UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TEMA

"BIORREFINERÍAS DE RESIDUOS ORGÁNICOS. UNA REVISIÓN SOBRE LAS VÍAS DE VALORIZACIÓN Y LAS LIMITACIONES DE LA IMPLEMENTACIÓN EN ECUADOR"

AUTORES:

BAYAS OCAÑA JOHNNY MAURICIO

CHIMBOLEMA GUACHO JIMMY ARMANDO

DIRECTOR DE PROYECTO

ING. KAREL DIÉGUEZ SANTANA MSC

Puyo – Ecuador

Enero 2021

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Quien/es suscribe/n Johnny Mauricio Bayas Ocaña con C.I 0605544709; Jimmy Armando Chimbolema Guacho con C.I. 1400990501, hace constar que es autor/a del Proyecto de Investigación/Trabajo de Integración Curricular titulado:

"Biorrefinerías de residuos orgánicos. Una revisión sobre las vías de valorización y las limitaciones de la implementación en Ecuador", el cual constituye una elaboración personal realizada únicamente con la dirección del Tutor de dicho trabajo,

Dr/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 22 días del mes de Febrero del 2021.

_____

Johnny Mauricio Bayas Ocaña
CI: 0605544709

_____

Jimmy Armando Chimbolema Guacho
CI: 1400990501

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR EL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

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

"Biorrefinerías de residuos orgánicos. Una revisión sobre las vías de valorización y las limitaciones de la implementación en Ecuador"



Firmado electrónicamente por:
LUIS RAMON BRAVO

Dr. Bravo Sánchez Luis Ramón
Presidente del Tribunal



Firmado electrónicamente por:
PEDRO ANDRES PENAFIEL ARCOS

Msc. Peñafiel Arcos Pedro Andrés
Miembro del Tribunal



Firmado electrónicamente por:
SANTIAGO HOMERO CUICHAN PAUCAR

Msc. Cuichan Paucar Santiago Homero
Miembro del tribunal

CERTIFICADO DE PORCENTAJE DE SIMILITUD OBTENIDO EN EL SISTEMA ANTI PLAGIO

Quien suscribe el presente Dr/Msc Karel Diéguez Santana con CI: 1756444129, certifica que el Proyecto de Investigación/Trabajo de Integración Curricular titulado: "Biorrefinerías de residuos orgánicos. Una revisión sobre las vías de valorización y las limitaciones de la implementación en Ecuador", ha sido examinado a través del sistema Anti plagio URKUND y presenta un porcentaje de similitud del 7%.

En el cantón Pastaza, a los 12 días del mes de febrero del 2021.



Dr/Msc: Karel Diéguez Santana

Director del Proyecto de Investigación/Trabajo de Integración Curricular

Derechos de Autor Copyright

©2021, Johnny Mauricio Bayas Ocaña; Jimmy Armando Chimbolema Guacho

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Declaración de Autenticidad

Yo, Johnny Mauricio Bayas Ocaña, declaro que el presente proyecto de investigación, es de mi 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 autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular.

JOHNNY MAURICIO BAYAS OCAÑA
No. Cédula: 060554470-9

Declaración de Autenticidad

Yo, Jimmy Armando Chimbolema Guacho, declaro que el presente proyecto de investigación, es de mi 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 autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular.

JIMMY ARMANDO CHIMBOLEMA GUACHO
No. Cédula: 1400990501

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios en primer lugar por darme la fuerza y convicción de no rendirme ante las adversidades que se presentaron en el transcurso de mi formación profesional. A mis padres por brindarme su apoyo económico y emocional, siendo una roca de soporte en los altos y bajos que se presentaron, para el cumplimiento de mi formación profesional.

A toda mi familia, que mediante palabras de aliento y el ejemplo, supieron mostrarme el valor de la perseverancia, así como el luchar por los objetivos que uno se plantea, sin desmerecer a los docentes que con su enseñanza moldearon mi evolución de estudiante a futuro profesional y miembro activo de la sociedad.

Johnny Bayas

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios por haberme dado la vida durante mi formación profesional
A mis padres por brindarme siempre su cariño y apoyo incondicional y compartir experiencias hermosas junto a ellos. A mis hermanas pese a la distancia siempre ha sido un pilar fundamental de apoyo por su grata presencia. A mi familia en general por haberme apoyado incondicionalmente en los momentos buenos y malos. A mis maestros que formaron parte de mi vida estudiantil, y que aportaron con sus conocimientos para poder cumplir una etapa de mi vida.

Jimmy Chimbolema

AGRADECIMIENTO

Mi más sincero agradecimiento a toda mi familia que han sido pilares fundamentales en mi desarrollo como persona que es lo más importante y en el campo profesional. Agradezco a Universidad Estatal Amazónica, casona del saber que abrió sus puertas para ahora estar en el lugar que estoy, a los profesores que han influido en esta bella etapa de formación académica, en fin, de convertirme en un miembro activo y útil para la sociedad. Agradezco además al Msc Karel Diéguez Santana por sus palabras de aliento en un momento determinante en mi desarrollo profesional, además de proporcionar la ayuda para el desarrollo de este magno proyecto.

Johnny Bayas

AGRADECIMIENTO

A Dios por cuidarme durante todos los días y darme esa fortaleza necesaria en mis estudios. El más sincero agradecimiento a la Universidad Estatal Amazónica, por darme la oportunidad de obtener una profesión y ser una ayuda para la sociedad. A mi familia por darme todo el apoyo necesario y comprensión durante mi formación profesional. A mis amigos que pese a los inconvenientes siempre me apoyaron y hemos logrado nuestro objetivo con mucha perseverancia.

Al Msc Karel Diéguez Santana, director de tesis por su apoyo y asesoramiento en la realización del proyecto de titulación.

Jimmy Chimbolema

RESUMEN

La fracción orgánica mayoritaria de los residuos sólidos urbanos de Ecuador no es tratada de forma adecuada, grandes volúmenes de residuos son depositados en rellenos sanitarios, generando impactos sobre el medio ambiente. Por lo cual el objetivo de este proyecto se basa en la identificación de las potencialidades y limitaciones mediante la valorización de los residuos orgánicos de alimentos para la posible implementación de un sistema de biorrefinería en Ecuador. Basado en una metodología exploratoria documental, centrada en la recopilación bibliográfica, donde el análisis de la evolución de la gestión integral de residuos sólidos a través de las estadísticas nacionales disponibles. Se realizó una recopilación de información para la definición de conceptos, esquemas y productos de biorrefinerías en diferentes bases bibliográficas. Los resultados del cálculo de potenciales cantidades de productos que pueden obtenerse a partir de las fracciones orgánicas dispuestas muestran que se generan aproximadamente 8,212.054 t/día de restos de alimentos. Estas cantidades incorporadas a procesos de conversión de biomasa permitirían emplear el 60% de la materia para la generación de 2´172,285.612 L de bioetanol, un 30% para generar 166,292.502 m^3 de biometano y el 10% restante para la generación de 275.264 t de bio compost. Las principales potencialidades están determinadas por la generación de materia prima y los bajos costes de tecnologías de conversión. En contraparte a esto las limitantes son la separación en la fuente, la disponibilidad de estudios de la materia prima y el desconocimiento del reúso de la porción orgánica se presenta como una potencial limitante para la implementación de un sistema de biorrefinería de residuos en Ecuador.

Palabras Clave: BIOMASA, BIORREFINERÍA, BIOETANOL, BIOMETANO, BIOCOMPOST, RESIDUO

ABSTRACT

The majority organic fraction of solid urban waste in Ecuador is not adequately treated, large volumes of waste are deposited in landfills, generating impacts on the environment. Therefore, the objective of this project is based on the identification of the potentialities and limitations through the valorization of organic food waste for the possible implementation of a biorefinery system in Ecuador. Based on an exploratory documentary methodology, focused on the bibliographic compilation, where the analysis of the evolution of the integral management of solid waste through the available national statistics. In addition, a compilation of information for the definition of concepts, schemes and products of biorefineries was carried out in different bibliographic bases. The results of the calculation of potential quantities of products that can be obtained from the organic fractions disposed of show that approximately 8,212.054 t/day of food waste are generated. These quantities incorporated into biomass conversion processes would allow 60% of the material to be used to generate 2,172,285,612 L of bioethanol, 30% to generate 166,292,502 m^3 of biomethane and the remaining 10% to generate 275,264 t of biocompost. The main potentials are determined by the generation of raw material and the low costs of conversion technologies. In contrast to this, the limitations are the separation at source, the availability of studies of the raw material and the lack of knowledge of the reuse of the organic portion is a potential limitation for the implementation of a waste biorefinery system in Ecuador.

