

Métodos para el desarrollo energético de Biomasa en el cantón Eloy Alfaro – Esmeraldas.

Methods for the energetic development of Biomass in the Eloy Alfaro - Esmeraldas canton.

Autores:

Tanya Mariajose Cárdenas Valencia



Universidad Técnica Luis Vargas Torres

Ciudad: Esmeraldas

País: Ecuador

Correo electrónico: tanya.cardenas.valencia@utelvt.edu.ec

Ronny Joel Angulo Guerrero



Universidad Técnica Luis Vargas Torres

Ciudad: Esmeraldas

País: Ecuador

Correo electrónico: ronny.angulo@utelvt.edu.ec

Citación/cómo citar este artículo:

Cárdenas, T. y Angulo, R. (2023). Métodos para el desarrollo energético de Biomasa en el cantón Eloy Alfaro – Esmeraldas: Revista Social Fronteriza 3(2) pp. 63-88

DOI <https://doi.org/10.5281/zenodo.7696706>

Enviado: enero 08, 2023 **Aceptado:** febrero 28, 2023 **Publicado** marzo 5, 2023



Resumen

Este estudio se contextualizó en aminorar los efectos negativos sobre el medio ambiente ayudando en la reducción de gases de efecto invernadero, es así que la República del Ecuador ha reglamentado políticas públicas que tienen como objetivo el cambio de combustibles fósiles a electricidad producida a partir de fuentes alternativas. Por lo tanto, la biomasa se considera un recurso importante para producir energía menos contaminante y financieramente sostenible; En consecuencia, el objetivo del estudio se enfoca en delinear estrategias para el desarrollo de la energía de la biomasa en el cantón Eloy Alfaro, que cuenta con extensos terrenos con condiciones ambientales adecuadas para el cultivo extensivo de la palma africana como recurso biodegradable adaptable a cambios químicos y biológicos. transformación a gen. Se utilizó una metodología basada en el enfoque de sistemas, que tiene en cuenta todos los componentes y sus interacciones, para comprender los procesos de generación de energía utilizando las diversas fuentes de biomasa Dado que el cantón Eloy Alfaro. Se concluye que que en los sectores de Majua, Tachina, Tabiazo y La Unión cuentan con fuentes de biomasa disponibles para la generación energética, entre los que se mencionan la madera, el carbón, los residuos de ganadería y pastoreo, además en la zona norte del Mangle se encuentran plantaciones de Laurel, Caoba, Zande y Mascarey, los cuales representan una alta concentración de residuos de Biomasa para su aprovechamiento.

Palabras claves: Biomasa; energías renovables; eficiencia energética; energías limpias.



Abstract

This study is contextualized in lessening the negative effects on the environment by helping in the reduction of greenhouse gases, thus the Republic of Ecuador has regulated public policies that aim to switch from fossil fuels to electricity produced from alternative sources. Therefore, biomass is considered an important resource to produce cleaner and financially sustainable energy; consequently, the objective of the study focuses on outlining strategies for the development of biomass energy in the Eloy Alfaro canton, which has extensive land with suitable environmental conditions for the extensive cultivation of African palm as a biodegradable resource adaptable to chemical and biological changes. transformation to gene. A methodology based on the systems approach, which takes into account all the components and their interactions, was used to understand the processes of energy generation using the various sources of biomass given that the canton Eloy Alfaro. It is concluded that in the sectors of Majua, Tachina, Tabiazo and La Union there are biomass sources available for energy generation, among which are mentioned wood, coal, livestock and grazing waste, also in the northern area of the Mangle there are plantations of Laurel, Mahogany, Zande and Mascarey, which represent a high concentration of biomass waste for its use.

Keywords: Biomass; renewable energies; energy efficiency; clean energies.



Introducción

Varias países han implementado políticas públicas dirigidas a promover la eficiencia energética y la protección del medio ambiente como resultado de la tendencia mundial hacia la generación de energía a partir de fuentes renovables alternativas no contaminantes que reduzcan el impacto ambiental que el planeta experimenta desde principios del siglo XXI. siglo. reducir el uso de combustibles fósiles, diversificar la matriz energética y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, entre otras cosas, mediante la producción de biomasa para uso energético.

Si bien la producción de biomasa en el Ecuador se encuentra actualmente en etapa de desarrollo para ser convertida en electricidad, existen importantes proyectos con potencial energético a partir de la biomasa, teniendo en cuenta las actividades agroindustriales destacadas en el país como la extracción de aceite de palma africana híbrida de la variedad Amazon, de la que se obtiene una elevada cantidad de biomasa con potencial energético. En Latinoamérica, Brasil y Argentina son grandes productores de bioenergía (bioetanol), mientras que en Ecuador la producción de biomasa está en etapa de desarrollo para ser convertida en electricidad.

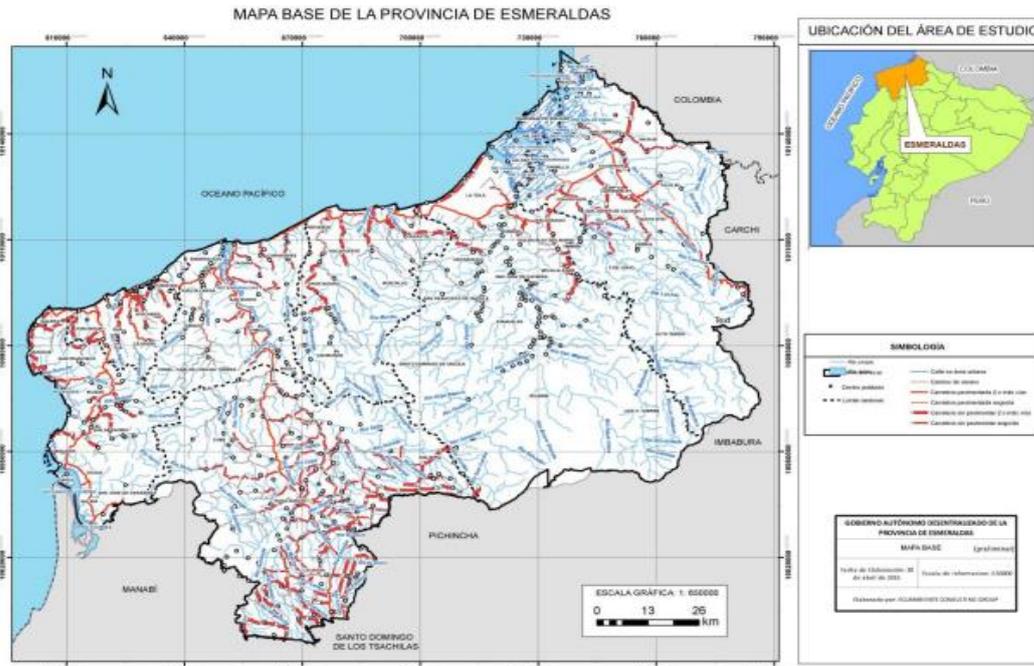
Se sugiere el desarrollo de la energía de la biomasa como fuente de generación de energía eléctrica y térmica con potencial de aprovechamiento en el cantón de, Eloy Alfaro, Esmeraldas debido a que allí se encuentra gran parte de los cultivos de palma africana por las condiciones ambientales para su producción.

