciendo que su uso se mantenga durante el mayor tiempo posible, mediante la reutilización de los bienes o ciertas partes de los mismos, la reparación, dando una segunda vida a los productos y bienes deteriorados y la refabricación.
10. Fomentar la valorización de los residuos, mediante el reciclaje, aprovechando los materiales que se encuentren en los mismos.

1.1.4. Acuerdo de París sobre cambio climático

Para Ecuador el Acuerdo de París es el principio de la implementación de energía limpia en el país, teniendo como resultado la minimización de emisiones globales de gases que son producidas por efectos invernaderos, a continuación, algunos objetivos con respecto al Acuerdo de París¹⁰.

Los objetivos específicos del Acuerdo de París se relacionan con:

- a) Limitar el aumento de temperatura global muy por debajo de los 2 grados centígrados por encima de niveles preindustriales,
- b) Aumentar la habilidad de adaptarse a los impactos adversos del cambio climático y aumentar la resiliencia alimentaria de una forma que no amenace la producción alimenticia
- c) Hacer que los flujos financieros sean consistentes con un desarrollo bajo en emisiones y resiliente al clima.

Estas acciones deben estar guiadas en todos los países por los principios y provisiones de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático y del Acuerdo de París. Dentro del objetivo global que tiene el Acuerdo de París es tratar en sí de mejorar la capacidad de adecuación, y reducción de la susceptibilidad al cambio climático y fomentando así al desarrollo sustentable ¹¹.

En el Ecuador el sector agroindustrial genera un volumen considerable de residuos que deben ser tratados adecuadamente, la normativa ambiental vigente promueve y exige la reutilización de residuos para la producción de nuevas tecnologías renovables que impulsen el desarrollo sustentable del país. La biomasa formada de los residuos agroindustriales representa una alternativa energética que cumple con las exigencias del marco legal generando un biocombustible Bio-oil capaz de reemplazar al combustible convencional derivado del petróleo, y el biochar para la elaboración de carbón activado que posteriormente se puede llegar a usar para los tratamientos de aguas y gases.

1.2. Banano: residuos, producción y composición.

El banano (*Musa Paradisiaca*) es una planta que pertenece a la familia de Musáceas, es de tipo frutal se originó en el Sudeste asiático, en varias regiones de India, Malasia, Nueva Guinea e Indonesia, característica de zona húmedas de lugares trópicos, el ambiente debe estar a una temperatura entre 10° a 41° C, posee una altura de 3.50 hasta 4 metros, esto va a depender de las condiciones tanto de la densidad en donde se las va a plantar y la luz que tenga el área. Dentro de la diversidad del banano existen los siguientes: gross mitchel o también conocido como plátano de seda, Cavendish o chiquita banana, plátano verde o barraganete, orito, morado, maqueño, repe y limeño¹²

Este tipo de fruto generalmente pertenece a las zonas intertropicales, perteneciendo así a la generación de frutos nutritivo, con terrenos fértiles, a la cual estos deben tener un gran conjunto de mano de obra, por lo cual genera de forma indirecta y directa empleo, ya que cada área de proceso de cultivo, y producción del banano, necesita de trabajadores para cada una de estas áreas. En la comercialización agro productiva con respecto al banano orgánico, contribuye de una manera positiva al ambiente, ya que tanto en las etapas de procesos como el producto obtenido se tiene una inocuidad, así con esto se puede llegar a obtener en el mercado precios mejores¹³.

1.2.1. Residuos

Dentro de los residuos de banano tenemos: hojas, pseudotallos, raquis, estos tipos de desecho se le ha dado un valor energético alto, ya que se los puede llegar a utilizar para la generación de combustibles fósiles como es el bio-oil, biochar. El raquis y el pseudotallos del banano contienen gran cantidad de fibras que se la puede llegar a dar uso como materia prima para obtener grandes cantidades de celulosa¹⁴.

Una manera adecuada de alcanzar la producción de energía utilizando este tipo de biomasa es utilizando métodos termoquímicos ayudando a la descomposición de la materia orgánica exponiéndolas altas temperaturas y así convirtiéndola en biocombustibles¹⁵. En el Ecuador en el año 2014 se produjo 10 millones de Ton de biomasa proveniente de las producciones agrícolas, 4.9 millones de Ton de estos desechos pertenece a la zona de sembríos de banano, este tipo de desechos están conformados por celulosa, hemicelulosa, y lignina, este último mientras menor sea el porcentaje que se obtenga en los residuos mayor será la factibilidad de obtener energía mediante la combustión, debido que la lignina contiene cantidades de restos carbonosos¹⁶.

1.2.2. Producción

Tabla 1: Cifras de la superficie de sembrado de banano de la provincia del oro del Periodo 2015-2019

Superficie Sembrada de Banano en la Provincia del Oro			
	Años	Superficie (ha)	Porcentaje
BANANO	2015	39.953	24.73%
	2016	42.513	26.32%
	2017	46.056	28.51%
	2018	42.542	26.34%
	2019	45.801	28.36%

Fuente: ESPAC².

La *tabla 1* se describe las cifras de la superficie de sembradas de banano (ha) y en porcentajes de la provincia del Oro-Ecuador desde el Año 2015 hasta el año 2019, del cual podemos ver que en el año **2017** fue en el que se obtuvo más superficie de hectáreas en la provincia para el sembrío de banano con un total de **46.056ha** dando un porcentaje de **28.51%** y el **2015** fue el más bajo con un total de **39.593ha** con un porcentaje de **24.73%** respecto a las superficies que se utilizó para sembrar este tipo de cultivo.

