UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
FACULTAD CIENCIAS DE LA VIDA

CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

TÍTULO PARA OBTENER: INGENIERO AMBIENTAL

TEMA: ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LOS RESIDUOS AGRÍCOLAS MEDIANTE LA COMBUSTIÓN DIRECTA Y LA DIGESTIÓN ANAERÓBICA EN ECUADOR.

AUTORES: BRITO MERO MELANIE DAYANNA

ORTIZ RODRIGUEZ FRANCIS JONATHAN

TUTOR: M.Sc. KAREL DIÉGUEZ SANTANA.

PASTAZA – ECUADOR

2021

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Quienes suscriben **MELANIE DAYANNA BRITO** y **FRANCIS JONATHAN ORTIZ RODRÍGUEZ** con C.I. **1312506502** y **0503329120** respectivamente, hace constar que son autores del Trabajo de Integración Curricular titulado: **ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LOS RESIDUOS AGRÍCOLAS MEDIANTE LA COMBUSTIÓN DIRECTA Y LA DIGESTIÓN ANAERÓBICA EN ECUADOR.,** el cual constituye una elaboración personal realizada únicamente con la dirección del Tutor de dicho trabajo, **M.Sc. Karel Diéguez Santana**. En tal sentido, manifiesto la originalidad de la conceptualización del trabajo como interpretación de datos y elaboración de conclusiones dejando establecido que aquellos aportes intelectuales de otros autores se han referenciado debidamente en el texto de dicho trabajo.

En el cantón Pastaza, a los 8 Días del mes de enero de 2021.





Melanie Dayanna Brito Mero **Francis Jonathan Ortiz Rodríguez**

C.I.: 1312506502 **C.I.: 0503329120**

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR EL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Certificado No. 18-SAU-UEA-2021

Puyo, 12 de febrero de 2021

Por medio del presente **CERTIFICO** que:

El Trabajo de Integración Curricular correspondiente a los estudiantes BRITO MERO MELANIE DAYANNA con C.I. 1312506502; y ORTIZ RODRÍGUEZ FRANCIS JONATHAN con C.I. 0503329120, con el Tema: "Estimación del potencial energético de los residuos agrícolas mediante la combustión directa y la digestión anaeróbica en Ecuador.", de la carrera, Ingeniería Ambiental. Director de la investigación Ing. Karel Diegnez Santana, MSc., ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 1%, Informe generado con fecha 12 de febrero de 2021 por parte del director conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

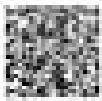
ITALO MARCELO

Ing. Italo Marcelo Lara Palco M.Sc.
ADMINISTRADOR DEL SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND – UEA - .

CERTIFICADO DE PORCENTAJE DE SIMILITUD OBTENIDO EN EL SISTEMA ANTI PLAGIO

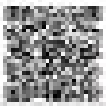
El tribunal de sustentación del proyecto de investigación y desarrollo aprueba el proyecto de Investigación/ Trabajo de Integración Curricular titulado:

"Estimación del potencial energético de los residuos agrícolas mediante la combustión directa y la digestión anaeróbica en Ecuador".



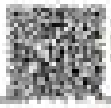
M.Sc. Edgar Chicaiza

Presidente del Tribunal



M.Sc. Danilo Sarabia

Miembro del Tribunal



M.Sc. Santiago Cuichan

Miembro del Tribunal

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Melanie Dayanna Brito Mero y Francis Jonathan Ortiz Rodríguez, declaramos que el presente proyecto de investigación, es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular**.**





Melanie Dayanna Brito Mero **Francis Jonathan Ortiz Rodríguez**

C.I.: 1312506502 **C.I.: 0503329120**

DEDICATORIA

Dedico la presente tesis:

A Dios por guiar, iluminar mi vida, bendiciéndome y dándome fuerzas en cada momento.

A mis padres Eduardo Brito y Maribel Mero quienes son mi inspiración, fortaleza para seguir y mi apoyo fundamental para lograr concluir de la mejor forma posible una meta propuesta, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer a las adversidades, pero sobre todo por depositar su confianza completa en mí.

A mi hermano Borys por su cariño y porque con su ejemplo de superación, esfuerzo y dedicación me ha enseñado a no rendirme ante dificultades que se me presenten.

A mi amigo y compañero de tesis por su apoyo incondicional en cada momento durante la carrera.

-Melanie Dayanna Brito Mero

DEDICATORIA

Este presente proyecto quiero dedicarlo a dios por cubrirme con su sabiduría, fortaleza y por acompañarme en los momentos en los que quise darme por vencido.

A mi madre por ser la persona que más ha luchado y a confiado en mí, el saber que cuento con ella no solo como madre si no como amiga y confidente me llena de satisfacción y me hace sentir seguro por ser la persona más amable y sincera que me acompaña a lo largo del camino de mi vida.

A mi hermana ya que es lo más valioso de mi casa por ella mi mama y yo luchamos incansablemente para que no le falte nada, siempre inculcándole valores y el prepararse para todo tipo de adversidades que se le presenten en el transcurso de su vida.

A mi pareja por su amor y cariño, pero sobre todo por el apoyo incondicional que me brinda por todos los consejos, por los momentos tanto buenos como malos que vivimos juntos, por el esfuerzo que realizamos para cumplir nuestras metas juntas.

A mi amiga y compañera de tesis por ayudarme tanto en el ámbito académico como personal, por darme una mano en momentos difíciles de verdad gracias por tu apoyo.

- Francis Jonathan Ortiz Rodríguez

AGRADECIMIENTO

El éxito es donde la preparación y la oportunidad se juntan. Bobby Unser.

Para lograr el cumplimento de esta etapa de gran importancia en mi vida he estado rodeada por personas que han dejado una huella en mi tanto personal como profesional por ello quiero iniciar agradeciendo a mis padres por todo el esfuerzo que ellos han realizado para que yo pueda ser una profesional.

A toda mi familia por brindar su positivismo y apoyo incondicional a lo largo de mi vida.

A mis amigos y amigas que han estado a lo largo de la universidad, gracias por esos buenos momentos, pero sobre todo por estar en los momentos difíciles, sin Uds. No hubiera sido lo mismo.

Un agradecimiento incondicional al M.Sc. Karel Dieguez tutor y guía en este proyecto de tesis, gracias por compartir e inculcar su conocimiento, pero principalmente por su paciencia a lo largo de todo este trayecto.

Y por último pero muy importante a todos los docentes que inculcaron sus conocimientos y profesionalismo a lo largo de la carrera de Ingeniería Ambiental.

-Melanie Dayanna Brito Mero

AGRADECIMIENTO

A veces la inteligencia no es más fuerte que la perseverancia.

Quiero agradecer a mi familia por el apoyo incondicional que me brinda.

A mi tutor Msc. Karel Dieguez por todos los conocimientos que me ha trasmitido para la realización de este proyecto, por su paciencia, dedicación y por su tiempo.

A mis amigos por todos sus concejos, apoyo y experiencias compartidas, a los docentes que a pesar de las dificultades que se presentaron para poder impartir clases utilizaron técnicas efectivas para poder compartir su conocimiento con cada uno de nosotros como estudiantes.

- **Francis Jonathan Ortiz Rodríguez**

RESUMEN

Una gran cantidad de residuos de biomasa se genera a partir de la producción de cultivos agrícolas que pueden ser empleados para la generación de energía renovable. Ecuador, por su ubicación geográfica y tradición cuenta con una gran diversidad de cultivos herbáceos, perennes, entre otros que generan volúmenes considerables de residuos de de biomasa agrícola. Basado en ello, este proyecto plantea estimar el potencial energético a partir de la combustión directa y la digestión anaeróbica en los residuos agrícolas presentes en Ecuador. Se consultaron las bases de datos de superficie agrícola de los últimos cinco años y se seleccionaron los 16 cultivos perennes más importantes en volúmenes de producción y superficie plantada en el país. Posteriormente, se calcularon las cantidades de residuos en función de las características físico-químicas y fracciones que se desechan de cada uno de ellos y a partir de valores se estimó el potencial energético de los procesos de Combustión directa y Digestión Anaeróbica. Los resultados obtenidos muestran que Ecuador presenta una generación de aproximadamente 142115 GJ de energía aplicando Combustión Directa y 44095535 GJ en energía utilizando Digestión Anaeróbica. El potencial aprovechamiento de estas cantidades de residuos permitiría reducir la contaminación atmosférica, disminuir los impactos ambientales por el vertido de los desechos de biomasa en el suelo, en cauces de agua superficiales y subterráneos. Adicionalmente, estos resultados pudieran contribuir como base para futuros proyectos de energías renovables a implementarse a nivel nacional.

Palabras claves: Biomasa, Cultivos perennes, Energía renovable, Residuos agrícolas

ABSTRACT

A large amount of biomass waste is generated from the production of agricultural crops that can be used to generate renewable energy. Ecuador, due to its geographical location and tradition, has a great diversity of herbaceous and perennial crops, among others, which generate considerable volumes of agricultural biomass waste. Based on this, this project aims to estimate the energy potential from direct combustion and anaerobic digestion of agricultural waste in Ecuador. Databases of agricultural surface area for the last five years were consulted and the 16 most important perennial crops in terms of production volumes and area planted in the country were selected. Subsequently, the quantities of waste were calculated according to the physical-chemical characteristics and fractions that are discarded from each one of them, and the energy potential of the Direct Combustion and Anaerobic Digestion processes was estimated from the values. The results obtained show that Ecuador has a generation of approximately 142115 GJ of energy using Direct Combustion and 44095535 GJ of energy using Anaerobic Digestion. The potential use of these quantities of waste would reduce atmospheric pollution and reduce the environmental impact of dumping biomass waste on the soil and in surface and underground watercourses. Additionally, these results could contribute as a basis for future renewable energy projects to be implemented at the national level.

Keywords: Biomass, Perennial crops, Renewable energy, Agricultural wastes

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I ..... - 14 -

1. Introducción ..... - 14 -

1.2. **Planteamiento del problema.** ..... - 16 -

1.3. **Objetivos.** ..... - 17 -

1.3.1. Objetivo general. ..... *- 17 -*

1.3.2. Objetivos específicos. ..... *- 17 -*

1.4. **Justificación.** ..... - 18 -

CAPITULO II ..... - 19 -

2. Fundamentación teórica. ..... - 19 -

2.1. Biomasa ..... *- 19 -*

2.2. Clasificación y composición de la biomasa ..... *- 19 -*

2.3. Análisis de cultivos agrícolas y Uso del Suelo en Ecuador ..... *- 20 -*

2.4. Principales procesos para la obtención de energía a partir de biomasa *.- 21 -*

2.5. Combustión directa ..... *- 21 -*

2.6. Digestión anaerobia ..... *- 21 -*

2.7. Energía en Ecuador ..... *- 22 -*

2.8. Consecuencias ambientales de los sistemas de energía basados en biomasa. ..... *- 22 -*

2.9. Criterios de Marco Legal en Ecuador. ..... *- 24 -*

CAPÍTULO III ..... - 27 -

3. Metodología de la investigación. ..... - 27 -

3.1. **Localización.** ..... - 27 -

3.2.**Tipo o diseño de investigación.** ..... - 28 -

3.3. **Métodos de investigación.** ..... - 28 -

3.3.1. Potencial de conversión de biomasa a energía. ..... *- 28 -*

3.3.2. Potencial de producción de biogás de cultivos agrícolas. ..... - *30* -

CAPÍTULO IV ..... - 33 -

4. Resultados y Discusión: ..... - 33 -

4.1. Residuos generados por cultivos: ..... - *34* -

4.2. Potencial energético-Combustión Directa y Digestión Anaeróbica ..... - *38* -

4.3. Estimación del potencial de generación de electricidad ..... - *40* -

4.4. Estudios futuros y barreras a la energía basada en biomasa ..... - *42* -

CONCLUSIONES ..... - 44 -

RECOMENDACIONES ..... - 45 -

REFERENCIAS ..... - 46 -

ANEXOS ..... - 56 -

ÍNDICE DE ILUSTRACIÓN Y FIGURAS

Ilustración 1 Ubicación del proyecto de titulación “Estimar el Potencial Energético de los residuos agrícolas mediante la combustión directa y la digestión anaeróbica en Ecuador”. ..... - 27 -

Figura 1 Producción de los principales cultivos en Ecuador en el periodo 2015-2019.... - 20 -

Figura 2 Producción Agrícola de cultivos permanentes 2015-2019..... - 33 -

ÍNDICE DE TABLAS Y ECUACIONES

Tabla 1 Residuos generados por cosecha ..... - 36 -
Tabla 2 Potencial Energético CD y DA ..... - 38 -
Tabla 3 Potencial Eléctrico ..... - 40 -

Ecuación 1 Cálculo del potencial energético para combustión directa ..... - 29 -
Ecuación 2 Cálculo para el bajo valor de calentamiento ..... - 29 -
Ecuación 3 Potencial energético total de las fuentes de biomasa para combustión directa ..... - 29 -
Ecuación 4 Potencial para la producción de biogás ..... - 30 -
Ecuación 5 Potencial de biometano de la biomasa lignocelulósica ..... - 30 -
Ecuación 6 Potencial técnico de metano de la fuente de biomasa ..... - 30 -
Ecuación 7 Potencial energético de la digestión anaerobia ..... - 31 -
Ecuación 8 Potencial energético total en las fuentes de biomasa para digestión anaerobia ..... - 31 -
Ecuación 9 Potencial eléctrico de biomasa ..... - 31 -
Ecuación 10 Potencial total de electricidad ..... - 32 -
Ecuación 11 Potencial de calor de una fuente de biomasa ..... - 32 -
Ecuación 12 Potencial de calor total ..... - 32 -

CAPÍTULO I

1. Introducción

La demanda energética es una de las problemáticas de gran interés debido a que su mayor apoyo son los combustibles fósiles lo que impide su sostenibilidad a largo plazo, este incrementa a medida que la población mundial y el desarrollo económico – social aumentan, se espera que la demanda energética en varios países incremente seis veces más durante este siglo es por tal motivo que se encuentra enmarcado en uno de los objetivos de desarrollo sostenible el garantizar el acceso a energía. Para lo cual se desarrollan energías renovables que se espera remplacen a los combustibles fósiles, según la IEA (2017) la contribución de las energías renovables a la demanda mundial de energía está aumentando en un 2,6% por año.

Una de las energías renovables que se está desarrollando es la energía de biomasa, esta es una de las alternativas neutra en carbono, utilizando residuo de todos los procesos de producción agrícola, agroindustriales, estos a nivel mundial han aumentado anualmente del 5 al 10% (Wang *et al.*, 2016)*.,* permitiendo se pueda emplear en diversas técnicas. Su uso como fuente energética crece constantemente debido a los beneficios que contiene su aplicación y a los iniciativos gubernamentales.