Keywords: BIOMASS, BIOREFINERY, BIOETHANOL, BIOMETHANE, BIOCOMPOST, WASTE

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN xii

ABSTRACT xiii

TABLA DE CONTENIDO xiv

ÍNDICE DE TABLAS xvi

ÍNDICE DE FIGURAS xvi

ÍNDICE DE APÉNDICES xvii

1 CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN 1

1.1 Planteamiento del Problema 1

1.1.1 Objetivo General 2

1.1.2 Objetivos Específicos 2

1.2 Justificación 3

2 CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN 5

2.1 Criterios generales para la gestión de Residuos Sólidos 5

2.1.1 Definiciones generales 5

2.1.3 Gestión de los residuos sólidos 7

2.1.4 Gestión Integral de los residuos sólidos no Peligrosos 8

2.1.5 Principales aspectos normativos relacionados con el aprovechamiento, tratamiento de los residuos orgánicos del Ecuador 9

2.2 Criterios y Principales Aspectos de la Biorrefinería. 12

2.2.1 Biorrefinería 12

2.2.2 Procesos de transformación de la biomasa mediante biorrefinería 13

2.2.3 Clasificación de las Biorrefinerías 14

2.2.4 Comparación de diferentes tipos de biorrefinerías 16

2.2.5 Principales productos de las biorrefinerías 17

3. CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN 21

3.1 Tipo o Diseño de Investigación 21

3.2 Método de Investigación 21

4. CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....24

4.1 Análisis de la información recopilada sobre la evolución de la Gestión de Residuos Sólidos a nivel nacional en el periodo 2014-2018. 24

4.2 Revisión de los principales conceptos, productos y esquemas de sistemas de Biorrefinería de residuos orgánicos para el Ecuador. 39

4.2.1 Biorrefinería aplicable a la materia prima disponible en Ecuador sistemas de biorrefinería de residuos. 41

4.2.2 Un enfoque de Bioeconomía Circular mediante las Biorrefinerías en Ecuador 41

4.2.3 Esquema de biorrefinería de residuos de alimentos para la generación de Bioproductos, bioenergía y biocombustibles.....42

4.2.4 Principales tecnologías para la generación de Bioproductos mediante un enfoque de aprovechamiento de los RSU en Ecuador.....42

4.2.5 Generación de restos de alimentos en Ecuador con fines de valorización.....45

4.2.6 Comparativa de la generación de productos sostenibles a partir de procesos de conversión de la fracción orgánica de Ecuador con otros países.....46

4.2.7 Generación de productos a partir de la distribucion de los Residuos Alimenticios de los RSU 50

4.3 Potencialidades y posibles limitaciones de la implementación de conceptos de Biorrefinerías de desechos orgánicos en Ecuador.....50

4.3.1 Potencialidades de la implementación de un sistema de Biorrefinería en Ecuador. 50

4.3.2 Limitaciones tecno económicas y sociales de la implementación de un sistema de Biorrefinería en Ecuador.....52

4.4 Conclusiones 55

4.5 Recomendaciones 56

5. REFERENCIAS 57

6. APÉNDICES.....66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-4 Resultados de la PPC de residuos sólidos (urbano), a nivel nacional y por regiones en el periodo de 2014-2018.....24
Tabla 2-4 Composición de los residuos producidos por el tipo de residuo en las áreas urbanas a nivel nacional.....25
Tabla 3-4 Indicador de la aplicación del proceso de separación en la fuente por regiones y a nivel nacional (Periodo 2014-2018). 27
Tabla 4-4 Indicador de las cantidades de residuos sólidos recolectados al día (t/día) por regiones y a nivel nacional (Periodo 2014-2018) 28
Tabla 5-4 Cantidades de residuos sólidos diferenciados recolectados al día (t/día) a nivel nacional y por regiones (Periodo 2014-2018).....29
Tabla 6-4 Cantidades y proporciones de residuos orgánicos recuperados/tratados de residuos sólidos recolectados (t/mes) a nivel nacional y por regiones (Periodo 2014-2018) 30
Tabla 7-4 Cantidades y proporciones de residuos inorgánicos recuperados/tratados de los residuos sólidos recolectados (t/mes) a nivel nacional y por regiones (Periodo 2014-2018) 31
Tabla 8-4 Indicador sobre el costo de la Gestión Integral de Residuos Sólidos (USD/t) a nivel nacional y por regiones (Periodo 2014-2018).....32
Tabla 9-4 Costo total por Gestión Integral de Residuos Sólidos recolectados (USD/mes) a nivel nacional y por regiones (Periodo 201-2018) 33
Tabla 10-4 Subsidio de la Gestión Integral de Residuos Sólidos recolectados (USD/mes) a nivel nacional y por regiones (Periodo 2014-2018).....34
Tabla 11-4 Indicador disposición final de los residuos sólidos a nivel nacional y por regiones (%) (Periodo 2014-2018) 35
Tabla 12-4 Comparación de indicadores con otros países de América Latina y el Caribe, según el producto interno bruto (nominal) per cápita (PIB)-2019 37
Tabla 13-4 Producción de Residuos de alimentos a nivel nacional durante el periodo 2016-2018 en Ecuador 46
Tabla 14-4 Generación de productos sostenibles mediante proceso de conversión de la fracción orgánica en tres países diferentes 47
Tabla 15-4 Estimación de la cantidad de nutrientes y componentes que pudieran recuperarse por el aprovechamiento de la fracción orgánica y la elaboración de compost en los RSU de Ecuador.....49
Tabla 16-4 Generación de productos sostenibles mediante tecnologías de proceso de conversión a partir de restos de alimentos (t/día) en Ecuador.....49
Tabla 17-4 Cantidad de materia prima distribuida (t/día), para diferentes tecnologías y productos generados.....50

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-3 Diagrama de la metodología del proyecto 21
Figura 2-4 Esquema de Biorrefinería de residuos a partir de tecnologías de conversión y productos sostenibles en Ecuador.....44
Figura 3-4 Esquema de distribución de la porción orgánica de los RSU y productos generados en Ecuador 45

INDICE DE APÉNDICES

Apéndice 1-6 Producción per cápita en la zona urbana (kg/hab/día) en el período 2014-2018, de cada provincia del Ecuador.....66
Apéndice 2-6 Indicador de la porción de GADs municipales por provincia, que han iniciado o mantienen procesos de separación en la fuente (Periodo 2014-2018) 67
Apéndice 3-6 Indicador cantidades de residuos sólidos recolectados al día (ton/día) a nivel nacional y por regiones (Periodo 2014-2018).....68
Apéndice 4-6 Indicador cantidades de residuos sólidos diferenciados recolectados al día (t/día) por provincias (Periodo 2014-2018).....69
Apéndice 5-6 Indicador cantidades y proporciones de residuos orgánicos recuperados/tratados del total de residuos recolectados (t/mes) por provincias (Periodo 2014-2018) 70
Apéndice 6-6 Indicador sobre el costo de la Gestión Integral de Residuos Sólidos (USD/t) por provincias (Periodo 2014-2018).....71
Apéndice 7-6 Costo por Gestión Integral de Residuos Sólidos recolectados (USD/mes) a nivel nacional y por provincias (Periodo 2014-2018) 72
Apéndice 8-6 Subsidio de la Gestión Integral de Residuos Sólidos recolectados (USD/mes) a nivel nacional y por regiones (Periodo 2014-2018).....73
Apéndice 9-6 Indicador (%), disposición final de los residuos sólidos a nivel nacional y por regiones (Periodo 2014-2018).....75

1 CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del Problema

En la actualidad la base energética mundial ha estado centrada específicamente en el petróleo como materia prima en elaboración de combustible y procesos industriales, obtenidos a través de la refinación del "oro negro" en sistema de refinerías. Ecuador no ha sido la excepción al centrar gran parte de su economía en el petróleo, al ser el principal componente en transformación y generación de combustibles para la movilidad del país. Además, Ecuador acarrea varios impactos ambientales en relación directa con la extracción de esta materia prima. Debido a esto el contexto de potencializar este recurso no es viable, por ser un recurso no renovable en el tiempo.

La gestión de los residuos sólidos ha sido un tema poco profundizado y socializado a nivel nacional, debido a la falta de compromiso por parte de los GADs (Gobiernos autónomos Descentralizados), la inconciencia y falta de cultura de la ciudadanía en materia de clasificación de residuos sólidos. Generalmente en Ecuador los residuos sólidos urbanos (RSU), son poco tratados de forma adecuada, exactamente "solo un 37.1 % de los gobiernos municipales, cuentan con un adecuado proceso de separación de los residuos en la fuente y casi nulo el aprovechamiento de estos" (INEC, 2018b). Esto ha generado un impacto negativo en el ambiente, específicamente en suelos, ríos, lagunas, donde son descargados los lixiviados en descomposición, o el aire, por el biometano que es un gas de efecto invernadero. Adicionalmente, la acumulación de residuos generados y desechados en los vertederos al aire libre, conllevan a problemas ambientales (Diéguez-Santana, Sarduy-Pereira, y Decker, 2021).