1.2.3. Composición

Tabla 2: Composición Química de los residuos de banano

COMPONENTE	RAQUIS	HOJA	PSEUDOTALLO
Celulosa	73.5%	36.3%	35.3%
Hemicelulosa	6-8%	27.39%	24.9%
Lignina	12.99%	8.5%	5.2%
Ceniza	6-8%	12.82%	13.69-18.66%
Humedad	8.7%	2.03%	2.47-4.7%
Carbono	36.63%	44.98%	38.30%
Hidrógeno	5.10%	4.26%	3.88-4.70%
Nitrógeno	0.64%	2.20%	0.03-0.28%
Azufre	0.75%	0.64%	0.58-0.84%

Fuente: ¹⁷

1.3. Arroz: residuos, producción y composición.

El *Oryza Sativa* o arroz, es conocido aproximadamente hace 10000 años conforma a la familia de las gramíneas o Poaceae, que viene del latín que tiene como significado “hierba”, su origen comienza en la edad media en el sur de china, por lo tanto, proviene de regiones húmedas de Asia tropicales y subtropicales, desde entonces se dispersó por África, Europa y América. Este tipo de planta se encuentra entre las 3 plantas más grandes en el mundo, ya que puede alcanzar hasta 6 pies de altura, tiene entre 500-650 géneros de plantas, con 7.000-10.000 especies, es pariente de la avena, cuenta con nutrientes y minerales tales como la riboflavina, retonol, Ca, Mg, P y carbohidratos, lo que lo hace el segundo cereal más apetitoso y consumido por los seres humanos¹⁸.

El arroz en el Ecuador juega un papel importante dentro de lo económico y social ya que es uno de los cultivos más mercantilizado y a su vez tiene un alto consumo a nivel mundial, lo cual genera cantidades de ingresos a las diversas industrias del país que ofrecen la exportación de este producto, lo que ayuda a proveer la demanda nacional, incrementando así la producción de arroz, lo que ocasiona contaminación ambiental, ya que se aumenta la cantidad de uso de fertilizantes en los sembríos, por lo tanto genera gases de efectos invernaderos, aunque si se realizara una forma de uso adecuado de los

fertilizantes o sustitución de estos por otros menos nocivos, podrían ayudar aumentar la producción sin elevar el riesgo a la contaminación del ambiente¹⁹.

1.3.1. Residuos

La cascarilla de arroz es el derivado de la producción de arroz, que se lo obtiene mediante la molienda de este producto, esta se compone de 2 glumas que son la palea y lemma, este tipo de residuo tiene un tejido vegetal que está compuesto por elementos lignocelulósicos, que se los puede diferenciar por su potencial calórico que contiene, a lo que contribuye a la generación de energía²⁰. Cuando el proceso de fotosíntesis en la planta termina se tiene como resultado la lignocelulosa, en donde actúa la energía luminosa producida por el sol, convirtiéndose así en energía química, que sería una materia orgánica a utilizar para desarrollos nuevos productos para el consumo humano²¹.

Los desechos lignocelulósicos que tiene la cascarilla de arroz son la celulosa, hemicelulosa y lignina, este tipo de biomasa se puede llegar aprovechar para llegar a obtener combustibles mediante procesos de descomposición térmicas a altas temperaturas²². La transformación de la biomasa en energía se ha logrado mediante la utilización de diferentes tipos de tecnologías como es la combustión directa que se obtiene comburentes tanto en estados líquidos como gaseosos, por lo tanto, este tipo de operaciones se ha considerado como eficientes y limpias²¹.

1.3.2. Producción

Tabla 3: Cifras de la Superficie de sembrío de arroz en la provincia del Oro del Periodo 2015-2019

Superficie Sembrada de Arroz en la Provincia del Oro			
	Años	Superficie (ha)	Porcentaje
ARROZ (EN CÁSCARA) 20% HUMEDAD 5%IMPUREZA	2015	3.999	1.30%
	2016	3.817	1.24%
	2017	5.326	1.73%
	2018	1.413	0.46%
	2019	4.946	1.16%

Fuente: ²³

La **tabla 3** representa las cifras de la superficie de sembrado de arroz (ha) y en porcentajes de la provincia del Oro-Ecuador desde el Año 2015 hasta el año 2019, del cual podemos ver que en el año **2017** se obtuvo **5.326 ha**, por lo tanto, fue el año que se obtuvo más superficie de hectáreas en la provincia para el sembrío de arroz y el **2018** se registra **1.413**

ha por lo que fue la más bajo con respecto a las superficies de hectáreas para sembrar este cultivo con respecto a la presente tabla.

1.3.3. Composición

Tabla 4: Composición Química de la cascarilla de arroz

CONSTITUYENTES	CONTENIDO %
Carbono	39.1
Hidrógeno	5.2
Nitrógeno	0.25
Oxígeno	37.2
Azufres	0.43
Cenizas (Sílice 94.5%)	17.8-18.45
Humedad	8.78-8.9
Lignina	18.02-19.0
Celulosa	34.4

*Fuente:*²¹

1.4. Pirólisis: descripción del proceso y principales productos.

La pirólisis es un proceso termoquímico que se genera cuando hay ausencia de oxígeno, lo cual ayuda a la descomposición de la biomasa, este tipo de proceso cuenta con tres etapas que son la dosificación junto con la alimentación de la materia prima, la transformación de la materia orgánica, y la separación de los productos²⁴. Este tipo de método normalmente se realiza en una temperatura entre 300-600°C, a una presión atmosférica, mediante un ambiente inerte, pero la pirólisis rápida se diferencia por las condiciones que tiene como es la transferencia de calor que realiza es de un alto rendimiento, con una temperatura de 500°C²⁵.