Para ir evolucionando en esta energía se han realizado estudios en el que se evalúa el potencial de biomasa a nivel local, regional y nacional en diferentes países. Por ejemplo, En Croacia se estimó el potencial de biomasa entre 3489 a 13,956 GWh, en esta investigación se evaluaron desiguales disponibilidades de biomasa agrícola, desechos agroindustriales, biomasa podada. Con la valoración obtenida se lograría reducir significativamente la dependencia de las importaciones de energía (Bilandzija *et al.*, 2018). En Asia, en la región de Sabah (Malasia), se estimó el potencial anual de energía de los residuos de la palma aceitera en 74,217 GWh, con un 99% de efectividad (Suzuki, Tsuji, Shirai, Hassan, y Osaki, 2017). Se estimó en 7 GW / año de energía renovable de diferentes instalaciones eléctricas ubicadas en América Latina y el Caribe lo que muestra una rápida transición a las energías renovables debido a los vastos recursos disponibles. (Morato, Vaezi, y Kumar (2019).

Cabe mencionar que en el período 2020 Ecuador, tuvo un consumo promedio de energía de 21.916,88 GWh con una producción de energía primaria de 32.033,18 GWh, misma que se adquirió de la generación de energía hidroeléctrica (24.691,89 GWh), leña y biomasa (423.90 GWh) (ARCONEL, 2020). Para lograr esta generación de energía renovables, y bioenergías se

han fomentado política gubernamental, estando enmarcada a partir del 2009 en el Plan Nacional del Buen Vivir, donde uno de los objetivos se enfoca en aprovechar las sinergias entre agricultura y bioenergía, con hincapié en la sostenibilidad. Además, En este contexto, el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca motiva a los agricultores a la producción de cultivos energéticos de primera, segunda y tercera de los cuales se adquiere biodiesel (Vega-Quezada, Blanco, y Romero, 2017).

Según Peláez Samaniego *et al.* (2015) para la producción de energía los principales residuos de cosecha y procesamiento potencialmente utilizables son de banano, palma aceitera, caña de azúcar, cacao, arroz y maíz. Aunque los resultados obtenidos del sector eléctrico en Ecuador, solo el bagazo de la caña de azúcar, los residuos del procesamiento de la palma aceitera y los residuos de la industria maderera (en pequeñas cantidades) se utilizan actualmente para la generación de electricidad y principalmente en los sistemas de cogeneración. Las empresas de servicio público generan energía a partir de la biomasa en un aproximado de 143 MW (Ponce-Jara, Castro, Pelaez-Samaniego, Espinoza-Abad, y Ruiz, 2018). De esta capacidad, 136,4 MW se ubican en la industria de la caña de azúcar, de la palma de aceite (2,2 MW), de los compuestos de madera (1 MW), la industria del etanol (0,3 MW) y los vertederos cerca de la ciudad de Cuenca (1 MW) (Ponce-Jara, Castro, Pelaez-Samaniego, Espinoza-Abad, y Ruiz, 2018). Cabe recalcar que la energía obtenida por las industrias se utiliza para autoconsumo, a excepción del biogás proveniente de los vertederos mismo que se vende al sistema de redes nacionales.

Producir energía a partir de la biomasa agrícola generaría resultados positivos, como aumentar la seguridad energética, diversificar el mix energético y, sobre todo, disminuir la dependencia actual de combustibles fósiles. Este proyecto de investigación tiene por objetivo estimar el potencial energético de la biomasa agrícola del país, recolectando la información sobre los principales residuos agrícolas permanentes, con los resultados obtenidos se proporcionará la información para que se promuevan proyectos de investigación en esta área y la aplicación de los mismos.

1.2. Planteamiento del problema.

Los combustibles fósiles son en la actualidad la base para generar energía, estos recursos mientras son extraídos y explotados se están agotando, además de generar altos valores de emisiones nocivas, que se derivan en problemáticas ambientales, calentamiento global y también económicas y sociales. Las necesidades energéticas se encuentran sujetas a las condiciones de crecimiento poblacional y a las principales fuentes de energía que se obtiene de los combustibles fósiles convencionales (por ejemplo, carbón, petróleo y gas natural) en todo el mundo, aunque estos no ofrecen sostenibilidad durante un período más largo, ya que no todos los países tienen abundantes reservas de combustibles fósiles (Mosaddek Hossen, Sazedur Rahman, Kabir, Faruque Hasan, y Ahmed, 2017).

De acuerdo con los objetivos del Marco 2030 para el Clima y la Energía y la segunda conferencia de la ONU sobre el cambio climático y el Acuerdo Climático de París, las fuentes renovables son una de las secciones más importantes ya que no solo permiten la autosuficiencia energética sino también ayuda a mitigar cambios climáticos debido a que reduce las emisiones de gases de efecto invernadero (Commision, 2016).

A nivel mundial, una de las iniciativas de mayor auge ha sido incrementar la producción de bioenergía como estrategia de seguridad energética y mitigación para el cambio climático. Siendo los recursos de biomasa una solución prometedora a los problemas relacionados con los recursos de energía térmica como el carbón, que son una fuente importante de contaminación ambiental (Cardoen, Joshi, Diels, Sarma, y Pant, 2015). En general, al sustituir el carbón por biomasa es posible lograr una disminución del 93% de la emisión neta de CO_2 por unidad de poder calorífico y una disminución del 84% de esta emisión mediante el uso del proceso de cogeneración en el que el gas natural se reemplazaría por biomasa (Eldabbagh, Ramesh, Hawari, Hutny, y Kozinski, 2005).

Es por tal motivo que este proyecto plantea estimar el potencial energético a partir de la combustión directa y la digestión anaeróbica en los residuos agrícolas presentes en Ecuador, el cual, al encontrarse ubicado en zona megadiversa, con variedad climas y ecosistemas, cuenta con una gran diversidad de cultivos herbáceos, perennes, entre otros, siendo los más frecuentes el cacao, caña de azúcar, café, palma africana. La estimación del potencial bioenergético puede presentar grandes beneficios para futuros proyectos de energías renovables, pues la información obtenida en esta investigación podrá ser empleada en la realización de trabajos o proyectos encaminados en diversas alternativas energéticas sustentables.

*1.3.*Objetivos.

1.3.1. Objetivo general.

Estimar el potencial energético de los residuos agrícolas mediante la combustión directa y la digestión anaeróbica en Ecuador.

1.3.2. Objetivos específicos.

- Recolectar información sobre la disponibilidad de los residuos agrícolas generados en Ecuador.
- Determinar el potencial energético de la biomasa agrícola disponible a partir de residuos en Ecuador
- Estimar el potencial de generación de electricidad y otros usos de la energía de los residuos de biomasa agrícola como combustible a nivel nacional

1.4. Justificación.

El mundo en general está preocupado por el agotamiento de los combustibles fósiles, consumo energético, el constante crecimiento mundial; pero más aún por el cambio climático, lo que ha descubierto la importancia de añadirle valor a la biomasa, lo que implica oportunidades de negocio (Elbersen, 2013). La biomasa es la fuente de energía renovable más empleada, y su aplicación aumenta constantemente. El potencial mundial de biomasa para 2050 se estima en 1500 EJ, de los cuales aproximadamente 200–500 EJ podrían ser explotados de manera sostenible, lo que representa el 40–50% de la demanda estimada de energía primaria (Gutiérrez, Eras, Hens, y Vandecasteele, 2020, p. 5).

La economía ecuatoriana depende en gran medida de los combustibles fósiles, sin embargo, es posible aminorar esta dependencia si se considera a la biomasa proveniente de residuos agrícolas de la producción de cultivos entre los que se destacan el banano, café, caña de azúcar, palma africana y cacao como una potencial fuente de energía (Serrano, Mejía, Ortiz, Sánchez, y Zalamea, 2017). De los residuos orgánicos provenientes de las agroindustrias se pueden obtener una gran variedad de biocombustibles, generados a partir de la digestión anaerobia o combustión directa, que son procesos competentes y prometedores, lo cual permitirá un incremento económico, además de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero evitando el calentamiento global y reduciendo las cantidades de biomasa desperdiciada.

CAPÍTULO II

2. Fundamentación teórica.

La agricultura desempeña un papel importante en la transición hacia la energía limpia, y necesita alejarse de las prácticas agrícolas insostenibles social y ambientalmente (Sutherland, Peter, y Zagata, 2015), para así lograr implementar los residuos de esta en las prácticas para generar energía. A continuación, se tratarán puntos de interés sobre el tema:

2.1.Biomasa

La biomasa, considerada una fuente de energía renovable neutra en carbono, según Bilandzija *et al.* (2018) el uso de biomasa para energía involucra principalmente biomasa leñosa, existe una demanda de biomasa de origen agrícola. La materia prima agrícola sólida incluye: residuos de cultivos herbáceos, biomasa podada, residuos agroindustriales y biomasa obtenida por cultivos energéticos (Arteaga-Pérez, Segura, y Santana, 2016). Logrando producir de calor, electricidad, biosólidos (p. ej., pellets), biolíquidos (p. ej., biodiésel) y biogás. Las tecnologías más comunes son la combustión en calderas y digestión anaeróbica. Otras tecnologías menos maduras de la biomasa incluyen la gasificación y pirólisis (Morato, Vaezi, y Kumar, 2019).

2.2.Clasificación y composición de la biomasa

De acuerdo a su procedencia, según Serrano, Mejía, Ortiz, Sánchez, y Zalamea (2017) la biomasa puede clasificarse en:

a) Biomasa natural: se genera de forma espontánea en ecosistemas naturales, por ejemplo, bosques.
b) Biomasa residual: son aquellos subproductos derivados de las actividades agrícolas, ganaderas, humanas y forestales. Esta a su vez puede clasificarse en:
    - Biomasa residual seca: se produce por la actividad agrícola, forestal, industria agroalimentaria e industria maderera.
    - Biomasa residual húmeda: se conforma por los vertidos biodegradables, como son las aguas residuales e industriales incluidos los residuos agrícolas.

Cabe mencionar que todos los tipos de biomasa se conforman en su mayoría de celulosa, hemicelulosa y lignina, y su composición pueden variar dependiendo del tipo de planta.

2.3.Análisis de cultivos agrícolas y Uso del Suelo en Ecuador

La agricultura es un sector importante de la economía ecuatoriana que representa aproximadamente el 29.4% del empleo total y el 8% del PIB. De 12.3 millones de hectáreas de la superficie total de Ecuador, la superficie dedicada a la agricultura constituye 5.1 millones de hectáreas, de las cuales de ellas 1.4 millones hectáreas son cultivos Permanentes, 769 hectáreas de Cultivos Transitorios y Barbecho, de descanso 219 hectáreas, Pastos Cultivados 1.9 millones de hectáreas, como Pastos Naturales 915 hectáreas, Páramos 270 hectáreas, Montes-Bosques 6 millones hectáreas y Otros Usos 662 hectáreas, respectivamente. (ESPAC, 2019, p. 5)

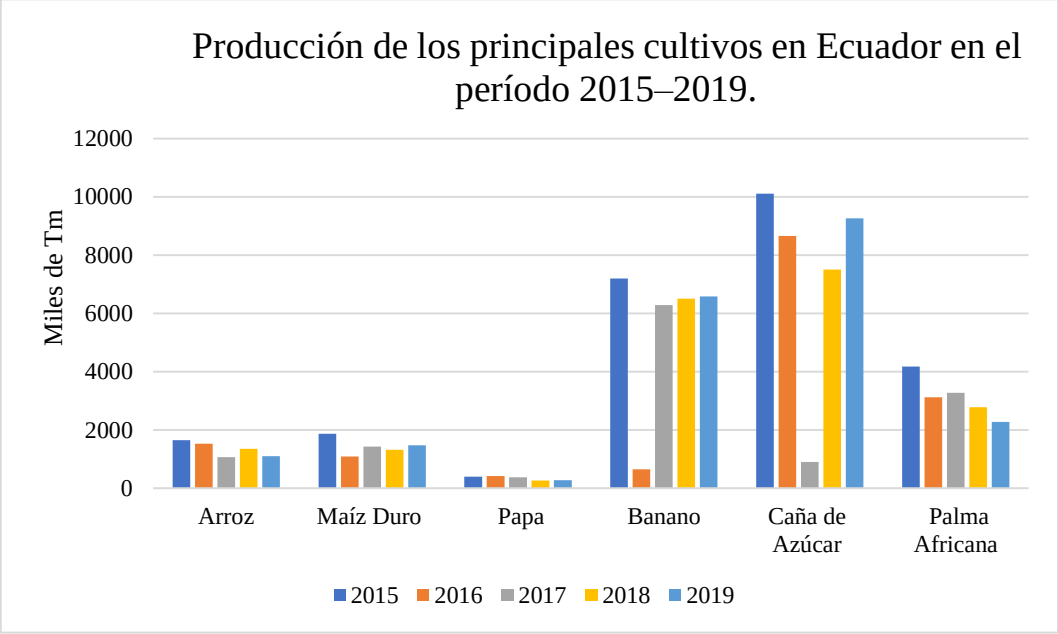


Figura 1 *Producción de los principales cultivos en Ecuador en el periodo 2015-2019.*

La mayor parte de los residuos de cultivos proviene de Caña de Azúcar y Banano, que son las especies predominantes de los cultivos (Soto-Cabrera *et al.*, 2020). La cantidad de cosecha resida es de aproximadamente 10 millones de t/año. Se estima que un tercio del total de residuos de cultivos se puede utilizar con fines energéticos.

Algunos de los residuos para la producción de energía en Ecuador han sido estudiados por MEER (2015), por ejemplo, la caña de azúcar para la adición de bioetanol en la gasolina regular, principalmente en la ciudad de Guayaquil. También, se ha potenciado el uso del aceite de piñón (*Jatropha curcas*) en las Islas Galápagos. Otro estudio realizado con residuos agrícolas en el cual se analiza el potencial bioenergético es en residuos de cacao mediante

digestión anaeróbica, con rendimientos promedio de metano de 174 (húmedo) y 193 (seco) L/kg de sólidos volátiles alimentados, lo que demuestra el potencial de los residuos de cacao como fuente de energía renovable en las zonas rurales (Acosta *et al.*, 2018).

Residuos de poda de árboles como el árbol lechero (*Euphorbia laurifolia* L.) y el ficus (*Ficus benjamina*), se han caracterizado y analizado las potencialidades de ser empleados como materia prima para biocombustible, con valores caloríficos de 19 MJ / kg (Pérez-Arévalo y Velázquez-Martí, 2018; Velázquez-Martí, Gaibor-Chávez, Niño-Ruiz, y Narbona-Sahuquillo, 2018).

2.4.Principales procesos para la obtención de energía a partir de biomasa

Los principales procesos de obtención de energía de la biomasa incluyen combustión directa, pirólisis, gasificación, hidrogasificación, licuefacción, digestión anaeróbica, fermentación alcohólica y transesterificación. Cada tecnología tiene sus propias ventajas, según la fuente de biomasa y la forma de energía necesaria (Bridgwater, Toft, y Brammer, 2002). La combustión es la tecnología más importante utilizada para producir calor y energía a partir de biomasa. Es un proceso con una serie de beneficios económicos y ambientales (Erol, Haykiri-Acma, y Küçükbayrak, 2010). En general, se recomienda que la planta eléctrica de biomasa y el punto de generación de materia prima se encuentren a una distancia de 80 km (Luo, van der Voet, y Huppes, 2010).

