UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD CIENCIAS DE LA VIDA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TEMA

"VALORACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS A TRAVÉS DE LA DIGESTIÓN ANAERÓBICA, EN EL CANTÓN LAGO AGRIO, SUCUMBÍOS, ECUADOR."

AUTORES

CARLOS GEOVANNY ILIBAY GRANDA

RICARDO DANIEL MUÑOZ GANAN

DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

MSC. KAREL DIÉGUEZ SANTANA.

PUYO - PASTAZA - ECUADOR

2020

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.

Quienes suscriben, Carlos Geovanny Ilibay Granda con C.I. 2100393152 y Ricardo Daniel Muñoz Ganan con C.I. 1850385459, hace constar que son los autores del Proyecto de Investigación titulado: "**Valoración del potencial energético de los residuos sólidos urbanos a través de la digestión anaeróbica, en el cantón Lago Agrio, Sucumbíos, Ecuador",** el cual constituye una elaboración personal realizada únicamente con la dirección del Tutor de dicho trabajo, Msc 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 01 días del mes de agosto del 2020.





AUTOR	**AUTOR**
Carlos Geovanny Ilibay Granda	Ricardo Daniel Muñoz Ganan
CI: 2100393152	**CI: 1850385459**

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR EL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

El tribunal de sustentación del proyecto de investigación y desarrollo aprueba el proyecto de Investigación: "**Valoración del potencial energético de los residuos sólidos urbanos a través de la digestión anaeróbica, en el cantón Lago Agrio, Sucumbíos, Ecuador".**

BILLY DANIEL CORONEL ESPINOZA

Firmado digitalmente por BILLY DANIEL CORONEL ESPINOZA
Nombre de reconocimiento (DN): c=EC, o=BANCO CENTRAL DEL ECUADOR, ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION DE INFORMACION-ECIBCE, l=QUITO, serialNumber=0000485298, cn=BILLY DANIEL CORONEL ESPINOZA
Fecha: 2020.09.22 15:53:29 -05'00'

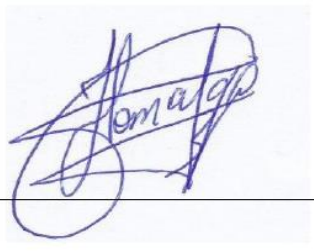
Ing. Billy Coronel.

Miembro del Tribunal



Ing. Miguel Ángel Enríquez Mg.

Miembro del Tribunal



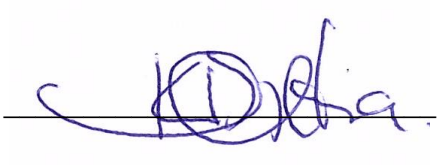
MSc. Santiago Cuichan

Miembro del Tribunal

CERTIFICADO DE PORCENTAJE DE SIMILITUD OBTENIDO EN EL SISTEMA ANTI-PLAGIO

Quien suscribe el presente Msc: Karel Diéguez Santana con CI:1756444129, certifica que el Proyecto de Investigación titulado: **Valoración del potencial energético de los residuos sólidos urbanos a través de la digestión anaeróbica, en el cantón Lago Agrio, Sucumbíos, Ecuador"**, ha sido examinado a través del sistema Antiplagio URKUND y presenta un porcentaje de similitud del 4 %.

Puyo, 4 de septiembre del 2020.



Msc: Karel Diéguez Santana

Director del Proyecto de Investigación

Oficio No. 291-SAU-UEA-2020

Puyo, 22 de septiembre de 2020

Por medio del presente **CERTIFICO** que:

El proyecto de investigación correspondiente a los egresados ILIBAY GRANDA CARLOS GEOVANNY con C.I. 2100393152 y MUÑOZ GANAN RICARDO DANIEL con C.I. 1850385459, con el Tema: **"Valoración del potencial energético de los residuos sólidos urbanos a través de la digestión anaeróbica, en el cantón Lago Agrio, Sucumbíos; Ecuador.",** de la carrera, Ingeniería Ambiental. Director del proyecto Ing. Karel Dieguez Santana, M.Sc., ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 4%, Informe generado con fecha 5 de septiembre de 2020 por parte del director conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

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

AGRADECIMIENTO

Infinitamente agradecido con Dios por permitirme cumplir esta meta.

De manera muy especial a la Universidad Estatal Amazónica, por brindarme una educación gratuita y de calidad.

A los docentes por compartir sus conocimientos durante el transcurso de mi formación académica.

A mi mami Carmen Granda por su apoyo incondicional desde siempre.

A mi tutor el MSc. Karel Diéguez Santana, por la paciencia, dedicación y buena voluntad de apoyarme durante mi estancia académica y proceso de titulación.

Carlos Geovanny Ilibay Granda

AGRADECIMIENTO

Al MSc. Karel Diéguez Santana. Por apoyarnos desde el primer dia impartiéndonos su consejo y sabiduría en el ámbito académico y ser una guía para la culminación de nuestro proyecto

A la Universidad Estatal Amazónica, que día tras día sigue formando profesionales de excelencia para que podamos contribuir con nuestra patria en un futuro

Ricardo Daniel Muñoz Ganan

DEDICATORIA

A Dios porque es la razón de mi existencia y de cada triunfo alcanzado.

De manera muy especial a mi fallecida mamita Eufemia Pinta, quien fue una de las razones más importantes por la cual he logrado culminar mi carrera universitaria gracias a sus palabras de aliento, al querer desistir de continuar estudiando, las cuales fueron "Yobita mijo termina de estudiar para que puedas ayudar a tu mamita y tus hermanos, para lo que hoy les falta, mañana les sobre".

A mi madre Carmen Granda, quien me ha brindado su amor, apoyo incondicional, acompañándome desde mi primer año de vida en cada uno de mis logros y en cada etapa de mi vida, lo cual se refleja hoy al finalizar esta trayectoria universitaria.

A mi padre Juan Carlos Ilibay, a mis hermanos Gicel, Adrián, Marely, a mis tíos Pablo, Ángel, a mi abuelito Alberto, a mi madrina Maribel Calle y padrino Omar Quichimbo, quienes son mis compañeros de vida y la razón del sacrificio y entrega durante esta maravillosa etapa universitaria.

A mi tutor y amigo el MSc. Karel Diéguez Santana, por compartirme sus conocimientos.

A Bryan González, Ricardo Muñoz, Luis Simbaina, Rafael López, Verónica Morocho, Miriam Morocho, David Pino y Fabricio Tamayo, quienes han sido mis grandes amigos durante mi vida universitaria y estancia en la ciudad de Puyo, con sus consejos, apoyo incondicional y apoyo económico, permitieron que logre terminar mi carrera universitaria.

"Muchas gracias a todos, lo conseguimos"

Carlos Geovanny Ilibay Granda

DEDICATORIA

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por permitirme llegar a estas estancias de mi vida para culminar mi carrera universitaria.

A mi madre Aida Cecilia Ganan Muñoz que para mí es mi mayor tesoro en la vida, ella siempre ha sido mi motor para poder seguir adelante, muchas veces quise dejar de estudiar para dedicarme a otras cosas que no me llevarían por buen camino, pero ella siempre con su consejo me volvía a poner en el camino correcto ya que unos de sus mayores sueños era que me convirtiera en un ingeniero para que yo pudiera defenderme solo en la vida sin depender de terceras personas.

A mi padre Holguer Mario Muñoz Díaz que me ayudo con lo que está dentro de sus posibilidades, aunque la mayor parte de mi formación académica estuvo lejos de mí siempre quiso formar parte de mi vida, y a pesar de lo que pase me decía que siempre poder contar con él para lo que yo necesite.

A mis hermanos Adrián Muñoz y Migue Muñoz, ellos siempre me apoyaron, en ocasiones apartaban sus problemas para solucionar los míos dándome fuerza para continuar día a día hasta poder alcanzar mis metas.

Y sin dejar a un lado a mi amigo, que lo considero como mi hermano Carlos Geovanny Ilibay Granda, que en estos últimos años formo parte de mi vida se comportó como si fuera mi hermano mayor apoyando en todo lo que podía sin quejarse una sola vez por los favores que me brinda, haciendo honor a la bonita amistad que construimos entre los dos.

Ricardo Daniel Muñoz Ganan

RESUMEN

A nivel mundial la demanda energética y la generación de residuos sólidos urbanos cada vez es más extensa, lo cual conlleva a buscar nuevas fuentes de energía y métodos más eficientes para los RS. En los predios urbanos del cantón Lago Agrio se generan una cantidad elevada de residuos orgánicos, mismos que no disponen de un estudio adecuado para aprovechar su máximo potencial y por ende se considera una gran contaminación al medio ambiente por el déficit en el tratamiento final de estos elementos. El objetivo principal de esta investigación es de valorizar el potencial energético disponible en los residuos sólidos urbanos a través de la digestión anaeróbica. El enfoque utilizado fue cualitativo a través de la recolección de información relacionada con estudios similares. Los instrumentos empleados fueron documentación de recolección de residuos sólidos del cantón Lago Agrio, de la provincia de sucumbíos y a nivel nacional, de igual manera documentos con estadística de consumo eléctrico nacional. Como resultados se observa que la población del casco urbano de Lago Agrio durante los años 2018 y 2019 fue de 79613 y 82877 habitantes. De igual manera la cantidad de residuos sólidos orgánicos urbanos disponibles para el estudio energético se estableció para el primer año en 15583.57 y de 16310.37 toneladas para el posterior año. Posteriormente se determinó el potencial energético de los RSOU, siendo estos para el año 2018 un total de 193923.44 KWh y para el año 2019 un total de 202967.81 KWh siendo la potencia promedio para estos dos periodos de 198445.62 KWh. Luego se obtuvo el potencial energético proyectado al año 2023 en 235745.55 Kwh. Finalmente, la investigación permite concluir los RSOU generados es alto, sin embargo, no satisface para la demanda energética total de la población si no únicamente para un porcentaje muy bajo de habitantes.

Palabras clave: Digestión anaerobia, residuos orgánicos, energía, caracterización.

ABSTRACT

Globally, the energy demand and the generation of urban solid waste is increasingly extensive, which leads to the search for new energy sources and more efficient methods for RS. In the urban estates of the Lago Agrio canton, a high amount of organic waste is generated, which does not offer an adequate study to take advantage of its maximum potential and therefore is considered a great pollution to the environment due to the deficit in the final treatment of these elements . The main objective of this research is to value the energy potential available in urban solid waste through anaerobic digestion. The approach used was qualitative through the collection of information related to similar studies. The instruments used were documentation of solid waste collection from the Lago Agrio canton, from the province of Sucumbíos and at the national level, as well as documents with national electricity consumption statistics. As results, it is observed that the population of the urban area of Lago Agrio during the years 2018 and 2019 was 79,613 and 82,877 inhabitants. Similarly, the amount of urban organic solid waste available for the energy study was established for the first year in 15583.57 and 16310.37 tons for the following year. Subsequently, the energy potential of the RSOU was determined, being these for the year 2018 a total of 193,923.44 KWh and for the year 2019 a total of 202967.81 KWh being the average power for these two periods of 198445.62 KWh. Then the energy potential projected to the year 2023 was obtained at 235 745.55 Kwh. Finally, the research allows us to conclude that the RSOU generated is high, however, it does not satisfy the total energy demand of the population if not only for a very low percentage of inhabitants.