Con base en el actual ordenamiento jurídico, fundamentado en la Constitución, el Ecuador ha atravesado un proceso de cambio político y social en los últimos diez años. Esto permite incorporar sistemas que sugieran la eficiencia energética y el uso de energías alternativas como formas de preservar el medio ambiente y a su vez ahorrar energía a partir de fuentes renovables. El marco legal que armonice una convivencia de preservación y respeto por el ser humano y su ecosistema.



Figura 1

Mapa base de la provincia de Esmeraldas



Fuente: Censo de Población y VI de Vivienda, INEC (2010)

Además, posee aproximadamente el 70% de territorio con grandes planicies y extensa vegetación, liderando la mayor producción de palma africana con el 50,73% del total nacional (ESPAC, 2019), representando un potencial de fuentes de biomasa con un alto índice para generación de energía y acceso del investigador. Estas serán las fuentes de datos para la caracterización y diagnóstico inicial, donde a través de variables asociadas a la biomasa tales como fuentes, usos, aporte energético, condiciones ambientales y sociales para el desarrollo de la biomasa forman parte de la recolección de información clave en la investigación. En este sentido, la implementación de fuentes alternativas podría presentar una propuesta viable para las generaciones futuras y las inversiones en la región.

Las zonas del cantón Esmeraldas que tienen potencial para generar y producir biomasa con fines energéticos conforman la población objeto de estudio; esto posibilita la identificación de potencialidades y el aporte a los procesos productivos y la planificación de nuevos proyectos. Para la selección se tuvieron en cuenta los siguientes factores.

- Una ubicación orientada al marketing.

- Ubicación con menos efectos ambientales adversos sobre las comunidades locales.
- Regiones que producen residuos de biomasa que pueden ser utilizados para generar energía o tienen una mayor concentración de plantaciones forestales.

Metodología

La investigación se plantea bajo el paradigma positivista y un enfoque cuantitativo, debido a que se analiza información por medio de indicadores estadísticos, siendo este considerado un estudio de tipo descriptivo con diseño no experimental y propositivo.

Para el análisis de los datos se utilizará una matriz en Microsoft Excel para registrar los datos recolectados para la realización de los cálculos aproximados con la intención de clasificar las fuentes de biomasa y su aporte energético asociado, tomando en consideración su uso y las condiciones sociales, ambientales, económicas y agropecuarias en el cantón Eloy Alfaro.

Los estadísticos que se tomarán para extraer conclusiones de la información recolectada serán las frecuencias, porcentajes, media, desviación estándar, cuartiles, asimetría y curtosis. Además de elaborar una tabla de correlación de Pearson entre en aporte energético y las fuentes de biomasa.

Además de ser no experimental, la investigación empleó un enfoque cuantitativo a nivel descriptivo basado en una revisión de la literatura relevante. Comenzamos con una descripción general de las fuentes de biomasa y su contribución a la producción de energía a nivel nacional antes de pasar a las fuentes en la provincia de Esmeraldas para el análisis.

Se utilizó el enfoque de sistemas, que tiene en cuenta todos los componentes y sus interacciones, para comprender los procesos de generación de energía utilizando las diversas fuentes de biomasa (Alcva, 2018). Con la información recabada se utilizará el método inductivo-deductivo para estructurar el flujo de producción y comercialización (Bernal, 2016). Se utilizó como técnica para la reelección de datos del estudio. Estos artículos contenían información sobre proyectos de energía renovable en Ecuador y en la Provincia de Esmeraldas.



Resultados y Discusión

Para identificar las fuentes de biomasa existentes en la provincia, las empresas que más producen y los consumidores potenciales, se utilizó como herramienta de investigación una matriz de comparación. Se establecieron parámetros comunes y sus aportes a la generación de energía. A través de una matriz de doble entrada entre fuentes de biomasa y producción por hectárea, esta información permitió establecer un nicho de mercado.

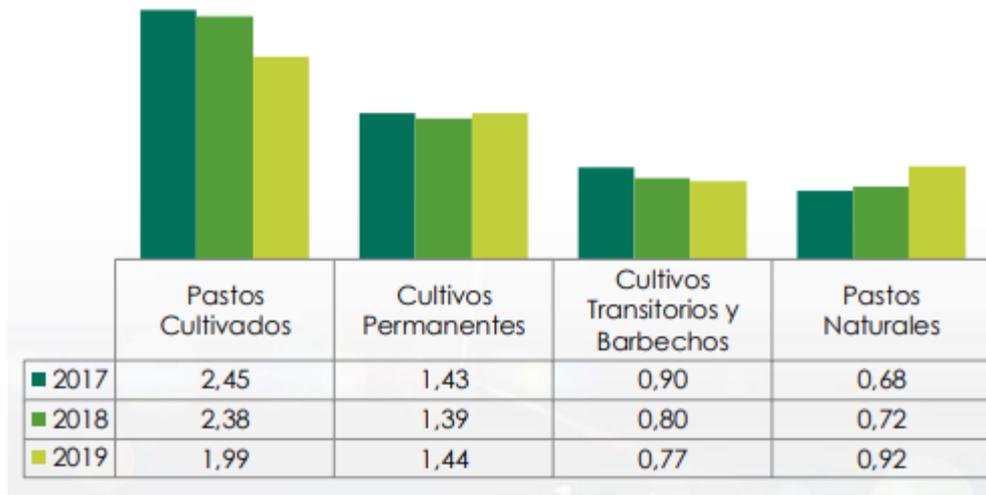
Recopilación de información (3 punto 4).

En el proceso de recolección de datos se empleó la técnica de observación junto con fuentes secundarias de producción de biomasa porque, además de ser el primer paso del método inductivo, también sirve como guía para entender qué se debe observar, en qué concentrarse, y con lo que te puedes encontrar. Si bien es posible que una vez que el investigador se encuentre frente al fenómeno, entre en contacto con elementos inesperados y se concentre en ellos, de esta manera sabrá lo que va a observar; “De esta forma, se pueden listar los elementos de interés para la investigación que se pueden observar” (Useche et al., 2019: 44), utilizando la bitácora de observación.