2.5.Combustión directa

La combustión de biomasa se considera una alternativa sostenible a los combustibles fósiles, son desarrollos constantes de tecnologías para mejorar su eficiencia y desempeño ambiental (Brown, 2019). Aunque este proceso, emite gran variedad de contaminantes, que son difíciles de depurar (Koppejan y Van Loo, 2012).

2.6.Digestión anaerobia

La digestión anaeróbica es un proceso biológico complejo y degradativo el cual incluye cuatro pasos (es decir, hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis) para producir biogás (es decir, una mezcla de CH_4 y CO_2)(Cárdenas, Maldonado, Valdez, Sarduy-Pereira, y Diéguez-Santana, 2019). El proceso se desarrolla en tanques de fermentación en ausencia de oxígeno. En algunos casos, el sustrato se trata previamente para mejorar el rendimiento de metano. El biogás se usa para producir calor y energía, mientras que el subproducto del

digestato se puede usar como fertilizante o como una enmienda del suelo (Mayer, Bhandari, y Gäth, 2019; Soto-Cabrera, Panimboza-Ojeda, Ilibay-Granda, Valverde-Lara, y Diéguez-Santana, 2020)

- **Hidrólisis:** Esta etapa consiste en solubilizar los compuestos orgánicos en enzimas excretadas por bacterias hidrolíticas que se consideran exoenzimas las cuales actúan en el exterior celular. Por ellos se da la conversión de los polímeros a sus correspondientes monómeros (Acosta & Abreu, 2005).
- **Acidogénesis:** Este proceso es similar al anterior, aquí se comprende en convertir los compuestos orgánicos solubles en ácidos orgánicos como acético, propiónico y butírico, para su aprovechamiento correspondiente (Acosta & Abreu, 2005).
- **Metanogénesis:** produce el CH_4 a partir del ácido acético o de las mezclas entre H_2 y CO_2, también pueden formarse a partir de sustratos como el ácido fórmico y el metanol. El sustrato disponible permite definir el rol que tendrán las bacterias metanogénicas (Acosta & Abreu, 2005).

2.7. Energía en Ecuador

Según el Informe de energía de Ecuador (ARCONEL, 2020), en el período 2019 el consumo promedio de energía fue de 21.916,88 GWh con una producción de energía primaria de 32.033,18 GWh; en el mismo período la importación promedio de energía ascendió a 6.93 GWh, mientras que 815 GWh fue la exportación promedio de energía. Del total de energía consumida, aproximadamente el 12.03 % se importó, mientras que 87.97% de la energía primaria se produjo en Ecuador (una parte de la producción de energía primaria se incluye en la energía exportada). Estos datos ponen de manifiesto que Ecuador es un país que depende de la energía y que exige aumentar la producción de energía para lograr la estabilidad energética y mejorar su autosuficiencia energética. En Ecuador de la producción total de energía primaria, se obtiene energía hidroeléctrica (24.691,89 GWh) y leña y biomasa (423.90 GWh), esta última se obtuvo de dos centrales que se encuentran ubicadas en las provincias de Guayas y Cañar.

2.8.Consecuencias ambientales de los sistemas de energía basados en biomasa.

La agricultura es el segundo mayor emisor de gases de efecto invernadero (GEI) (es decir, aproximadamente 21% de las emisiones globales) (FAOSTAT, 2016). Estas emisiones

provienen principalmente de la deforestación, la cría de ganado, los cambios en el uso del suelo, el manejo de nutrientes, la maquinaria agrícola y la incineración de biomasa (Liu et al., 2017). Aunque se estima una reducción del 80–88% de GEI para 2030 (Khan, Ali, y Ashfaq, 2018). A pesar que los impactos ambientales de la combustión de biomasa están lejos de ser insignificantes, se considera una alternativa sostenible a los combustibles fósiles, con desarrollos constantes de tecnologías para mejorar su eficiencia y desempeño ambiental (Brown, 2019).

Según Brown (2019) y Koppejan y Van Loo (2012) la combustión de biomasa emite contaminantes como partículas, CO, HC, NO_X, SO_X, dioxinas y furanos, que impactan a:

- Nivel local: con emisiones de partículas y otros contaminantes de la combustión incompleta.
- Nivel regional: con las emisiones de NO_X y SO_X causando lluvias ácidas
- Nivel global: con las emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes que agotan el ozono.

Del mismo modo, la presencia de metales pesados en los desechos sólidos municipales y combustibles derivados de desechos (por ejemplo, Cu, Pb, Cd, Hg, Cd, Se, Zn) que se evapora durante la combustión o termina en las cenizas, tiene implicaciones ambientales (Brown, 2019; Koppejan y Van Loo, 2012). Estas cenizas pueden usarse como aglutinante en la producción de concreto (Yin, Ahamed, y Lisak, 2018).

La digestión anaerobia (EA) se considera más respetuosa con el medio ambiente que la combustión directa y los vertederos (Liikanen, Havukainen, Viana, y Horttanainen, 2018). El digestato resultante que es rico en nutrientes (por ejemplo, nitrógeno, potasio, fósforo, etc.) puede usarse como fertilizante, aunque la presencia de metales pesados podría evitar estas aplicaciones (Quishpe-López, Lliguicota-Guarquila, Sarduy-Pereira, y Diéguez-Santana, 2020). Los metales pesados se pueden extraer y recuperar con el uso de ácidos (Vaneeckhaute, Darveau, y Meers, 2019). En general, los digestatos de los desechos agrícolas (por ejemplo, estiércol, desechos de cultivos, etc.) se pueden usar directamente como fertilizantes (Peng *et al.*, 2020). Las alternativas como la pirólisis o el tratamiento con ácido están disponibles para las fracciones líquidas y sólidas de digestato (Peng y Pivato, 2019).

*2.9.*Criterios de Marco Legal en Ecuador.

La Constitución República del Ecuador (Oficial, 2008) dispone:

> En el **artículo 14** que el Estado 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.
>
> **Art. 15 y 413.-** Manifiestan similitud en el siguiente enunciado: 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. La soberanía energética no afectará a la disponibilidad de la soberanía alimentaria, ni alterará el derecho al agua.
> Finalmente, el **artículo 414** dispone que el Estado adoptará medidas adecuadas y transversales para la mitigación del cambio climático, mediante la limitación de las emisiones de gases de efecto invernadero, de la deforestación y de la contaminación atmosférica; recibirá medidas para la conservación de los bosques y la vegetación, y defenderá a la población en riesgo.

CODA (Asamblea-Nacional, 2019), dispone:

> LIBRO III: TÍTULO VII GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS Y DESECHOS REGLAMENTO / CAPÍTULO IDISPOSICIONES GENERALES
>
> **Art. 561.- Principios. -** El ejercicio de la gestión integral de residuos y desechos, asimismo aquellos establecidos en el Código Orgánico del Ambiente, se regirá por los siguientes principios:
>
> a) Corrección en la fuente
> b) Minimización en la fuente.
> c) Responsabilidad común pero diferenciada.
> d) De la cuna a la cuna.
> e) Consumo de bienes y servicios con responsabilidad ambiental y social.
>
> **Art. 562.-** Políticas generales de la gestión integral de los residuos y desechos. - son políticas generales para la gestión integral de residuos y desechos, las siguientes:

a) Fomento al desarrollo de iniciativas nacionales, regionales y locales, públicas, privadas y mixtas, para la gestión de residuos y desechos;

b) Fortalecimiento y fomento a la asociatividad, los circuitos alternativos de comercialización de los residuos, las cadenas productivas, negocios inclusivos y el comercio justo, priorizando la promoción de la economía popular y solidaria;

c) Promoción de la incorporación transversal del reciclaje inclusivo en los distintos niveles de gobierno.

CAPÍTULO III GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS Y DESECHOS SÓLIDOS NO PELIGROSOS- SECCIÓN 4ª APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS NO PELIGROSOS PARA LA INDUSTRIA

Art. 602.- Aprovechamiento para producción de energía. - Los generadores industriales, de manera debidamente justificada, podrán arbitrar en su Programa de Aprovechamiento el uso de materia prima para la generación de energía, lo cual será analizado y aprobado de forma excepcional, bajo los criterios señalados por la Autoridad Ambiental Nacional en la norma secundaria correspondiente.

TÍTULO IX PRÓDUCCION Y CONSUMO SOSTENIBLE

Art. 668.- Estrategia Nacional de Producción y Consumo Sostenible. - La Autoridad Ambiental Nacional elaborará la Estrategia Nacional de Producción y Consumo Sostenible que entremeterá los lineamientos para incentivar hábitos de producción y consumo sostenible, entre los que se deslumbrarán los siguientes criterios:

a) Optimizar el uso de recursos naturales y un crecimiento económico sostenible;

b) Fomentar la eficiencia energética y el uso de energías renovables, de acuerdo a la política nacional en materia energética;

c) Prevenir y minimizar la generación de emisiones y residuos contaminantes al ambiente, considerando el ciclo de vida del producto, así como promover la sustitución de materiales por otros menos contaminantes;

d) Impulsar el desarrollo de productos y servicios que generen el menor impacto ambiental, y contribuyan a la equidad social y el desarrollo económico;

e) Minimizar la generación de desechos y promover el aprovechamiento de residuos en concordancia con la Política Ambiental Nacional, el Plan Nacional de Inversiones Ambientales y demás políticas públicas aplicables, en relación a bioeconomía, economía circular, ciclo de vida del producto, ecología industrial y procesos de cuna a cuna;

LIBRO CUARTO CAMBIO CLIMÁTICO: CAPÍTULO II ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

Art. 673.- Sectores priorizados para la adaptación al cambio climático. - Las entidades competentes de los sectores priorizados para la adaptación en la Estrategia Nacional de Cambio Climático, y los diferentes niveles de gobierno, en el ámbito de sus competencias, promoverán el diseño y la elaboración de políticas, planes, programas, proyectos y medidas de adaptación, en los sectores establecidos por la Estrategia Nacional de Cambio Climático.

CAPÍTULO III MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Art. 677.- Medidas de Mitigación. - Se considerarán medidas de mitigación aquellas que reducen las emisiones de gases de efecto invernadero o promueven el incremento de los sumideros de carbono. Las medidas de mitigación deberán establecer los escenarios de línea base y los escenarios de mitigación que demuestren la efectiva reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, y para su desarrollo se deberán tomar en cuenta los criterios establecidos en el Código Orgánico del Ambiente, así como otros que determine la Autoridad Ambiental Nacional.

CAPÍTULO III

3. Metodología de la investigación.

*3.1.*Localización.

El presente trabajo de investigación se desarrolla en Ecuador el cual se encuentra ubicado en región noroccidental de América del Sur, compuesto por veinticuatro provincias; ocupando un área de 256 370 km². Es un país con algo más de diecisiete millones de habitantes, el país posee una variedad climática amplia, pues su ubicación geográfica (zona ecuatorial), su orografía (la presencia de los Andes) han determinado al menos 11 tipos de climas diferentes.



Ilustración 1 *Ubicación del proyecto de titulación "Estimar el Potencial Energético de los residuos agrícolas mediante la combustión directa y la digestión anaeróbica en Ecuador".*

Fuente: *Compilado por el Instituto Geográfico Militar*

3.2. Tipo o diseño de investigación.

La indagación del proyecto se basa en el lineamiento establecido por la Universidad Estatal Amazónica: Gestión y Conservación Ambiental y se define toda la investigación con base a la información bibliográfica en artículos científicos referente a los ítems principales para la valoración del potencial energético de los desechos agrícolas a través de la digestión anaeróbica y combustión directa.

El desarrollo de la presente investigación será cuantitativo con un alcance descriptivo, ya que se realizará la utilización de diferentes variables, describiendo las que se encuentran en estudio con el objetivo de medir o recoger información de manera independiente o conjunta, buscando especificar propiedades, características y rasgos importantes del tema a tratar.

3.3. Métodos de investigación.

Para lograr el cumplimiento del objetivo principal propuesto en esta investigación es indispensable tener las estadísticas relacionada a la superficie producción y ventas para cultivos permanentes en la que se tomaran los 16 cultivos debido a su importancias tanto en producción como en plantaciones en el país estos datos se obtuvieron del INEC y de la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC), así como también el uso de fuentes de información verídicas, que contribuyeron a la investigación es decir documentos que corroboran los datos obtenidos.

Se empleó los criterios metodológicos empleados por (Gutiérrez, Cabello Eras, Hens, & Vandescasteele, 2020), para estimar el potencial energético de los residuos de biomasa agrícola, agroindustrial, ganadera y del sacrificio de animales en Colombia. A continuación, se describe la metodología a emplearse para el cálculo del potencial energético disponible en los residuos agrícolas.

3.3.1. Potencial de conversión de biomasa a energía.

Hay muchas opciones para convertir los desechos en energía a partir de fuentes de biomasa, que se dividen en procesos termoquímicos y procesos de conversión biológica. La selección de la tecnología adecuada depende de las características y propiedades de la biomasa (es decir, humedad, valor calorífico, etc.). En general, para fuentes de biomasa con una humedad de más del 50 %, es más necesario un proceso de biotransformación (por ejemplo, la digestión anaeróbica). De lo contrario, los procesos termoquímicos (como la quema de biomasa) son una mejor opción (Bardiya, Somayaji, y Khanna, 1996). Tecnologías como la combustión directa

y la digestión anaeróbica tienen mayor madurez que la pirólisis, la gasificación y la fermentación (IEA, 2017).

El calor generado durante la combustión directa (incineración) puede usarse para producir electricidad o directamente en otros procesos (Mayer, Bhandari, y Gäth, 2019). En general, la combustión directa representa más del 80% de los estudios de caso de conversión de residuos en energía discutidos en la literatura (Astrup, Tonini, Turconi, y Boldrin, 2015). El potencial energético de las fuentes de biomasa adecuadas para la combustión directa se calculó mediante la ecuación 1.:

$$\boldsymbol{WEDCi = Mi * LHWw.b_i}$$

Ecuación 1 *Cálculo del potencial energético para combustión directa*

dónde:

W_{EDCi} - Potencial energético de la combustión directa de la fuente de biomasa i (GWh).

Mi- Fuente de biomasa disponible i (millones de t).

LHWwb- Bajo valor de calentamiento en base húmeda de la fuente de biomasa i (GWh / millón t).

El poder calorífico inferior o bajo valor de calentamiento (LHV) estaba directamente disponible de la literatura para algunas fuentes de biomasa producidas en Ecuador, otras, no presentes, fue necesario tomarlas de la literatura que hace referencia a otros países y al alto valor de calentamiento (HHV), y el contenido de humedad (H) se utilizó para calcular el LHV como proponen (Boundy, Diegel, Wright, y Davis, 2011) y muestra la ecuación 2.

$$\boldsymbol{LHVw.b = HHVd.b * (1 - H) - 2.447 * H}$$

Ecuación 2 *Cálculo para el bajo valor de calentamiento*

Donde:

wb y db representan base húmeda y base seca.