El enorme potencial que los residuos sólidos orgánicos tienen ha sido desvalorizado en países como Ecuador, "donde por estimaciones se conoce que al menos un 60% de los residuos sólidos diarios corresponden a la fracción orgánica" (MAE, 2012) . "La materia orgánica al tener un potencial calorífico y eléctrico permite el paso de matriz energética" según (Quintero y Quintero, 2015). Por tal motivo, al poseer una cantidad suficiente como fuente de materia prima, propicia a la inserción de una nueva tecnología en el aprovechamiento energético de estos, siendo un claro ejemplo la biorrefinería.

La biorrefinería como tal se refiere a una instalación donde se generan de forma sostenible un amplio espectro de productos de interés comercial a partir de la biomasa; es decir, es la combinación óptima de procesos biológicos, termoquímicos y químicos para la

obtención de una variada gama de productos. Posibilitando el empleo de numerosas materias primas gracias a las sinergias establecidas entre las tecnologías. Las biorrefinerías pueden ayudar a utilizar el potencial energético óptimo de los desechos orgánicos. También pueden resolver los problemas de gestión de residuos y emisiones de gases de efecto invernadero (Soto-Cabrera *et al.*, 2020). La idoneidad de este proceso se ve reforzada por el hecho de que es capaz de utilizar una variedad de recursos de biomasa, ya sean derivados de plantas o animales (Galván, 2019).

En el Ecuador con la hipotética implementación de este sistema y la abundante cantidad de la materia prima, se podría crear una variedad de bio productos y bioenergía, con fines comerciales y de símbolo de mejoramiento económico. A partir de la fracción de residuos sólidos orgánicos se puede generan biogás, bioetanol y biofertilizante mediante procesos físicos, químicos y biológicos. Impulsando de esta manera, el reusó de aquella gran porción que es desperdiciada y depositada en vertederos comunes, sin darle un tratamiento adecuado. Un claro ejemplo de la aplicación de este sistema es el proyecto URBIOFIN que han demostrado las capacidades que posee el sistema de Biorrefinería en la transformación de la materia prima, "convirtiendo 10 toneladas de residuos urbanos orgánicos por día en Bioproductos a partir de la fracción orgánica de residuos municipales" (Pascual, 2017).

¿Es la Biorrefinería un método viable para la revalorización de los RSU en el territorio, relacionado además por las limitaciones que presenta el Ecuador en la actualidad?

1.1.1 Objetivo General

- Identificar las potencialidades y limitaciones mediante la valorización de los residuos orgánicos de alimentos para la posible implementación de un sistema de biorrefinería en Ecuador.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Recuperar información sobre la evolución de la Gestión de Residuos Sólidos a nivel nacional.
- Revisar los principales conceptos, procesos y planteamiento de la cuantificación de productos de esquemas de biorrefinerías de residuos orgánicos para Ecuador.
- Analizar las potencialidades y posibles limitaciones de la implementación de conceptos de biorrefinerías de residuos orgánicos en Ecuador.

1.2 Justificación

La implantación de un sistema de aprovechamiento de desperdicios de alimentos en Ecuador es conveniente y viable, ya que está enfocado en el cuidado medio ambiental y en el cambio de matriz energética, tras décadas de uso excesivo del petróleo como principal materia prima para la base energética. En donde no solo en Ecuador se ha visto claramente evidenciados los graves impactos que acarrea esta actividad sobre el ambiente (Bosques húmedos Tropicales del norte de la Amazonia Ecuatoriana), si no de manera global, siendo su proceso de refinación, responsable de la emanación de grandes cantidades de CO_2 a la atmosfera. Este sistema está basado en la utilización de los restos sólidos orgánicos, siendo ellos desperdiciados a diario, dejando de lado su potencial en procesos de transformación, para la obtención de nuevos subproductos con fines ambientales y económicos. Es realizable y conveniente en Ecuador, por el hecho de contar con más del 50% de materia orgánica aprovechable en la composición de los residuos sólidos producidos a diario.

La biorrefinería, es una opción la cual garantizará el futuro de los recursos renovables sostenibles a nivel mundial, al sustituir los recursos fósiles, por unos más renovables como los residuos sólidos orgánicos agrícolas, ganaderos, industriales y domésticos. En aprovechamiento de estos residuos es conveniente para el desarrollo social ya que apuesta por una economía circular basada en productos y servicios respetuosos con el medio ambiente a partir de energía renovable. “Esta perspectiva mejora la calidad de la social y el crecimiento en todas las regiones, mediante el uso inteligente de los residuos sólidos orgánicos” (Pascual, 2014). De esta manera la biorrefinería emplea un amplio aspecto de interés comercial, creando puestos de trabajo en diferentes sectores con la vialidad de bioeconomía.

La biorrefinería aplicada en Ecuador permitirá un mejor uso y por ende mejor gestión de residuos sólidos en el país. Según MAE (2012) “una pequeña parte del total de los municipios ejecutan una correcta disposición de los residuos generados, exactamente el 43% lo dispone en rellenos sanitarios en el mejor de los casos”. Por lo cual las Biorrefinerías, reducirían el exceso de estos desperdicios en los botaderos, aportando a la gestión de los residuos sólidos de manera eficiente. Además de contribuir con una estructura permanente de apoyo económico a los sectores más vulnerables. La importancia que presenta la biorrefinería es vital para la aportación de conocimiento que a posterior servirá para futuras generaciones, debido al valor que tiene el aprovechamiento

de los residuos sólidos orgánicos y potencializar en el contexto de economía circular basado en un enfoque integrado y sostenible. “la Constitución de la República del Ecuador donde dispone 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”(Oficial, 2017).

2 CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 Criterios generales para la gestión de Residuos Sólidos

2.1.1 Definiciones generales

Residuo

> Son las sustancias sólidas, semisólidas, líquidas o gaseosas, o materiales compuestos resultantes de un proceso de producción, extracción, transformación, reciclaje, utilización o consumo, a cuya eliminación o disposición final se procede conforme a lo dispuesto en la legislación ambiental nacional o internacional aplicable y es susceptible de aprovechamiento o valorización (Oficial, 2017).

Residuos Sólidos Urbanos

Son los que se originan en las actividades cotidianas de zonas de residenciales y comerciales

Desecho sólido

> Conjunto de materiales sólidos de origen orgánico e inorgánico (putrescible o no) que no tienen utilidad práctica para la actividad que lo produce, siendo procedente de las actividades domésticas, comerciales, industriales y de todo tipo que se produzcan en una comunidad, con la sola excepción de las excretas humanas (CELEC, 2013).

Botadero de Residuos Sólidos

Es el sitio donde se depositan los residuos sólidos, sin preparación previa y sin parámetros técnicos o mediante técnicas muy rudimentarias y en el que no se ejerce un control adecuado (INEC, 2020a).

Producción per cápita (PPC) de desechos sólidos

> Es la estimación de la generación de Residuos Sólidos por cada habitante en periodo de un día. Consiste en seleccionar muestras dentro de la ciudad de diferentes niveles socioeconómicos y, diariamente por ocho días consecutivos se pesa los residuos sólidos recolectados. Esta cantidad se la divide para el número de habitantes de las muestras (INEC, 2020a).

2.1.2 Clasificación de los desechos sólidos

2.1.2.1 Por su origen

Residuo sólido domiciliario

El que por su naturaleza, composición, cantidad y volumen es generado en actividades realizadas en viviendas o en cualquier establecimiento asimilable a esta (Oficial, 2003).

Residuo sólido comercial

Aquel que es generado en establecimientos comerciales y mercantiles, tales como almacenes, bodegas, hoteles, restaurantes, cafeterías, plazas de mercado y otros (Oficial, 2003).

Residuo sólido de demolición

> Son desechos sólidos producidos por la construcción de edificios, pavimentos, obras de arte de la construcción, brozas, cascote, etc., que quedan de la creación o derrumbe de una obra de ingeniería Están constituidas por tierra, ladrillos, material pétreo, hormigón simple y armado, metales ferrosos y no ferrosos, maderas, vidrios, arena, etc (Oficial, 2003).

Residuo sólido del barrido de calles

> Son los originados por el barrido y limpieza de las calles y comprende entre otras: Basuras domiciliarias, institucional, industrial y comercial, arrojadas clandestinamente a la vía pública, hojas, ramas, polvo, papeles, residuos de frutas, excremento humano y de animales, vidrios, cajas pequeñas, animales muertos, cartones, plásticos, así como demás desechos sólidos similares a los anteriores (Oficial, 2003).

Residuo sólido de la limpieza de parques y jardines

Es aquel originado por la limpieza y arreglos de jardines y parques públicos, corte de césped y poda de árboles o arbustos ubicados en zonas públicas o privadas (Oficial, 2003).

Residuo sólido hospitalario

> Son los generados por las actividades de curaciones, intervenciones quirúrgicas, laboratorios de análisis e investigación y desechos asimilables a los domésticos que no se pueda separar de lo anterior. A estos desechos se los considera como Desechos Patógenos y se les dará un tratamiento especial, tanto en su recolección como en el relleno sanitario, de acuerdo a las normas de salud vigentes y aquellas que el Ministerio del Ambiente expida al respecto (Oficial, 2003).