La Figura 2 ilustra los 51,1 millones de hectáreas de tierra en la República del Ecuador que son utilizadas por los agricultores para producir pastos permanentes, transitorios, cultivados y naturales. La caña de azúcar es el cultivo más popular entre los cultivos perennes. con 1.543.334 hectáreas de azúcar, banano y palma africana (ESPAC [Encuesta Continua de Superficie Agrícola], 2019).

Figura 2

Cultivos líderes permanentes en Ecuador

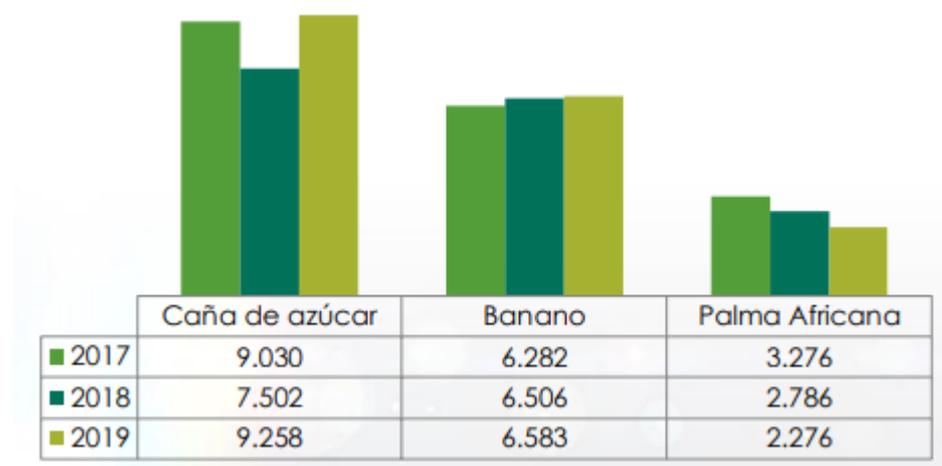


Nota: ESPAC, 2019.

Con una superficie de producción de cultivos permanentes en el periodo 2017-2019 significativa dentro del territorio ecuatoriano (figura 3), con un 100% de participación en la superficie plantada total (figura 4).

Figura 3

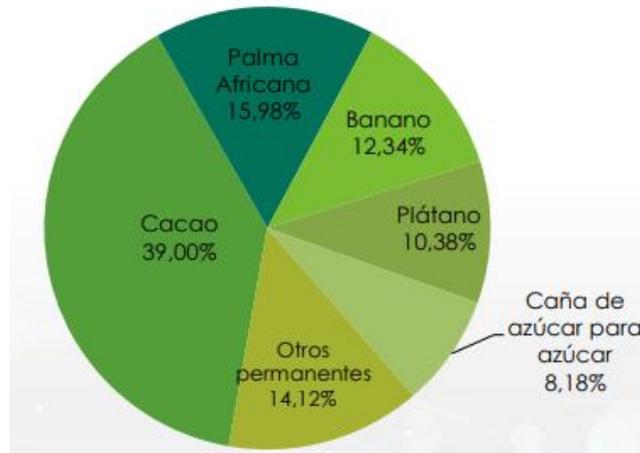
Superficie de cultivos permanentes en el periodo 2017-2019



Nota: ESPAC, 2019.

Figura 4

Participación en la superficie plantada total

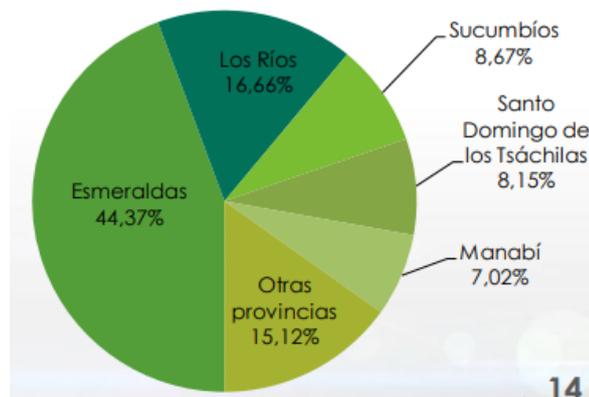


Nota ESPAC 2019.

Dentro de los cultivos permanentes predominantes en el Ecuador se encuentra la Palma Africana, con una superficie plantada para el 2019 a nivel nacional de 246.574 hectáreas. Concentrándose su producción en la provincia de Esmeraldas con el 44,37% de participación en la superficie plantada total (figura 5).

Figura 5

Participación en la superficie plantada total de palma africana



Nota: ESPAC, 2019.

Ahora bien, el cantón de Esmeraldas cumple la normativa en sembradíos de palma africana, donde la densidad de siembra se encuentra dentro de intervalo de 143 a 128 palmas de aceite por hectárea (Rivera-Méndez et al., 2017). Con un periodo productivo de un aproximado de tres años en iniciar, alcanzando una estabilidad productiva a los 7 años (Corley y Tinker, 2003). Los racimos de fruto fresco cosechados son la materia prima utilizada en las plantas para extraer el producto comercial principal que es el aceite crudo de palma. Dicho proceso a su vez, permite la producción de biomasa, la cual puede convertirse en energía alternativa no contaminante.

Tabla 1

Superficie plantada de palma africana

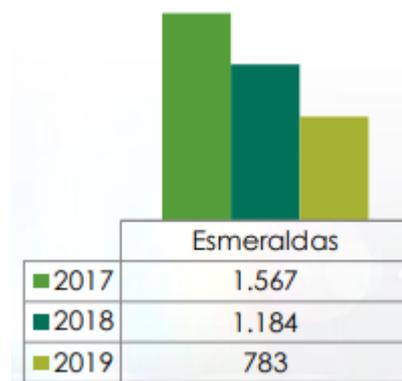
PRODUCCIÓN ANUALIZADA DE PALMA AFRICANA

Año	Superficie (Ha)		Producción (Tm.)	Ventas (Tm.)
	Plantada	Cosechada		
2017	313.882	260.292	3.275.993	3.192.320
2018	267.760	223.962	2.785.756	2.785.756
2019	246.574	200.908	2.275.94	2.275.580

Nota: ESPAC, 2019.

Figura 6

Producción de palma africana



Nota: ESPAC, 2019.