Este tipo de método se efectúa bajo condiciones de atmósfera de un gas inerte que puede llegar a ser N_2 , CO_2 , He , $Argón$, estos deben estar a cierta temperatura, debe tener una velocidad de calentamiento, conocer el flujo de gas a utilizar, y el tamaño de partícula que debe tener, la pirólisis consiste en tener un enfriamiento, separación y condensación del líquido, el tiempo de residencia varía entre 2-3 segundos que respecta a la obtención del producto primario que se coloca en el reactor con el fin de conseguir el máximo rendimiento de este líquido y es así como se llega a la transformar de los residuos lignocelulósicos en biocombustibles, que se puede utilizar para producir energía, calor²⁶.

1.4.1. Descripción del proceso

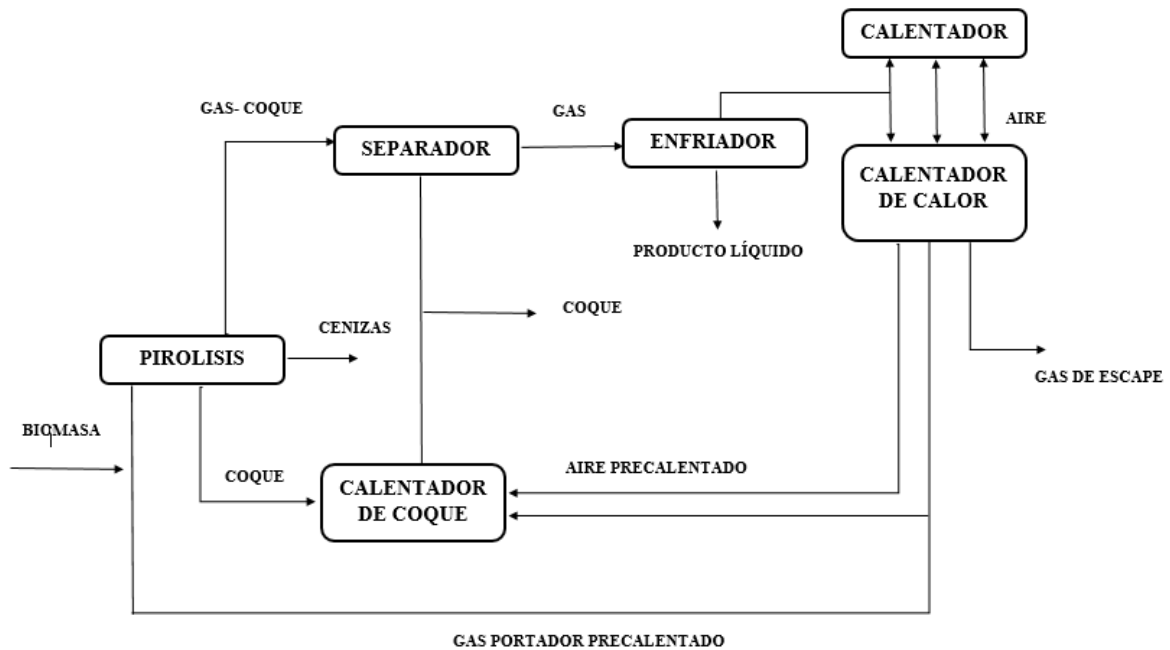
La pirólisis es un tipo de tratamiento en donde comprende descomponer la materia orgánica mediante la intervención de calor y falta de oxígeno. A pesar que descomponer térmicamente la biomasa es complicado, sin embargo, se puede diferenciar durante las etapas del proceso que se va ir detallando a continuación²⁷:

- ✓ Cuando el proceso llegue a una temperatura de 200°C se va generar una pérdida tanto de agua como de diferentes sustancias volátiles²⁷.
- ✓ A una temperatura entre 200-250°C los componentes que son de menor estabilidad que pertenecen a la biomasa se ira descomponiendo con la ayuda del agua y CO , formando así hidrocarburos líquidos oxigenados que son los alcoholes y ácidos²⁷.
- ✓ Cuando la temperatura del proceso llegue a los 275°C comienza la generación de hidrocarburos líquidos, y esta reacción a ser un sistema exotérmico, va a comenzar a recalentar la masa hasta llegar a una temperatura de 300-350°C²⁷.
- ✓ Mientras el proceso va avanzado la temperatura va incrementando y cuando esta llegue a 300°C se comenzará el proceso de obtención de los elementos carbonosos que contienen un peso molecular alto que vendrían hacer los alquitranes y coque²⁷.

La formación de los productos que obtiene al final de todo el proceso va tener que ver con la estructura de la materia orgánica que se escogió para que sea la materia prima, y la temperatura y presión que esta va ser expuesta durante toda la operación, y por último también se debe considerar el tiempo que se va retener el material dentro del reactor²⁸.

Para la obtención de combustibles líquidos y carbón activado, se necesita que la alimentación sea de baja humedad y de forma constante, por lo tanto, se efectuará una desecación previa, usando gases que se han formado durante el mismo proceso de pirólisis, a continuación, se observa un esquema donde se resume el proceso de pirólisis de biomasa para la obtención de este tipo de productos²⁶.