El potencial energético total de las fuentes de biomasa adecuadas para la combustión directa se obtuvo mediante la Ecuación 3.

$$\boldsymbol{WE.CD = \sum_1^i WECDi}$$

Ecuación 3 *Potencial energético total de las fuentes de biomasa para combustión directa*

Dónde:

WE_{CD} es el potencial energético total de la fuente de biomasa i (GWh).

3.3.2. Potencial de producción de biogás de cultivos agrícolas.

Las recomendaciones de la Asociación Europea de Biomasa, determinó el potencial para la producción de biogás a partir de cultivos agrícolas proporcionados directamente para la energía en Ecuador. La cantidad de potencial de producción de biogás se determinó mediante la ecuación 4.

$$\boldsymbol{P = 0,05 * A * B * C}$$

Ecuación 4 *Potencial para la producción de biogás*

Donde:

P: es el potencial de biogás (m^3/año);

A: la tierra cultivable total (ha);

B: el Rendimiento de materia seca (MS) por ha

C: el Rendimiento de Biogás (m^3 /tonelada de MS).

En cuanto a la digestión anaerobia incluye cuatro pasos (es decir, hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis) para producir biogás (es decir, una mezcla de CH_4 y CO_2)" (Mayer, Bhandari, y Gäth, 2019). El potencial de biometano (BMP) de la biomasa lignocelulósica se calculó como propone Thomsen, Spliid, y Østergård (2014) y muestra la ecuación 5.

$$\boldsymbol{BMPi = 378 * XCi + 354\, xXHi - 194 * XLi + 313 * XRi}$$

Ecuación 5 *Potencial de biometano de la biomasa lignocelulósica*

Dónde:

BMPi: Potencial bioquímico de metano de fuente de biomasa. (L/kgSV)

XCi: Fracción de celulosa de la fuente de biomasa.

XHi: Fracción de hemicelulosa de la fuente de biomasa.

XLi: Fracción de lignina de la fuente de biomasa.

XRi: Fracción de los restantes componentes de la biomasa de la fuente de biomasa.

El potencial técnico de metano (es decir, el biometano que se puede producir técnicamente) se calculó considerando la energía utilizada para precalentar la materia prima, incluyendo un 10% por las pérdidas de calor de precalentamiento según (Wang, Jena, y Das, 2018) y puede apreciarse en la ecuación 6.

$$\boldsymbol{TMPi = BMPi - \frac{\sum_1^j 1.1 * Mi * cp * (Tr - To)}{LHV\ CH4}}$$

Ecuación 6 *Potencial técnico de metano de la fuente de biomasa*

Dónde.

TMPi: Potencial técnico de metano de la fuente de biomasa i. (m^3/t biomasa)

Cp: Calor específico de materia prima (4.2 kJ/kg °C)

Tr: Temperatura de funcionamiento del digestor (°C).

T_0: Temperatura atmosférica media (°C).

LHV_{CH4}: Valor bajo de calentamiento del metano (kJ/m^3).

La ecuación antes mencionada resta la pérdida de energía en el digestor a la BMP de biomasa. El potencial energético de la digestión anaerobia de una fuente de biomasa se obtuvo mediante la ecuación 7.

$$\boldsymbol{WE.ADi = Mi * TMPi * LHVCH_4}$$

Ecuación 7 *Potencial energético de la digestión anaerobia*

Dónde:

WEADi: Potencial energético de la digestión anaerobia de la fuente de biomasa (GWh).

Para obtener el potencial energético total que poseen las fuentes de biomasa disponibles de la digestión anaerobia se aplicó la fórmula:

$$\boldsymbol{WE.AD = \sum_{1}^{i} WE.ADi}$$

Ecuación 8 *Potencial energético total en las fuentes de biomasa para digestión anaerobia*

El potencial eléctrico de biomasa se calculó según los criterios de Pöschl, Ward, y Owende (2010), eficiencia eléctrica del 28% para la combustión directa y del 30% para la digestión anaerobia mientras, que la tecnología de autoconsumo se consideró como el 20% de la electricidad producida según Dong *et al.* (2018).

$$\boldsymbol{Welect.Xi = 0.8 * (Mi * WE.Xi * \eta_{elect})}$$

Ecuación 9 *Potencial eléctrico de biomasa*

Dónde:

Welect Xi: Potencial de electricidad por combustión directa (X = CD) o digestión anaeróbica (X = DA) para la fuente de biomasa i (GWh).

WE.Xi : Potencial energético de la combustión directa (X = CD) o la digestión anaeróbica (X = DA) para la fuente de biomasa i (GWh).

ηelecto - Eficiencia eléctrica.

El potencial total de electricidad se calculó mediante la ecuación 10.

$$\boldsymbol{Welect.X} = \sum_{\mathbf{1}}^{\boldsymbol{i}} \boldsymbol{Welect.Xi}$$

Ecuación 10 *Potencial total de electricidad*

Donde:

Welect.X: Potencial de electricidad total de la combustión directa (X = DC) o la digestión anaeróbica (X = DA).

Mientras la ecuación 11, se empleó para obtener el potencial de calor de cada fuente de biomasa.

$$\boldsymbol{Wcalor.Xi} = \boldsymbol{WE.Xi} * \boldsymbol{\eta_{térmica}}$$

Ecuación 11 *Potencial de calor de una fuente de biomasa*

Dónde:

Wcalor X_i: Potencial de calor de la combustión directa (X = DC) o la digestión anaeróbica (X = DA) para la fuente de biomasa i (GWh).

$\eta_{térmica}$: Eficiencia térmica.

Por su parte, el potencial de calor total se calculó con la ecuación 12.

$$\boldsymbol{Wcalor\ X} = \sum_{\mathbf{1}}^{\boldsymbol{i}} \boldsymbol{Wcalor\ Xi}$$

Ecuación 12 *Potencial de calor total*

Dónde:

Wb: Base húmeda

db: Base seca

Wcalor.X: Potencial de calor total de la combustión directa (X = DC) o digestión anaerobia (X = DA) de las fuentes de biomasa disponibles (GWh)

CAPÍTULO IV

4. Resultados y Discusión:

La agricultura en el país es de gran importancia para su crecimiento debido a su aporte en la economía y también en la seguridad alimentaria de la nación. Su funcionamiento produce residuos que, dada su composición física-química, se convierten en un material de interés para ser empleado en diversos procesos (Riera, Maldonado, y Palma, 2019).

En el sector agrícola, se registraron 37 cultivos principales para el año 2019 con una producción total aproximado de los 25004 millones de toneladas (MAG, 2019). Aunque para el estudio se consideraron sólo los cultivos permanentes los cuales son dieciséis (Anexo1), estos cultivos tienen 1.4 millones de hectáreas que ocupan para su desarrollo. A continuación, se muestra en la gráfica la producción de los cultivos desde el año 2015 hasta el 2019.

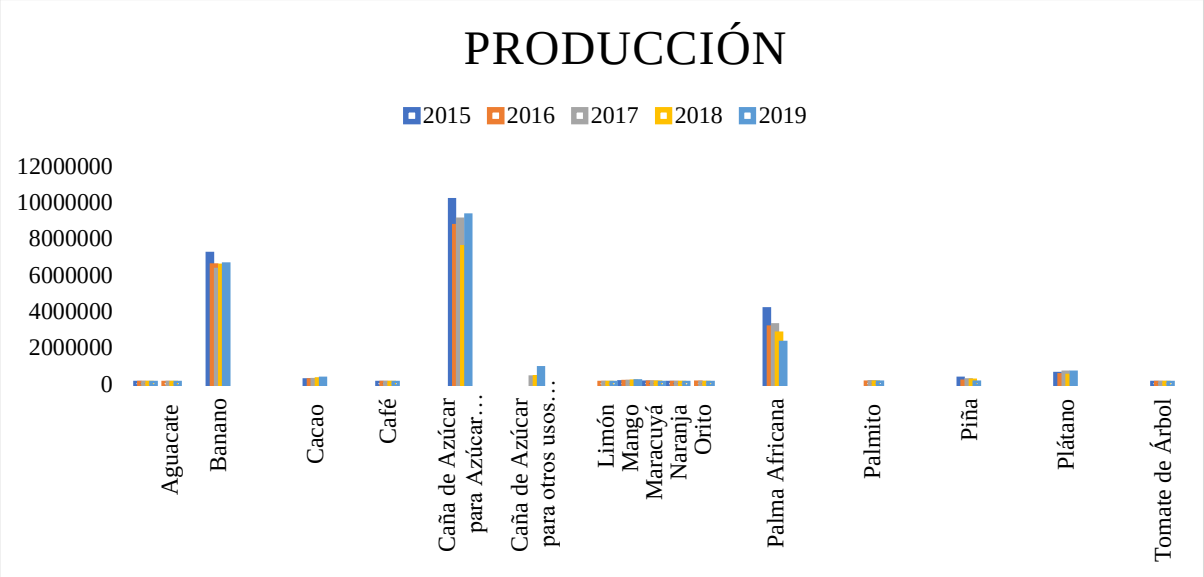


Figura 2 *Producción Agrícola de cultivos permanentes 2015-2019*

En la producción de cultivos agrícolas permanentes en el año 2019, encontrándose entre los primeros son: La caña de azúcar 9,25,7700 t, seguida por el banano 6,55,5720 t y la palma aceitera 2,23,1644 t, estos tres tipos de cultivos son los más utilizados en Ecuador por su grado de aplicabilidad en las industrias y su exportación e importación, mientras que los que presentan menor grado de producción dentro de ese año son los cítricos (el limón 13,084t y la naranja 17,473t).

Cabe mencionar que cada tipo de cultivo generan diferentes tipos de residuos y estos se pueden clasificar en: Residuos Agrícolas de Campo (RAC) constituyen la biomasa resultante de las actividades de campo (residuos de cuesco, frutos, hojas y tallos de descarte de cosechas) y Residuos Agrícolas Industriales (Suzuki, Tsuji, Shirai, Hassan, y Osaki, 2017), son aquellos que se originan en la agroindustria (pulpa de frutas y vegetales, cáscara de frutas y vegetales, aguas de lavado de vegetales y aceites vegetales) (Torres, 2019).

*4.1.*Residuos generados por cultivos:

- Aguacate *(Persea americana*): Durante el procesamiento industrial del aguacate, las semillas, las cáscaras, pero también la pulpa agotada se descartan como residuos sólidos, representando del 21% hasta el 30% en peso del fruto (Páramos, Granjo, Corazza, y Matos, 2020)
- Banano (*Musa Paradisiaca*) y plátano *(Musa spp)*: En la fábrica llega la materia prima en forma de racimos que llevan el fruto, unido al raquis. Un racimo consta de 60% de fruto, 25% cáscara y 15% raquis, del cual se utiliza el fruto. Aunque la planta del banano es más corpulenta que la del plátano, se consideran los mismos porcentajes para ambos (Torres, 2019).
- Cacao *(Theobroma cacao L)*: En la industria del cacao se desperdician grandes cantidades de materiales diferenciados de manera significativa. En el residuo industrial se encuentra la cascarilla y en el residuo agrícola están la cáscara y el mucílago (Parra et al.,2018). La cascarilla se obtiene después de secar, fermentar y tostar el grano y representa cerca del 12% de la semilla (Torres, 2019)
- Café *(Coffea arabica)*: En el proceso de cultivo e industrialización del café, solamente se aprovecha el 5% del peso del fruto fresco en la preparación de la bebida, el 95% restante está representado por residuos como cascara de mazorca, mazorca descartada, poda (Fernández-Cortés, Sotto-Rodríguez, y Vargas-Marín, 2020).
- Caña de azúcar *(Saccharum officinarum)*: En el procesamiento de la caña se genera principalmente el bagazo verde, el cual se ubica entre un 37 y 42%, dado que se obtienen entre 580 a 630 kg de jugo por tonelada procesada (Torres, 2019).
- Limón *(Citrus limón)* y Naranja *(Citrus sinensis)*: Se estima que entre un 40 y 45% de la fruta que ingresa a la fábrica, la conforma cáscara y semilla que luego pasa a ser residuo (Stechina *et al.*, 2017; Torres, 2019).

- Mango (*Mangifera indica*): Dependiendo de la variedad de mango, la cáscara puede constituir 15 a 18% del peso total del fruto y el hueso 13 a 29%, por lo que junto con la pulpa que queda adherida a estos, un importante volumen de desechos se genera en las plantas (Rubiano-Charry, Ciro-Velásquez, y Aristizabal, 2019)
- Maracuyá *(Passiflora edulis)*: Aproximadamente el 38% del peso de la fruta corresponde a la pulpa con semilla y el 62% corresponde a la corteza (cáscara con albedo) lo que permite el aprovechamiento de los subproductos en otras industrias (Guillen, 2018).
- Orito *(Musa acuminata)*: Consta de un tamaño aproximado de 12 cm con un sabor más dulce. Cuando está maduro, tiene la piel amarilla y el porcentaje de piel es de 26% y la pulpa casi blanca tiene un porcentaje de 74%, cremosa y de alta consistencia. Siendo una importante fuente de carbohidratos (Gualoto, 2018).
- Palma Africana *(Elaeis guineensis)*: Tomando como referencia el proceso de extracción de aceite de palma, se tiene que por cada tonelada de racimos de frutos frescos se generan cerca de 20 kg de lodo seco de lechos de secado, 220 kg de racimos vacíos y entre 0,8 a 1,0 m3 de efluente líquido. De este modo se aprovechan 760 kg por tonelada procesada, siendo un 24% de residuos (Torres, 2019)
- Palmito *(Bactris gasipaes H.B.K.)*: Durante el proceso de industrialización del palmito se genera una gran cantidad de residuos, los cuales son: manzana dura 2,13 %; bagazo grueso 16,07%, puntas duras 5,45% y cáscara de palmito 28,59 % (Benavides, 2014).
- Piña *(Ananas comosus)*: Los desechos de cultivo generados por la piña, representan un 65% del fruto, dentro de estos desechos se destacan, la corona, el corazón, las cáscaras y el rastrojo (material vegetal) (Ramírez Alfonso S. M., 2017)
- Tomate de árbol *(Cyphomandra betacea)*: Contiene un peso de 80 a 95, cuando está maduro tiene la piel roja y el porcentaje de piel es de 15% y la pulpa casi roja con pepitas amarillas tiene un porcentaje de 85 % es rico en potasio, fibra y tiene vitamina A, B, C y K. S (Torres, 2012).

Es de importancia mencionar que actualmente Ecuador no dispone de datos oficiales y clasificados de los residuos que genera cada cosecha o procesamiento de las especies cultivadas, por ello se estimó la cantidad de residuos generados a partir de la producción y el factor de desecho de cada residuo, esto datos estadísticos se multiplicaron lo cual permitió obtener los Residuos Agrícolas como tal (Anexo 2) basándose en lo establecido en el Atlas de Bioenergía de Ecuador.