Por consiguiente, enfocados en cumplir con las metas de la agenda 2030 en el acceso universal a servicios energéticos asequibles, fiables y modernos (específicamente en el objetivo 7), la matriz energética ecuatoriana ha normado en sus políticas fomentando el aumento considerable de la proporción de energía renovable en el conjunto de fuentes energéticas como la biomasa; direccionando el decremento del consumo energético convencional apoyado en la eficiencia energética; aumentando la cooperación nacional e internacional para facilitar el acceso a la investigación y la tecnología relativas a la energía limpia, incluidas las fuentes renovables con sistemas avanzados y menos contaminantes de combustibles fósiles, para prestar servicios energéticos modernos y sostenibles, promoviendo la inversión en infraestructura energética y tecnologías limpias (Naciones Unidas, 2018)

De manera muy clara, en las metas del objetivo siete referencias, en cuanto a la necesidad de desarrollar energías renovables, tanto para el beneficio del habitante del cantón como para la preservación del ecosistema. Apoyado en la investigación y la tecnología relacionadas con las fuentes renovables, la responsabilidad de provisión de servicios públicos de agua potable y de riego, saneamiento, energía eléctrica, telecomunicaciones, vialidad, infraestructuras y demás que determine la ley (Constitución de la República del Ecuador, Artículo 314, 2019).

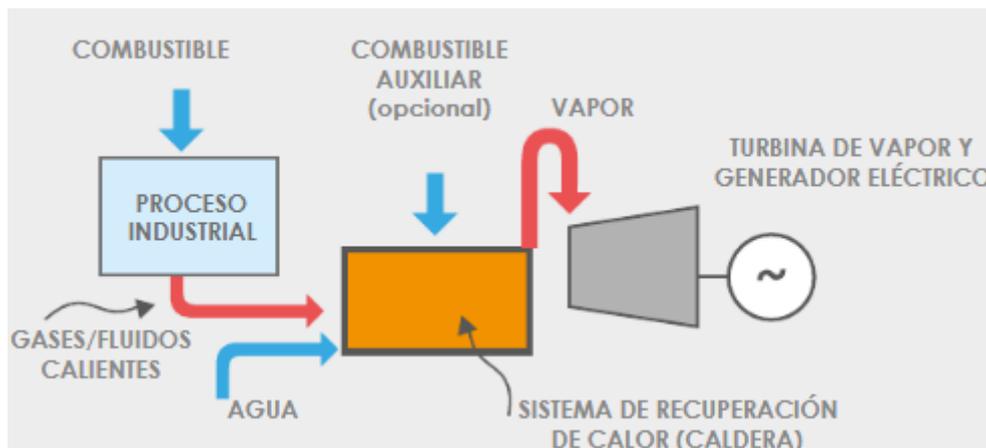
Siendo la biomasa una energía no contaminantes obtenida de materia orgánica como los racimos de fruto fresco (cerca del 20 % corresponde al aceite crudo de palma), 22% de la tusa o racimo vacío, 13 % extraído de la fibra del mesocarpio, 5 % de la cascarilla de nuez y 0.7 m³ de biomasa líquida (POME, por sus siglas en inglés), con procesos tecnológicos de vapor en sistemas de cogeneración (los más implementados), se consideran la opción más económica y más segura (Börjesson y Ahlgren, 2012). Debido a la disponibilidad de la biomasa y los altos costos de transporte de la biomasa, las plantas de cogeneración han sido desarrolladas a pequeña escala comparadas con plantas térmicas a carbón, por lo tanto, las plantas comerciales se construyen entre los 100 kWe – 100 MWe (Malico et al., 2019; Strzalka et al., 2017). Indicativo asertivo a la implementación de la tecnología enfocada a generar bioenergía en el cantón esmeralda con una planta térmica a carbón a pequeña escala, adaptada a la localidad que tiene una población de 189.504 según censo 2010.



Es importante destacar que el Estado se reserva el derecho de administrar, regular, controlar y gestionar los sectores estratégicos (como es el agroalimentario), de conformidad con los principios de sostenibilidad ambiental, precaución, prevención y eficiencia, Constitución de la República del Ecuador, Art. 313, (2019). Por lo que una planta térmica que genere bioenergía sería una gestión enfocada en lo mencionado en el artículo 313, intencionada en los principios de sostenibilidad, eficiencia, precaución y prevención e instrumentalmente constituida por motores alternativos, turbinas de gas o de vapor, que transforman la energía contenida en el combustible, en energía mecánica y calor residual o de escape y se pueden dividir en dos categorías: sistema de ciclo superior y de ciclo inferior, dependiendo de la secuencia de la energía producida (Electricidad-calor o viceversa), siendo el sistema de ciclo inferior el óptimo para producir energía eléctrica o mecánica y puede ser empleada en plantas con hornos industriales.

Figura 7

Esquema de un sistema de cogeneración de ciclo inferior.



La eficiencia de las turbinas de vapor dependerá la capacidad instalada, grandes capacidades tienen relativamente altas eficiencias. La eficiencia eléctrica anual generalmente está por el rango de 18 – 30% para plantas entre 2 y 25 MW (Abbas et al., 2020). El costo estimado de implementación de un sistema de cogeneración con biomasa residual de palma de aceite se encuentra en un rango de 690-850 US\$ kW. Sin embargo, La tabla 2 muestra el consolidado de indicadores económicos y técnicos de las

rutas de cogeneración de biomasa. Las capacidades de las plantas de cogeneración con biomasa van desde aplicaciones pequeñas (<200 kW) hasta sistemas de ciclos integrados gasificación cogeneración de 250 MW (Abbas et al., 2020; Gerssen-Gondelach et al., 2014).

No obstante, tomando como referencia un sistema rentable, eficiente y con disponibilidad comercial, la principal variación concierne a la escala de la planta de cogeneración las aplicaciones con biomasa proveen el 90% de la producción de bioenergía. Los rangos de los costos se sitúan entre los 850 – 7500 KW, con capacidades comerciales de sistemas de cogeneración que funcionan bien hasta los 20 MW. Por otra parte, la tecnología ORC (Organic Rankine Cycle) se perfila como la tecnología más avanzada en lo que concierne a cogeneración descentralizada. Las principales ventajas de la tecnología debido sus parámetros operativos como su operación a baja temperatura y presión a comparación de los ciclos de vapor, buen comportamiento a carga parcial, largos tiempos de operación y alto nivel de automatización.