Gráfico 1: Esquema del proceso básico de Pirólisis Rápida para biomasa

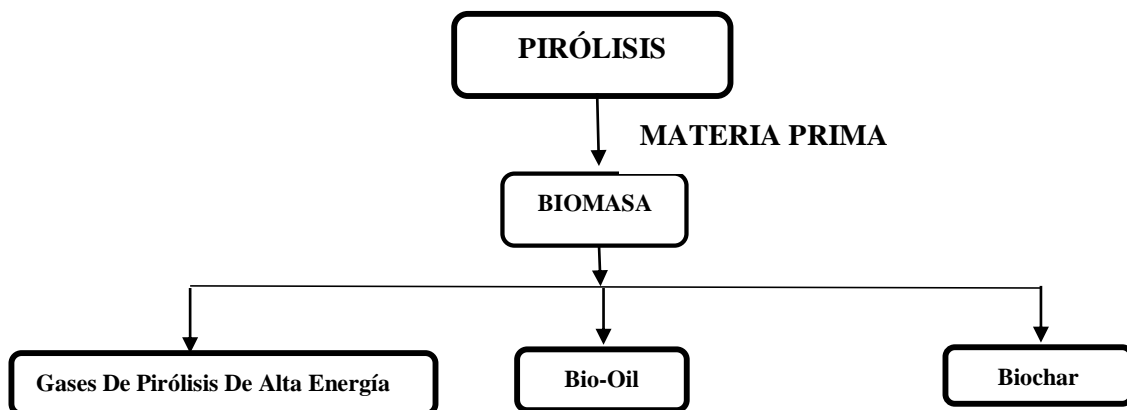


Fuente:²⁷

1.4.2. Principales Productos

El objetivo de llevar a cabo un tratamiento adecuado a los residuos agroindustriales es que estos sean aprovechados de una manera en que se puedan convertir en productos nuevos con un valor económico y puedan llegar a ser materia prima para nuevas elaboraciones de productos, lo cual un método de tratamiento es la pirólisis que gracias a sus sistema de proceso se puede llegar a obtener productos utilizando biomasa generada por los cultivos de arroz y banano obteniendo así tres principales productos que se detallaran a continuación:

Gráfico 2: Principales Productos que se obtiene de biomasa a partir de la pirólisis.



Fuente:²⁹

Los productos resultantes como es el bio-oil, biochar y gases de pirólisis utilizando residuos agroindustriales, se lo puede usar para procesos industriales para llegar a obtener nuevos productos, utilizando estos como materia prima a continuación se detalla algunos ejemplos.

- ✓ **Gases de Pirólisis:** Este tipo de producto se puede calentar para que pueda producir calor, también se lo puede utilizar en los motores de combustión interna o turbinas de gases, para que este genere electricidad o potencia motriz³⁰.
- ✓ **Bio-oil:** La necesidad de que los combustibles fósiles sean sustituidos por biocombustibles, ya que favorece a la conservación del medio ambiente, como es la disminución de emisiones de gases. Este producto que es obtenido mediante pirólisis se lo puede usar como materia prima para la obtención de productos químicos, como son las resinas, agentes espumantes para elaborar hormigón poroso, y como agentes tensoactivos para preparar emulsiones acuosas para la fabricación de fracciones de petróleo crudo y destilado³⁰.
- ✓ **Biochar:** Este producto se los obtiene mediante condiciones bajas térmicas reductoras, este tiene que tener una calidad controlada que se las puede usar para elevar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, este tipo de carbón vegetal se los puede utilizar para múltiples aplicaciones como es la elaboración de mascarillas, plantillas para pies, filtros para aguas filtros para aire acondicionados, material pulverulento adsorbente³¹.

2. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

El estudio sobre “Producción potencial de bio-oil, y biochar por pirólisis de residuos de banano y arroz” es una investigación de tipo descriptivo documental, que tiene como objetivo estimar la producción de Biochar, bio-oil y gases mediante pirólisis usando biomásas de banano y arroz dentro de la provincia del Oro, donde su enfoque está en comparar la producción de ambos residuos, para conocer cuál tiene más eficiencia con respecto a la generación de estos productos y sus posibles usos como materia prima para así utilizarlos en diferentes procesos industriales. Lo cual se investigará en diferentes fuentes bibliográficas como son: artículos científicos, tesis de grados y posgrados, páginas de revistas científicas, página oficial de MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería).

Esta investigación se la considera descriptivo documental ya que afirma los autores Salkind y Casares Hernández (1998), que es aquella en donde se busca las características o rasgos del tema de estudio, lo cual vamos describir los residuos que generan las producciones de estos dos cultivos y que se pueden llegar a obtener si se les logra realizar un tratamiento adecuado. Conforme a estos autores la función principal que debe cumplir en la parte de la investigación descriptiva es detallar todas fases que conlleva este estudio y es documental por la información que se ira detallando en este documento, que se obtendrá del material de análisis mencionado anteriormente, que son las fuentes bibliográficas, pero sin cambiar la naturaleza o significado de la fuente que nos está brindando la información³².

2.2. Fases de la investigación

Para el desarrollo de esta investigación se siguieron las siguientes fases:

FASE 1. Revisión documental inicial

Se realizó una investigación bibliográfica con referencia al objeto de estudio, mediante revisión de libros, artículos y revistas científicas, tesis, páginas oficiales de Ministerio de Agricultura y Ganadería, con la finalidad de poder identificar el tema principal y construyendo así el marco teórico y la metodología, en la cual permita la fundamentación de la investigación.