Tabla 1 *Residuos generados por cosecha*

Cosecha	*Residuos*	*Factor de desecho (FD)*	*Promedio de Residuo (t)*
Aguacate (Fruta Fresca)	Cáscaras	0,318	5297
	Semillas		5297,300
Banano (Fruta Fresca)	Rachis	0,50	3292742
	Pseudo-tallo	1,15	7573308
	Residuos de banano	0,0015	9878
	Cáscaras	0,0027	17781
Cacao (Almendra Seca)	Poda		5430
	Mazorca descartada	0,0276	5430
	cáscara de mazorca		5430
Café	Pulpa	2,13	10732
	Cáscara	0,21	1058
	Tallos cortados	3,02	15216
Caña de Azúcar para Azúcar (Tallo Fresco)	Bagazo	0,22	1960541
	Desechos	0,1449	1291283
	Torta de filtro	0,03	267346
Caña de Azúcar para otros usos (Tallo Fresco)	Bagazo	0,22	108861
	Desechos	0,1449	71700
	Torta de filtro	0,03	14845
Limón ((Fruta Fresca)	Cáscara, semillas	0,3	6556
Mango (Fruta Fresca)	Cáscara, semillas	0,118	9544
Maracuyá (Fruta Fresca)	Cáscara	0,378	6434
Naranja (Fruta Fresca)	Cáscara, semillas	0,3	6703
Orito (Fruta Fresca)	Hojas	0,0805	2146
	Pesudotallo	1,15	30657
	Raquis	0,5	13329
Palma Africana (Fruta Fresca)	Cáscara	0,22	674778
	Fibra	0,63	1932319
	EFB	1,06	3251204
	POME	3,81	11685930
Palmito (Tallo Fresco)	Hojas y troncos de palmera	0,0506	2338
	Despuntes	0,1449	6696
	Capas exteriores	0,2438	11266
	Rechazo de productos	0,8763	40493
Piña (Fruta Fresca)	Rastrojo	1,63	227315
	corona	0,024	3341
	Núcleo	0,018	2506
	Pelar	0,064	8909
Plátano (Fruta Fresca)	Rachis o Vástago	0,5	253769
	Pseudo-tallo	1,2	583669
	Residuos de plátano	0,0015	761
Tomate de Árbol (Fruta Fresca)	Cáscaras	0,0027	1370
	Cáscaras + Semillas	0,07	1450

Las cosechas que generan mayor cantidad de residuos son la Palma Africana con un valor de17.544.231 t esto debido a sus características de residuo ya que esta genera raquis, fibra, cáscara, EFB (Racimo de fruta vacía), POME (Efluentes del molino de aceite de palma); seguida de esta especie la que también consta de gran cantidad de residuos es el banano 10.893.709 t este produce residuos como raquis, cáscara, pseudo-tallo y residuos de banano; es fundamental mencionar que estos cultivos se producen en gran cantidad en el país por ende generan mayor cantidad de residuos. Lo contrario a ello son los cultivos cítricos (limón, naranja), mango, maracuyá, tomate de árbol que de acuerdo a sus características producen menor cantidad de residuos.

Por lo general los residuos son desaprovechados una vez terminada la cosecha o al culminar su utilización en los procesos productivos convirtiéndose usualmente en un flujo de desechos. Por otro lado, el sector agrícola produce grandes emisiones de gases de efecto invernadero. Se estima que en Ecuador el aporte de la agricultura a la emisión de GEI es aproximadamente 160 millones de tCO_2 equivalentes al año, correspondiente a casi el 28% de las emisiones de GEI, un porcentaje de esto es ocasionado por la quema y/o descomposición de los residuos agrícolas (Calderón, Andrade, Lizarzaburu, y Masache, 2017). Cuando estas corrientes de desechos se biodegradan de manera incontrolada, pueden tener impactos adversos en el medio ambiente (por ejemplo, por lixiviación de efluentes ricos en nutrientes a las aguas subterráneas y superficiales y por la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera) (Dieguez Santana, Zabala-Velin, Villarroel-Quijano, y Sarduy-Pereira, 2020; Soto-Cabrera, Panimboza-Ojeda, Ilibay-Granda, Valverde-Lara, y Diéguez-Santana, 2020).

A diferencia de lo anteriormente mencionado, si estos son ocupados como materia prima en otras actividades se logrará una estrategia economía de base biológica, aunque solo tendrá éxito si se puede proporcionar suficiente biomasa, además de satisfacer los requisitos para seguridad alimentaria y salud de la población en crecimiento. Podría existir la posibilidad de utilizar estas diversas formas de biomasa y, a través de la biotecnología blanca, transformarlas en una variedad de productos, como nuevos aditivos alimentarios (nutracéuticos), materiales (fibras), energía (biocombustibles o biogás) y componentes químicos básicos, dentro del concepto de biorrefinerías. Aprovechar los flujos de biomasa no utilizados o subutilizados y desviarlos hacia dicha utilización (Cardoen, Joshi, Diels, Sarma, y Pant, 2015).

*4.2.*Potencial energético-Combustión Directa y Digestión Anaeróbica

Para la obtención de combustibles alternativos se debe considerar la viabilidad de la biomasa la cual depende de su contenido energético, además se debe considerar un análisis de la composición de los residuos generados por cada cosecha (Anexo 3) lo cual indica la idoneidad de la materia prima para ser aplicada ya sea en Combustión Directa o Digestión Anaeróbica y también proporciona una idea sobre la composición de los productos de biocombustibles.

Se debe considerar también la cantidad de materia volátil ya que esta determina la facilidad con la que se puede gasificar una biomasa, lo que eventualmente ayuda a diseñar la caldera y los gasificadores para la generación de energía. La biomasa que tiene un mayor contenido de celulosa y hemicelulosa tiende a producir mayores rendimientos de bioaceite, mientras que un mayor contenido de lignina indica un mayor potencial para producir biocombustibles sólidos como el biocarbón (Abdullah *et al.*, 2020).

El potencial energético de las fuentes de biomasa por combustión directa y digestión anaeróbica se muestran en la tabla 2. En el caso de la humedad de la fuente de biomasa es superior al 50% de humedad, solo se considera el BMP de la digestión anaeróbica, mientras que para las fuentes de biomasa con menos del 50% de humedad se calcularon ambos potenciales (es decir, de la combustión directa y su BMP). En el caso de la torta de filtro, aunque tiene un 70% de humedad, puede deshidratarse a un 35-40% de humedad utilizando una prensa de filtro de correa, por lo que se considera adecuado como combustible para la combustión directa o la digestión anaeróbica (Gutiérrez, Eras, Hens, y Vandecasteele, 2020).

Tabla 2 *Potencial Energético CD y DA*

Cosecha	Residuos	Menor valor de calentamiento (LHV) (MJ / kg)	WEDCi - Potencial energético de la combustión directa de la fuente de biomasa i (GJ).	Potencial bioquímico de metano de los residuos PBM (m^3/t biomasa fresca)	$LHVCH_4$ (MJ/m^3).	WEADi - Potencial energético de la digestión anaerobia de la fuente de biomasa i (GJ).
Aguacate (Fruta Fresca)	Cáscaras	19,5	103	315,8	37,78	63202
	Semillas	19,2	102	311,1	37,78	62261
Banano (Fruta Fresca)	Rachis	-	-	13,8	37,78	1716717
	Pseudo-tallo	-	-	22	37,78	6294630
	Residuos de plátano	-	-	55,8	37,78	20825

	Cáscaras			29,9	37,78	20086
	Poda	6,464	35	210,85	37,78	43258
Cacao (Almendra Seca)	Mazorca descartada	15,526	84	210,85	37,78	43258
	cáscara de mazorca	16,2	88	210,85	37,78	43258
	Pulpa	17,8	191	29	37,78	11758
Café	Cáscara	18,5	20	121,1	37,78	4841
	Tallos cortados	18,3	278	215,5	37,78	123881
Caña de Azúcar para Azúcar (Tallo Fresco)	Bagazo	9,3	18233	119,4	37,78	8843865
	Desechos	7,4	9555	82,5	37,78	4024736
	Torta de filtro	1,8	481	48,9	37,78	493907
Caña de Azúcar para otros usos (Tallo Fresco)	Bagazo	9,3	1012	119,4	37,78	491063
	Desechos	7,4	531	82,5	37,78	223477
	Torta de filtro	1,8	27	48,9	37,78	27425
Limón (Fruta Fresca)	Cáscara, semillas	13,8	90	278,8	37,78	69057
Mango (Fruta Fresca)	Cáscara, semillas	17,09	163	258,32	37,78	93140
Maracuyá (Fruta Fresca)	Cáscara	16,01	103	298,52	37,78	72561
Naranja (Fruta Fresca)	Cáscara, semillas	13,8	93	278,8	37,78	70607
Orito (Fruta Fresca)	Hojas	-	-	304,73	37,78	24707
	Pesudotallo	-	-	319,79	37,78	370393
	Raquis	-	-	289,39	37,78	145732
Palma Africana (Fruta Fresca)	Cáscara	16,7	11269	61,2	37,78	1560179
	Fibra	17,9	34589	93,9	37,78	6854983
	EFB	18,6	60472	73,3	37,78	9003474
	POME	-	-	0.8	37,78	353196
Palmito (Tallo Fresco)	Hojas y troncos de palmera	12,603	29	287,55	37,78	25401
	Despuntes	13,01	87	295,22	37,78	74681
	Capas exteriores	15,63	176	284,29	37,78	121001
	Rechazo de productos	12,603	510	170,27	37,78	260486
Piña (Fruta Fresca)	Rastrojo	16,3	3705	205	37,78	1760530
	corona	17,1	57	252,2	37,78	31832
	Núcleo	-	-	44,6	37,78	4222
	Pelar	-	-	44,6	37,78	15011
Plátano (Fruta Fresca)	Rachis o Vástago	-	-	13,8	37,78	132306
	Pseudo-tallo	-	-	22	37,78	485122
	Residuos de plátano	-	-	55,8	37,78	1605
Tomate de Árbol (Fruta Fresca)	Cáscaras	-	-	199	37,78	10303
	Cáscaras + Semillas	20,5	30	46,7	37,78	2559

El potencial de energía de fuentes de biomasa inferiores al 50% en humedad consta entre 20 y 60472 GJ es decir aplicando combustión directa. En cuanto a las fuentes con más del 50% de humedad y a las cuales se aplicó digestión anaeróbica cuentan con un potencial de energía entre 4841 y 9003474 GJ. En general, la combustión directa produce un mayor potencial energético que la digestión anaeróbica para la misma fuente de biomasa las cuales fueron el café y la palma africana.

En total, los residuos agrícolas y agroindustriales representan aproximadamente 142.115 GJ en energía aplicando Combustión Directa y 44095535 GJ en energía utilizando Digestión Anaeróbica, considerando que el 28% y el 30% para las eficiencias de electricidad de la combustión directa y la digestión anaeróbica. Para fuentes de biomasa con menos del 50% de humedad, la combustión directa siempre produce el mayor potencial de energía. Los desechos agrícolas y agroindustriales representan el 87% del potencial de combustión directa, el 66% del potencial de digestión anaeróbica.

4.3. Estimación del potencial de generación de electricidad

En esta sección, se estimó la cantidad potencial de electricidad que se puede generar a partir de residuos agrícolas y agroindustriales con un total de 33425660 toneladas producidas en Ecuador, lo cual permite estimar la electricidad que se puede llegar a obtener a nivel nacional.

Tabla 3 *Potencial Eléctrico*

Cosecha	***Residuos***	***Electricidad***	
		GWh CD	**GWh AD**
Aguacate (Fruta Fresca)	Cáscaras	6,427	4,213
	Semillas	6,329	4,151
Banano (Fruta Fresca)	Rachis		114,448
	Pseudo-tallo		419,642
	Residuos de plátano		1,388
Cacao (Almendra Seca)	Cáscaras		1,339
	Poda	2,184	2,884
	Mazorca descartada	5,246	2,884
	cáscara de mazorca	5,474	2,884
Café	Pulpa	11,886	0,784

	Cáscara	1,218	0,323
	Tallos cortados	17,326	8,259
Caña de Azúcar para Azúcar (Tallo Fresco)	Bagazo	1134,499	589,591
	Desechos	594,564	268,316
	Torta de filtro	29,943	32,927
Caña de Azúcar para otros usos (Tallo Fresco)	Bagazo	62,994	32,738
	Desechos	33,014	14,898
	Torta de filtro	1,663	1,828
Limón ((Fruta Fresca)	Cáscara, semillas	5,630	4,604
Mango (Fruta Fresca)	Cáscara, semillas	10,149	6,209
Maracuyá (Fruta Fresca)	Cáscara	6,409	4,837
Naranja (Fruta Fresca)	Cáscara, semillas	5,756	4,707
Orito (Fruta Fresca)	Hojas		1,647
	Pesudotallo		24,693
	Raquis		9,715
Palma Africana (Fruta Fresca)	Cáscara	701,169	104,012
	Fibra	2152,174	456,999
	EFB	3762,726	600,232
	POME		23,546
Palmito (Tallo Fresco)	Hojas y troncos de palmera	1,834	1,693
	Despuntes	5,420	4,979
	Capas exteriores	10,956	8,067
	Rechazo de productos	31,754	17,366
	Rastrojo	230,548	117,369
Piña (Fruta Fresca)	corona	3,555	2,122
	Núcleo		0,281
	Pelar		1,001
	Rachis o Vástago		8,820
Plátano (Fruta Fresca)	Pseudo-tallo		32,341
	Residuos de plátano		0,107
	Cáscaras		0,687
Tomate de Árbol (Fruta Fresca)	Cáscaras + Semillas	1,850	0,171
TOTAL		8842,696985	2939,702323

Este estudio identificó un total en el potencial de electricidad de 1178239 GWh a partir de desechos agrícolas, en el que se aplicó la combustión directa para residuos aptos generando un valor de 884269GWh y la digestión anaeróbica generó 293970 GWh, lo cual indica que tiene mayor potencia la aplicación de combustión directa, el aplicar cualquiera de estas dos formas de obtención de energía contribuiría a disminuir la contaminación que produce la agricultura aunque para que este potencial sea aprovechado de manera eficiente se debe adoptar la política de largo plazo de biomasa para la producción de biogás, teniendo en cuenta que no se compromete la producción y el precio de los alimentos en el mercado interno.

*4.4.*Estudios futuros y barreras a la energía basada en biomasa

Ecuador al ser un país con gran variedad de cultivos agrícolas no cuenta con la información estadística de los residuos que se producen a nivel de campo, así como industrial lo cual limita en cierta proporción los estudios realizados. Además, si se utilizaran estos desechos agrícolas en la producción de energía se lograría que muchas comunidades que se encuentran aisladas de las zonas interconectadas puedan tener más accesibilidad. También se contribuiría en la electricidad de la nación como tal, para acercar al país a una combinación de electricidad 100% renovable.

Una de las barreras que frena el desarrollo de esta energía es:

- Consideraciones económicas: Las instalaciones de biogás requieren elevados costes de inversión. Esto incluye el costo de construcción de la planta de biogás, adquisición de equipo, contratación de personal técnico, introducción de tecnología, etc.
- Tecnología e Instalación: se necesita contar con tener un terreno adecuado para la instalación del equipo y un número suficiente de residuos agrícolas son factores limitantes para las comunidades más pobres. También la falta de disponibilidad de tecnologías de biogás locales puede ser un desafío para el despliegue del biogás como fuente de energía. Debido a la falta de disponibilidad de tecnología local estos son importados de otros países como Alemania. Este hecho también genera altos costos de equipo y dependencia de las importaciones (Nevzorova y Kutcherov, 2019).