Keywords: Anaerobic digestion, organic waste, energy, characterization.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1 **15**

1. Introducción 15

1.1. Planteamiento del Problema 16

1.2. Objetivos. 17
1.2.1. Objetivo general. 17
1.2.2. Objetivos específicos. 17

1.3. Justificación. 17

CAPÍTULO 2 **18**

2. Fundamentación teórica. 18

2.1. Residuos Sólidos. 18
2.1.1. Clasificación de Residuos Sólidos. 18

2.2. Residuos Orgánicos Rurales. 20

2.3. Factores determinantes de la generación de residuos sólidos. 20
2.3.1. Tasa de generación de residuos sólidos. 20
2.3.2. Reducción en su fuente y reciclaje. 20
2.3.3. Legislación territorial. 21

2.4. Valoración energética. 21

2.5. Poder calorífico. 21
2.5.1. Poder calorífico superior. 21
2.5.2. Poder calorífico inferior. 21

2.6. Los biodigestores 21

2.7. Biomasa 22

2.8. Digestión anaerobia. 22

2.9. Bases microbiológicas del proceso anaerobio. 22
2.9.1. Hidrólisis. 22
2.9.2. Acidogénesis. 22
2.9.3. Metanogénesis. 23

2.10. Potencial de Biometano 23

2.11. Subproductos de la digestión anaerobia. 23
2.11.1. Biogás. 23

2.12. Aplicación del biogás 24

2.13. pH 24

2.14. Sólidos totales (ST) 24

2.15. Sólidos volátiles (SV) 24

2.16. Marco Legal. 25
2.16.1. Criterios de Marco Legal en Ecuador. 25

CAPÍTULO 3 **28**
3. Metodología de la investigación. 28
3.1. Localización. 28
3.2. Tipo o diseño de investigación. 29
3.3. Métodos de investigación. 29
3.3.1. Disponibilidad de los residuos sólidos urbanos en el cantón Lago Agrio. 29
3.3.2. Potencial energético de los residuos sólidos orgánicos urbanos. 33
3.3.3. Análisis del potencial energético de los RSOU como alternativa energética dentro del cantón. 35
CAPÍTULO 4 **36**
4. Análisis de resultados. 36
4.1. Disponibilidad de los residuos sólidos orgánicos urbanos en la cabecera cantonal Lago Agrio. 36
4.1.1. Tamaño de población estimada. 36
4.1.2. Generación per cápita de RSOU. 36
4.1.3. Residuos sólidos orgánicos urbanos disponibles para estudio energético. 37
4.2. Potencial energético de los RSOU. 38
4.3. Análisis del potencial energético de los RSOU como alternativa energética. 38
5. Conclusiones. 43
6. Recomendaciones. 43
7. Referencias. 44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación del proyecto de titulación "Valoración del potencial energético de los residuos sólidos urbanos a través de la digestión anaeróbica, en el cantón Lago Agrio, provincia Sucumbíos, Ecuador". 28
Figura 2: Evolución de la oferta energética primaria en Ecuador por fuentes desde el año 2000 al 2015. 40
Figura 3: Producción de energía en el año 2015. 40
Figura 4: Porcentaje de consumo eléctrico en Ecuador durante el año 2015. 41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Estadisticas Censo Nacional Año 2010 29
Tabla 2 Caracterización y promedio de RSOU en las ciudades de Colombia 31
Tabla 3 Caracterización de residuos orgánicos por porcentaje en la provincia de Sucumbíos 32
Tabla 4 Promedio de fracción, de carbono biodegradado como metano en Colombia 34
Tabla 5 Población estimada de los años 2018 y 2019 del cantón Lago Agrio 36
Tabla 6 Generación per cápita de RSOU de la cabecera cantonal Lago Agrio 37
Tabla 7 Residuos sólidos orgánicos urbanos en la cabecera cantonal Lago Agrio 37
Tabla 8 Potencial energético cantón Lago Agrio años 2018 y 2019 38
Tabla 9 Aporte energético de los RSOU producidos en el cantón Lago Agrio 42
Tabla 10 Proyección estimada de la población, RSOU y potencial energético hasta el 2023 42

CAPÍTULO 1

1. Introducción

Actualmente existen varias fuentes para obtención de energía, como lo es la hidráulica, eólica, combustibles fósiles, entre otras. Sin embargo, la más usada a nivel mundial sigue siendo la que se obtiene a través del petróleo. En consecuencia, las reservas de este son explotadas en grandes cantidades, lo que genera, elevados costos, escases de la fuente y el aumento del calentamiento global por aumento del CO_2, el mismo que es el producto de los procesos para la obtención de la energía. Además, el aumento descontrolado de a nivel global incrementan la demanda energética a niveles que sobrepasan los estimados en años anteriores. Esto sin duda hace que se busquen nuevas fuentes de energía renovables amigables con el medio ambiente (Quillos, Escalante, Sánchez, Quevedo y De La Cruz, 2018).

A nivel mundial la gestión de residuos sólidos urbanos (RSU), ha sido catalogados como uno de los problemas más críticos en las ciudades que poseen una población a gran escala, con un desarrollo industrial elevado lo que conllevan a la generación de grandes cantidades de desechos. Los países sudamericanos presentan problemas en cuanto al manejo de los RSU debido a la inadecuada tecnología (González, 2016).

Los métodos más conocidos para la valoración energética son los procesos de incineración, gasificación, pirólisis, digestión anaerobia, etc., este último se encarga de aprovechar el contenido de humedad que posee los RSU superior al 50 %. Dicha energía se la utiliza en procesos industriales, generación de electricidad y de combustible.

La valoración energética que poseen los residuos sólidos urbanos orgánicos del cantón Lago Agrio, busca indicar cuál es el potencial de energía que se puede producir a través de los residuos sólidos urbanos mediante la digestión anaeróbica, de tal manera que se pueda aprovechar en su totalidad los residuos sólidos urbanos dentro del cantón. Una gestión correcta en la disposición final de los residuos sólidos orgánicos urbanos (RSOU, por medio del aprovechamiento de su potencial energético, es sin duda una técnica que ayuda a su reducción, de manera rápida y efectiva, generando a la vez el aumento en la vida útil de los rellenos sanitarios, además de contribuir a la producción de energía eléctrica y combustible.

1.1. Planteamiento del Problema

A nivel nacional el tema manejo de residuos sólidos aun es decadente debido a que el país no cuenta con tecnología, técnicas, ni conocimientos adecuados, sobre el manejo de los RS, los mismos que van en aumento y a su vez suman considerablemente a la contaminación ambiental mundial. Según estadísticas ambientales que aporta el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), en Ecuador se generan alrededor de 0.58 kilogramos de residuos sólidos por habitante en la zona urbana, por consiguiente, la recolección en el año 2016 generó 12897.98 toneladas diarias de basura, de los cuales el 58.5 % son orgánicos y el porcentaje restante inorgánico (INEC, 2017). Pulido (2012) considera como residuos a los diferentes productos en estados líquidos, solidos o gaseosos que luego de a ver culminado su vida útil, dejan de tener valor y son desechados por los consumidores, los cuales a su vez se clasifican en residuos, peligrosos, no peligrosos, industriales, comerciales, urbanos y rurales. El manejo inadecuado sin control de residuos genera consigo problemas de salud y ambiente, los cuales generan riesgos significativos. A su vez los residuos sólidos orgánicos urbanos adquieren mayores características fisicoquímicas, las cuales hacen que su degradación sea más compleja. Esto, en conjunto de la cultura ambiental que existe en la población, tanto en consumo como en recolección, han hecho que sea una tarea la cual demanda cantidades significativas de recursos económicos (Couto y Hernández, 2012).

El cantón Lago Agrio presenta actualmente un aumento de población, en un estimado de 120000 habitantes, desde el último censo nacional del año 2010 (INEC, 2015). Por consiguiente, también un aumento de los residuos sólidos urbanos, los cuales son destinados a rellenos sanitarios directamente, dejándolos sin ningún tipo de uso o aprovechamiento en su totalidad. Los residuos orgánicos no son separados de los inorgánicos, lo cual genera un impedimento o retraso de cualquier proceso que permita obtener el potencial físico o químico que pueden disponer estos residuos. Todos los RSU que se recolectan en el cantón Lago Agrio, no se aprovechan en su totalidad debido a la falta de conocimiento en la población, falta de tecnologías y al manejo inadecuado de procesos biológicos para su disposición final. Lo que conlleva a reducir la vida útil de los vertederos u rellenos sanitarios, aumentando bruscamente la contaminación ambiental. Debido a los antecedentes planteados se emplea la siguiente pregunta ¿Cuál es el potencial energético que pueden generar los residuos sólidos urbanos a través de la digestión anaeróbica?, de tal manera que se pueda aprovechar en su totalidad los residuos sólidos orgánicos urbanos dentro del cantón Lago Agrio.

1.2. Objetivos.

1.2.1. Objetivo general.

Realizar la valoración del potencial energético disponible en los residuos sólidos urbanos a través de la digestión anaeróbica en el cantón Lago Agrio, Sucumbíos, Ecuador.

1.2.2. Objetivos específicos.

- Realizar un análisis de la disponibilidad de los residuos sólidos orgánicos urbanos en el cantón Lago Agrio.
- Calcular el potencial energético aprovechable de los residuos sólidos orgánicos urbanos.
- Analizar como una alternativa energética dentro del cantón el potencial energético calculado de los RSOU.

1.3. Justificación.

El acelerado crecimiento urbano en grandes y pequeños cantones del Ecuador incrementan la generación de residuos sólidos tras una incorrecta disposición final, trayendo consigo impactos ambientales, afectaciones a la salud de la población, reducción de la vida útil en los rellenos sanitarios, convirtiéndola así en una cuestión más compleja con el trascurso del tiempo. Por lo antes mencionado es claro la necesidad de incorporar estrategias y métodos de aprovechamiento dentro del casco urbano, en cuanto a los residuos sólidos generados.