Residuo sólido institucional

Se entiende por desecho sólido institucional aquel que es generado en establecimientos educativos, gubernamentales, militares, carcelarios, religiosos, terminales aéreos, terrestres, fluviales o marítimos, y edificaciones destinadas a oficinas, entre otras (Oficial,

2003).

Residuo sólido industrial

Aquel que es generado en actividades propias de este sector, como resultado de los procesos de producción (Oficial, 2003).

2.1.2.2 Por su peligrosidad

Peligrosos

Los residuos sólidos peligrosos son aquellos residuos que por sus características o el manejo al que son sometidos representan un riesgo significativo para la salud de las personas o el ambiente (OEFA, 2014).

No peligrosos

Por el contrario, se consideran no peligrosos aquellos residuos que por sus características o el manejo al que son sometidos no representan un riesgo significativo para la salud de las personas o el ambiente (OEFA, 2014).

2.1.2.3 Por su naturaleza

Orgánicos

> Residuos de origen biológico (vegetal o animal), que se descomponen naturalmente, generando gases (dióxido de carbono y metano, entre otros) y lixiviados en los lugares de tratamiento y disposición final. Mediante un tratamiento adecuado, pueden reaprovecharse como mejoradores de suelo y fertilizantes (compost, humus, abono, entre otros) (OEFA, 2014).

Inorgánicos

Residuos de origen mineral o producidos industrialmente que no se degradan con facilidad. Pueden ser reaprovechados mediante procesos de reciclaje (OEFA, 2014).

2.1.3 Gestión de los residuos sólidos

Reciclaje

Actividad mediante la cual determinados residuos sólidos provenientes de los servicios de aseo urbano son separados, recogidos, clasificados y procesados para reincorporarlos a un ciclo doméstico, comercial o industrial, sea de forma formal o informal (EIU, 2017).

Reciclaje formal

Proceso de reciclaje realizado directamente por el organismo encargado del servicio municipal de aseo urbano y/o por una empresa o institución autorizada por las autoridades

responsables por el manejo de residuos (EIU, 2017).

Reciclaje informal

La recuperación, segregación, limpieza, transporte, transformación y/o venta de materiales reciclables en el flujo de residuos sólidos, realizada de manera informal, generalmente por actores sociales excluidos y de baja clase social (EIU, 2017).

Recolección selectiva

Colección de tipos específicos de materiales en un recipiente o vehículo, o de otra forma, con el fin de mantener el potencial de separación del material reciclado y maximizar la recuperación (EIU, 2017).

Reducción

Estrategias o actividades llevadas a cabo por personas, empresas o instituciones para reducir el volumen y la toxicidad del material desechado (EIU, 2017).

Reutilizar

Empleo de un material o residuo previamente usado, sin que medie un proceso de transformación (EIU, 2017).

2.1.4 Gestión Integral de los residuos sólidos no Peligrosos

El reglamento al Código Orgánico del Ambiente lo define en el artículo 577 como que "La gestión integral de residuos y desechos sólidos no peligrosos constituye el conjunto integral de acciones y disposiciones regulatorias, operativas, económicas, financieras, administrativas, educativas, de planificación, monitoreo y evaluación para el manejo de los residuos y desechos sólidos no peligrosos desde el punto de vista técnico, ambiental y socioeconómico" (Oficial, 2019).

Generación

Se considera que es resultado de la actividad humana y conforme se ha explicado, los residuos sólidos pueden producirse de la actividad cotidiana, comercial, servicios de limpieza pública, servicios de salud, construcción o por cualquier otra actividad conexa (OEFA, 2014).

Separación en la Fuente

Consiste en agrupar determinados tipos de residuos sólidos con características físicas similares. Tiene por objeto facilitar el aprovechamiento, tratamiento o comercialización de los residuos mediante la separación sanitaria y segura de sus componentes (OEFA, 2014).

Almacenamiento Temporal

Es la operación de acumulación temporal de residuos en condiciones técnicas adecuadas, como parte del sistema de manejo hasta su disposición final (OEFA, 2014).

Recolección y transporte

La acción de recoger los residuos sólidos y trasladarlos usando un medio de locomoción apropiado, para luego continuar su posterior manejo, en forma sanitaria, segura y ambientalmente adecuada (OEFA, 2014).

Aprovechamiento

Conjunto de acciones y procesos mediante los cuales, a través de un manejo integral de los residuos sólidos, los materiales recuperados se incorporan al ciclo económico y productivo por medio de la reutilización, reciclaje, generación de energía o cualquier otra modalidad que conlleve beneficios sanitarios, sociales, ambientales y económicos (Oficial, 2019).

Tratamiento

Es el proceso, método o técnica que tiene por objeto modificar las características físicas, químicas o biológicas de los residuos sólidos, reduciendo o eliminando su potencial peligro de causar daños a la salud y el ambiente (OEFA, 2014).

Disposición Final

Es la última de las fases de la gestión integral de los desechos, en la cual son dispuestos de forma sanitaria mediante procesos de aislamiento y confinación definitiva, en espacios que cumplan con los requerimientos técnicos establecidos en las normas secundarias correspondientes, para evitar la contaminación, daños o riesgos a la salud humana y al ambiente (Oficial, 2019).

2.1.5 Principales aspectos normativos relacionados con el aprovechamiento, tratamiento de los residuos orgánicos del Ecuador

La Constitución Política 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, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, sumak kawsay"(Oficial, 2008).

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. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua (Oficial, 2008).

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" (Oficial, 2008).

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" (Oficial, 2008).

Título V Gestión integral de residuos y desechos

Capítulo I Disposiciones generales

Artículo 225.- Políticas generales de la gestión integral de los residuos y desechos. 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: 1. El manejo integral de residuos y desechos, considerando prioritariamente la eliminación o disposición final más próxima a la fuente; 2. La responsabilidad extendida del productor o importador; 3. 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 al manejo de los residuos y desechos; 5. 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 (Oficial, 2017).

Artículo 226.- Principio de jerarquización. La gestión de residuos y desechos deberá cumplir con la siguiente jerarquización en orden de prioridad: 1. Prevención; 2. Minimización de la generación en la fuente; 3. Aprovechamiento o valorización; 4. Eliminación; y, 5. 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 (Oficial, 2017).

Código Orgánico del Ambiente

Capítulo II Gestión integral de residuos y desechos sólidos no peligrosos, Libro 3 Calidad Ambiental, CODA

Art. 232.- Del reciclaje inclusivo. La Autoridad Ambiental Nacional o los Gobiernos Autónomos Descentralizados, según su competencia, promoverán la formalización, asociación, fortalecimiento y capacitación de los recicladores a nivel nacional y local, cuya participación se enmarca en la gestión integral de residuos como una estrategia para el desarrollo social, técnico y económico. Se apoyará la asociación de los recicladores como negocios inclusivos, especialmente de los grupos de la economía popular y solidaria (Oficial, 2017).

Título VII Gestión integral de residuos y desechos. Capítulo I disposiciones generales

Art. 593. Aprovechamiento. - El aprovechamiento es el conjunto de acciones y procesos mediante los cuales, a través de un manejo integral de los residuos sólidos, los materiales recuperados se incorporan al ciclo económico y productivo por medio de la reutilización, reciclaje, generación de energía o cualquier otra modalidad que conlleve beneficios sanitarios, sociales, ambientales y económicos. Los gobiernos autónomos descentralizados municipales y metropolitanos, dentro de su Plan de Gestión Integral Municipal de residuos y desechos sólidos no peligrosos, deberán diseñar, implementar, promover y mantener actualizado un componente de aprovechamiento en sus respectivas jurisdicciones, priorizando a recicladores de base y organizaciones de la economía popular y solidaria. Los residuos orgánicos que se generen en los cantones, incluyendo aquellos que resulten de la limpieza y poda de vegetación de los espacios públicos, deberán ser aprovechados con la alternativa más adecuada a su realidad y se incluirán en los Planes de Gestión Integral Municipal de residuos y desechos sólidos que establezca cada gobierno autónomo descentralizado municipal (Oficial, 2017).

Art. 594. Metas. - La Autoridad Ambiental Nacional establecerá las metas de recuperación de residuos reciclables y aprovechamiento de residuos orgánicos (Oficial, 2017).

Sección 4ª Aprovechamiento de los residuos sólidos no peligrosos para la industria.

Art. 597. Objeto. - El aprovechamiento de residuos sólidos no peligrosos en la industria tiene por objeto disminuir la cantidad de residuos sólidos que llegan a los sitios de disposición final y fomentar el uso de materia prima proveniente del reciclaje y su inserción en nuevos ciclos productivos (Oficial, 2017).

Título IX Producción y consumo sostenible, Libro 3 Calidad Ambiental, RCODA.