Tabla 2

Consolidado de indicadores económicos y técnicos de las rutas de cogeneración de biomasa

Ruta	Configuración	Capacidad	Eficiencia eléctrica	CAPEX	Referencia
Ciclos de vapor	Caldera AP + de extracción-condensación	0.6 - 100	15 – 35%	6500 -2300 USD/KW	(Malico et al., 2019)
	Caldera AP + de extracción-condensación	10	35 – 50%	1400 USD/KW	(Ramirez-contreras et al., 2020)
			17 - 40%	2000 – 7000 USD/kW	(Strzalka et al., 2017)
	Caldera MP + de condensación	10	28.5		(Ramirez-contreras et al., 2020)
		30	32.5		
		80	35.5		

		1.2	6-25%	690 – 850 USD/KW	(Arrieta et al., 2007)
Gasificación	Gasificador + motor a gas	0.05 – 50	22 - 40	3000 – 7000 USD/kW	(Malico et al., 2019)
		1	28 -34	4500-7500 USD/KW	(Gerssen-Gondelach et al., 2014)
		10		2400 – 3700	(Gerssen-Gondelach et al., 2014)
	Gasificador + turbina + gas	0.03 -20	15 – 40%	500–8500 USD/KW	(Malico et al., 2019)
		23.6	41.8 %	1350 USD/KW	(Chiew & Shimada, 2013; Solarte-Toro et al., 2018)
ORC	Módulo ORC	2 – 1.6	7 – 20%	1500-3000 USD/kW	(Abbas et al., 2020; Strzalka et al., 2017)
		4	15 – 19%	875 USD/KW	(Guercio & Bini, 2017)
		0.2 – 2	15 -39%	2700 – 7200 USD/KW	(Malico et al., 2019)

Nota: Elaboración propia, adaptado de Abbas et al., 2020; International Energy Agency, 2017;

Debido a la favorabilidad de los parámetros de operación la reducción de los costos de operación y mantenimiento pueden ser logrados (Strzalka et al., 2017). Los sistemas de cogeneración con gasificadores es otra tecnología con potencial dado que para ser económicamente rentables debe haber una demanda térmica para que la tecnología sea competitiva. Sin embargo, aún existen barreras técnicas por superar para reducir los costos de operación, tales como el manejo de los agentes gasificantes (aire o vapor) y es sistema de limpieza de los gases de síntesis, que para plantas entre 1 - 10 MW son los tamaños sugeridos para reducir problemas técnicos (Asadullah, 2014).

Por consiguiente, el cantón de Esmeraldas por caracterizarse en extensas hectáreas con plantaciones de palma africana, el sistema de cogeneración en plantas extractoras sería



el producto factible para satisfacer la demanda de potencia energética, ofreciendo tecnología enfocada en la industria de aceite de palma a nivel global (GarciaNunez, Rodriguez, et al., 2016b), además se ampara en los principios ambientales destacando el modelos sustentable de desarrollo, asegurando la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras, con una participación activa y permanente de las comunidades que deseen generar cambios positivos en los impactos ambientales (Artículo 395, Constitución de la República del Ecuador, 2019).

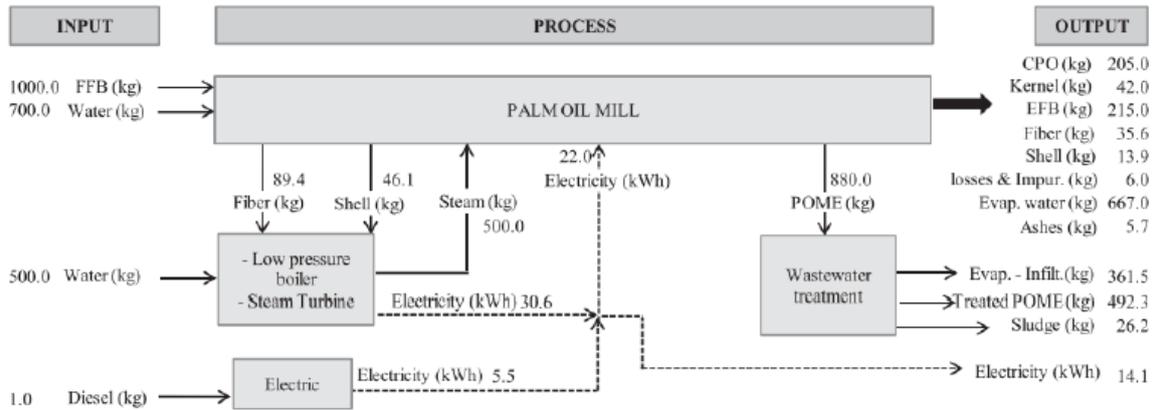
Con respecto al proceso de extracción de aceite de palma tiene un consumo de vapor que varía entre 500 y 600 kg vapor por tonelada de racimo de fruto fresco, mientras que su consumo de electricidad es de entre 18 – 22 kWh t⁻¹ por racimo de fruto fresco, (Barrera, J., Ramírez, N., GarciaNunez, J. A., y Guevara, 2016; Monroy, 2007). Sin embargo, por sus características fisicoquímicas se recomienda usar el cuesco y la fibra de la palma, debido a que la tusa por su alto contenido de potasio no suele utilizarse en la combustión.

En promedio, el apelmazamiento de las cenizas de combustión en los hogares de calderas aparece a partir de los 900°C (Nunes et al., 2016; Tai et al., 2019). El calor generado durante la combustión se utiliza para producir vapor sobrecalentado utilizado para generar vapor en una turbina, y como fuente de calor posteriormente. El proceso de extracción de aceite de palma tiene un consumo de vapor que varía entre 500 y 600 kg vapor por tonelada de RFF, mientras que su consumo de electricidad es de entre 18 – 22 kWh t⁻¹ RFF (Barrera, et al., 2021). La Figura 7 presenta la distribución de flujos de una planta extractora para una entrada de 30 t RFF h⁻¹.



Figura 8

Esquema general de generación de energía en planta extractora



Nota: Distribución de flujos de una planta extractora. Fuente: tomado de (Garcia-Nunez, Rodriguez, et al., 2016a).

En la actualidad, los sistemas de combustión consumen alrededor del 70% de la biomasa (fibras y rocas) producida durante la producción de petróleo. Para aumentar la biomasa disponible para la combustión, se han realizado estudios para quemar racimos de frutas vacíos en un lecho fluidizado utilizando arena de alúmina, piedra caliza y dolomita, con eficiencias térmicas preliminares del 99 % para excesos de aire del 40% cuando se usa arena de alúmina o del 60% cuando se usa caliza y dolomita Ninduangdee y Kuprianov, (2016). Otros estudios han corroborados que empleando la tecnología FBC en un contenedor cónico para incinerar cuesco y tusa con un tamaño de partículas inferior a los 5mm, se alcanzan eficiencias de combustión en el rango de 99.4 - 99.7 % manteniendo el exceso de aire entre 40 y 50 % (AlNouss et al., 2018; Asadullah, 2014). La biomasa sólida extraída de la palma africana es un material lignocelulósico que se compone por los polímeros de celulosa, hemicelulosa, lignina y cenizas, presentando grados de variación por su alto contenido de material volátil, apta para la aplicación de procesos de gasificación y torrefacción (Dai et al., 2019).