Debido a ello en esta investigación se promueve el aprovechamiento energético de los residuos sólidos urbanos a través del método de digestión anaeróbica, logrando así reducir económicamente los costos energéticos de la población, un manejo adecuado de los RSOU y una correcta disposición final de los mismos. Para cumplir con los objetivos planteados para este trabajo, se empleara la metodología utilizada por (Sabalza Ramos y Villamizar Navas, 2009), para el cálculo del potencial energético, además de parámetros y estudios encontrados en la literatura, permitiendo cumplir con los objetivos de nuestra investigación en la valorización del potencial energético de los RSOU. En base a los objetivos de estudios, el apartado de resultados brindara una concreta información en cuanto a población, generación per cápita, residuos sólidos orgánicos urbanos disponibles para estudios energéticos, los cuales contribuirán en las decisiones del aprovechamiento adecuado y disposición final de los RSOU, logrando una mejora en la economía y calidad de vida de la población dentro del cantón Lago Agrio.

CAPÍTULO 2

2. Fundamentación Teórica.

2.1. Residuos Sólidos.

Son sustancias, productos o subproductos, que ya cumplieron su ciclo de vida útil y que a su vez ya no poseen ningún valor económico en las actividades cotidianas de la población ya sea con fines productivos, comerciales, entre otros (Rendón, Hurtado, Mesa y González, 2018). Los residuos sólidos a su vez se los pude encontrar en dos principales categorías como: residuos orgánicos e inorgánicos.

2.1.1. Clasificación de Residuos Sólidos.

Los residuos sólidos se los pueden encontrar en diferentes tipos según su origen y contenido biológico, además de poseer características propias de cada uno según su procedencia, lo cual conlleva a la existencia de procesos únicos para cada tipo de RS. A continuación, se detalla su clasificación:

2.1.1.1. Por su origen.

2.1.1.1.1. Residuos Domiciliarios.

Son aquellos desechos que, de acuerdo con la naturaleza, cantidad y volumen de su procedencia, se generan mediante las actividades desarrolladas en viviendas de familias pequeñas, medianas y grandes. Lo mismos pueden encontrarse en una subclasificación de papel, cartón, vidrio, metales, entre otros (Sánchez, 2019).

2.1.1.1.2. Residuos Comerciales.

Provenientes de las actividades generadas en restaurantes, hoteles, mercados, plazas populares, locales de comida rápida, entre otros. Generalmente se generan desechos como restos de papel de envolturas, fundas plásticas, cartón, vidrio, cenizas de carbón, basura doméstica, platos y vasos desechables (Muñoz y Morales, 2018).

2.1.1.1.3. Residuos Institucionales.

Se identifican como aquellos provenientes de toda institución pública o privada, entre estas se ubican a los centros educativos de nivel básico, primario, secundario, universitario, además de instituciones de la policía nacional, fuerzas armadas, cuerpo de bomberos, centros religiosos y terminales terrestres (Antillón, Rodríguez y Pino, 2019).

2.1.1.1.4. Residuos Industriales.

Se establece a todos aquellos desechos resultantes de las actividades de producción, ya sean en procesos alimenticios, textiles, automotriz, entre otros. Muchos de estos residuos suelen contener porciones orgánicas, inorgánicas y toxicas que al ser desechadas directamente en fuentes de agua pueden causar problemas graves a los organismos del lugar (Lobo, 2017).

2.1.1.1.5. Residuos de construcción.

Estos residuos son productos de todas las actividades que se relaciona con el área civil como es la construcción de viviendas residenciales, edificios comerciales, institucionales, vías de pavimentos, vías de hormigón, construcciones hidráulicas, sanitarias entre otras. Productos de estas actividades se generan escombros como restos de ladrillos, bloques de cemento, arena, tierra, entre otros (Lauritzen y Hahn, 2016).

2.1.1.1.6. Residuos Especiales.

Son de aquellos que se origina a nivel doméstico y comercial, los cuales pueden ser restos de jardines, electrodomésticos de consumo y línea blanca, material automotriz como aceites, neumáticos, baterías, restos de pintura, en general todo material que se relacione con materiales químicos (Mancera y Postigo, 2018).

2.1.1.1.7. Residuos Municipales.

Dentro de estos se encuentran todos aquellos desechos producto de las actividades municipales, como limpieza de parques, playas, calles, poda de árboles, excrementos de animales, animales muertos en calles y parques de la ciudad, en general de todo lo que tenga que ver con mejorar el ornato de la ciudad (Ramos, 2016).

2.1.1.1.8. Residuos Agrícolas.

Generalmente son aquellos residuos generados por toda actividad que se realiza en el área agrícola, como es la siembra, cosecha, control de maleza, entre otros. En el sector pecuario igualmente se generan desechos como en las actividades de ganadería, crianza de animales, de las cuales se generan restos de comida (Feijóo, Golato, Colombres y Cárdenas, 2017).

2.1.1.2. Por sus propiedades Biológicas.

2.1.1.2.1. Residuos Orgánicos.

Se definen como los residuos que pueden llegar a descomponerse por procesos aerobios y anaerobios, los cuales tienen una gestión de acuerdo con su origen y composición. Generalmente se los encuentra en toda actividad destinada a satisfacer la demanda alimenticia de la población o crianza de animales (Hernández, 2019; Soto-Cabrera, Panimboza-Ojeda, Ilibay-Granda, Valverde-Lara, & Diéguez-Santana, 2020).

2.1.1.2.2. Residuos Orgánicos Urbanos.

Son aquellos desechos de origen vegetal o animal que se produce diariamente durante las actividades domésticas o industriales dentro de la ciudad, los mismos que han cumplido con satisfacer la demanda alimenticia de la población y a su vez ya no los encuentran aptos para su aprovechamiento productivo (Soria y Luz, 2018).

2.2. Residuos Orgánicos Rurales.

Hacen referencia a las sustancias que se generan diariamente por interacción humana como actividades domésticas, agrícolas, pecuarias, en las diferentes áreas productivas que se generan en el medio rural, sean fincas, haciendas, viviendas, entre otras. En el sector rural se genera cantidades menos de residuos orgánicos debido a su propio aprovechamiento en actividades de campo. (Ponce, 2016).

2.3. Factores determinantes de la generación de residuos sólidos.

2.3.1. Tasa de generación de residuos sólidos.

Montoya y Martínez (2013) indican que la tasa de generación de residuos (TGRS) se le conoce también como producción per cápita, la cual permite estimar cantidades de basura generados por cada habitante a través del número de personas para la cantidad de basura y un tiempo determinado. La TGRS puede ser medida en unidades como kg/habitantes*dia, cantidad de kilogramos por vivienda.

2.3.2. Reducción en su fuente y reciclaje.

Gómez (2000) manifiesta que esta actividad se realiza a través de la elaboración con contenidos menos tóxicos, aumento de su vida útil, reciclaje en domicilios, lugares comerciales, reutilización de aquellos productos que aun muestren potencial para su aprovechamiento

2.3.3. Legislación territorial.

Cada provincia, cantón, ciudad, parroquia, barrio, tienes sus leyes, estatutos, normas y códigos que rigen el control y manejo de los residuos sólidos dentro de su jurisprudencia, para gestionar y manejar adecuadamente la generación excesiva de RSU (Gómez, 2000).

2.4. Valoración energética.

Acosta Ramírez y Bohórquez Rozo (2019) indican que actualmente el principio **Waste to energy**, es utilizado para denotar el grupo familiar de tecnologías que ya se implementan alrededor del mundo en ciudades diferentes, con la finalidad de buscar reducir el espacio ocupado por los residuos sólidos, utilizando su capacidad calórica para modificarlos en energía eléctrica.

2.5. Poder calorífico.

Alvarado, Martínez, Suazo y Gutiérrez (2018) manifiestan que es el valor de calor que produce un peso sobre un volumen para que una sustancia pueda oxidarse, la cual se puede expresar en diferentes unidades de peso y volumen como kcal/kg, kcal/m3, entre otras. Existen una división dentro del poder caloríficos en cual sea da en superior (PCS) e inferior (PCI).

2.5.1. Poder calorífico superior.

Se da cuando se queda totalmente condensado el vapor de agua al suponer que los elementos empleados en la combustión se toman y se llevan desde una temperatura de 0 ºC a 0º C luego de la combustión (Diez, Cárdenas y Mentz, 2017).

2.5.2. Poder calorífico inferior.

Es todo lo adverso al anterior, pues no se condensa el vapor de agua durante la combustión, por ende no se aporta calor al proceso y solo se dispone de la cantidad de calor inicial procesada durante la oxidación (Carvajal, Tafur, Villavicencio y Gutiérrez, 2018).

2.6. Los biodigestores

Según Cárdenas et al. (2013) son diseñados principalmente para reducir, mitigar e optimizar los desechos agrícolas como estiércol o afluyentes industriales a partir de la producción de biogás, el mismo que da a paso a la obtención de energía limpia y de bajo costo, partiendo de fuentes renovables que se convierten en un sistema muy rentable para los agricultores.

2.7. Biomasa

Se caracteriza por ser una de las fuentes de energía renovable más competente y utilizada por los países sub desarrollados y propuesta para ser utilizada en países poco desarrollados como fuentes de ingresos para mejorar la economía de los sectores en los cuales se utiliza este tipo de energía, ya que su energía proviene de la materia orgánica que tiene origen dentro de un proceso biológico (Bustamante García et al., 2016).

2.8. Digestión anaerobia.

La digestión anaeróbica es una tecnología muy aplicada hoy en dia, debido a que produce biogás mediante la descomposición de la materia orgánica, basándose en un proceso biológico, donde existe ausencia de oxígeno el cual permite junto a grupos de bacterias que la materia orgánica sea transformada en una corriente gaseosa de CH_4 y CO_2 y pueda ser utilizada como fuente de energía (Álvarez, 2017).

2.9. Bases microbiológicas del proceso anaerobio.

La degradación anaerobia se da en ausencia de oxígeno, donde intervienen varios microorganismos que trabajan conjuntamente o separados, estos transforman la materia orgánica sucesivamente en etapas (González et al., 2020). A nivel de ingeniería se consideran etapas como hidrolisis, acidogénesis, metanogénesis debido a que constituyen un enfoque más novedoso (Jewell, 1987).

2.9.1. 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 y Abreu, 2005).

2.9.2. 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 y Abreu, 2005).

2.9.3. Metanogénesis.

La etapa final es la más importante debido a la previa obtención del biogás tras la transformación de la materia orgánica. Esta etapa metabólica consiste en producir el CH_4 a partir del ácido acético o a su vez de las mezclas entre H_2 y CO_2, pero 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 y Abreu, 2005).

2.10. Potencial de Biometano

El biometano puede ser utilizado como combustible para vehículos sin perjudicar su rendimiento, además se emplear para equipos que su fuente de poder se constituye por gases como los equipos de refrigeración, térmicos, climatización, hornos, turbinas, entre otros (Junqueira et al., 2016).