FASE 2. Estimación de la producción total de residuos lignocelulósicos generados en las plantaciones de banano y arroz de la provincia El Oro.

Mediante investigación bibliográfica, se estimó la cantidad de residuos lignocelulósicos que se producen en los cultivos de arroz y banano. Esto se realizó multiplicando el rendimiento típico en residuos reportado por varios autores (Ton/ha) y la superficie sembrada en la provincia.

FASE 3. Determinación de la producción potencial de bio-oil y biochar a partir de residuos de banano y arroz de la provincia El Oro mediante pirólisis rápida.

La determinación de producción potencial de bio-oil y biochar se obtuvo mediante la multiplicación de los rendimientos promedio para bio-oil y biochar reportados por varios autores y la cantidad total de biomasa generada en la provincia.

FASE 4. Propuesta de usos de los productos de pirólisis en el sector industrial y energético del país.

Por medio de diversos documentos se determinaron los diferentes usos que se le puede dar a los productos obtenidos mediante pirólisis: el bio-oil y el biochar. Luego se seleccionaron los de mayor impacto y aplicabilidad en la provincia El Oro.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1. Caracterización de los residuos lignocelulósicos de banano y arroz

Tabla 5: Parámetros de los Residuos de Banano y Arroz

PARÁMETROS	Residuos de			Residuo de
	RAQUIS	HOJA	PSEUDOTALLO	Arroz
Celulosa(%) ¹⁴	73.5	36.3	35.3	34.4
Hemicelulosa(%) ¹⁷	6-8	27.39	24.9	-
Lignina(%) ¹⁷	12.99	8.5	5.2	19.0-20.6
Ceniza(%) ¹⁷	8.0	12.82	13.69-18.66	17.8-18.45
Humedad(%) ³³	8.7	2.03	2.47-4.7	8.78-8.9
Carbono (%) ³⁴	36.63	44.98	38.30	39.1
Hidrógeno (%) ³⁴	5.10	4.26	3.88-4.70	5.2
Nitrógeno (%) ³⁴	0.64	2.20	0.03-0.28	0.25
Azufre (%) ³⁴	0.75	0.64	0.58-0.84	0.43
Poder Calorífico (KJ/Kg) ¹⁴	12213	17619	12458-12895	15275

Los valores que se detallan en la *tabla 5* son los parámetros de los residuos lignocelulósicos de banano y arroz, lo cual se les realiza análisis extractivos (celulosa, hemicelulosa, lignina), proximal (ceniza, humedad, poder calorífico), elemental (C, H, N, S), estos constituyentes se los hace con el fin de conocer las características y la eficiencia de estos residuos para la producción de bio-oil y biochar utilizando pirólisis rápida. Un ejemplo claro son los resultados del poder calorífico, que entre menor sea su valor mayor será el rendimiento de energía que va generar uno de estos residuos, entre los residuos que contienen menor poder calorífico es raquis de banano con un valor de 12213 KJ/Kg, lo cual quiere decir que como materia prima se podrá llegar a obtener grandes cantidades de estos bio-oil y biochar, comparados con los otros residuos.

3.2. Producción potencial de bio-oil y biochar para cada tipo de cultivo

Tabla 6: Valores de producción potencial de bio-oil y biochar para cada tipo de cultivo