Art. 668. Estrategia Nacional de Producción y Consumo Sostenible. - La Autoridad Ambiental Nacional elaborará la Estrategia Nacional de Producción y Consumo Sostenible que incluirá los lineamientos para incentivar hábitos de producción y consumo sostenible, entre los que se contemplarán los siguientes criterios (Oficial, 2017):

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

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

d) 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.

e) Fomentar procesos de mejoramiento continuo que disminuyan emisiones y residuos contaminantes, así como la implementación, aplicación y transferencia de metodologías y tecnologías preventivas y de producción más limpia;

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

h) 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.

2.2 Criterios y Principales Aspectos de la Biorrefinería.

2.2.1 Biorrefinería

El Laboratorio de Energías Renovables Nacional Americano define una biorrefinería es una instalación que integra procesos y equipos de conversión de biomasa para producir para producir combustibles, energía y productos químicos a partir de biomasa (González,

2018).

2.2.2 Procesos de transformación de la biomasa mediante biorrefinería

Los procesos de transformación de la biomasa mediante tecnologías para obtener productos sostenibles se basan de cuatro plataformas de conversión primordiales: termoquímicas, químicas, fisca y biológicas. La nueva tecnología de procesos de conversión se aplica en las biorrefinerías de primera, segunda y tercera generación.

Proceso termoquímico

Son procesos de conversión de la materia prima para generar productos amigables con el ambiente. Utilizan distintos tipos de biomasa para sus procesos con un único fin de generar productos de manera sostenible. La biomasa como desechos agrícolas, industriales y domésticos son utilices para este proceso de conversión (Arteaga-Pérez, Segura, y Santana, 2016). Generan cambios de temperatura el cual implica transformaciones de la materia prima (Lin y Lu, 2021). Establece que dentro del proceso de conversión la temperatura y la presión se elevan a altos valores, de esta forma se transforma químicamente la materia prima en productos ecológicos.

Proceso físico

Son procesos que cambian las propiedades de la materia prima mediante diferentes formas de operaciones mecánicas. Estos procesos de conversión se aplican directamente a la biomasa sin modificación de la misma. Generalmente no se añaden intermediarios dentro de cada operación mecánica. Son procesos que se utiliza como pretratamiento con el fin de reducir el tamaño de la partícula de biomasa. Se implica distintas formas de procesos mediante biotecnologías nuevas. Lara-Flores *et al.* (2018) menciona a la trituración, molienda, cristalización, astillado, extracción, destilación, prensado, centrifugación, ultrasonidos.

Proceso químico

Proceso de transformación de la materia prima mediante reacciones químicas, además se caracteriza por la conversión mediante un catalizador para tratar la materia prima. Son pretratamientos que se desarrollan fácilmente, métodos que tienen conocimiento para los distintos procesos. Proporcionan un rendimiento oportuno de la transformación de la biomasa en un tiempo establecido. Poseen algunos pretratamientos tales como: craqueo, deslignificación electrólisis, hidrólisis, hidrogenación, isomerización, polimerización, oxidación-reducción. Además Panpatte y Jhala (2019), también mencionan a los líquidos

iónicos, ácidos inorgánicos u orgánicos, álcalis o disolventes dentro de este proceso de conversión.

Proceso biológico

Proceso que se basan de conversiones enzimáticas para el proceso de transformación de la materia prima (García-Prado *et al.*, 2015). La biomasa más compleja dentro de este contexto es la biomasa Lignocelulósica y los residuos orgánicos. Dentro de este pretratamiento utilizan microorganismos para producir enzimas, de esta forma hidrolizar los diferentes tipos de biomasa. Existen diferentes variedades de hongos que son útiles para el pretratamiento de conversión de la materia prima, debido a que producen enzimas que son catalizadores dentro de este proceso. Para convertir los desperdicios de alimento en biocombustibles o bioenergía se aplican diferentes procesos. Por ejemplo Girotto, Alibardi, y Cossu (2015), designa los siguientes procesos deslignificación, digestión anaerobia, transesterificación, fermentación, hidrolisis enzimática, pirolisis y gasificación.

2.2.3 Clasificación de las Biorrefinerías

2.2.3.1 Según sus materias primas

- **Biorrefinería verde**

  Las materias primas incluidas en este concepto de biorrefinería corresponden a las biomasas con alto contenido en humedad; tales como, pastos y cultivos verdes (alfalfa y trébol) y los cereales en fase temprana de desarrollo. Así como otros cultivos como la patata, la yuca, la remolacha azucarera y la caña de azúcar (Galván, 2019).

- **Biorrefinería de materiales de cereales**

  Corresponde con las plantas de etanol que utilizan materias primas con alto contenido en almidón como son el maíz, la cebada y el trigo. Dichas plantas generan una serie de subproductos que pueden ser aprovechados con diversos fines, entre los que se encuentran los granos secos de destilería, que se utilizan como complemento alimenticio para el ganado, también co-productos como harinas, jarabe de maíz de alta concentración de fructosa, almidón, dextrosa, etc. los cuales pueden seguir rutas de procesamiento para la obtención de productos alimenticios, plásticos, pegamentos, adhesivos, etc (Teribia, 2016).

- **Biorrefinería de material lignocelulósico**

  Corresponde con la valorización de los componentes de la biomasa Lignocelulósica (celulosa, hemicelulósa y lignina). A través de procesos termoquímicos y bioquímicos. Siendo el sector forestal el que mejor puede adaptar en sus instalaciones este tipo de procesos y en especial las industrias papeleras (Galván, 2019).

2.2.3.2 Según Producto de Plataforma

- **Plataforma de azúcares-lignina**

  Los hidratos de carbono derivados de la biomasa (celulosa, hemicelulósa, almidón, inulina, pectinas) pueden ser empleados para la formación de otros polímeros, pueden ser fermentados o ser procesados químicamente para la obtención de múltiples productos. Asimismo, la lignina puede emplearse para aportar la energía requerida para los procesos anteriores, o bien emplearse como materia prima en la obtención de sustancias químicas (Barroso, 2010).

- **Plataforma de gas de síntesis**

  La biomasa se somete al proceso de gasificación para obtener gas de síntesis, compuesto mayoritariamente por hidrógeno y monóxido de carbono. El gas de síntesis puede emplearse para la producción de electricidad, hidrógeno, combustibles para el transporte libres de azufre, o proporcionar sustancias químicas base para la producción de bioproductos (García, 2008).

- **Plataforma de biogás**

La biomasa se somete a la acción de microorganismos anaerobios para la obtención de biogás. El biogás puede ser empleado para la obtención de energía y otros productos. También durante este proceso se originan sustancias que pueden utilizarse como fertilizantes (García, 2008).

- **Aceites de pirólisis**

  La biomasa se somete a un proceso de pirólisis rápida que favorece la obtención de aceites de características similares a las del petróleo. Los aceites de pirólisis pueden ser empleados para producir electricidad o ser la materia prima base para la obtención de determinados adhesivos y resinas plásticas (García, 2008).

- **Plataforma de cadenas ricas en carbón**

  Se emplean las materias primas largas cadenas hidrocarbonadas como las sustancias lipídicas procedentes de semillas oleaginosas y de las plantas productoras de terpenos y caucho. En esta plataforma se integran los procesos de extracción y acondicionamiento de las sustancias extraídas, como el proceso de transesterificación de los aceites vegetales (García, 2008).

2.2.4 Comparación de diferentes tipos de biorrefinerías

Biorrefinería de aceite vegetal y otros Lípidos

Proceso el cual ingresa materia prima como (cultivo oleaginosas, cultivo de algas, residuos industriales y residuos urbano), se realiza procesos primarios físicos (molienda, prensado, filtración, extracción) y químicos (refinado), además procesos secundarios físicos (centrifugación, destilación, cristalización), químicos (hidrólisis, isomerización, oxidación) y biotecnológico (esterificación enzimática, fermentación, hidrólisis enzimática), mediante estos procesos se genera bioproductos (antioxidantes, biodisolventes, etc.) y bioenergía (biocombustibles, biodiesel) (BioPlat, 2017).

Biorrefinería de lignocelulosa

Proceso el cual ingresa materia prima como (cultivos lignocelulósico, residuos agrícolas, residuos industriales y residuos urbano), se realiza procesos primarios físicos (molienda, prensado, secado/ deshidratación), químicos (deslignificación, hidrólisis, hidrólisis alcalina, etc.), termoquímicos (gasificación, hidrólisis, pirólisis, etc.), biotecnológicos (deslignificación biológica, etc.), además procesos secundarios físicos (cristalización, fraccionamiento, etc.), químicos (electrólisis, hidrogenólisis, oxidación, etc.), termoquímicos (combustión, pirólisis, etc.) y biotecnológico (hidrólisis enzimática, fermentación), mediante estos procesos se genera bioproductos (Acetatos, acetona, antioxidantes, etc.) y bioenergía (biocombustibles, bioetanol, etc.) (BioPlat, 2017).