Según Magalhães, Souza, Afonso y Ricieri (2004), el biogás debe pasar por un proceso de purificación para retirar el dióxido de carbono y así convertirlo en biometano hasta que el metano este próximo al gas natural y pueda ser utilizado. El disolvente que pueden utilizarse es el polietileno glicol, el cual es el más utilizado debido a su alta tasa de solubilidad en el dióxido de carbono y sulfuro de hidrogeno.

2.11. Subproductos de la digestión anaerobia.

2.11.1. Biogás.

Es considerado un gas combustible qué se produce a partir de la biodegradación de materia orgánica, la misma que es descompuesta por microorganismos u bacterias metalogénicas que se encuentran en lugares determinados como medios naturales y otros factores que influyen en un ambiente anaeróbico. El proceso de descomposición anaerobio es uno de los más utilizados y recomendados para la eliminación de residuos biodegradables dándoles diferentes tipos de usos. Este producto a su vez se lo puede utilizar en reemplazo del gas natural debido a que su explotación va en aumento por su versatilidad para generar calor y energía a través del tratamiento en los desechos orgánicos (Plugge, 2017).

2.12. Aplicación del biogás

El uso del biogás en el mundo aparece a partir de unas investigaciones científicas sobre la eficiencia. En Brasil el uso del biogás tomo fuerza a medida que fue usado como sustituto de la gasolina y el gasóleo, la implementación del biogás ha tomado fuerza en cada uno de los países sub desarrollados y a su vez en lo menos desarrollados a medida que su uso no se define solamente por ser usado en pequeña escala en hogares sino que también se pude usar para el tratamiento de residuos municipales e industriales mediante el proceso de fermentación anaerobia (Arango Gómez et al., 2014).

2.13. pH

Es parte fundamental en procesos anaerobios para poder alcanzar su estabilidad, ya que es una variable muy importante para poder regular la coexistencia de las poblaciones de microorganismos a pesar que cada uno de los grupos microbianos poseen un grado de sensibilidad diferente (Cendales, 2011).

2.14. Sólidos totales (ST)

Se pude determinar a partir de un análisis de solidos disueltos, suspendidos y sedimentables, dado el caso corresponden a la cantidad de materia solida contenida por unidad de medida. Se realiza un estudio de solidos totales con la finalidad de calcular el rendimiento de la producción de biogás dado que cada uno de los microorganismos que interactúan en el proceso anaerobio actúan de manera distinta a medida que aumenta la concentración en el medio que se encuentran (Yi et al., 2014).

2.15. Sólidos volátiles (SV)

Los sólidos volátiles están compuestos por lípidos, proteínas y carbohidratos, los cuales permiten estimar la biodegradación de los residuos y posteriormente la generación del biogás. De los tres compuestos el más relevantes son los lípidos ya que este conforma un 30 % (López, 2017). Según Marta et al. (2020), cuando se compara el rendimiento bioquímico del metano los compuestos arrojan los siguientes resultados: los lípidos producen desde 903.9 a 1101.2 L/kg SV, las proteínas 740 L/kgSV y los carbohidratos 370 L/kg SV. Sin embargo (Chang Liu & Chang Liu, 2016) asegura que el potencial bioquímico del metano se puedo producir mediante el análisis de unos componentes específicos que están dentro de los sólidos volátiles.

2.16. Marco Legal.

2.16.1. Criterios de Marco Legal en Ecuador.

Constitución Republica del Ecuador (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

La Constitución de la República del Ecuador dispone en su artículo 14 que "El Estado reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, garantizando la sostenibilidad y buen vivir, el Sumak Kawsay.".

Igualmente, se establece en el **Art. 15.-** El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto.

De la misma manera, el artículo 413 manifiesta que "El Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni 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; tomará medidas para la conservación de los bosques y la vegetación, y protegerá a la población en riesgo."

Código Orgánico Del Ambiente (Código Orgánico del Ambiente, 2017).

En este apartado se establecen las leyes en cuanto a gestión integral de residuos sólidos en Ecuador.

TÍTULO V GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS Y DESECHOS

CAPÍTULO I DISPOSICIONES GENERALES

En el Artículo 225.- se establecen las políticas generales de la gestión integral de los residuos y desechos. Las mismas que Serán de obligatorio cumplimiento, tanto para las instituciones del Estado, en sus distintos niveles y formas de gobierno, regímenes especiales, así como para las personas naturales o jurídicas, las siguientes políticas generales:

- El manejo integral de residuos y desechos, considerando prioritariamente la eliminación o disposición final más próxima a la fuente.
- La responsabilidad extendida del productor o importador.

- La minimización de riesgos sanitarios y ambientales, así como fitosanitarios y zoosanitarios; 4. El fortalecimiento de la educación y cultura ambiental, la participación ciudadana y una mayor conciencia en relación con el manejo de los residuos y desechos.
- El fomento al desarrollo del aprovechamiento y valorización de los residuos y desechos, considerándolos un bien económico con finalidad social, mediante el establecimiento de herramientas y mecanismos de aplicación.

De la misma manera en el **Artículo 226.-** Principio de jerarquización. La gestión de residuos y desechos deberá cumplir con la siguiente jerarquización en orden de prioridad:

- Prevención.
- Minimización de la generación en la fuente.
- Aprovechamiento o valorización.
- Eliminación.
- Disposición final.

La disposición final se limitará a aquellos desechos que no se puedan aprovechar, tratar, valorizar o eliminar en condiciones ambientalmente adecuadas y tecnológicamente factibles. La Autoridad Ambiental Nacional, así como los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales o Metropolitanos, promoverán y fomentarán en la ciudadanía, en el marco de sus competencias, la clasificación, reciclaje, y en general la gestión de residuos y desechos bajo este principio.

Para el presente proyecto de investigación también se tomó en cuenta la normativa en cuanto a producción y consumo sustentable.

TÍTULO VI PRODUCCIÓN Y CONSUMO SUSTENTABLE

El Artículo 245.- Detalla las obligaciones generales para la producción más limpia y el consumo sustentable. Donde todas las instituciones del Estado y las personas naturales o jurídicas, están obligadas según corresponda, a:

- Incorporar en sus propias estructuras y planes, programas, proyectos y actividades, la normativa y principios generales relacionados con la prevención de la contaminación, establecidas en este Código.
- Optimizar el aprovechamiento sustentable de materias primas.

- Fomentar y propender la optimización y eficiencia energética, así como el aprovechamiento de energías renovables.
- Prevenir y minimizar la generación de cargas contaminantes al ambiente, considerando el ciclo de vida del producto.
- Fomentar procesos de mejoramiento continuo que disminuyan emisiones.
- Promover con las entidades competentes el acceso a la educación para el consumo sustentable.
- Promover el acceso a la información sobre productos y servicios en base a criterios sociales, ambientales y económicos para la producción más limpia y consumo sustentable.
- Coordinar mecanismos que faciliten la transferencia de tecnología para la producción más limpia.
- Minimizar y aprovechar los desechos.
- Otros que la Autoridad Ambiental Nacional dicte para el efecto.

La base legal que representa el cambio climático también fue considerada, detallándose a continuación:

LIBRO CUARTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

TÍTULO II DE LA ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO CAPÍTULO I DISPOSICIONES GENERALES PARALAS MEDIDAS DE ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO

CAPÍTULO II MEDIDAS MÍNIMAS PARA ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN

El Artículo 261.- De las medidas mínimas. La Autoridad Ambiental Nacional, como ente rector, coordinará con las entidades intersectoriales priorizadas para el efecto y en base a las capacidades locales, lo siguiente:

- 9. La promoción y el fomento de programas de eficiencia energética, dentro de toda la cadena, así como el establecimiento de incentivos económicos y no económicos de energías renovables convencionales y no convencionales.
- 12. La promoción de la reutilización de residuos orgánicos e inorgánicos, así como el aprovechamiento de su potencial energético.

CAPÍTULO 3

3. Metodología de la Investigación.

3.1. Localización.

El presente trabajo de investigación se establece en el casco urbano del cantón Lago Agrio, el cual posee dos climas: tropical lluvioso y tropical mega térmico muy húmedo, dispone de una temperatura mínima de 20 ºC, una media anual de 24 ºC y una máxima de 31 ºC, con una altitud de 300 msnm, una humedad del 62%, vientos que oscilan a 13 km/h y precipitaciones del 11 %.



NOMBRE DEL PROYECTO	UBICACIÓN	CADISTA	LOCALIZACIÓN	SISTEMA DE COORDENADAS	ESCALA
VALORACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO - TEÓRICO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS A TRAVÉS DE LA DIGESTIÓN ANAERÓBICA	ECUADOR	CARLOS GEOVANNY ILIBAY GRANDA - RICARDO DANIEL MUÑOZ GANAN	CANTÓN LAGO AGRIO, PROVINCIA DE SUCUMBIOS.	PROYECCIÓN: UTM	1:1.462.231
				ZONA: 17 S	FECHA:
				COORDENADAS: WGS-1984	30/06/2020

Figura 1: Ubicación del proyecto de titulación "Valoración del potencial energético de los residuos sólidos urbanos a través de la digestión anaeróbica, en el cantón Lago Agrio, Sucumbíos, Ecuador".

Elaborador por: Los autores.

3.2. Tipo o diseño de investigación.

El diseño de la investigación para el presente proyecto se establece como investigación documental, debido a que en el trabajo se efectúa el uso información recopilada sobre los ítems principales para la valoración del potencial energético de los residuos sólidos urbanos a través de la digestión anaeróbica, la cual será recopilada de, revistas científicas, tesis de grados, entre otras fuentes.

3.3. Métodos de investigación.

3.3.1. Disponibilidad de los residuos sólidos urbanos en el cantón Lago Agrio.

Para realizar un análisis de la disponibilidad de los residuos sólidos urbanos se empleó el uso de fuentes de información verídicas, que contribuyeron a la investigación, las cuales se obtuvieron de la literatura, del Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos (INEC), manejo adecuado de residuos orgánicos por parte del ministerio del ambiente, documentos que corroboran los datos obtenidos por medio del Departamento de Ambiente del GADM del cantón Lago Agrio y del GADP de Sucumbíos.

3.3.1.1. Población.

El cantón Lago Agrio se destaca por ser una provincia con habitantes de varios sectores del país, los cuales han ido llegando desde los inicios de su fundación a través de la explotación petrolera que se dio dentro del territorio. Mediante el último censo nacional realizado en el año 2010 por el INEC, se obtuvo el número de habitantes y la tasa de crecimiento, para el cantón y la parroquia urbana Nueva Loja en ese periodo.