  Además, el conocimiento insuficiente del uso y el valor fertilizante del digestato entre los agricultores obstaculiza la producción exitosa de biogás y biofertilizantes.
- Barreras de mercado: Los precios más bajos de los combustibles fósiles y el alto precio del biogás son barreras críticas del mercado. El biogás es más caro que el gas natural y este hecho preocupa a los consumidores finales, ya que les crea el riesgo de pagar más

de lo "habitual". El precio del biogás debe ser competitivo con otros combustibles disponibles para que llegue al sector público (Nevzorova y Kutcherov, 2019).

- Barreras ambientales: A pesar de los importantes beneficios ambientales del biogás, pocos autores señalan los posibles aspectos ambientales negativos como la contaminación acústica, las quejas por olores y las necesidades de abundantes recursos hídricos para los digestores de biogás. La digestión anaeróbica requiere abundantes recursos hídricos, con una proporción igual a 1: 1 de la cantidad de agua y estiércol a cargar en el digestor (Nevzorova y Kutcherov, 2019).

A pesar de las barreras existentes es importante mencionar que el aplicar la energía de biomasa agrícola, permitirá que existan garantizar ingresos adicionales en toda la estructura de producción, ya que la recolección sistemática y el uso energético de la biomasa agrícola resultarían en la creación de nuevos puestos de trabajo, que tendrían una importancia estratégica para la revitalización social y económica de las zonas rurales (Bilandzija *et al.*, 2018). Junto con las posibilidades de lograr la autosuficiencia local total o parcial en energía, el aumento de la proporción de biomasa agrícola utilizada tendría un efecto positivo en las obligaciones de Ecuador con respecto a las estrategias relativas a las fuentes de energía renovables y la mitigación de los cambios climáticos.

CONCLUSIONES

- Ecuador al ser un país megadiverso cuenta con una gran variedad de características que permite que se generen diversos productos cultivables, estos abarcan una superficie agrícola de 5.1 millones de hectáreas, de las cuales en el año 2019 se registraron 37 cultivos principales en cuanto a producción aunque para este estudio se escogieron 16 cultivos permanentes, dependiendo sus características se logró establecer el tipo de residuos que generan como fueron: residuos de cascaras, semillas, rachis, pseudo-tallo, residuos de plátano, poda, mazorca descartada, cáscara de mazorca, tallos cortados, bagazo, desechos, torta de filtro, hojas, fibra, EFB (Racimo de fruta vacía), POME (Efluentes del molino de aceite de palma), despuntes, capas exteriores, rechazo de productos, rastrojo, corona, núcleo, pelar; cada uno de estos residuos contienen propiedades que permiten establecer el método que se aplicara para la obtención de energía.
- Los residuos agrícolas y agroindustriales generados por los 16 cultivos abarcan un total 30756376 t de los cuales se estimó aproximadamente 142115 GJ de energía aplicando Combustión Directa y 44095535 GJ en energía utilizando Digestión Anaeróbica, lo cual permite apreciar que la utilización de estos residuos permitiría un cambio para bien ya que se reduciría la contaminación atmosférica, los impactos ambientales de los desechos de biomasa en el suelo, la superficie y los cuerpos de agua subterráneos, contribuyendo así con los tratados internacionales en los cuales se encuentra Ecuador.
- Con los residuos estudiados se logró identificar un total en el potencial de electricidad de 1178239 GWh a partir de desechos agrícolas, en el que se aplicó la combustión directa para residuos aptos generando un valor de 884269GWh y la digestión anaeróbica genero 293970 GWh, siendo de mayor ventaja la aplicación de combustión directa aunque la digestión anaeróbica tiene una ventaja ya que de esta también podríamos obtener productos como fertilizantes para aplicarlos en los cultivos así como también podría convertirse en una ventaja económica, cabe mencionar que para lograr que estos datos tengan mayor exactitud se necesita más estudios para identificar con mayor precisión el potencial técnico de las fuentes de biomasa a diferentes escalas, teniendo en cuenta el perfil geográfico, las características de la biomasa disponible, las posibles aplicaciones y las implicaciones sociales, ambientales y económicas asociadas.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda que se realicen las estadísticas exactas de los residuos producidos por los diferentes cultivos que se generan en el Ecuador ya sean estos transitorios, permanentes ya que así las estimaciones que se realicen para la obtención de energía serán más exactas por ende se tendrá mayor conocimiento de la aplicabilidad que se le podrá dar. Además de seguir realizando estudios de mayor profundidad de las especies como es el caso del Palmito, Orito ya que así se podría buscar con mayor exactitud los valores de sus características físico-químicas que estos poseen.
- Que se empleen estos proyectos de formas practica para ayudar a comunidades, fincas y personas alejadas del casco urbano o de la zona céntrica de cada ciudad ya que si se realiza un buen proceso se estaría aprovechando los residuos generados en la agricultura, agroindustrias, lo que permitiría reducir la contaminación además de generar energía limpia ayudando así al planeta.
- Es importante mencionar que las tecnologías empleadas en cualquiera de los métodos de obtención de energía suelen en su mayoría tener un costo de inversión alto por ende sería de gran importancia encontrar otros materiales que logren cumplir con el objetivo que es generar energía pero que su costo sea menor al requerido en la actualidad. Además de esto es importante mencionar que estos equipos deben contar con manuales que la población pueda entender para aplicar un correcto manejo y limpieza de los mismos.

REFERENCIAS

Abdullah, A., Ahmed, A., Akhter, P., Razzaq, A., Hussain, M., Hossain, N., . . . Park, Y.-K. (2020). Potential for sustainable utilisation of agricultural residues for bioenergy production in Pakistan: An overview. *Journal of Cleaner Production,* 125047. doi:https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125047

Abdullah, N., Sulaiman, F., & Taib, R. M. (2013). Characterization of banana (Musa spp.) plantation wastes as a potential renewable energy source. *1528*(1), 325-330. doi:10.1063/1.4803618

Acosta, N., De Vrieze, J., Sandoval, V., Sinche, D., Wierinck, I., & Rabaey, K. (2018). Cocoa residues as viable biomass for renewable energy production through anaerobic digestion. *Bioresource Technology, 265*, 568-572. doi:https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.05.100

Aditiya, H. B., Chong, W. T., Mahlia, T. M. I., Sebayang, A. H., Berawi, M. A., & Nur, H. (2016). Second generation bioethanol potential from selected Malaysia's biodiversity biomasses: A review. *Waste Management, 47*, 46-61. doi:https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.07.031

Ahmad, F. B., Zhang, Z., Doherty, W. O. S., & O'Hara, I. M. (2019). The outlook of the production of advanced fuels and chemicals from integrated oil palm biomass biorefinery. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 109*, 386-411. doi:https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.04.009

ARCONEL. (2020). Balance Nacional de Energía Eléctrica (BNEE), en abril 2020. Recuperado de https://www.regulacionelectrica.gob.ec/balance-nacional/

Arteaga-Pérez, L. E., Segura, C., & Santana, K. D. (2016). Procesos de torrefacción para valorización de residuos lignocelulósicos. Análisis de posibles tecnologías de aplicación en Sudamérica. *Afinidad, 73*(573), 60-68.

Astrup, T. F., Tonini, D., Turconi, R., & Boldrin, A. (2015). Life cycle assessment of thermal Waste-to-Energy technologies: Review and recommendations. *Waste Management, 37*, 104-115. doi:https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.06.011

Avella, J. C., Gómez, A. H., González, M., Gómez, A. M., & Gamboni, S. L. (2014). *Aprovechamiento de residuos de biomasa de producción de piña para municipio de Aguazul-Casanare*. https://aguazulcasanare.micolombiadigital.gov.co/sites/aguazulcasanare/content/files/000173/8608_aguazul_pinha.pdf

Barbosa, A. S., Siqueira, L. A. M., Medeiros, R. L. B. A., Melo, D. M. A., Melo, M. A. F., Freitas, J. C. O., & Braga, R. M. (2019). Renewable aromatics through catalytic flash pyrolysis of pineapple crown leaves using HZSM-5 synthesized with RHA and diatomite. *Waste Management, 88*, 347-355. doi:https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.03.052

Bardiya, N., Somayaji, D., & Khanna, S. (1996). Biomethanation of banana peel and pineapple waste. *Bioresource Technology, 58*(1), 73-76. doi:https://doi.org/10.1016/S0960-8524(96)00107-1

Benavides, S. R. S. (2014). *Evaluación del efecto de las mejores prácticas de manejo en el cultivo de palmito (Bactris gasipaes HBK), ubicado en la Hacienda Zoila Luz, Km 24, vía Santo Domingo-Quevedo.* (Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Santo Domingo). Recuperado de http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/8376.

Bilandzija, N., Voca, N., Jelcic, B., Jurisic, V., Matin, A., Grubor, M., & Kricka, T. (2018). Evaluation of Croatian agricultural solid biomass energy potential. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 93*, 225-230. doi:https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.05.040

Boundy, B., Diegel, S. W., Wright, L., & Davis, S. C. (2011). *Biomas energy data book* (4th ed.). Tenesse. US: U.S. Department of Energy.

Bridgwater, A. V., Toft, A. J., & Brammer, J. G. (2002). A techno-economic comparison of power production by biomass fast pyrolysis with gasification and combustion. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 6*(3), 181-246. doi:https://doi.org/10.1016/S1364-0321(01)00010-7

Brown, R. C. (2019). *Thermochemical processing of biomass: conversion into fuels, chemicals and power* (2nd ed.): John Wiley & Sons.

Calderón, M., Andrade, F., Lizarzaburu, L., & Masache, M. (2017). *Valoración económica de los cobeneficios del aprovechamiento energético de los residuos agrícolas en el Ecuador*. Naciones Unidas, Santiago de Chile.Recuperado de https://repositorio.cepal.org/handle/11362/41830?show=full

Cárdenas, E. V., Maldonado, J. M., Valdez, R. A., Sarduy-Pereira, L. B., & Diéguez-Santana, K. (2019). La producción más limpia en el sector porcino. Una experiencia desde la Amazonia Ecuatoriana. *Anales Científicos, 80*(1), 76-91. doi:http://dx.doi.org/10.21704/ac.v80i1.1288

Cardoen, D., Joshi, P., Diels, L., Sarma, P. M., & Pant, D. (2015). Agriculture biomass in India: Part 1. Estimation and characterization. *Resources, Conservation and Recycling, 102*, 39-48. doi:https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.06.003

Castillo, R. I. P. (2016). *Elaboración de placas rígidas biodegradables, por moldeo en prensa, a partir de cortezas de palmito (bactris gasipaes), con almidón acetilado de yuca (manihot esculenta) impregnado.* (Escuela Politécnica Nacional, Recuperado de http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/11956.

Cayo, E. L. (2018). *Obtención de un biocombustible sólido por torrefacción húmeda a partir de la cáscara de la mazorca de cacao para la generación de energía.* (Tesis Maestría en Eficiencia Energética (FIM), EPN, Quito, Ecuador). Recuperado de https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19594.

Ceballos, A. M., & Montoya, S. (2013). Evaluación química de la fibra en semilla, pulpa y cáscara de tres variedades de aguacate. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, 11*(1), 103-112.

Commision, E. (2016). *The Road from Paris: assessing the implications of the Paris Agreement and accompanying the proposal for a Council decision on the signing, on behalf of the EU, of the Paris agreement adopted under the UN Framework Convention on Climate Change*. Brussels, Belgium.Recuperado de https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM:2016:110:FIN

Dieguez Santana, K., Zabala-Velin, A. A., Villarroel-Quijano, K. L., & Sarduy-Pereira, L. B. (2020). Evaluation of the Environmental Impact of the Pitahaya Crop, Cantón Palora, Ecuador. *TecnoLógicas, 23*(49), 113-128. doi:10.22430/22565337.1621

Dong, J., Tang, Y., Nzihou, A., Chi, Y., Weiss-Hortala, E., & Ni, M. (2018). Life cycle assessment of pyrolysis, gasification and incineration waste-to-energy technologies: Theoretical analysis and case study of commercial plants. *Science of The Total Environment, 626*, 744-753. doi:https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.151

Elbersen, W. (2013). Residuos de aceite de palma disponibles para la bioeconomía, junto con el reciclaje de nutrientes. *PALMAS, VOL. 34 No*.

Eldabbagh, F., Ramesh, A., Hawari, J., Hutny, W., & Kozinski, J. A. (2005). Particle–metal interactions during combustion of pulp and paper biomass in a fluidized bed combustor. *Combustion and Flame, 142*(3), 249-257. doi:https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2005.03.013

Erol, M., Haykiri-Acma, H., & Küçükbayrak, S. (2010). Calorific value estimation of biomass from their proximate analyses data. *Renewable Energy*, *35*(1), 170-173. doi:https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.05.008

ESPAC. (2019). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua-2019. Recuperado Agosto 14, 2020, from Instituto Nacional de Estadísticas y Censos https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/

Fagbohungbe, M. O., Herbert, B. M. J., Hurst, L., Li, H., Usmani, S. Q., & Semple, K. T. (2016). Impact of biochar on the anaerobic digestion of citrus peel waste. *Bioresource Technology*, *216*, 142-149. doi:https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.04.106

Felfli, F. F., Mesa P, J. M., Rocha, J. D., Filippetto, D., Luengo, C. A., & Pippo, W. A. (2011). Biomass briquetting and its perspectives in Brazil. *Biomass and Bioenergy*, *35*(1), 236-242. doi:https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.08.011

Fernández-Cortés, Y., Sotto-Rodríguez, K. D., & Vargas-Marín, L. A. (2020). Impactos ambientales de la producción del café, y el aprovechamiento sustentable de los residuos generados. *Producción + Limpia*, *15*, 93-110.

García, C. A., Peña, Á., Betancourt, R., & Cardona, C. A. (2018). Energetic and environmental assessment of thermochemical and biochemical ways for producing energy from agricultural solid residues: Coffee Cut-Stems case. *Journal of Environmental Management*, *216*, 160-168. doi:https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.04.029

Giraldo, L. M., Correa, H. M., Gutiérrez, J. B., & Castano, C. C. (2007). Aprovechamiento del residuo agroindustrial del mango común (Mangifera indica L.) en la obtención de azúcares fermentables. *Ingeniería y ciencia*, *3*(6), 41-62.

Gómez-Peña, G. R., Guzmán-Nariño, O. F., & Burbano-Caicedo, I. (2020). Alternativa biotecnológica para suplementación bovina mediante ensilado de mango en el departamento del Atlántico, Colombia. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, *7*(1), 42-57.