Biorrefinería del biogás

Proceso el cual ingresa materia prima como (residuos ganaderos, residuos industriales y residuos urbano), se realiza procesos primarios físicos (extracción, filtración, fraccionamiento), químicos (hidrólisis) y biotecnológicos (digestión anaerobia, fermentación), además procesos secundarios químicos (purificación el biogás), termoquímicos (reformado con vapor) y biotecnológicos (digestión

anaerobia), mediante estos procesos se genera bioproductos (Ácidos carboxilos volátiles, fertilizante, hidrogeno) y bioenergía (biocombustibles, biometano, calor, electricidad) (BioPlat, 2017).

Biorrefinería de azúcares

Proceso el cual ingresa materia prima como (Algas, cultivos alcoholigeros, residuos industriales y residuos urbano), se realiza procesos primarios físicos (extracción, molienda, prensado, secado/deshidratado), químicos (hidrólisis, refinado), termoquímicos (licuefacción, pirólisis) y biotecnológicos (hidrólisis enzimática, fermentación), además procesos secundarios físicos (deshidratación), químicos (hidrólisis acida, hidrólisis alcalina, hidrogenación) y biotecnológicos (fermentación, hidrólisis enzimática), mediante estos procesos se genera bioproductos (Ácidos orgánicos, antibióticos, alcoholes, azucares fermentables, etc) y bioenergía (biocombustibles, bioalcoholes, bioetanol, biobutanol, calor, electricidad) (BioPlat, 2017).

2.2.5 Principales productos de las biorrefinerías

Son varios los productos que se obtiene a través del proceso de Biorrefinería, pero para un mayor entendimiento, se subdivide en 2 categorías: "la Bioenergía en cualquiera de sus aplicaciones (térmica, eléctrica y mecánica) y los Bioproductos, aquellos derivados de los componentes mayoritarios de la biomasa (hidratos de carbono, lípidos, proteínas, y metabolitos)"(García, 2008).

2.2.5.1 Bioenergía

La bioenergía es considerada la principal fuente renovable de energía y tiene un elevado potencial sostenible para la producción de energía. Está basada en el aprovechamiento de la materia orgánica e industrial formada en algún proceso biológico o mecánico, generalmente de las sustancias que constituyen los seres vivos o sus restos y residuo y algunos de los procesos son bioquímicos y termoquímicos (Anca-Couce, Hochenauer, y Scharler, 2021). Puede encontrarse en los procesos de transformación como:

Energía térmica

Es una de las aplicaciones más comunes de la biomasa que, por combustión directa en calderas, genera el calor necesario para cocinar, para calefacción o como agua caliente sanitaria. Además, es posible aprovechar el vapor que se desprende en la combustión para la producción de electricidad (cogeneración) para determinados

procesos industriales como secaderos, calderas y hornos cerámicos (García, 2008).

Energía eléctrica

La tecnología aplicada para obtener electricidad a partir de la biomasa depende del tipo y cantidad de esta. Básicamente puede obtenerse electricidad a partir del calor generado en la combustión en un ciclo convencional de vapor o a partir del gas generado en los procesos de gasificación y de digestión anaerobia (García, 2008).

Energía mecánica

Obtenida en los motores de automoción mediante biocarburantes obtenidos de la biomasa, predominantemente en mezclas con combustibles fósiles. Los combustibles originados a partir de biomasa presentan gran parte de las características de los combustibles fósiles, además de las ventajas adicionales que supone su origen renovable (García, 2008).

Los biocombustibles líquidos se pueden producir de varias formas y según (Anca-Couce, Hochenauer, y Scharler, 2021) pueden considerarse de: Primera generación: producido a partir de cultivos alimentarios, es decir, bioetanol de cultivos con almidón y azúcar y biodiésel de aceites vegetales. Mientras los de segunda generación son producidos a partir de biomasa o residuos Lignocelulósica, evitando la competencia con cultivos alimentarios. Finalmente, los biocombustibles de tercera generación pueden ser los derivados de microalgas, con un alto rendimiento de producción por m^2 y evitan la competencia de tierras en la recolección (Ejemplos de ellos pueden obtenerse mediante procesos de transesterificación o fermentación de diferentes fracciones de las algas, o mediante procesos hidrotermales). Entre los biocombustibles gaseosos, destacan el H_2 y el CH_4 que pueden obtenerse de los procesos bioquímicos (digestión anaeróbica) y termoquímicos (gasificación), algunos productos por cada categoría se describen a continuación.

2.2.5.2 Biocarburantes de primera generación

Bioetanol

Se obtiene por fermentación de los azúcares presentes en materias primas como la caña de azúcar o los granos de cereal, y el biodiésel obtenido por transesterificación química de aceites vegetales procedentes de biomasa oleaginosa (Ramos y Gil, 2017).

Aceites vegetales

Son los aceites vegetales extraídos de biomasa oleaginosa. Pueden emplearse directamente como combustible en algunos motores adaptados o bien en mezclas con gasóleo o biodiésel (García, 2008).

Biodiésel

Se obtiene por transesterificación química de aceites usados podría considerarse como puente entre el biodiésel de primera y segunda generación, ya que, a pesar de la naturaleza residual de esta materia prima, sigue aplicando la misma tecnología de transformación (Ramos y Gil, 2017).

Biogás

Se llama biogás al gas que se produce mediante un proceso metabólico de descomposición de la materia orgánica en ausencia de oxígeno (digestión anaerobia) (García, 2008).

Biobutanol

Es un biocarburante líquido, producido por la fermentación de los azúcares por medio del microorganismo *Clostridium acetobutylicum*, a partir de las mismas materias primas del bioetanol. Por sus propiedades, puede utilizarse en los motores a combustión interna de ciclo Diésel y Otto, de forma análoga al bioetanol (Teribia, 2016).

2.2.5.3 Biocarburantes de segunda generación

Bioetanol celulósico

Etanol obtenido por fermentación de los azúcares presentes en materias primas Lignocelulósica (García, 2008).

Gas de gasificación

El biogás también puede generarse mediante gasificación a partir de materias primas que por sus características no son aptas para la fermentación anaerobia (García, 2008).

Biometanol

Se usa biomasa Lignocelulósica, mediante la gasificación de la biomasa, con la conversión catalítica de los gases obtenidos (CO_2 y H_2), es el proceso más usado para la producción del biometanol. Dadas las propiedades del biocombustible, muy parecidas a las del bioetanol, el biometanol se puede utilizar en los motores de ciclo Otto y Diésel (Teribia, 2016).

Biodiésel sintético o Fischer-Tropsch. -Con este nombre se denomina al diésel sintético producido mediante la reacción de Fischer-Tropsch, partiendo de gas de síntesis obteniendo por gasificación de la biomasa (García, 2008).

3. CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Tipo o Diseño de Investigación

El presente proyecto fue un trabajo investigativo de tipo exploratorio (Documental), enfocado en la recopilación de información bibliográfica como fuente de literatura existente. Se estableció una verificación o análisis de una bioeconomía (economía circular), basado en la implementación de una biorrefinería como alternativa sostenible de aprovechamiento de la biomasa (residuos orgánicos) en el Ecuador.

3.2 Método de Investigación

La figura 1.3 muestra los principales criterios o pasos metodológicos empleados para la realización del proyecto de investigación.