Tabla 1

Estadísticas Censo Nacional Año 2010

Censo Nacional Año 2010		
Lugar	**Población**	**Tasa de crecimiento**
Cantón Lago Agrio	91744	2.75 %
Parroquia Urbana Nueva Loja	57727	4.10 %

Fuente: (INEC, 2010)

3.3.1.2. Tamaño de población estimada.

El último censo nacional de población se realizó en el año 2010, debido a ello en la actualidad no existen datos reales del número de habitantes en el cantón Lago Agrio. Por consiguiente, estos datos serán estimados para los periodos 2018 y 2019, mediante la siguiente ecuación:

$$\boldsymbol{Pf} = Pi(1 + R)^T$$

Donde:

Pf: Población final.

Pi: Población inicial.

R: Tasa de crecimiento anual.

T: Número de años a proyectar la población.

3.3.1.3. Propiedades físicas – químicas de los residuos sólidos orgánicos urbanos.

A nivel nacional no existe información relevante en cuanto a estas propiedades, debido a ello, se ha tomado en cuenta información de estudios realizado en Colombia en las ciudades de Bogotá, Medellín, Cali, Barranquilla y Bucaramanga. Estos mismos datos han sido resumidos y obtenido el porcentaje total para emplearse dentro de esta investigación. Los parámetros utilizados en esta sección se encuentran dentro de los rangos y porcentajes en diferentes estudios a nivel mundial en cuanto a biomasa. Según Hernández, Benítez y Bermúdez (2018) la caracterización físico química de los RSOU posee un porcentaje de solitos totales del 32.3 %, una humedad del 67.7 %, solidos volátiles del 79.91 %, una densidad aparente de 0.47 g/cm^3 y una capacidad de retención de agua del 69.6 %.

Otro estudio llevado a cabo por Sánchez et al. (2016) demostró durante dos experimentos un 26.12 % y 29.67 % de sólidos totales. Además de 10.59 % y 12.64 % de solidos volátiles, para residuos de frutas y verduras. El porcentaje de SV y ST demuestran el potencial de degradación que presentan los RSOU, para obtener una eficiencia optima en cuanto al aprovechamiento energético a través de la digestión anaerobia.

Tabla 2

Caracterización y promedio de RSOU en las ciudades de Colombia.

Caracterización Residuos Sólidos Orgánicos Urbanos							
Parámetro	**Unidad**	**Ciudad**					
		Bogotá	**Medellín**	**Cali**	**Barranquilla**	**Bucaramanga**	**Promedio**
Análisis Básico							
Densidad Aparente	g/ml	0.36	0.31	0.37	0.35	0.18	0.31
Densidad Real	g/ml	1.25	1.25	1.25	1.28	1	1.20
Humedad	% p/p	8606	88.63	87.75	92.85	84.14	87.88
Sólidos Totales	% p/p	13.94	11.37	12.25	7.15	15.86	12.11
Análisis Próximo En Base Seca							
Material Volátil	% p/p	68.14	70.8	69.47	79.5	48.75	67.33
Análisis Elemental En Base Seca							
Hidrogeno	% p/p	5,81	5.1	6.04	4.87	4.72	5.30
Oxigeno	% p/p	46.34	40.99	48.41	39.36	36.95	42.41
Nitrógeno	% p/p	1.58	1.5	1.39	1.97	1.51	1.59
Azufre	% p/p	0.029	0.0026	0.0734	0.015	0.1	0.04
Análisis Bromatológico							
Hemicelulosa	% p/p	18.64	18.47	18.92	-	15	17.75
Celulosa	% p/p	5.66	13.87	8.69	-	13.02	10.31
Hemicelulosa	% p/p	12.8	9.81	9.96	-	15	11.89
Lignina	% p/p	3.85	5.21	5.37	-	15.03	7.36

Fuente: (Sabalza y Villamizar, 2009)

3.3.1.4. Caracterización de residuos sólidos orgánicos urbanos en la cabecera cantonal Lago Agrio.

Dentro del cantón no existen estudios en cuanto a residuos sólidos, como consumo per cápita, generación total, cuarteos entre otros. Por lo que, para caracterizar el porcentaje en cuanto a residuos sólidos dentro del cantón, se tomó en cuenta la información proporcionada por el INEC a porcentajes por nivel provincial.

Tabla 3

Caracterización de residuos orgánicos por porcentaje en la provincia de Sucumbíos.

Provincia	Orgánico %
Sucumbíos	70.97

Fuente: (INEC, 2018)

3.3.1.5.Generación per cápita.

El valor de generación per cápita se estimó mediante los datos proporcionados por parte del INEC y del GADM del cantón Lago Agrio correspondientes a recolección de basura en los años 2018 y 2019. Además, se toma en cuenta el porcentaje de materia orgánica, disponible del registro de gestión integral de residuos sólidos municipales del año 2018 a través de INEC. Para posteriormente aplicar la siguiente ecuación:

$$\boldsymbol{GPC} = \frac{Rg}{Pt * D}$$

Donde:

GPC: Generación per cápita de residuos sólidos orgánicos urbanos.

Rg: Residuos generados.

Pg: Población total.

D: Número de días a calcular.

3.3.1.6. Residuos sólidos orgánicos urbanos disponibles para estudio energético.

Debido a que dentro del cantón Lago Agrio no existen estudios en cuanto a residuos sólidos, se tomó en cuenta el porcentaje de caracterización de residuos sólidos de la provincia para estimar la cantidad de materia orgánica, que se produjo en los años 2018 y 2019, aplicando la siguiente ecuación:

$$\boldsymbol{CED} = RSaño * PCRS$$

Donde:

CED: Cantidad especifica de desechos.

RSaño: Residuos sólidos recolectados en un año especifico.

PCRS: Caracterización de residuos sólidos según INEC.

3.3.2. Potencial energético de los residuos sólidos orgánicos urbanos.

Actualmente existen un sin número de opciones para convertir los desechos o residuo de fuentes de biomasa en energía. Principalmente se encuentran los procesos termoquímicos y procesos de conversión biológica. La correcta selección de una tecnología adecuada para el aprovechamiento de estos residuos depende directamente tanto de las características como de las propiedades de la biomasa, es decir, humedad, valor calorífico, entre otras.

En la mayoría de los estudios en cuanto al aprovechamiento de la biomasa como factor energético, se toma en cuenta principalmente la humedad de esta, para así poder direccionar el proceso adecuado. Si la biomasa presenta más del 50 % de humedad, es más necesario un proceso de biotransformación como es el caso de la digestión anaerobia, sin embargo si la humedad está bajo el 50 % de humedad, se emplean los procesos termoquímicos como la combustión directa (Bardiya, Somayaji, & Khanna, 1996).

En este apartado se describe la metodología a emplearse para el cálculo del potencial energético disponible en los residuos sólidos orgánicos urbanos, aplicando el modelo matemático empleado por (Sabalza y Villamizar, 2009), y los lineamientos planteados por (Bhattacharya et al., 2005). En este modelo se emplea el balance de masa a través de la composición de los RSOU, de tal manera que se estima el metano generado, mediante la cantidad de carbono orgánico que se puede descomponer por medio de la digestión anaerobia. Dicho procedimiento se detalla a continuación:

3.3.2.1. Fracción de carbono biodegradable de los RSOU.

Primero se estimó la masa que existe de carbón, la misma que se pueda degradar para el cálculo del potencial energético de los RSOU (Chandler, Jewell, Gossett, Van Soest y Robertson, 1980). La ecuación para emplearse es la siguiente:

$$\boldsymbol{FCB} = \left[0.83 - 0.28 * \left(\frac{\%\ LIGNINA}{\%\ SV}\right)\right] * \left[\frac{\%COT * \%ST}{10000}\right]$$

Dónde:

%SV: Sólidos Volátiles (Kg SV / Kg RSOU).

%COT: Carbono orgánico total (Kg COT / Kg RSOU).

%ST: Sólidos totales (Kg ST / Kg RSOU).

% Lignina: (Kg Lignina / Kg RSOU).

3.3.2.2. Fracción de carbono biodegradado como metano.

Debido a la falta de información en cuanto a estudios de los RSOU a nivel nacional y cantonal, se optó por utilizar los parámetros adimensionales presentados por (Sabalza y Villamizar, 2009), donde se obtuvieron los datos de FO, FCB y FCM, directamente del estudio en laboratorio de 5 ciudades de Colombia, a lo que se procedió a utilizar el promedio únicamente de los FCB y FCM, de estos lugares para nuestra investigación.

Tabla 4

Promedio de fracción, de carbono biodegradado como metano en Colombia.

Parámetros Adimensionales de Colombia			
Ubicación	**FO (%)**	**FCB (%)**	**FCM (%)**
Bogotá	0.87	0.03	0.48
Medellín	1	0.02	0.48
Cali	0.95	0.02	0.48
Barranquilla	0.98	0.02	0.48
Bucaramanga	0.93	0.04	0.48
Promedio	**0.94**	**0.026**	**0.48**

Elaborador por: Los autores.

Debido a la ausencia de datos en Lago Agrio se optó por la fracción orgánica (FO) a nivel de la provincia de Sucumbíos, el cual establece un 70.97 % de FO dentro de la cabecera cantonal Lago Agrio, información proporcionada por el INEC, en cuanto a caracterización de residuos sólidos a nivel provincial.

3.3.2.3. Potencial energético por de los RSOU de la cabecera cantonal.

El potencial energético se estimó, tenido en cuenta especificaciones en cuanto al poder calorífico para los RSOU establecidos por (Green & Perry, 2008), planteando un total de 0.005014 TJ/Ton CH4. La ecuación para el cálculo se describe a continuación:

$$PE = M_{RSOU} * \left[FO * FCB * FCM * \left(\frac{16}{12}\right)\right] * PCI_{CH4}$$

Dónde:

M_{RSOU}: Masa de los residuos sólidos orgánicos urbanos generados (Tn / Tiempo).

FO: Porcentaje orgánicos de rápida degradación en los RSOU.

FCB: Porcentaje de carbono degradable dentro de los RSOU.

FCM: Porcentaje de carbono degradable como metano.

PCICH4: Poder calorífico inferior del metano (TJ / Ton)

(16/12): Relación de masa molar entre el metano y carbono.

3.3.3. Análisis del potencial energético de los RSOU como alternativa energética dentro del cantón.

Se analizo el potencial energético de los RSOU generados a durante el periodo 2018 – 2019, para estimar una visión en años posteriores sobre el aprovechamiento de los RSOU con esta metodología, se empleará el uso de información sobre los RSOU que se generan en el cantón Lago Agrio, descartando los residuos o desechos como papel, cartón, vidrio, plástico, metales, entre otros, mismos que son reciclables o deben tener un tratamiento adecuado por su contenido especial para el ambiente. Se estimará potenciales para las principales fuentes en las que se puede emplear, además del número de personas que se beneficiarían, detalles de consumos y proyección del potencial energético al 2023 iniciando desde el 2019.