Tabla 3

Composición de la biomasa residual de biomasa residual de la producción de aceite de palma.

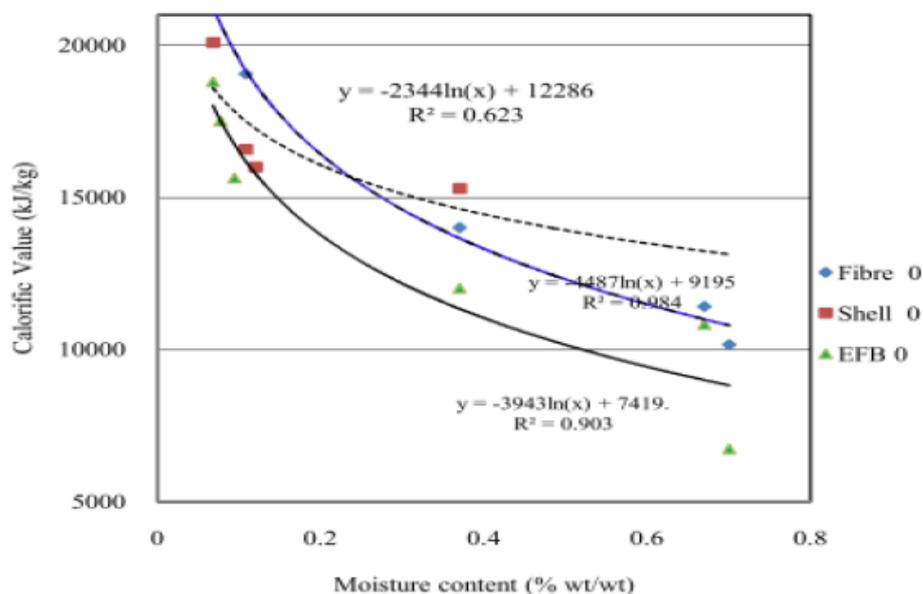
	Celulosa	Hemicelulosa	Lignina
Cuesco	25-40	15-20	35-45
Fibra	42.7 - 65	17.7 – 33.5	13.2 – 25.31
Tusa	23.7 - 65	20.58 – 33.52	14.1 – 30.45

Nota: Herrera, 2021.

Considerando de los diferentes autores se compila que presenta un alto contenido de material volátil, siendo la ceniza un factor crítico en el proceso de combustión. Así mismo la humedad afecta el poder calorífico, incidiendo en la selección de la tecnología energética, por lo que, la figura 8 muestra las correlaciones entre ambos parámetros de la biomasa residual y la humedad.

Figura 9

Relación entre poder calorífico y humedad de la biomasa residual de la producción de aceite de palma



Nota: Aziz et al., 2011.

La capacidad de procesamiento de las plantas extractoras generalmente se encuentran entre las 21 – 40 toneladas racimo de fruto fresco (TRFFh-1) con una disponibilidad anual entre los 46%-85%, considerando que, si la extracción de aceite por planta es de 277.793 toneladas de aceite crudo de palma, equivale un porcentaje promedio de 70% del consumo eléctrico de una localidad de 190.000 habitantes (Huang y Lo, 2020).

La energía producida por la biomasa se deriva de la propiedad termoquímica por unidad de masa lo que genera el poder calorífico, que puede determinarse tanto inferior (PCI) como superior (PCS) y sus resultados se expresan en unidades de medición MJ/Kg (Huang y Lo, 2020; Van Loo, 2008). Expresándose sus ecuaciones:

$$PCS=0.3491C+1.1783H-0.1034O-0.0151N+0.1005S-0.0211Cenizas$$

$$PCI=PCS(1-Ww)-2.444Ww-21.839W_H (1-Ww)$$

Donde:

Ww= porcentaje en peso de hidrógeno de la biomasa

WH= porcentaje de humedad de la biomasa

Puesto que las características de la biomasa pueden variar en el tiempo, para este estudio se asumen unas condiciones estables establecidas en la tabla 4 con valores promedio de la composición elemental de la biomasa y los poderes caloríficos utilizados para realizar el balance de masa y energía.

Tabla 4

Valores promedio de la composición elemental de la biomasa y sus poderes caloríficos

Propiedad	Unidad	Tusa	Fibra	Cuesco
Composición elemental				
Humedad		65.0%	35,0%	15,0%
C		44.8%	47,4%	51,4%
H	%B.S	6.4%	6,7%	6,3%
O		35.8%	36,0%	34,7%
N		0.8%	11%	0,7%
S		0.1%	0.1%	0,0%
Ceniza		0.07	0.03	0,01
Poder caloríficos calculados				
PCS	KJ/Kg	19328	20551	21590



Nota: Barrera, (2021).

Para calcular la eficiencia energética de la eficiencia eléctrica de sistema de generación.

$$\eta_e = \frac{E_{gen}}{\sum \dot{m}_b PCI}$$

Donde:

E_{gen} = Energía eléctrica (MJ)

Tratándose de una fuente de energía renovable, el aprovechamiento energético de la biomasa residual supone un impacto al ambiente. Para evaluar dicho impacto, se estiman las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) generadas por cada kilovatio de energía eléctrica generado.

Para cuantificar las emisiones GEI, se consideran tres actividades emisoras; la emisión por gases combustión de biomasa (CH₄ y N₂O), las emisiones de CO₂ biogénico y las emisiones por tratamiento de agua. Las emisiones por combustión de biomasa se determinan utilizando la metodología de cálculo de emisiones por combustión estacionaria, desarrollado por el panel intergubernamental para el cambio climático (IPCC, 2006). El cálculo de las emisiones y los factores de conversión utilizados se describen en la tabla 5, mientras que para determinar la emisión por tratamiento de agua se asumió un factor de 0.0251 kg CO₂eq por cada kg de agua utilizado.

Tabla 5

Factores de emisión de la combustión de biomasa

Emisión	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Equivalente (kg CO₂eq. /TJ)	100000	300	4

Nota: Barrera, (2021).