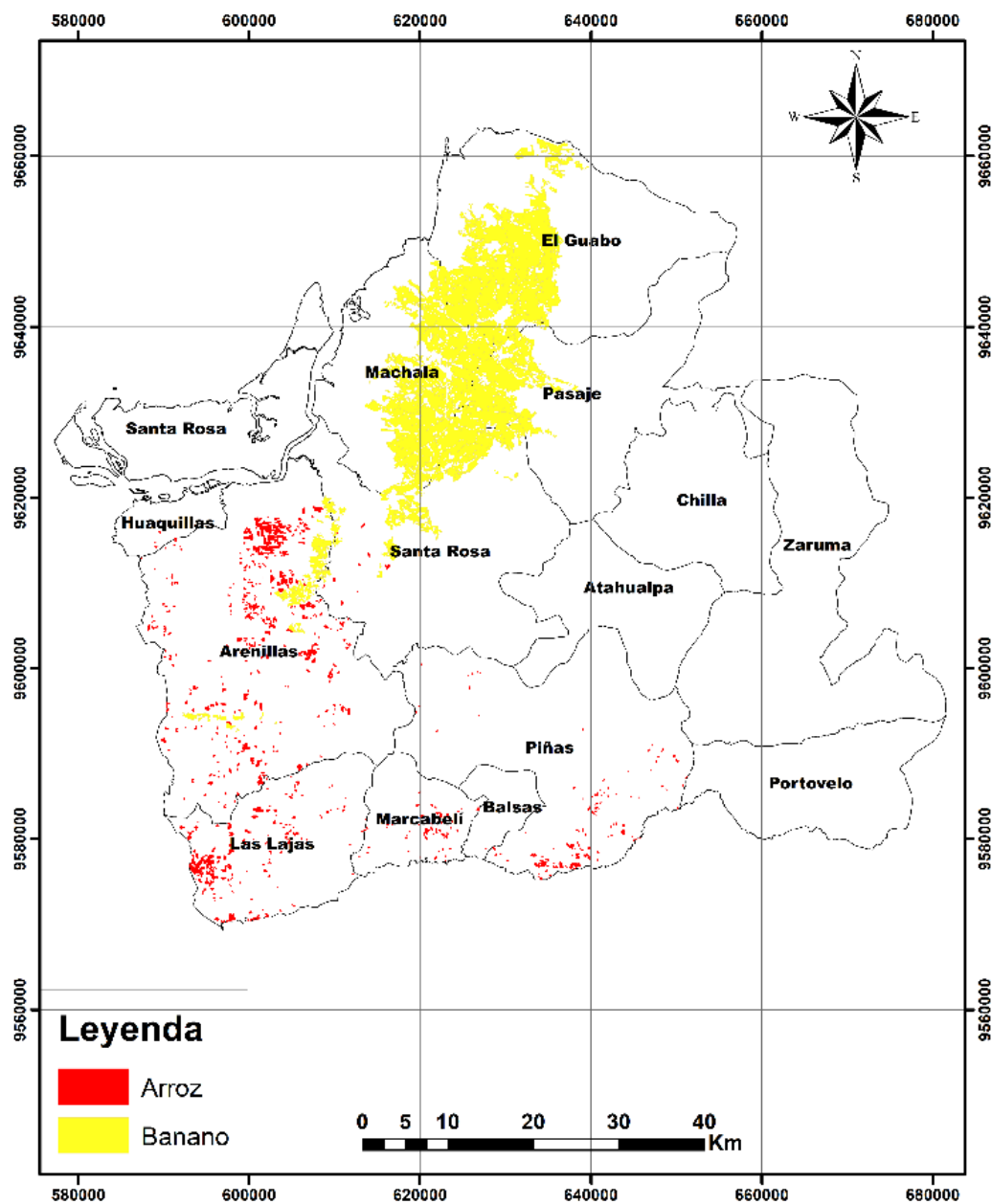
Tipo de cultivo	Área cultivada en la provincia (ha)	Producción de residuos por hectáreas (ton/ha)	Rendimiento en bio-oil (%)	Producción potencial de bio-oil (ton)	Rendimiento en biochar (%)	Producción potencial de biochar (ton)
BANANO	45.801 ²	72.012	50 ³⁵	3,600.530	12 ³⁶	864.127
			75 ³⁶	5,400.795	20 ³⁵	1,440.21
ARROZ	4.946 ²	3.991	50 ³⁵	199,550	12 ³⁶	47.892
			75 ³⁶	299,325	20 ³⁵	79.820

En la **Tabla 6** se observa los valores del área de cultivo de la provincia del Oro de los cultivos de banano y arroz, estas cifras se las obtuvieron mediante ESPAC (Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua), para la producción de residuos por toneladas/hectáreas se realizó una división con respecto a la generación de residuos tanto para el banano como para el Arroz en el Oro, con el total de hectáreas sembradas de cada uno de ellos, teniendo como resultado que la producción de residuos de banano es de 72.012 ton/ha y los residuos de arroz tiene una producción de 3.991 ton/ha.

Para la determinación de la producción potencial de bio-oil y biochar para los dos tipos de biomasa, se realizó una multiplicación en la cual consiste en el rendimiento en porcentaje de bio-oil y biochar, por ello, se realizó revisiones bibliográficas de tal forma que se obtuvieron dos porcentajes diferentes para cada producto ya que va depender de la cantidad de biomasa que se usará como materia prima, y se multiplica con el total de producción de residuos por hectárea que se generó en cada sembrío. Por lo tanto, con un rendimiento de 50% de bio-oil para el banano y arroz se obtuvo una producción potencial de 3,600.530 y 199.550 ton respectivamente y con un porcentaje de 75% de bio-oil para estos cultivos fue de 5,400.795 ton para el banano y 299.325 ton para el arroz en generación de bio-oil.

Para la producción potencial de Biochar se realizó los mismos cálculos de lo cual se obtuvieron los valores con respecto a cada residuo generando, con un rendimiento de 12% se puede fabricar 864.127 ton en el caso del banano y el arroz 47,892 ton, pero si el rendimiento aumenta a un 20% se tiene que generaría un total de 1,440.21 ton y 79,820 ton de biochar con respecto a los desechos de banano y arroz.

Gráfico 3: Mapa de área de cultivo de Arroz y Banano en la provincia del Oro



Fuente: Elaboración Propia

En la *gráfica 3* se puede visualizar el mapa de los cultivos de banano y arroz de la provincia del Oro, el color amarillo representa al sembrío del banano y el rojo al del arroz, los cantones que generan más cultivos de banano son Machala, El Guabo, Pasaje, Santa Rosa, y Arenilla, y para el cultivo de Arroz tenemos los cantones Arenilla, Las Lajas, Marcabelli, Piñas, y Huaquillas, aunque la mayor producción está en el cantón Arenillas.

3.3. Principales usos de los productos de pirólisis en el país

Entre los principales usos del bio-oil y biochar obtenidos por pirólisis de residuos de banano y arroz, aplicables en el contexto local y nacional son:

El Bio-oil: Este producto que resulta de la biomasa de banano y arroz es fuente de energía renovable, dentro del país este puede ser aplicado como combustible para calderas que son utilizadas en industrias alimentarias para poder esterilizar utensilios, recipientes, superficies de preparación entre otros, en cementeras se lo utilizará para los hornos para la elaboración de cementos e incluso se le puede realizar una refinación para reemplazar al diésel que es utilizado para motores. El poder calorífico de bio-oil varía entre 158992-18028 KJ/Kg lo cual es menor en comparación con el del diésel convencional de forma, que resulta un factor favorable para mejorar el desempeño del motor³⁷.