CAPÍTULO 4

4. Análisis de Resultados.

4.1. Disponibilidad de los residuos sólidos orgánicos urbanos en la cabecera cantonal Lago Agrio.

Luego de haber empleado la metodología planteada en el capítulo 3, se pudieron obtener los datos que a continuación se detallan, tanto para la población, generación de RSOU, RSOU disponibles para estudios y para cálculo del potencial energético. Los datos presentados son estimaciones a partir del último censo nacional del año 2010.

4.1.1. Tamaño de población estimada.

En la tabla 5 se muestra la cantidad de población estimada para los años 2018 y 2019, mismo que representan la base de esta investigación.

Tabla 5

Población estimada de los años 2018 y 2019 - Lago Agrio.

Calculo Poblacional			
		Población Estimada	
Ítem	**Datos**	**Año 2018**	**Año 2019**
Población INEC 2010	57727		
Años de proyección	8	79613	82877
Tasa de crecimiento anual	0,041		

Elaborador por: Los autores.

4.1.2. Generación per cápita de RSOU.

En este apartado se describe la cantidad de generación per cápita de RSOU dentro de la cabecera cantonal Lago Agrio, los mismos que fueron analizado en función del año 2018 y 2019. Durante el primer periodo la generación per cápita se estimó en 0.53 Kg/Hab*días, y para el segundo periodo un 0.54 Kg/Hab*días. Estos datos reflejan que la cantidad de residuos sólidos se generan en más del 50% solo dentro del casco urbano, excluyendo las parroquias urbanas pertenecientes a este cantón.

Tabla 6

Generación per cápita de RSOU de la cabecera cantonal Lago Agrio.

Generación Per Cápita de SROU				
Años	**Población (hab)**	**Cantidad de RSOU (Kg)**	**Tiempo (días)**	**GPC (Kg/hab*días)**
2018	79613	15583573.65	365	0.53
2019	82877	16310375.16	365	0.54

Elaborador por: Los autores.

4.1.3. Residuos sólidos orgánicos urbanos disponibles para estudio energético.

A continuación, se detalla la cantidad especifica de RSOU disponibles, durante los años 2018 y 2019, los cuales se pueden aprovechar para estudios energéticos.

Tabla 7

Residuos sólidos orgánicos urbanos en la cabecera cantonal Lago Agrio.

Porcentaje de Residuos Sólidos Orgánicos Urbanos del Cantón Lago Agrio			
Años	**Basura Recolectada (Kg)**	**Porcentaje Sucumbíos**	**Cantidad Especifica de RSOU (Kg)**
2018	21957973.3	0.7097	15583573.65
2019	22982070.12		16310375.16

Elaborador por: Los autores.

Según Wang et al. (2016) los desechos agroindustriales y agrícolas han presentado un crecimiento mundial del 10 %. En Lago Agrio se observa que existe un crecimiento mínimo de RSOU desde el año 2018 al 2019, siendo 726801.51 toneladas de diferencia para ambos. Sin embargo, son solo estimaciones, debido a que la información dentro del cantón es muy escasa en cuanto a caracterización de residuos sólidos.

4.2. Potencial energético de los RSOU.

En la siguiente tabla se reporta el potencial energético obtenido de los RSOU.

Tabla 8

Potencial energético cantón Lago Agrio años 2018 y 2019.

Potencial Energético (PE)							
LUGAR	**AÑO**	**MRSOU (Tn)**	**FO (%)**	**FCB (%)**	**FCM (%)**	**PCICH4 (TJ/TnCH4)**	**PE (TJ/Año)**
Lago Agrio	2018	15583.57	0.7097	0.026	0.48	0.005014	0.69
	2019	16310.37					0.73

Elaborador por: Los autores

Para el año 2018 el potencial energético que presentaron los RSOU fue de 0.69 y para el 2019 un total de 0.73 TJ/año. Para realizar una estimación en cuanto a aprovechamiento eléctrico hay que tener en cuenta que para el año 2018 se obtiene una potencia de 193923.44 KWh y para el año 2019 un total de 202967.81 KWh siendo la potencia promedio para estos dos periodos de 198445.62 KWh.

Según Gutiérrez, Eras, Hens y Vandecasteele (2020) el potencial energético que genera la biomasa agrícola en todo Colombia está por los 40078000000 KWh, por ende el valor estimado en esta investigación puede ser considerable para su aprovechamiento energético.

4.3. Análisis del potencial energético de los RSOU como alternativa energética.

Según Panesso, Cadena, Mora y Ordoñez (2011) el potencial energético que pueden generar 216000 Tn/año de residuos sólidos son 3066 KW con una eficiencia media del 60 %. Significando entonces una potencia considerable que se puede obtener dentro del cantón Lago Agrio a través de los RSOU, siendo de 198445.62 KWh en promedio de los años 2018 y 2019.

Otro estudio realizado por Gutiérrez et al. (2020) indica que el potencial energético que se puede obtener a partir de residuos orgánicos de biomasa en Colombia es relativamente alto siendo 1,2 $X10^{10}$ KWh de energía a través de la digestión anaerobia, además se estima una cantidad anual de 19000 GWh considerando una eficiencia eléctrica del 30 %.

Debido a lo planteado anteriormente podemos considerar que en el año 2018 se pudo generar alrededor de 58177.03 KWh de electricidad y para el año 2019 un estimado de 60890.34 KWh a través del mismo proceso de aprovechamiento y considerando la eficiencia antes mencionada.

González et al. (2014) estimo que la potencia energética aprovechable a través de los residuos agrícolas, los cuales son la base de procedencia de los residuos sólidos urbanos, se encuentra alrededor de los 5800 GWh. Por ende los resultados del PE de los RSOU para el cantón Lago Agrio resultan ser considerables para estudios futuros, debido al alto potencial que se obtuvo en relación al estudio planteado por Gutiérrez et al. (2020), donde obtuvieron 19000 GWh mediante un aproximado de 54 a 56 millones de toneladas de residuos agrícolas en todo territorio nacional de Colombia.

A nivel nacional los ecuatorianos consumen por hogar 138 KW/h, de los cuales la zona urbana representa un consumo de 155 KW/h. Sin embargo, a nivel regional la amazonia ocupa el primer lugar en consumo, con sus 142.6 KW/h. Todo esto denotando al sector petrolero situado en toda la región.

En el informe del Balance Energético Nacional del año 2016 facilitado por el Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, mencionan que la fuente principal de energía para el Ecuador ha venido siendo el petróleo, sin embargo la producción de la hidroenergía ha ido tomando fuerza en la actualidad. Pero aún no se considera como una fuente de energía alternativa a la que se puede generar a través de biomasa o de residuos orgánicos (Arteaga-Pérez, Segura, & Santana, 2016). Según este informe solo se considera como una energía alternativa al producto de caña y leña. Siendo este último un ítem negativo en cuanto al medioambiente, debido a la tala sin control de árboles los cuales poseen un tiempo extenso de maduración (A. I. Soto-Cabrera et al., 2020).

El siguiente grafico se representa la oferta energética en Ecuador desde el año 2000 al 2015, considerando las principales fuentes energéticas dentro del país.

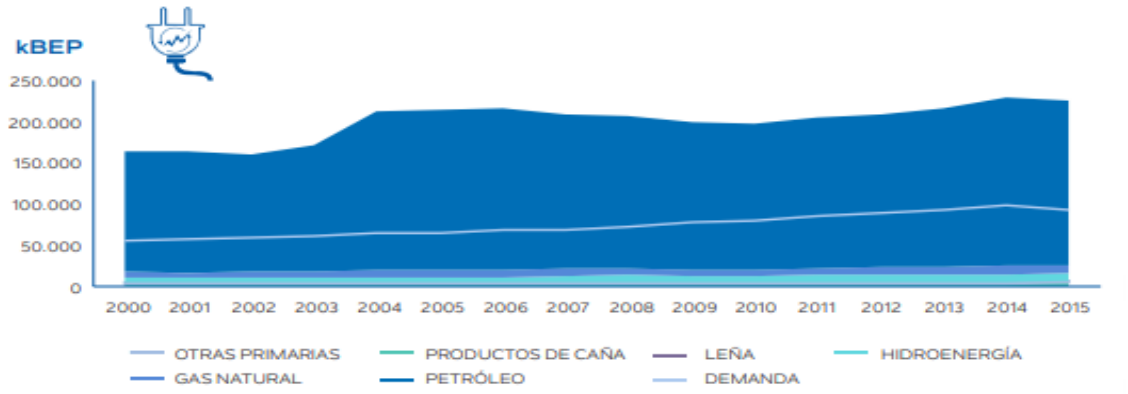


Figura 2: Evolución de la oferta energética primaria en Ecuador por fuentes desde el año 2000 al 2015.

Fuente: (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2016).

En el año 2015 Ecuador paso de tener un bajo porcentaje de energía secundaria a altos números como la electricidad en un 26 % desde el año 2000. Siendo la demanda energética mayor con el incremento de la población y la demanda industrial. A continuación, se detalla el porcentaje de energía secundaria en el año 2015.

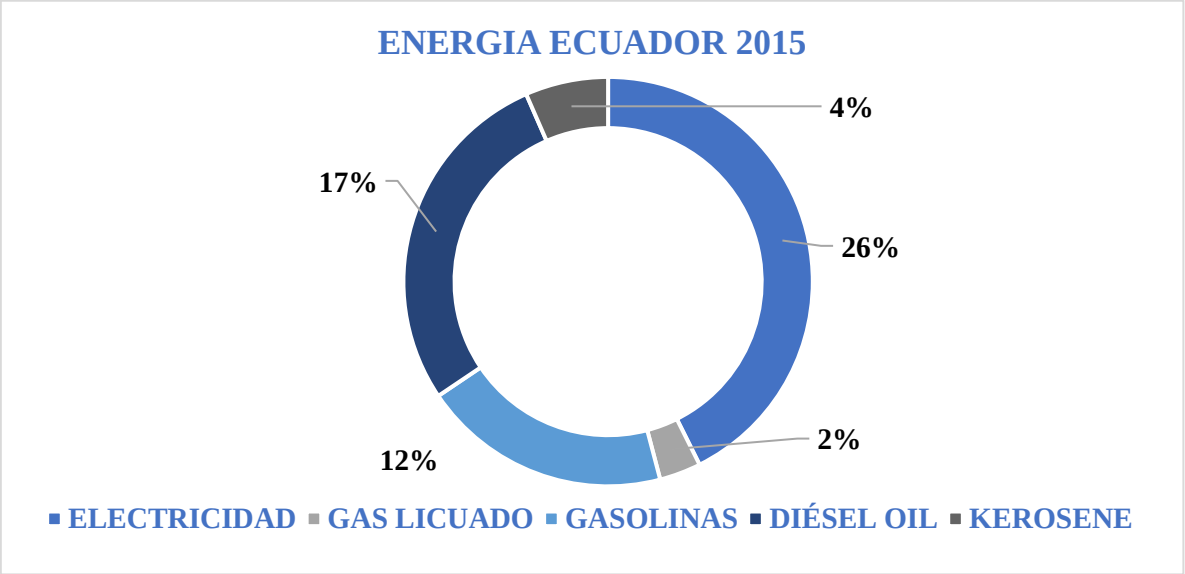


Figura 3: Producción de energía en el año 2015.