Granados, D. A., Velásquez, H. I., & Chejne, F. (2014). Energetic and exergetic evaluation of residual biomass in a torrefaction process. *Energy*, *74*, 181-189. doi:https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.05.046

Gualoto, C. J. E. (2018). *Composición química y digestibilidad aparente de los nutrientes de la harina de rechazo de banano orito (Musa acuminata AA) en cerdos Largewhite x Pietrain en la etapa de crecimiento.* (TITULO DE INGENIERO AGROPECUARIO, UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZONICA, Pastaza, Ecuador).

Guillen, M. M. (2018). *Alternativas de Aprovechamiento del Maracuyá*. Perú.Recuperado de https://issuu.com/citeagroindustrialica/docs/bo-18-012_alternativas_subproductos_del_maracuy_

Gutiérrez, A., Eras, J. J. C., Hens, L., & Vandecasteele, C. (2020). The energy potential of agriculture, agroindustrial, livestock, and slaughterhouse biomass wastes through direct combustion and anaerobic digestion. The case of Colombia. *Journal of Cleaner Production, 269*, 122317. doi:https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122317

IEA. (2017). *Technology roadmap: Delivering sustainable bioenergy*.

Janke, L., Leite, A., Nikolausz, M., Schmidt, T., Liebetrau, J., Nelles, M., & Stinner, W. (2015). Biogas Production from Sugarcane Waste: Assessment on Kinetic Challenges for Process Designing. *Int J Mol Sci, 16*(9), 20685-20703. doi:10.3390/ijms160920685

Kamdem, I., Hiligsmann, S., Vanderghem, C., Jacquet, N., Tiappi, F. M., Richel, A., . . . Thonart, P. (2018). Enhanced Biogas Production During Anaerobic Digestion of Steam-Pretreated Lignocellulosic Biomass from Williams Cavendish Banana Plants. *Waste and Biomass Valorization, 9*(2), 175-185. doi:10.1007/s12649-016-9788-6

Khan, M. T. I., Ali, Q., & Ashfaq, M. (2018). The nexus between greenhouse gas emission, electricity production, renewable energy and agriculture in Pakistan. *Renewable Energy, 118*, 437-451. doi:https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.11.043

Koppejan, J., & Van Loo, S. (2012). *The handbook of biomass combustion and co-firing* (2nd ed.): Routledge.

Liikanen, M., Havukainen, J., Viana, E., & Horttanainen, M. (2018). Steps towards more environmentally sustainable municipal solid waste management – A life cycle assessment study of São Paulo, Brazil. *Journal of Cleaner Production, 196*, 150-162. doi:https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.005

Luo, L., van der Voet, E., & Huppes, G. (2010). Biorefining of lignocellulosic feedstock – Technical, economic and environmental considerations. *Bioresource Technology, 101*(13), 5023-5032. doi:https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.12.109

Cifras Agroproductivas. (2019). MAG [Mobile application software]. Recuperado de http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/cifras-agroproductivas

Mayer, F., Bhandari, R., & Gäth, S. (2019). Critical review on life cycle assessment of conventional and innovative waste-to-energy technologies. *Science of The Total Environment, 672*, 708-721. doi:https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.449

MEER. (2015). Producción de Aceite de Piñón para Plan Piloto de Generación Eléctrica en Galápagos. Recuperado de http://historico.energia.gob.ec/sector-electrico-produccion-de-aceite-de-pinon-para-plan-piloto-de-generacion-en-galapagos/

Montoya, J. I., Valdés, C., Chejne, F., Gómez, C. A., Blanco, A., Marrugo, G., . . . Acero, J. (2015). Bio-oil production from Colombian bagasse by fast pyrolysis in a fluidized bed: An experimental study. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 112*, 379-387. doi:https://doi.org/10.1016/j.jaap.2014.11.007

Morato, T., Vaezi, M., & Kumar, A. (2019). Assessment of energy production potential from agricultural residues in Bolivia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 102*. doi:https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.11.032

Mosaddek Hossen, M., Sazedur Rahman, A. H. M., Kabir, A. S., Faruque Hasan, M. M., & Ahmed, S. (2017). Systematic assessment of the availability and utilization potential of biomass in Bangladesh. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 67*, 94-105. doi:https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.008

Nevzorova, T., & Kutcherov, V. (2019). Barriers to the wider implementation of biogas as a source of energy: A state-of-the-art review. *Energy Strategy Reviews, 26*, 100414. doi:https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.100414

O-Thong, S., Boe, K., & Angelidaki, I. (2012). Thermophilic anaerobic co-digestion of oil palm empty fruit bunches with palm oil mill effluent for efficient biogas production. *Applied Energy*, *93*, 648-654. doi:https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.12.092

Oficial, R. (2008). *Asamblea Constituyente. Constitución de la República del Ecuador*. Montecristi, Manabí, Ecuador.Recuperado de http://www.asambleanacional.gov.ec/documentos/constitucion_de_bolsillo.pdf

Páramos, P. R. S., Granjo, J. F. O., Corazza, M. L., & Matos, H. A. (2020). Extraction of high value products from avocado waste biomass. *The Journal of Supercritical Fluids, 165*, 104988. doi:https://doi.org/10.1016/j.supflu.2020.104988

Peláez Samaniego, M. R., García Pérez, M. B., Martí Herrero, J., Montero Izquierdo, A., Meyer, F. D., & García Núñez, J. A. (2015). Estado de uso de la biomasa para la producción de bioenergía, biocombustibles y bioproductos en Ecuador. In M. R. Peláez Samaniego & J. L. Espinoza Abad (Eds.), *Energías Renovables En El Ecuador. Situación Actual, Tendencias Y Perspectivas*. Cuenca, Ecuador: Universidad de Cuenca.

Peng, W., Lü, F., Hao, L., Zhang, H., Shao, L., & He, P. (2020). Digestate management for high-solid anaerobic digestion of organic wastes: A review. *Bioresource Technology, 297*, 122485. doi:https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122485

Peng, W., & Pivato, A. (2019). Sustainable Management of Digestate from the Organic Fraction of Municipal Solid Waste and Food Waste Under the Concepts of Back to Earth Alternatives and Circular Economy. *Waste and Biomass Valorization, 10*(2), 465-481. doi:10.1007/s12649-017-0071-2

Pérez-Arévalo, J. J., & Velázquez-Martí, B. (2018). Evaluation of pruning residues of Ficus benjamina as a primary biofuel material. *Biomass and Bioenergy, 108*, 217-223. doi:https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.11.017

Pérez, D., Márquez, M., & Autíe, P. J. C., Ciencia Tecnología y Medio Ambiente, AVANCES. (2005). Obtención del carbón activado a partir del residual sólido generado en el beneficio húmedo del café. 2005-2002.

Phyllis2. (2019). EU 7th Framew. Program. (progr. H2020 Grant Agreem. Number 731101). Recuperado de https://phyllis.nl/

Ponce-Jara, M. A., Castro, M., Pelaez-Samaniego, M. R., Espinoza-Abad, J. L., & Ruiz, E. (2018). Electricity sector in Ecuador: An overview of the 2007–2017 decade. *Energy Policy, 113*, 513-522. doi:https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.11.036

Pöschl, M., Ward, S., & Owende, P. (2010). Evaluation of energy efficiency of various biogas production and utilization pathways. *Applied Energy, 87*(11), 3305-3321. doi:https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.05.011

Quishpe-López, J. D., Lliguicota-Guarquila, J. P., Sarduy-Pereira, L. B., & Diéguez-Santana, K. (2020). La producción más limpia, como estrategia de valorización (ecoeficiencia) del centro de faenamiento, Puyo, Pastaza, Ecuador. *Revista Científica de la UCSA, 7*(3), 59-71. doi:http://dx.doi.org/10.18004/ucsa/2409-8752/2020.007.03.059

Quishpe, R. E. B. (2012). *Comportamiento Productivo de Borregas Mestizas Alimentadas con Dietas en Base a Banaharina y Cáscara de Maracuyá.* (Ingeniería Zootécnica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba). Recuperado de http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/1845.

Ramírez Alfonso S. M., R. N. M. C. (2017). *Aprovechamiento de residuos lignocelulósicos de la ananas comosus (piña) para la producción de xilitol por hidrólisis enzimática.* (Trabajos de grado - Ingeniería Química, Fundación Universidad de América, Bogotá). Recuperado de http://hdl.handle.net/20.500.11839/6575.

Regalado, D. C., & Marín, K. M. (2017). *Determinación de parámetros cinéticos en la combustión de raquis de banano y tallos de rosas.* (Opción al grado de Ingeniería Química, UCE, Quito, Ecuador). Recuperado de http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/11535.

Riera, M. A., Maldonado, S., & Palma, R. R. (2019). *Residuos agroindustriales generados en ecuador para la elaboración de bioplásticos.* Conferencia internacional.

Rubiano-Charry, K., Ciro-Velásquez, H., & Aristizabal, I. (2019). Aprovechamiento de los subproductos del mango, como fuente de compuestos bioactivos, para la elaboración de rollos comestibles. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, 22*. doi:10.31910/rudca.v22.n2.2019.1078

Sánchez, C. (2009). Lignocellulosic residues: Biodegradation and bioconversion by fungi. *Biotechnology Advances*, *27*(2), 185-194. doi:https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2008.11.001

Santos da Silveira, J., Durand, N., Lacour, S., Belleville, M.-P., Perez, A., Loiseau, G., & Dornier, M. (2019). Solid-state fermentation as a sustainable method for coffee pulp treatment and production of an extract rich in chlorogenic acids. *Food and Bioproducts Processing, 115*, 175-184. doi:https://doi.org/10.1016/j.fbp.2019.04.001

Serrano, J., Mejía, W., Ortiz, J., Sánchez, A., & Zalamea, S. (2017). Determinación del Potencial de Generación Eléctrica a Partir de Biomasa en el Ecuador. *Revista de la Facultad de Ciencias Químicas, 17*, 21.

Soto-Cabrera, A. I., Panimboza-Ojeda, A. P., Ilibay-Granda, C. G., Valverde-Lara, C. R., & Diéguez-Santana, K. (2020). Impacto ambiental de la operación del Centro de faenamiento de la ciudad de Puyo, Pastaza, Ecuador. *Prospectiva, 18*(1), 60-68. doi:https://doi.org/10.15665/rp.v18i1.2101

Soto-Cabrera, A. I., Panimboza-Ojeda, A. P., Ramones-Pinargote, A., Pérez-Martínez, A., Sarduy-Pereira, L. B., & Diéguez-Santana, K. (2020). Huella de carbono en el cultivo de la caña de azúcar. Evaluación agrícola de un caso de estudio de la amazonia ecuatoriana. *Ingenio Magno, 11*(1), 22-32.

Stechina, D., Pauletti, M., Cives, H., Maffioly, R., Lesa, C., Bogdanoff, N., . . . Iribarren, O. (2017). Estudios de aprovechamiento integral de cáscara de naranja. *Ciencia, Docencia y Tecnología Suplemento, 7*(7).

Sukiran, M. A., Abnisa, F., Wan Daud, W. M. A., Abu Bakar, N., & Loh, S. K. (2017). A review of torrefaction of oil palm solid wastes for biofuel production. *Energy*

Conversion and Management, 149, 101-120. doi:https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.07.011

Sukruansuwan, V., & Napathorn, S. C. (2018). Use of agro-industrial residue from the canned pineapple industry for polyhydroxybutyrate production by Cupriavidus necator strain A-04. *Biotechnology for Biofuels*, *11*(1), 202. doi:10.1186/s13068-018-1207-8

Sutherland, L.-A., Peter, S., & Zagata, L. (2015). Conceptualising multi-regime interactions: The role of the agriculture sector in renewable energy transitions. *Research Policy, 44*(8), 1543-1554. doi:https://doi.org/10.1016/j.respol.2015.05.013

Suzuki, K., Tsuji, N., Shirai, Y., Hassan, M. A., & Osaki, M. (2017). Evaluation of biomass energy potential towards achieving sustainability in biomass energy utilization in Sabah, Malaysia. *Biomass and Bioenergy, 97*, 149-154. doi:https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.12.023

Talero, G., Rincón, S., & Gómez, A. (2019). Torrefaction of oil palm residual biomass: Thermogravimetric characterization. *Fuel, 242*, 496-506. doi:https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.01.057

Thomsen, S. T., Spliid, H., & Østergård, H. (2014). Statistical prediction of biomethane potentials based on the composition of lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology, 154*, 80-86. doi:https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.12.029

Torres, A. (2012). Caracterización física, química y compuestos bioactivos de pulpa madura de tomate de árbol (Cyphomandra betacea) (Cav.) Sendtn. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición, Vol. 62 Nº 4*, 120.

Torres, M. A. (2019). *Obtención de celulosa a partir de la cáscara de cacao ecuatoriano (Theobroma cacao l.) mediante hidrólisis térmica para la elaboración de pulpa de papel.* (Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de Ingeniero Químico, Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador). Recuperado de http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/19765.

Vaneeckhaute, C., Darveau, O., & Meers, E. (2019). Fate of micronutrients and heavy metals in digestate processing using vibrating reversed osmosis as resource recovery technology. *Separation and Purification Technology, 223*, 81-87. doi:https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.04.055

Vega-Quezada, C., Blanco, M., & Romero, H. (2017). Synergies between agriculture and bioenergy in Latin American countries: A circular economy strategy for bioenergy production in Ecuador. *New Biotechnology, 39*, 81-89. doi:https://doi.org/10.1016/j.nbt.2016.06.730

Velandia, K. D. G., Rey, D. D., Amado, P. A. C., & González, C. M. (2016). Evaluación de las propiedades físicas y químicas de residuos sólidos orgánicos a emplearse en la elaboración de papel. *Revista Luna Azul*(43), 499-517.

Velásquez-Arredondo, H. I., Ruiz-Colorado, A. A., & De Oliveira, S. (2010). Ethanol production process from banana fruit and its lignocellulosic residues: Energy analysis. *Energy, 35*(7), 3081-3087. doi:https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.03.052

Velázquez-Martí, B., Gaibor-Chávez, J., Niño-Ruiz, Z., & Narbona-Sahuquillo, S. (2018). Complete characterization of pruning waste from the lechero tree (Euphorbia laurifolia L.) as raw material for biofuel. *Renewable Energy, 129*, 629-637. doi:https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.06.050

Wang, B., Dong, F., Chen, M., Zhu, J., Tan, J., Fu, X., . . . Chen, S. (2016). Advances in Recycling and Utilization of Agricultural Wastes in China: Based on Environmental Risk, Crucial Pathways, Influencing Factors, Policy Mechanism. *Procedia Environmental Sciences, 31*, 12-17. doi:https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.02.002

Wang, S., Jena, U., & Das, K. C. (2018). Biomethane production potential of slaughterhouse waste in the United States. *Energy Conversion and Management, 173*, 143-157. doi:https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.07.059

Yin, K., Ahamed, A., & Lisak, G. (2018). Environmental perspectives of recycling various combustion ashes in cement production – A review. *Waste Management, 78*, 401-416. doi:https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.06.012

Zinla, D., Gbaha, P., Koffi, P. M. E., & Koua, B. K. (2021). Characterization of rice, coffee and cocoa crops residues as fuel of thermal power plant in Côte d'Ivoire. *Fuel, 283*, 119250. doi:https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119250

ANEXOS

1. Recopilación sobre cosecha agrícolas

La agricultura en el país es de gran importancia para el crecimiento económico por ende se presenta en el Anexo 1 los cultivos permanentes que se encuentran estipulados en el INEN de los cuales se seleccionaron 16 especies debido a su amplio grado de producción, así como su área de cosecha; por ende, en la siguiente tabla se detallaran estas con sus últimos cinco años estadístico.