Así que, el potencial energético de la biomasa residual sólida con plantas extractoras de aceite de palma africana tienen una capacidad de procesamiento de las que se encuentra entre las 21 – 40 toneladas por racimo de fruto fresco (RFF) h⁻¹ tienen una disponibilidad



anual de generar entre los 46% - 85% de potencia energética. La suma de aceite extraído por las plantas estudiadas es de 277.793 toneladas de aceite crudo de palma. Las variables con extracción, tiempo de operación y capacidad se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 6

Información de una planta de extracción de aceite de palma africana con parámetros similares al cantón de Esmeraldas.

Parámetros	1	2	3	4	5	6	7
Horas de operación (h)	6821	5966	6357	6642	7475	4051	6571
Capacidad Caldera (tvapor/h)	20	21	15	13	12	25	12
Presión de operación de caldera (kPA)	690	720	2000	690	690	2100	750
Estado del vapor	Saturado	Saturado	Sobrecalentado	Saturado	Saturado	Sobrecalentado	Saturado
Entalpía de media de agua (KJ/kg)	377	377	377	377	377	377	377
Entalpía media de vapor (KJ/kg)	2763	2763	2976	2763	2763	3021	2766
Consumo de combustible (MW)	26.2	23.5	12.6	13.4	10.9	20.4	11.2

Nota: Barrera, (2021).

Ahora bien, el potencial de cogeneración en Ecuador son pocas las plantas que han implementado la tecnología, actualmente empresas del sector alimentario, agroindustrial y maderero utilizan el proceso en baja escala, siendo el sector azucarero el único con procesos de cogeneración a gran escala, que para el año 2017, contaba con una instalación aproximada a los 140 MW, usando el bagazo de caña como combustible. Para el 2022, el Ecuador cuenta con una capacidad instalada total de 170 MV, incluyendo a CELEC, EP-Termogas Machala, impulsando la generación de potencia eléctrica nacional aproximadamente en 490 MW, incluyendo la industria de la palma aceitera como sector con procesamiento de cogeneración (Tabla 7).

Tabla 7

Capacidad de cogeneración instalada en Esmeraldas, Ecuador. Elaboración propia

Industria	Ubicación	Tecnología/proceso	Potencia (MW)	Generación (GWh/Año)
Palma aceitera	Esmeraldas y Sucumbios	Ciclo Rankine con 1,0 y 1,2 MW	2,2	N/D

Nota: N/D dato no disponible. Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, (2022).

Aunado a que en el Ecuador, dentro de los combustibles para generar potencia eléctrica y se han considerado para efectuar cogeneración se encuentra la biomasa representando el 7% respectivamente (Espinoza y Peláez, 2017). Beneficiando económicamente y socialmente al Sistema Nacional de Interconectado Energético, que según las Naciones Unidas respecto al consumo del diesel se pudiera incrementar el uso de biomasa derivado de la industria palma aceitera (principalmente fibra y parte del cuesco) para producir sinergia generaría un -autoconsumo.

Ahora bien, en Esmeraldas las diferentes fuentes de biomasa que se aprovechan para generar energía es madera, carbón y residuo de ganadería enfocado para la producción de biogás utilizado en dos fincas, orientadas al tratamiento de aguas servidas en Camerón, por medio de un proceso aeróbico del agua, para purificarla y usarla en sistemas de riego de cultivos y residuos de lodo tratado, para usarse posteriormente como abono de plantas ornamentales.

Entre el sector industrial, se encuentra el grupo maderero pelikano “Codesa” dedicados a la producción de hojas de madera para enchapados delgados, usando los residuos de



la madera para generar biomasa como potencial energético. Mientras que la fábrica óleo “Joya”, fusiona con diésel en las calderas para la producción energética de biomasa.

Es así, que las condiciones ambientales características del cantón Esmeraldas se adaptan a los requerimientos necesarios aprovechables, transformables y producibles en biomasa, con especies forestales de alto potencial como los árboles de Laurel, Caoba, Zande, Mascarey y como se ha mencionado previamente la palma africana.

Por lo que, la producción de biomasa es una tecnología fructuosa y conveniente como medio de producción energética en el cantón, con soporte jurídico en el Registro Oficial N° 449 donde se promueve el desarrollo de capacidades locales y uso responsable de las tecnologías sociales y eficiencia energética, impulsando los sectores, educación, Ministerio de Ambiente, GAD y la población local hacia la planificación, operaciones, programas de capacitación y formación en eficiencia energética, fundamentado en el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias, sanas y sostenibles que contribuyan a mitigar el impacto ambiental negativo y ajustadas a los requerimientos económicos del sector consumidor y parámetros ambientales locales.

Conclusiones

La provincia de Esmeraldas se caracteriza por tener una actividad agroindustrial que lidera más del 50% de los sembradíos de Palma Africana y su híbrido amazon con centrales extractoras de dos tipos de aceite vegetal uno del mesocarpio de la fruta y el otro de la semilla o almendra. Sin embargo, residuos como la fibra y el cuesco, pueden usarse como fuente alternativa renovable para transformarla en potencial energético entre los 60 - 120 kWh t RFF-1. Mientras que el aprovechamiento energético de la tusa puede incrementar el potencial hasta en 120 – 215 kWh t RFF-1.

En este sentido, se evidenció que en los sectores de Majua, Tachina, Tabiazo y La Unión cuentan con fuentes de biomasa disponibles para la generación energética, entre los que se mencionan la madera, el carbón, los residuos de ganadería y pastoreo, además en la zona norte del Mangle se encuentran plantaciones de Laurel, Caoba, Zande y Mascarey,



los cuales representan una alta concentración de residuos de Biomasa para su aprovechamiento.

Con respecto al impacto ambiental por sustitución de la energía eléctrica de sistema interconectado nacional se determinó que se emite entre las 35 - 45 t CO₂eq al año utilizando solo fibra y cuesco. Dependiendo de la disponibilidad de la tusa, su aprovechamiento energético puede incrementar la sustitución de las emisiones entre un 60 - 80%, mitigando el efecto invernadero y contribuyendo a la descarbonización.

Por lo que el cantón Esmeraldas ofrece las condiciones ambientales para el desarrollo de biomasa, con temperaturas climáticas necesarias para cultivar la palma africana recurso fuente para la transformación de energía, además posee extenso territorio dedicado a su cultivo y con recursos hídricos alternos para suministrar el requerimiento considerable del recurso.