Fuente: (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2016).

La demanda eléctrica en el territorio nacional ha incrementado considerablemente desde el año 2000 al 2015, siendo el sector industrial con un 39 % el de mayor consumo y el sector del transporte el menor. El consumo nacional para el año 2015 se estimó en 22.872 GWh según el informe del Balance Energético Nacional del año 2016.

La siguiente grafica demuestra el porcentaje de consumo en cuanto a electricidad por sectores:

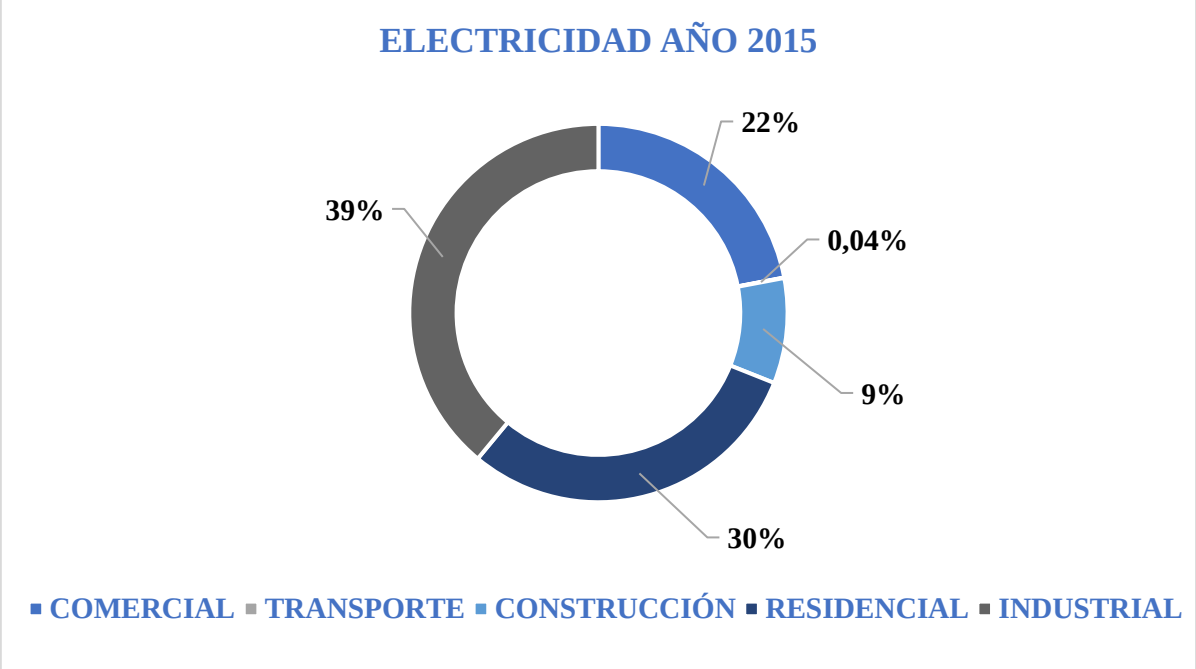


Figura 4: Porcentaje de consumo eléctrico en Ecuador durante el año 2015.

Fuente: (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2016).

Según el Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables (2017) la generación eléctrica del Ecuador en el año 2018 fue de 24412 GWh de los cuales el 82 % fue de origen hidráulico y el restante dividido en eólico, térmico y solar.

En este apartado se estima la cantidad de habitantes que pueden beneficiarse con el aporte energético de los RSOU del cantón Lago agrio al año, considerando el consumo per cápita nacional de 1.48 KWh/hab*día, establecido por (OLADE, 2019).

Tabla 9

Aporte energético de los RSOU producidos en el cantón Lago Agrio.

Aporte energético de los RSOU				
Población	**Consumo Per Cápita Eléctrico (KWh/hab*día)**	**Población**	**Potencial Energético (KWh/año)**	**Aporte a la población de Lago Agrio (hab)**
2018	1.48	79613	193923.44	358
2019		82877	202967.81	375

Elaborado por: Los autores.

Se obtuvo como resultados a través de multiplicar el consumo per cápita eléctrico diario por un año, siendo este un valor de 540.2 KWh/hab*año, seguidamente se divide el potencial energético anual de los RSOU y el consumo per cápita anual, lo cual nos estima un total de 358 habitantes para el 2018 y 375 para el 2019 los cuales pueden aprovechar el PE, mediante su consumo anual de KWh. A continuación, se proyecta, la población, la generación de RSOU y el potencial energético de los mismos en el cantón Lago Agrio hasta el año 2023 en base al 2019:

Tabla 10

Proyección estimada de la población, RSOU y potencial energético hasta el 2023.

Proyección Poblacional, RSOU y Potencial Energético						
TCA Poblacional	**TCA del potencial energético**	**TCA de los residuos sólidos orgánicos**	**Años por proyectar**	**Población (hab)**	**RSOU (Tn/año)**	**PE (KWh)**
			2019	82877	16310.37	198445.62
			2020	86275	17028.03	207177.23
4.1 %	4.4 %	4.5 %	2021	89812	17777.26	216293.03
			2022	93494	18559.46	225809.92
			2023	97328	19376.08	235745.55

Elaborado por: Los autores.

5. Conclusiones.

- Los resultados obtenidos del potencial energético que poseen los residuos sólidos orgánicos urbanos en el cantón Lago Agrio mostraron un alto contenido de este, siendo relevante y justificable con estudios similares ejecutados a nivel mundial. El potencial promedio obtenido para el año 2018 y 2019 fue de 198445.62 KWh, el mismo que puede aportar energéticamente a un 0.45 % de la población por año dentro de la zona de estudio.
- Para el cumplimiento del objetivo principal de esta investigación fueron determinantes los factores como población, índice de crecimiento anual, consumo per cápita de los RSOU, sus propiedades físicas – químicas, y fundamentalmente la generación total de residuos sólidos dentro del cantón, siendo este último un valor alto en cuanto a su contenido de fracción orgánica estimándose en 15583.57 Tn/año en el periodo 2018 y de 16310.37 Tn/año para el periodo 2019.
- La proyección del potencial energético hasta el año 2023 tiene un aumento del 4.4 % anual estimándose en 235745.55 KWh para una población de 97328 hab, con una generación de RSOU que se pronostica a 19376.08 Tn/año.

6. Recomendaciones.

- Se recomienda efectuar una estimación con datos en campo antes del uso de esta investigación, ya que la información recopilada ha sido basada en la literatura y datos faltantes dentro del cantón Lago Agrio en cuanto a residuos sólidos urbanos.
- Es importante realizar este estudio para estimar el potencial energético que se puede aportar para los diferentes sectores a nivel nacional, como lo es el industrial, comercial, transporte y construcción. Debido a las grandes cantidades de desechos que estas actividades generan anualmente.
- Iniciar estudios de factibilidad en cuanto a la instalación de plantas que valoricen el potencial energético de los RSOU.
- Proponer a las autoridades municipales del cantón Lago Agrio, la aplicación de esta investigación para estudios energéticos con fines de mitigación ambiental en cuanto a generación de gases de efecto invernadero.

7. Referencias.

Acosta Ramírez, L. C., y Bohórquez Rozo, J. C. (2019). *Valorización energética de residuos sólidos en el relleno sanitario de Doña Juan.* [Thesis]. Recuperado de http://repositorio.ucundinamarca.edu.co/handle/20.500.12558/1641

Acosta, Y. L., y Abreu, M. C. O. (2005). La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, *XXXIX*(1), 35-48.

Alvarado, C., Martínez, A., Suazo, R., y Gutiérrez, J. (2018). Ecuaciones del poder calorífico en función del contenido de humedad de cuatro especies leñosas de la zona norte y central de Honduras. *TATASCAN Revista Técnica Científica.*, *27*(1), 3-18.

Álvarez, O. (2017). *Estudio del impacto del uso de digestato anaerobio y microorganismos eficientes en el proceso de compostaje de residuos de feria* [Thesis, Universidad Andrés Bello]. Recuperado de http://repositorio.unab.cl/xmlui/handle/ria/4641

Arango Gómez, J. E., Sierra Vargas, F. E., & Silva Leal, V. (2014). An exploratory analysis of existing research on internal combustion engines operating with biogas. *Tecnura*, *18*(39), 152-164.

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.

Código Orgánico del Ambiente, (2017). Recuperado de http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf

Constitución de la República del Ecuador, Registro Oficial (2008). Recuperado de http://www.asambleanacional.gov.ec/documentos/constitucion_de_bolsillo.pdf

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

Bhattacharya, S. C., Abdul Salam, P., Runqing, H., Somashekar, H. I., Racelis, D. A., Rathnasiri, P. G., & Yingyuad, R. (2005). An assessment of the potential for non-plantation biomass resources in selected Asian countries for 2010. *Biomass and Bioenergy*, *29*(3), 153-166. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2005.03.004

Bustamante García, V., Carrillo Parra, A., Prieto Ruíz, J. Á., Corral-Rivas, J. J., Hernández Díaz, J. C., Bustamante García, V., Carrillo Parra, A., Prieto Ruíz, J. Á., Corral-Rivas, J. J., y Hernández Díaz, J. C. (2016). Química de la biomasa vegetal y su efecto en el rendimiento durante la torrefacción: Revisión. *Revista mexicana de ciencias forestales*, *7*(38), 5-23.

Cárdenas, J., Quipuzco, L., y Meza, V. (2013). Calidad de biogás y biol obtenidos a partir residuos orgánicos domésticos pretratados con la técnica del bocashi. *Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, *16*(32), Article 32. https://doi.org/10.15381/iigeo.v16i32.11322

Carvajal-Jara, C. A., Tafur-Escanta, P. M., Villavicencio-Poveda, Á. H., y Gutiérrez-Gualotuña, E. R. (2018). Caracterización del poder calorífico de la biomasa residual de cacao CCN51 mediante procesos de gasificación anaeróbico y termoquímico. *Científica*, *22*(2), 113-123.