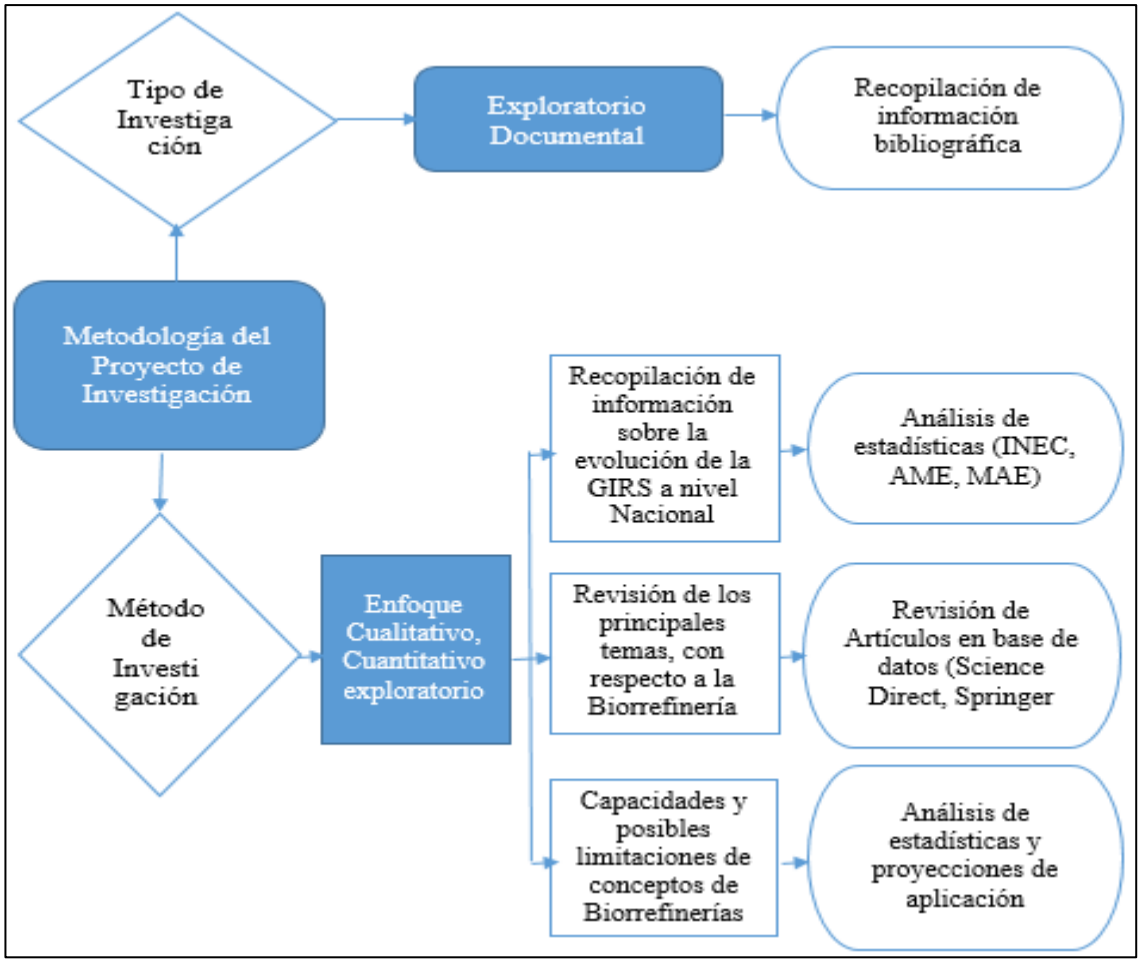

Figura 1-3 Diagrama de la metodología del proyecto

Realizado por: Johnny Bayas, Jimmy Chimbolema

Estos criterios incluyen un enfoque cualitativo y cuantitativo exploratorio y descriptivo simple, basado en la revisión de material bibliográfico que permitió sustentar la realización del proyecto (documentos y normas pertinentes sobre la gestión de residuos

sólidos en Ecuador). Así mismo se determinó la valorización del sistema de biorrefinería y potencializarlos hacia un futuro en Ecuador. Para ello se siguió los siguientes procedimientos para cada etapa del proyecto, véase en la Figura 1-3:

Recopilación de información sobre la evolución de la Gestión de Residuos Sólidos a nivel nacional: En esta primera parte del estudio, se realizó un análisis de la evolución de la GIRS en Ecuador, en los últimos cinco años, según las estadísticas disponibles en Instituto Nacional de estadísticas y Cifras (INEC), Asociación de Municipalidades del Ecuador (AME), Ministerio del Ambiente (MAE), y documentos publicados. Para ello se agrupó los resultados de los siguientes indicadores de la gestión de los residuos sólidos, a nivel nacional, por regiones naturales y provincias.

- ✓ PPC de desechos sólidos:
- ✓ Composición de los Residuos Sólidos Producidos por el Tipo de Residuo: Las principales fracciones que se analizan en Ecuador son: Orgánico, Cartón, Papel, Plástico rígido, Plástico Suave, Vidrio, Madera, Metal, Chatarra, Caucho, Textil, Lámparas/Focos comunes, Pilas, Pañales desechables, Papel higiénico, Toallas sanitarias, y otras.
- ✓ GADs municipales que han iniciado o mantienen procesos de separación en la fuente.
- ✓ Residuos sólidos recolectados al día.
- ✓ Cantidades de residuos sólidos diferenciados recolectados al día.
- ✓ Cantidades y proporciones de residuos orgánicos recuperados/tratados del total de residuos sólidos recolectados.
- ✓ Costo de tratamiento de RSU y fracción de la Gestión Integral de Residuos Sólidos recolectados que es subsidiada.
- ✓ Disposición final: En este indicador principalmente los rellenos sanitarios, celdas emergentes, botaderos controlados y los botaderos a cielo abierto, que se son consideran los menos deseados.

Revisión de los principales conceptos, procesos y productos de esquemas de biorrefinería de residuos orgánicos para el Ecuador: En este punto del trabajo se realizó una búsqueda bibliográfica de estudios realizados en otros países y regiones. La revisión de la literatura

considero los conceptos de biorrefinería y su aplicación actual con los residuos orgánicos de los hogares, clasificaciones, posibles esquemas de tratamientos, potenciales productos y tecnologías más empleadas. Esta sección del proyecto se llevó a cabo mediante búsquedas en las bases de datos de artículos de revistas y capítulos de libros de ScienceDirect, Springer y Taylor&Francis, y se definió palabras claves como: biorrefinería, residuos/desechos orgánicos, bioeconomía circular, residuos sólidos municipales, países en vías de desarrollo, y otros más específicos hasta obtener un número de documentos relevantes, priorizando los documentos publicados de la región durante los últimos 5 años.

Potencialidades y posibles limitaciones de la implementación de conceptos de biorrefinerías de desechos orgánicos en Ecuador: Los indicadores de la gestión de los residuos sólidos orgánicos, que se recopilo a partir de las bases de datos estadísticas nacionales, se emplearon para analizar la viabilidad de los residuos que se generan en Ecuador como materias primas de biorrefinerías de residuos orgánicos. En esta parte se calcularon potenciales cantidades de productos que pueden obtenerse de las fracciones orgánicas de los residuos sólidos que se generan a nivel nacional. Para ello se empleó rendimientos específicos obtenidos de la literatura en el objetivo específico 2. Una vez agrupados los procesos y productos de las biorrefinerías se identificaron las potencialidades y limitaciones de aplicación en el contexto ecuatoriano. Estos criterios abarcaron implicaciones ambientales, técnicas, económicas, sociales, logísticas y legislativas, que podrán documentarse a través de la literatura científica publicada y en concordancia con las informaciones nacionales recopiladas.

4. CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Análisis de la información recopilada sobre la evolución de la Gestión de Residuos Sólidos a nivel nacional en el periodo 2014-2018.

Esta sección corresponde a una síntesis de la información presentada por el sistema AME-INEC del periodo 2014-2018, donde se detalla la información pertinente a la evolución de la Gestión de Residuos Sólidos en territorio nacional. En este caso se enfocará en la descripción de la PPC por región, ya que, al ser un indicador relacionado directamente a los patrones de consumo, producción y población, arrojan un resultado real en cuanto a la generación de Residuos se refiere véase esto en la Tabla 1-4.

Tabla 1-4 Resultados de la PPC de residuos sólidos (urbano), a nivel nacional y por regiones en el periodo de 2014-2018

	PPC en la Zona Urbana (kg/hab/día)				
Región/ Nacional / **Año**	2014	2015	2016	2017	2018
Región Sierra	0.559	0.563	0.556	0.736	0.741
Región Costa	0.585	0.587	0.613	0.959	0.957
Región Amazónica	0.540	0.573	0.571	0.714	0.620
Región Insular	0.723	0.723	0.730	0.729	0.742
Nacional	0.568	0.576	0.583	0.861	0.859

Fuente: Adaptado de (AME-INEC, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018).

Realizado por: Johnny Bayas, Jimmy Chimbolema

En la Tabla1-4 se muestra la PPC en las zonas urbanas (kg/hab/día) en el periodo 2014-2018 por cada región del Ecuador, arrojando las siguientes conclusiones en base a los datos obtenidos, esto tomado de (AME-INEC, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018).

- ✓ El año que posee una mayor PPC a nivel nacional es el año 2017 con una tasa de 0.861 (kg/hab/día), que en contraste con el año 2014 es el año que cuenta con la menor PPC con un valor de 0.568 (kg/hab/día), todo relacionado al aumento de la tasa poblacional, dando una estimación de 17´610,882, datos obtenidos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos de Ecuador (INEC, 2020b).
- ✓ Existe un crecimiento exponencial de la PPC, hasta el año 2017 de 0.861, con una reducción a 0.859 hasta el año 2018, esto relacionado a la expansión urbana en cada región del Ecuador, los ingresos económicos, el desarrollo industrial y el consumo poblacional, contemplando así que las grandes urbes del territorio, poseen mayor PPC de residuos sólidos como menciona (Loyola, 2018).
- ✓ Las regiones con mayor población son también los que generan mayor producción

diaria de residuos sólidos. Por esto, la región Costa es la de mayor cantidad de habitantes con 8’303,168 habitantes según INEC (2018a), lo que justifica la generación elevada de RSU en la región.

- ✓ La región con una mayor tasa de PPC de Residuos Sólidos, hasta el último año de recolección de la información es la región Costa, con una tasa de 0.957 (kg/hab/día), seguido por la región Insular con una producción de 0.742 (kg/hab/día), muy de cerca se encuentra la región Sierra con una producción de 0.741(kg/hab/día), convirtiendo a la Región Amazónica como la que posee la menor PPC con un valor de 0.620 (kg/hab/día).

En función al planteamiento del segundo objetivo, se establece la recopilación de la información en cuanto a la composición de los Residuos Sólidos producidos en las áreas Urbanas a nivel nacional en el periodo de 2014-2018. Presentado a manera porcentual las diferentes partes que componen el total de los Residuos Sólidos generados véase, detallada la información en la Tabla 2-4.