Referencias bibliográficas: APA 7ma edición

- Anachuri, A. (2018). Determinación y análisis de los niveles de contaminación de electrosmog (densidad de potencial electromagnética). Argentina: Universidad Nacional del Comahue.
- Ancu, S. P., Bossa, C. D., y Vives, B. A. (2018). Energías Limpias Alternativas para el Desarrollo Organizacional. Santa Marta .
- Ayala, N, Sandoval, G. (2018). Bioenergía a partir de residuos forestales y de madera. *Madera y bosques*, 24(spe), e2401877. <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2401877>
- Banco Bilbao Vizcaya Argentaria (2022). ¿Qué son las energías renovables y por qué son importantes? <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-son-las-energias-renovables-y-por-que-son-importantes/>
- Bohórquez, N. (2019). Generación de Energía a partir de Residuos Sólidos Urbanos. Estrategias Termodinámicas para Optimizar el Desempeño de Centrales Térmicas. Scielo, 2. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000100273>
- BP. (2020). Statistical Review of World Energy (Statistical Review of World Energy (ed.); 69a ed.). BP p.l.c. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf>
- Candal, B. (2021). La nueva energía. Digital Energy, 1-2. Obtenido de <https://www.energetica21.com/noticia/smart-energy-la-nueva-energia>



- Cárdenas, K. (2018). Manejo adecuado de las emisiones atmosféricas en la industria del reciclaje de baterías de plomo. Bogotá: Universidad distrital Francisco José de Caldas.
- Chiriboga, A. (2018). Estudio técnico de un sistema para producir energía eléctrica a partir del biogas generado por la descomposición de la basura en la ciudad de Guayaquil. Repositorio institucional de la Universidad de Guayaquil, 22-36.
- Chong, H. (2018). Análisis para la obtención de energía eléctrica utilizando un Gasificador de Biomasa. Guayaquil-Ecuador: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Chozo, L. (2019). Control de calidad en el proceso de cogeneración de energía en la Empresa Agrolmos S.A. distrito de Olmos, región Lambayeque. Perú: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Conteras, J. (2019). Simulación de una caldera bagacera mediante el software Aspen Plus para determinar su desempeño energético. Colombia: Universidad Autónoma de Bucaramanga.
- Cuello, A. (2020). Determinación de propiedades térmicas para la congelación de la pulpa de carambola. Puerto Maldonado: Universidad Nacional Amazonica.
- Coello P., Rodríguez B., González Y. A., Et al (2021). Aprovechamiento energético de la biomasa residual: caso de estudio de los restos de comida de familias de estudiantes de la Universidad de Guayaquil, para producción de biogás. *FIGEMPA: Investigación Y Desarrollo*, 12(2), 15-25.
<https://doi.org/10.29166/revfig.v12i2.3251>
- Domínguez M (2022) Análisis de la producción potencial de energía con Biomasa en la región de Andalucía (España) utilizando Sistemas de Información Geográfica.
<https://doi.org/10.4000/cybergeogeo.4478>
- EPEC (2022). Energía renovable: la biomasa.
<https://www.epec.com.ar/docs/educativo/institucional/biomasa.pdf>
- Gobierno de México (SF). ¿Qué es la energía de biomasa?
<https://www.gob.mx/semarnat/articulos/que-es-la-energia-de-biomasa?idiom=es>
- Fernandez, J. (2018). Energía, característica y tipos. Scielo.
- Gallardo, C., Machado, C., Sanchís, J. (2018). Cosmología y conceptos fundamentales de la física contemporánea. Digibug, 8-12.
- García, Z. (2018). Enlace químico, orbital molecular y ontología. Dialnet, 93-109.
- García, C. H., y Calle, L. M. (1998). Consideraciones metodológicas para la tipificación de sistemas de producción bovina a partir de fuentes secundarias. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 2(2), 6.
https://doi.org/10.21930/rcta.vol2_num2_art:166

- Gómez, M. (2020). Reducción de las pérdidas de flujo de calor mediante el uso de aislantes térmicos. Departamento de Tecnología de Alimentos, 4-6.
- Gozález, A., Rodríguez, M. (2018). Integración y esquemas energéticos para el máximo aprovechamiento de la biomasa cañera en la generación de electricidad. Scielo. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_xt&pid=S2223-48612018000400003
- Gómez, A. . (2018). Materias primas usadas para la producción de Biomasa . Agrociencia , 12-23.
- Guachún, V. L. (2018). “Estudio de factibilidad de un sistema de energía renovable aplicado a un nodo de servicio de telecomunicaciones”. Cuenca- Ecuador .
- Ley Orgánica de Eficiencia Energética (2019, 19 de marzo). Asamblea Nacional República del Ecuador. Suplemento – Registro Oficial N° 449. <https://www.recursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/03/Ley-Eficiencia-Energe%CC%8itica.pdf>
- Marín, M. (2018). Modelación de la caña de azúcar en latinoamérica,Asdrúbal Farías,Fernando Villegas. Euroclima , 7- 24.
- Montanero Fernández, J. (2015). Manual abreviado de Análisis Multivariante, 8o.
- OMS, (2018) Departamento de Salud Pública, Medio Ambiente y Determinantes Sociales de la Salud, OMS <https://www.who.int/es/news/item/12-11-2014-who-sets-benchmarks-to-reduce-health-damage-from-indoor-air-pollution>
- ONU Medio Ambiente. (2018). Plásticos de un solo uso: Una hora de ruta para la sostenibilidad. Organización de las Naciones Unidas. <https://www.unep.org/es/resources/informe/plasticos-de-un-solo-uso-una-hoja-de-ruta-para-la-sostenibilidad>
- Rodríguez J (2019) Aprovechamiento de biomasa leñosa de medio rural del estado Yucatán mediante un proceso de gasificación, para producción de energía eléctrica. Centro de investigación Científica Yucatán.
- Trujillo R., (2020) Producción De Energía A Partir De La Biomasa: Una Revisión Sistemática. Universidad Santo Tomas Facultad De Ingeniería Ambiental Maestría En Tecnologías Limpias Bogotá.
- Useche, María; Artigas, wilelidys; Queipo, Beatriz y Edison Perozo (2019). Técnicas de Instrumentos de Recolección de Datos Cualitativos. Colombia. Universidad de la Guajira.
- Vargas, Y, Pazmiño, y J, Dávila, J (2021). Potencial de Biomasa en América del Sur para la Producción de Bioplásticos. Una Revisión. *Revista Politécnica*, 48(2), 7-20. <https://doi.org/10.33333/rp.vol48n2>.
- IfBB. (2020). Biopolymers facts and statistics 2019 (7a ed.). Institute for Bioplastics and Biocomposites. <https://www.ifbb-hannover.de/en/facts-and-statistics.html>
- Verdezoto L.,Parco F;Jácome J; ET AL. (2018) Universidad Estatal DE Bolívar, Guaranda Ecuador. Energía Renovable A Partir De La Biomasa De La Caña De Azúcar

Conflicto de intereses

Los autores declaran que este trabajo no presenta conflicto de intereses