Chandler, J. A., Jewell, W. J., Gossett, J. M., Van Soest, P. J., & Robertson, J. B. (1980). Predicting methane fermentation biodegradability. *Biotechnol. Bioeng. Symp.; (United States)*, *10*, Article CONF-791072-. https://www.osti.gov/biblio/6810537-predicting-methane-fermentation-biodegradability

Chang Liu, J. W., & Chang Liu, J. W. (2016). The biomethane producing potential in China: A theoretical and practical estimation. 中国化学工程学报, *24*(7), 920-928. https://doi.org/10.1016/j.cjche.2015.12.025

Couto, I., y Hernández, A. (2012). Participación y rendimiento de la iniciativa privada en la gestión integral de los residuos sólidos urbanos en la frontera México-Estados Unidos. *Gestión y Política Pública*, *XXI*(1), 215-261.

Diez, O. A., Cárdenas, G. J., y Mentz, L. F. (2017). Poder calorífico superior de bagazo, médula y sus mezclas, provenientes de la caña de azúcar de Tucumán, R. Argentina. *Revista industrial y agrícola de Tucumán*, *87*(1), 29-38.

Edwin Darío Cendales Ladino. (2011). Producción de biogás mediante la codigestión anaeróbica de la mezcla de residuos cítricos y estiércol bovino para su utilización como fuente de energía renovable. En *Producción de biogás mediante la codigestión*.

Feijóo, E. A., Golato, M. A., Colombres, F. J. F., Paz, D., y Cárdenas, G. J. (2017). Características energéticas de los residuos agrícolas de la cosecha en verde de caña de azúcar de Tucumán. *Revista industrial y agrícola de Tucumán*, *92*(2), 23-32.

Gómez, I. C. (2000). *Saneamiento Ambiental*. EUNED.

González, J. A. G. (2016). Residuos sólidos: Problema, conceptos básicos y algunas estrategias de solución. *Revista Gestión y Región*, *22*, 101-119.

González, S. M., Guerra, R. G., Trupiano, A. P., Castañeda, M. L., Figueroa, M. E., Seghezzo, L., y Cuevas, C. M. (2020). Tratamiento de líquidos cloacales pre-sedimentados en un reactor UASB (reactor anaeróbico de flujo ascendente y manto de lodos) en regiones subtropicales. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, *4*. Recuperado de http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/79294

Gonzalez-Salazar, M. A., Morini, M., Pinelli, M., Spina, P. R., Venturini, M., Finkenrath, M., & Poganietz, W.-R. (2014). Methodology for estimating biomass energy potential and its application to Colombia. *Applied Energy*, *136*, 781-796. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.07.004

Green, D. W., & Perry, R. H. (2008). *Perry's Chemical Engineers' Handbook, Eighth Edition* (8th ed. /). McGraw-Hill Education. Recuperado de https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071422949

Gutiérrez, A. S., Cabello Eras, J. J., 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. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122317

Hernández Gómez, D. (2019). *El vermicompostaje como tecnología de bajo coste para la valorización de residuos orgánicos generados en el medio rural*. Recuperado de http://dspace.umh.es//handle/11000/5394

Hernández-Nazario, L., Benítez-Fonseca, M., y Bermúdez-Torres, J. M. (2018). Caracterización físico-química de la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos del vertedero controlado en el Centro Urbano Abel Santamaría de Santiago de Cuba. *Tecnología Química*, *38*(2), 369-379.

INEC. (2010). *Ecuador—VII Censo de Población y VI de Vivienda 2010. Galápagos—Información general*. Recuperado de https://anda.inec.gob.ec/anda/index.php/catalog/659

INEC. (2015). *Compendio Estadístico 2015*. Instituto Nacional de Estadística y Censos. Recuperado de https://www.ecuadorencifras.gob.ec/compendio-estadistico-2015/

INEC. (2017). *Ecuador Estadística de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales Gestión de Residuos Sólidos, 2016*. Recuperado de https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Gestion_Integral_de_Residuos_Solidos/2016/Presentacion%20Residuos%20Solidos%202016%20F.pdf

INEC. (2018, octubre 1). *Ecuador—Estadística de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales 2016, Gestión Integral de Residuos Sólidos—Información general*. Recuperado de https://anda.inec.gob.ec/anda/index.php/catalog/640/overview

Jewell, W. J. (1987). Anaerobic sewage treatment. Part 6. *Environmental Science & Technology*, *21*(1), 14-21. https://doi.org/10.1021/es00155a002

Jiménez-Antillón, J., Rodríguez-Rodríguez, A., y Pino-Gómez, M. (2019). Recuperación de los residuos sólidos en el Tecnológico de Costa Rica a 15 años de la creación de la actividad permanente Manejo de Residuos Institucionales MADI. *Revista Tecnología en Marcha*,́ g-92.

Junqueira, T. L., Moraes, B., Gouveia, V. L. R., Chagas, M. F., Morais, E. R., Watanabe, M. D. B., Zaiat, M., & Bonomi, A. (2016). Use of VSB to Plan Research Programs and Public Policies. En A. Bonomi, O. Cavalett, M. Pereira da Cunha, & M. A. P. Lima (Eds.), *Virtual Biorefinery: An Optimization Strategy for Renewable Carbon Valorization* (pp. 257-282). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-26045-7_8

Lauritzen, E. K., & Hahn, N. J. (2016). Producción de residuos de construcción y reciclaje. *Boletín CF+ S*, *2*.

Lobo, S. O. (2017). *Operaciones para la gestión de residuos industriales. SEAG0108*. IC editorial.

Magalhães, E., Souza, S., Afonso, A., & Ricieri, R. (2004). Confecção e avaliação de um sistema de remoção do CO 2 contido no biogás - DOI: 10.4025/actascitechnol.v26i1.1537. *Acta Scientiarum-technology - ACTA SCI-TECHNOL*, *26*. https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v26i1.1537

Mancera Marquina, R., & Postigo Rojas, J. (2018). *Propuesta de reglamento municipal para la gestion integral de residuos sólidos especiales en la jurisdiccion del municipio de Sacaba*.

Marta, K., Paulina, R., Magda, D., Anna, N., Aleksandra, K., Marcin, D., Kazimierowicz, J., & Marcin, Z. (2020). Evaluation of Ultrasound Pretreatment for Enhanced Anaerobic Digestion of Sida hermaphrodita. *BioEnergy Research, 13*(3), 824-832. https://doi.org/10.1007/s12155-020-10108-9

Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos. (2016). *Balance Energético Nacional* (p. 118). Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos. Recuperado de http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00366.pdf

Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables. (2017). *Visión Gubernamental Para El Desarrollo Del Sector De Energía y Recursos Naturales No Renovables* (p. 16). Recuperado de https://www.geoenergia.gob.ec/transporte-lidera-estadisticas-de-consumo-energetico-en-ecuador/

Montoya Rodríguez, C., y Martínez, P. (2013). Diagnóstico del manejo actual de residuos sólidos (empaques) en la Universidad El Bosque. *Producción + Limpia*, *8*(1), 80-90.

Muñoz Cadena, C. E., y Morales Pérez, R. E. (2018). Generación de residuos orgánicos en las unidades económicas comerciales y de servicios en la Ciudad de México. *Estudios demográficos y urbanos*, *33*(3), 733-767.

OLADE. (2019). *Panorama Energético De América Latina y El Caribe*. Recuperado de https://www.geoenergia.gob.ec/transporte-lidera-estadisticas-de-consumo-energetico-en-ecuador/

Panesso, A. F., Cadena, J. A., Flórez, J. J. M., y Ordoñez, M. del C. (2011). Análisis Del Biogás Captado En Un Relleno Sanitario Como Combustible Primario Para La Generación De Energía Eléctrica. *Scientia Et Technica*, *XVII*(47), 23-28.

Plugge, C. M. (2017). Biogas. *Microbial biotechnology*, *10*(5), 1128-1130.

Ponce, E. (2016). Métodos sencillos en obtención de biogás rural y su conversión en electricidad. *Idesia (Arica)*, *34*(5), 75-79. https://doi.org/10.4067/S0718-34292016005000011

Pulido, P. (2012). *Residuos Sólidos*. *Recuperado de http://paopulido.blogspot.com/*

Quillos Ruiz, S. A., Escalante Espinoza, N. J., Sánchez Vaca, D. A., Quevedo Novoa, L. G., y De La Cruz Araujo, R. A. (2018). Residuos sólidos domiciliarios: Caracterización y estimación energética para la ciudad de Chimbote. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, *84*(3), 322-335.

Ramos, G. C. D. (2016). Residuos sólidos municipales, minería urbana y cambio climático. *El Cotidiano*, *195*, 75-84.

Rendón, A. F. M., Hurtado, S. H. V., Mesa, A. M. S., y González, J. M. V. (2018). Valoración de los residuos sólidos de la Comuna Dos de Bello (Antioquia), como sistema alternativo de aprovechamiento. *Cuaderno Activa*, *10*, 67-86.

Sabalza Ramos, O., y Villamizar Navas, O. A. (2009). *Evaluacion Del Potencial Energetico De Los Residuos Sólidos Organicos Urbanos Provenientes De Las Plazas De Mercado Y Diseno Conceptual De Una Planta De Digestion Anaerobia Para Su Aprovechamiento Industrial En Colombia.* [Thesis, Universidad Industrial de Santander, Escuela De Ing.Quimica]. Recuperado de http://noesis.uis.edu.co/jspui/handle/123456789/6109

Sánchez, J. M. (2019). *Los residuos domiciliarios y la protección del medio ambiente: Amparo en la provincia de Córdoba.*

Sánchez-Reyes, C., Patiño-Iglesias, M. E., Alcántara-Flores, J. L., Reyes-Ortega, Y., Pérez-Cruz, M. A., Ortíz-Muñoz, E., Sánchez-Reyes, C., Patiño-Iglesias, M. E., Alcántara-Flores, J. L., Reyes-Ortega, Y., Pérez-Cruz, M. A., & Ortíz-Muñoz, E. (2016). Determinación del potencial bioquímico de metano (PBM) de residuos de frutas y verduras en hogares. *Revista internacional de contaminación ambiental*, *32*(2), 191-198. https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.02.05

Soria, T., & Luz, M. (2018). Aprovechamiento de los residuos sólidos urbanos como abono orgánico en Municipalidades Distritales. *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*. Recuperado de http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/6242.

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.

Wang, B., Dong, F., Chen, M., Zhu, J., Tan, J., Fu, X., Wang, Y., & 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. https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.02.002

Yi, J., Dong, B., Jin, J., & Dai, X. (2014). Effect of Increasing Total Solids Contents on Anaerobic Digestion of Food Waste under Mesophilic Conditions: Performance and Microbial Characteristics Analysis. *PLOS ONE*, *9*(7), e102548. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0102548