Anexo 1.-*Superficie, Producción por cultivo permanente*

Especies		**Área cosechada (ha/año)**				**Producción (t/año)**				
	2015	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**
Aguacate (Fruta Fresca)	.	3085	3644	3322	3677	.	14432	15893	15148	21160
Banano (Fruta Fresca)	175489	174631	153740	156888	179883	7130825	6498245	6258106	6484528	6555720
Cacao (Almendra Seca)	368045	401340	417929	445707	467442	162546	162708	187915	212491	258110
Café (Grano Oro)	32226	20366	29789	25964	28945	3835	3012	6797	4544	7004
Caña de Azúcar para Azúcar (Tallo Fresco)	102616	104661	110603	98856	121812	10106105	8661609	9030074	7502251	9257700
Caña de Azúcar para otros usos (Tallo Fresco)	.	.	16479	16464	15525	.	.	314909	338383	831170
Limón ((Fruta Fresca)	.	4132	4603	3367	3119	.	27653	28004	18675	13084

Mango (Fruta Fresca)	8403	16890	14715	19591	15818	60042	81859	69524	88073	104896
Maracuyá (Fruta Fresca)	7556	5341	5778	5067	4000	43380	40274	34129	32491	26759
Naranja (Fruta Fresca)	3500	3080	3997	2974	2852	22535	17174	27207	27333	17473
Orito (Fruta Fresca)	.	7087	4563	2797	4928	.	37711	28714	15729	24481
Palma Africana (Fruta Fresca)	281892	256441	253382	217038	193689	4087335	3075502	3206849	2734536	2231645
Palmito (Tallo Fresco)	10472	6696	7335	6007	5243		40803	65372	43653	35010
Piña (Fruta Fresca)	5674	2154	4472	4162	4008	257310	89629	162214	140586	46264
Plátano (Fruta Fresca)	70247	63667	67684	63699	97156	516655	444002	583408	410920	582706
Tomate de Árbol (Fruta Fresca)	1533	2044	1838	1981	1519	13757	27620	16948	21912	23369

Fuente: ESPAC – 2019

Elaborado por: Autores

De acuerdo con los datos obtenidos del INEC se pude considerar que las especies con mayor producción son la Caña de Azúcar con 9257700 t/año, el Banano con 6555720 t/año, la Palma Africana 2231645 t/año, estos dos últimos son de gran importancia ya que se exporta a otros países produciendo ingresos económicos para el país, y la segunda especie es bastante usada para la generación de aceite.

2. Estimación de Residuos generados por cosecha

Desde año 2015 hasta el 2019 la generación de residuos agrícolas, residuos disponibles y residuos agroindustriales (10^3 t/año) en el Ecuador, se obtuvo de acuerdo al factor de desecho y a la producción de cada residuo, de esta manera en la tabla 2 se presenta la cantidad de residuos que genera de cada especie por su cascara, por su semilla y por su pulpa, los datos obtenidos generados por los residuos de cada especie se los promedia para saber cuántas toneladas por millón se generaron en cinco años.

Anexo 2 *Residuos generados por cosecha*

Cosecha	**Residuos**	**Factor de desecho (FD)**	**Residuos Agrícola y Agroindustriales (t/año)**					**Promedio de Residuo (t)**
			2015	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	
Aguacate (Fruta Fresca)	Cascaras	0,318	-	4589	5054	4817	6729	5297
	Semillas							5297,299782
Banano (Fruta Fresca)	Rachis	0,50	3565412	3249122	3129053	3242264	3277860	3292742
	Pseudo-tallo	1,15	8200449	7472981	7196822	7457208	7539078	7573308
	Residuos de plátano	0,0015	10696	9747	9387	9727	9834	9878
	Cáscaras	0,0027	19253	17545	16897	17508	17700	17781
Cacao (Almendra Seca)	Poda	0,0276	4486	4491	5186	5865	7124	5430
	Mazorca descartada							5430
	cáscara de mazorca							5430
Café	Pulpa	2,13	8169	6416	14478	9678	14918	10732
	Cáscara	0,21	805	633	1427	954	1471	1058
	Tallos cortados	3,02	11582	9097	20528	13722	21151	15216
Caña de Azúcar para Azúcar (Tallo Fresco)	Bagazo	0,22	2223343	1905554	1986616	1650495	2036694	1960541
	Desechos	0,1449	1464375	1255067	1308458	1087076	1341441	1291283
	Torta de filtro	0,03	303183	259848	270902	225068	277731	267346
	Bagazo	0,22	.	.	69280	74444	182857	108861

Caña de Azúcar para otros usos (Tallo Fresco)	Desechos	0,1449	.	.	45630	49032	120436	71700
	Torta de filtro	0,03	.	.	9447	10151	24935	14845
Limón ((Fruta Fresca)	Cáscara, semillas	0,3	.	8296	8401	5602	3925	6556
Mango (Fruta Fresca)	Cáscara, semillas	0,118	7085	9659	8204	10393	12378	9544
Maracuyá (Fruta Fresca)	Cáscara	0,378	16398	4752	4027	3834	3158	6434
Naranja (Fruta Fresca)	Cáscara, semillas	0,3	6760	5152	8162	8200	5242	6703
Orito (Fruta Fresca)	Hojas	0,0805	-	3036	2311	1266	1971	2146
	Pesudotallo	1,15	-	43368	33021	18088	28154	30657
	Raquis	0,5	-	18855	14357	7864	12241	13329
Palma Africana (Fruta Fresca)	Cáscara	0,22	899214	676610	705507	601598	490962	674778
	Fibra	0,63	2575021	1937566	2020315	1722758	1405936	1932319
	EFB	1,06	4332576	3260032	3399260	2898608	2365543	3251204
	POME	3,81	15572748	11717661	12218095	10418582	8502566	11685930
Palmito (Tallo Fresco)	Hojas y troncos de palmera	0,0506	-	2065	3308	2209	1772	2338
	Despuntes	0,1449	-	5912	9472	6325	5073	6696
	Capas exteriores	0,2438	-	9948	15938	10643	8535	11266
	Rechazo de productos	0,8763	-	35756	57286	38253	30679	40493
Piña (Fruta Fresca)	Rastrojo	1,63	420187	146365	264895	229577	75550	227315
	corona	0,024	6175	2151	3893	3374	1110	3341
	Núcleo	0,018	4632	1613	2920	2531	833	2506
	Pelar	0,064	16468	5736	10382	8998	2961	8909
Plátano (Fruta Fresca)	Rachis o Vástago	0,5	258327	222001	291704	205460	291353	253769
	Pseudo-tallo	1,2	594153	510602	670919	472558	670111	583669
	Residuos de plátano	0,0015	775	666	875	616	874	761
	Cáscaras	0,0027	1395	1199	1575	1109	1573	1370
Tomate de Árbol (Fruta Fresca)	Cáscaras + Semillas	0,07	963	1933	1186	1534	1636	1450

3. Composición Físico-Química

A continuación, se agrupan datos tomados de diferentes literaturas referentes a los residuos, FD, H, CE, HC, Li, SV de cada especie.

Anexo 3: *Composición física-química*

Cosecha	Residuos	Tipo de residuos (TD)	Factor de desecho (FD)	Contenido de humedad (H) (%)	Celulosa (CE) (%)	Hemicelulosa (HC) (%)	Lignina (Li) (%)	Sólidos volátiles (base seca) SV $_{BS}$ (%)	Referencia
Aguacate (Fruta Fresca)	Cáscara	AI	1,59	73,36	3,5	2,5	0,1	93,9	(Ceballos y Montoya, 2013)
	Semillas	AI		65,25	0,15	0,10	0,4	99,35	
Banano (Fruta Fresca)	Rachis	AI	1	93,6	53	17	16	79,1	((Abdullah, Sulaiman, y Taib, 2013; Granados, Velásquez, y Chejne, 2014; Kamdem *et al.*, 2018; Velásquez-Arredondo, Ruiz-Colorado, y De Oliveira, 2010)
	Pseudo-tallo	AC	5	90	54	16	21	88,8	
	Residuos de plátano	AI	0,15	79	4	4,4	4.20	89,7	
	Cáscaras	AI	0,27	89,1	12.01	13,23	1,63	86,3	
Cacao (Almendra Seca)	Poda	AC	12,5	85	26,38	8,78	24,24	40,6	(Cayo, 2018; Torres, 2019; Zinla, Gbaha, Koffi, y Koua, 2021)
	Mazorca descartada	AC							
	cáscara de mazorca	AI							
café	Pulpa	AI	2,13	85	35	46,3	18,8	74,6	(Felfli *et al.*, 2011; García, Peña, Betancourt, y Cardona, 2018; Santos da Silveira *et al.*, 2019)
	Cáscara	AI	0,21	13,1	23,77	16,68	28,58	73,2	
	Tallos cortados	AC	3,02	13,1	40,39	34,01	10,13	82,2	
Caña de azúcar	Bagazo	AI	0,22	50	43,55	32,99	21,76	1,7	(Janke *et al.*, 2015; Montoya *et al.*,
	Desechos	AC	0,63	40	36,1	24,2	33,3	6,4	

	Torta de filtro	AI	0,03	75	17	15	14	54	2015; Phyllis2, 2019)
Caña de azúcar	Bagazo	AI	0,22	50	43,55	32,99	21,76	97,7	
	Desechos	AI	0,63	40	36,1	24,2	33,3	77,4	
	Torta de filtro	AI	0,03	75	17	15	14	75,5	
Limón ((Fruta Fresca)	Cáscara, semillas	AI	0,17	9,9	20,45	6.61	2,29	97,5	((Fagbohungbe *et al.*, 2016; Pérez, Márquez, y Autíe, 2005; Sánchez, 2009)
Mango (Fruta Fresca)	Cáscara, semillas	AI	0,59	51,41	14,21	4,88	13	67,91	(Giraldo, Correa, Gutiérrez, y Castano, 2007; Gómez-Peña, Guzmán-Nariño, y Burbano-Caicedo, 2020)
Maracuyá (Fruta Fresca)	Cáscara	A	1,89	5,7	26,72	9,11	7,02	57,15	(Quishpe, 2012)
Naranja (Fruta Fresca)	Cáscara, semillas	AI	0,17	9,9	20,45	6.61	2,29	97,5	(Fagbohungbe *et al.*, 2016; Pérez, Márquez, y Autíe, 2005; Sánchez, 2009)
Orito (Fruta Fresca)	Hojas	AI	0,31	2,03	36,3	27,39	8,5	27,81	(Regalado y Marín, 2017)
	Pesudotallo	AI	4,3	8,99	35,3	24,9	5,2	34,6	
	Raquis	AI	1,05	2,95	30,6	15,7	9,85	43,85	
Palma aceitera	Cáscara	AI	0,22	7	20,8	22,7	50,7	83,6	(Aditiya *et al.*, 2016; Ahmad, Zhang, Doherty, y O'Hara, 2019; O-Thong, Boe, y Angelidaki, 2012; Sukiran, Abnisa, Wan Daud, Abu Bakar, y Loh, 2017; Talero, Rincón, y Gómez, 2019)
	Fibra	AC	0,63	42	30,6	26	30,1	84,8	
	Racimo de frutas vacio	AI	1.06	65	38,3	35,3	22,1	87,1	
	Efluentes del molino de aceite de palma	AI	3.81	87,1	11	7	42	5,7	

Palmito	Hojas y troncos de palmera	AI	0,22	35	48,42	20,18	12,86	18,54	(Castillo, 2016)
	Despuntes	AC	0,63	65	38,48	25,48	10,5	25,54	
	Capas exteriores	AI	1,06	75,5	36,3	33,3	13,01	17,39	
	Rechazo de productos	AI	3,81	80	10	7	30	53	
Piña	Rastrojo	AI	7,1	85	25,8	17.3	3.4	89,4	(Aditiya *et al.*, 2016; Avella, Gómez, González, Gómez, y Gamboni, 2014; Barbosa *et al.*, 2019; Bardiya, Somayaji, y Khanna, 1996; Sukruansuwan y Napathorn, 2018)
	corona	AI	0,12	9.0	32,16	31.05	18,68	78,8	
	Núcleo	AC	0,09	85,5	17.20	12.30	1,82	89,4	
	Cáscara	AI	0,32	85,5	21,98	74,96	2,68	89,4	
Plátano	Vástago	AI	1	93,6	53	17.00	16.00	79,1	((Abdullah, Sulaiman, y Taib, 2013; Granados, Velásquez, y Chejne, 2014; Kamdem *et al.*, 2018; Velásquez-Arredondo, Ruiz-Colorado, y De Oliveira, 2010)
	Pseudo-tallo	AI	5	90	54	16.00	21.00	88,8	
	Residuos de plátano		0,15	79	4	4,4	4,2	89,7	
	Cáscaras		0,27	10,1	13,2	14,8	14	86,3	
Tomate de Árbol	Cáscaras + Semillas		0,35	69,1	33,5	40	18	8,5	(Velandia, Rey, Amado, y González, 2016)

4. Cronograma.

Anexo 4 *Cronograma de Actividades*

CRONOGRAMA TENTATIVO DE ACTIVIDADES			
N° Actividades	**Fecha**	**Tareas**	**Responsables**
1	15/06/2020	Definición del tema de proyecto	Estudiantes - Tutor.
2	29/06/2020	Revisión bibliográfica acorde al tema.	Estudiantes - Tutor.
3	6/07/2020	Definición del objetivo general y específicos, planteamiento del problema y justificación	Estudiantes – Tutor.
4	13/07/2020	Elaboración del perfil del proyecto.	Estudiantes - Tutor.
	27/08/2020	Presentación del perfil.	Estudiantes - Tutor.
6	31/08/2020	Corrección de perfil del proyecto.	Estudiantes.
7	30/09/2020	Entrega de perfil corregido.	Estudiantes – Tutor.
8	19/10/2020	Fundamentación teórica que se encuentre validad por otros autores.	Estudiantes
9	13/11/2020	Metodología de la investigación, se realizará detalladamente para para lograr el cumplimiento de los objetivos planteados	Estudiantes
10	23/11/2020	-Cálculos del potencial de generación de energía por ambos métodos -Interpretación y Análisis de resultados.	Estudiantes

11	30/11/2020 16/12/2020	Conclusiones y recomendaciones.	Estudiantes
12	29/1/2021	Entrega del proyecto final junto con el informe favorable del director.	Estudiantes -Tutor.
14	12/2/2021	Entrega de informe favorables de proyectos de investigación.	Tribunal de defensa.
15	19/2/2021	Entrega de proyecto de investigación final.	Estudiantes -Tutor.
16	1/3/2021 5/3/2021	Defensa del proyecto de investigación.	Estudiantes