Biochar: Se puede utilizar como materia prima para la producción de carbón activado el cual es aplicable en tratamiento de suelos desgastados y bajos en nutrientes. Otro uso del carbón activado elaborado del biochar lo representa su aplicación como lecho filtrante en el tratamiento de aguas y/o gases industriales³⁸.

CONCLUSIONES

- ✓ Se encontró que la producción total de residuos lignocelulósicos generados en las plantaciones de banano y arroz de la provincia El Oro son de 72.012 Ton/ha y 3.991 Ton/ha al año respectivamente.
- ✓ La producción potencial de bio-oil a partir de la pirólisis de residuos de banano y arroz resultó ser de 3,600.530 ton/año y 199.500 ton/año respectivamente para un rendimiento promedio del 50% reportado en la literatura para la mayoría de matrices de origen vegetal. Por su parte, con respecto al biochar, para un rendimiento promedio del 12%, la producción potencial es de 864.127 ton/año para residuos de banano y 47.892 ton/año para residuos lignocelulósicos provenientes de cultivos de arroz.
- ✓ El bio-oil producido a partir de desechos de banano y arroz se puede usar como combustible para motores, calderas, hornos de cemento, con un poder calorífico que va desde 158992 a 18028 KJ/Kg, además de ser utilizado como materia prima para elaborar productos químicos como fertilizantes, adhesivos, resinas entre otros.
- ✓ El biochar producido a partir de desechos de banano y arroz puede usarse para la elaboración de carbón activado con aplicación en: tratamiento de gases industriales, tratamiento de aguas y mejorar la calidad de suelos del sector agrícola.

RECOMENDACIONES

- ✓ Estudiar con mayor profundidad productos químicos de valor agregado que pueden obtenerse a partir del hidrotratamiento y/o desoxigenación del bio-oil para incrementar la competitividad e innovación del sector.

- ✓ Realizar investigaciones experimentales orientadas al tratamiento de aguas y gases industriales usando como lecho fijo el carbón activado generado del biochar.

- ✓ Evaluar la aplicación de bio-oil y biochar en otros procesos productivos de la provincia El Oro (minería artesanal, minería a gran escala, camarónicas).

BIBLIOGRAFÍA

- (1) Riera, M. A.; Maldonado, S.; Palma, R. Residuos Agroindustriales Generados En Ecuador Para La Elaboración De Bioplásticos. *Rev. Ing. Ind.* **2019**, *17* (3), 227-246. <https://doi.org/10.22320/s07179103/2018.13>.
- (2) INEC- ESPAC. Principales Resultados ESPAC. **2019**.
- (3) Mejías Brizuela, N.; Orozco Guillen, E.; Galáan Hernández, N. Aprovechamiento de los residuos agroindustriales y su contribución al desarrollo sostenible de México. *Rev. Ciencias Ambient. y Recur. Nat.* **2016**, *2* (6), 27-41.
- (4) Guerrero, A. B.; Aguado, P. L.; Sánchez, J.; Curt, M. D. GIS-Based Assessment of Banana Residual Biomass Potential for Ethanol Production and Power Generation: A Case Study. *Waste and Biomass Valorization* **2016**, *7* (2), 405-415. <https://doi.org/10.1007/s12649-015-9455-3>.
- (5) CASTELLS, X. E.; VELO, E. La pirolisis. En *Nuevas tecnologías para el tratamiento y conversión energética de residuos*; **2012**; pp 7-72.
- (6) Ecuador impulsa la Economía Circular como una alternativa de desarrollo sostenible | Ministerio del Ambiente <https://www.ambiente.gob.ec/ecuador-impulsa-la-economia-circular-como-una-alternativa-de-desarrollo-sostenible/> (accessed mar 1, **2020**).
- (7) Asamblea Nacional. Código Orgánico del Medio Ambiente. **2018**, 1-92.
- (8) Asamblea del Ecuador. Constitución del Ecuador. *Regist. Of.* **2008**, N.º 20 de Octubre, 173. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.
- (9) Economía Circular - Celpa. Quito, Ecuador **2017**.
- (10) Ecuador suscribe Acuerdo de París sobre cambio climático – Ministerio del Ambiente y Agua <https://www.ambiente.gob.ec/ecuador-suscribe-acuerdo-de-paris-sobre-cambio-climatico/> (accessed oct 27, **2020**).
- (11) Ministerio de Ambiente del Ecuador. Primera Contribución Determinada a nivel nacional para el Acuerdo de París bajo la Convención Marco de Naciones Unidad sobre Cambio Climático. *Acuerdo de Paris* **2019**, 1-44. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.

- (12) Mayra, M. ESTUDIO CINÉTICO DE LA MODIFICACIÓN POR ACETILACIÓN DE ALMIDÓN DE BANANO VARIEDAD GRAN CAVENDISH. **2019**.
- (13) Agrotendencia.tv: Cultivo de Banano - Producción y Curiosidades <https://agrotendencia.tv/agropedia/el-cultivo-de-banano/> (accessed oct 27, **2020**).
- (14) Diego, A. Determinación del potencial energético de la biomasa residual de cultivos de banano en el cantón Machala, El Oro, Ecuador. **2019**.
- (15) Martínez-Guido, S. I.; Ríos-Badrán, I. M.; Gutiérrez-Antonio, C.; Ponce-Ortega, J. M. Strategic planning for the use of waste biomass pellets in Mexican power plants. *Renew. Energy* **2019**, *130*, 622-632. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.06.084>.
- (16) Serrano, J.; Mejía, W.; Ortiz, J.; Sánchez, A.; Zalamea, S. Determinación del Potencial de Generación Eléctrica a Partir de Biomasa en el Ecuador. *Rev. la Fac. Ciencias Químicas* **2017**, *0* (17), 41-61.
- (17) Delgado Cruz, M. J.; Camargo Mora, M. G. Caracterización química de la biomasa procedente de las hojas, pseudotallo, raquis y pseudopeciolo de la planta de banano y su relación con el poder calorífico Trabajo. *Artic. Ecuador* **2016**, *1* (5), 1-127.
- (18) Mendoza Avilés, H. E.; Loo Bruno, Á. C.; Vilema Escudero, S. F. El arroz y su importancia en los emprendimientos rurales de la agroindustria como mecanismo de desarrollo local de samborondón. *Rev. Univ. y Soc.* **2019**, *11* (1), 324-330.
- (19) Campoverde, J. F. Unidad académica de ciencias agropecuarias carrera de ingeniería agronómica. **2019**, 27.
- (20) Jorge Montalvo, P. A.; Flores del Pino, L.; Visitación Figueroa, L.; Naveda Rengifo, R. A. Remoción De Lignina En El Pretratamiento De Cascarilla De Arroz Por Explosión Con Vapor. *Rev. la Soc. Química del Perú* **2019**, *85* (3), 352-361. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v85i3.245>.
- (21) Tobar, E. M.; Quijije, K. D. *Estudio de factibilidad en la implementación de una empresa de reciclaje a base de cáscara de arroz en el cantón Daule, provincia del Guayas, con el fin de abastecer a plantas industriales de paneles solares.*; **2017**.
- (22) Demera-Centeno, S.; Romero-Rodríguez, B. Evaluación del uso de los residuos de

- cascarilla de arroz (*Oryza sativa* L.) como agregado en bloques para la construcción. **2018**, 77.
- (23) MAGAP. Estimación de Superficie de arroz, maíz amarillo duro y soya. **2016**.
- (24) Dario, B. N. M. Caracterización comparativa del proceso de pirólisis de dos biomásas. *Univ. Cent. del Ecuador* **2019**, 4 (1), 75-84.
- (25) Salamah, S.; Maryudi, M. Proses Pirolisis Limbah Styrofoam Menggunakan Katalis Silika-Alumina. *J. Rekayasa Kim. Lingkung.* **2018**, 13 (1), 1-7. <https://doi.org/10.23955/rkl.v13i1.8695>.
- (26) Castro, D. Evaluación del proceso de Pirólisis aplicado al material lignocelulósico residual residual proveniente del Pino patula en atmosfera de dióxido de carbono. *Univ. Libr. Colomb.* **2018**, 1-84.
- (27) AGROWASTE. PIROLISIS. **2017**.
- (28) I, M. C. M. A. C.; Ii, D. C. O. Q. Cinética de la pirólisis de residuos madereros ecuatorianos. *Rev. Cuba. Química* **2018**, 30 (3), 400-422.
- (29) Hernández, H.; Piñeros, E. Evaluación del biochar producido por pirólisis lenta como medio adsorbente. *Univ. la Salle, Bogota, Colomb.* **2017**, 67.
- (30) Veses, A.; García, T. Paving the way to the production of second generation biofuels. *Boletín Grup. Español Carbón* **2016**, 41, 26-30.
- (31) Fajado Reinoso, M. Uso de biochar de acícula de pino (*Pinus patula*) como enmienda de suelo negro andino (Andosol). **2017**, 30.
- (32) Torres, C. A. B. *Metodología de la investigación*, Tercera Ed.; PEARSON EDUCACIÓN, Ed.; Orlando Fernández Palma: Colombia, **2010**.
- (33) Prada - Matiz, A.; Cortés Castillo, C. La descomposición térmica de la cascarilla de arroz: Una alternativa de aprovechamiento integral. *Orinoquía* **2010**, 14 (2), 155-170.
- (34) de Souza, H. J. P. L.; Arantes, M. D. C.; Vidaurre, G. B.; Andrade, C. R.; Carneiro, A. de C. O.; de Souza, D. P. L.; Protásio, T. de P. Pelletization of eucalyptus wood and coffee growing wastes: Strategies for biomass valorization and sustainable bioenergy production. *Renew. Energy* **2020**, 149, 128-140.

<https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.12.015>.

- (35) Dani, M. Bio-oil <https://biorrefineria.blogspot.com/2014/03/2014-06bio-oil-1-parte.html> (accessed nov 6, **2020**).
- (36) Urien-Pinedo, A. Obtención de biocarbones y biocombustibles mediante pirólisis de biomasa residual. *Tesis De Máster* **2013**, 83.
- (37) Das, S.; Erickson, N. C.; Hyzer, C. D.; Garedew, M.; Anderson, J. E.; Wallington, T. J.; Tamor, M. A.; Jackson, J. E.; Saffron, C. M.; Lam, C. H. Towards sustainable hydrocarbon fuels with biomass fast pyrolysis oil and electrocatalytic upgrading. *Sustain. Energy Fuels* **2017**, *1* (2), 258-266. <https://doi.org/10.1039/c6se00080k>.
- (38) Escalante, A.; Pérez, G.; Hidalgo, C.; López, J.; Campo, J.; Valtierra, E.; Etchevers, J. Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo Biocarbon (biochar) I: Nature, history, manufacture and use in soil. *Terra Latinoam.* **2016**, *34*, 367-382.