Tabla 2-4 Composición de los residuos producidos por el tipo de residuo en las áreas urbanas a nivel nacional

	Producción RSU				
Residuos sólidos / Año	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**
Orgánico	61.1	58.67	58.47	57.30	56.17
Cartón	5.1	5.13	5.62	5.78	4.75
Papel	4.4	5.12	4.64	4.36	4.25
Plástico rígido	11.8	8.33	5.82	5.84	5.80
Plástico Suave	-	3.11	4.88	4.78	5.63
Vidrio	3.0	3.01	2.92	3.07	2.97
Madera	0.8	0.86	0.72	0.80	0.74
Metal	1.5	1.53	1.28	1.37	1.37
Chatarra	1.0	1.71	1.50	1.98	1.51
Caucho	-	0.45	0.80	1.01	1.10
Textil	-	1.28	1.79	1.71	2.17
Lámparas/Focos/comunes) Focos ahorradores	-	0.15	0.41	0.62	0.59
Pilas	0.3	0.45	0.54	0.48	0.46
Pañales desechables, Papel higiénico, Toallas sanitarias	3.8	4.83	4.68	5.14	6.71
Otras	7.3	5.36	5.94	5.76	5.77
Total	100	100	100	100	100

Fuente: Adaptado de (AME-INEC, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018).

Realizado por: Johnny Bayas, Jimmy Chimbolema

En la Tabla 2-4 se muestra la composición que conforman los Residuos Sólidos

producidos por el tipo de Residuo en las áreas Urbanas a nivel nacional, cabe mencionar que en el año 2014 algunas categorías no fueron cuantificadas, tal es el caso de los plásticos que se midieron como plásticos en general y las demás se consideraron como otras fracciones. Los resultados obtenidos, nos permite determinar que:

- ✓ El tipo de residuo más prominente a nivel nacional es el orgánico, con un valor que supera el 55% a través del periodo 2014-2018, específicamente en el 2014 con el mayor porcentaje de 61.1%, seguido por el año 2015 con un 58.67%, el año 2016 con el 58.47%, seguido por el año 2017 con un 57.30% y por último el 2018 con un 56.17% del total de la composición de los residuos, todo esto relacionado a lo que se plantea en ONU (2017), donde se menciona que "En países de bajos ingresos, el 75% de la basura descartada procede de la materia orgánica, mientras que en países con renta más elevada ese índice es de 36%".
- ✓ El porcentaje de los diferentes tipos de residuos va en constante cambio, siendo las únicas excepciones la gran presencia de los tipos de Residuos Orgánicos manteniendo el primer lugar en todo el periodo, relacionado directamente a la falta de capacidad de controlar el desarrollo sin comprometer al ambiente, cuyo desarrollo se ha forjado mediante las actividades y mecanismos que van estrechamente relacionado a la generación de grandes cantidades de residuos, de los cuales predominan los de tipo orgánico.
- ✓ Con los valores obtenidos en la composición de los RSU a nivel nacional en el periodo 2014-2018, obtenemos información relevante para el desarrollo del presente proyecto, al identificarse que la gran mayoría de RSU en Ecuador, pertenece a la fracción orgánica, dando pie a la implementación de alternativas de reúso de esta porción que en términos generales ha sido desaprovechada en nuestro país.

La separación en la fuente es uno de los procesos más comunes en Ecuador y por ende de los más aplicados por los GADs municipales. Debido a esto se ha recopilado información acerca de la situación que está atravesando este proceso en las diferentes regiones del país, mostrando de manera porcentual la evolución de este a través del periodo 2014-2018, véase esto en la Tabla 3-4. Convirtiendo así a la separación en la fuente en el proceso más utilizados en Ecuador, en cuanto a la Gestión de los RSU.

Tabla 3-4 Indicador de la aplicación del proceso de separación en la fuente por regiones y a nivel nacional (Periodo 2014-2018).

Nacional o región / Año	2014	2015	2016	2017	2018
Nacional	36.82	37.56	37.1	36.5	31.8
Región Sierra	47.31	49.46	52.7	49.5	48.9
Región Costa	10.84	11.90	9.5	8.3	3.6
Región Amazónica	60.98	58.54	53.7	62.5	48.7
Región Insular	100.00	100	100.0	100.0	100.0

Fuente: Adaptado de (AME-INEC, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018).

Realizado por: Johnny Bayas, Jimmy Chimbolema

En la Tabla 3-4 se muestra, la evolución de la aplicación del proceso de separación en la fuente a nivel regional y nacional en el periodo 2014-2018, donde arroja los siguientes resultados:

- ✓ La región con mayor índice de aplicación de la separación en la fuente es la región Insular con una totalidad aplicabilidad de este proceso en su gestión de Residuos Sólidos, seguido por la región Amazónica con un 62.5% en el 2017 como el año de mayor aplicabilidad para la región, seguido por la Región Sierra con poca variabilidad en el porcentaje de aplicabilidad en cuanto a la aplicación del proceso de separación en la fuente.
- ✓ En la región Costa denotando de esta forma que pese que la región Costa posee la mayor PPC, cuenta con los valores más bajos en cuanto a la aplicación del proceso de Separación en la Fuente hecho que se repite en todo el periodo, esto debido a que las políticas públicas que incentiven los procesos de separación en la fuente de desechos sólidos, no están bien definidas, ya que del total de 84 GADs municipales en la región solo 8 municipios realizaron, mantuvieron procesos de separación de fuente esto según (CNC, 2019).
- ✓ En cuanto a los indicadores de la aplicación de la separación en la fuente a nivel nacional, muestra poca variabilidad en el porcentaje anual, siendo el 2015 el valor más alto con un 37.56%, mostrando así, la importancia de la aplicación de políticas públicas en cuanto a la GIRS, tal es el ejemplo de Galápagos, quienes han aumentado significativamente los procesos de separación en la fuente de los RSU en la región, debido a la aplicación de buenas políticas públicas en fin de

cuidar el hábitat del archipiélago.

- ✓ La región Sierra, posee el segundo lugar en cuanto a la aplicación del proceso de separación en la fuente con un valor de 48.9 en el año 2018, en correspondencia a que 49 de sus 93 GADs municipales iniciaron, realizaron, mantuvieron los procesos de separación en la fuente según (CNC, 2019).

A continuación, se presenta los resultados recopilados acerca de las cantidades de residuos sólidos recolectados al día, tanto a nivel regional y nacional dentro del periodo 2014-2018, siendo tomado directamente del AME-INEC, véase esto en la Tabla 4-4.

Tabla 4-4 Indicador de las cantidades de residuos sólidos recolectados al día (t/día) por regiones y a nivel nacional (Periodo 2014-2018)

Región / Nacional / Año	2014	2015	2016	2017	2018
Nacional	11,203.239	12,829.41	12,897.98	12,337.3	14,620.0
Región sierra	4,544.807	4,545.65	4,467.5	4,655.2	4,958.4
Región costa	6,229.923	7,809.31	7,960.0	7,233.7	7,350.6
Región amazónica	404.309	450.25	440.9	424.3	398.1
Región insular	24.2	24.20	29.6	24.0	31.9

Fuente: Adaptado de (AME-INEC, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018).

Realizado por: Johnny Bayas, Jimmy Chimbolema

En la Tabla 4-4 se muestra las cantidades de los Residuos Sólidos recolectados al día (ton/día), donde se evidencia que:

- ✓ La región Costa en el transcurso de los 4 años, ocupa el primer lugar en cuanto a la generación de residuos sólidos recolectados al día con poca variación entre cada año, convirtiéndose así en la región con mayor generación de residuos sólidos recolectados por día, por el simple hecho de que como ya se ha mencionado, la región costa posee actualmente la mayor población entre regiones. Concordando así con lo mencionado por Loyola (2018), que afirma que a mayor tasa poblacional, mayor será la proporción de residuos sólidos recolectados al día.
- ✓ La región con la menor cantidad de residuos sólidos recolectados al día es en la región Insular con un valor que va desde las 24.2 t/día a las 31.9 t/día.
- ✓ El año con el mayor valor de residuos sólidos recolectados al día a nivel nacional es el año 2018 con un valor de 12,739.0 t/día.

A continuación, se presenta los resultados recopilados acerca de las cantidades de

residuos sólidos diferenciados recolectados al día, permitiendo establecer valores importantes en cuanto a la gestión de manera diferenciada entre residuos orgánicos e inorgánicos tanto a nivel regional y nacional dentro del periodo 2014-2018, siendo tomado directamente del AME-INEC, véase esto en la Tabla 5-4.

Tabla 5-4 Cantidades de residuos sólidos diferenciados recolectados al día (t/día) a nivel nacional y por regiones (Periodo 2014-2018)

Nacional / Región / Detalle	2014		2015		2016		2017		2018	
	Cantidad	% del total diario	Cantidad	% del total diario	Cantidad	% del total diario	Cantidad	% del total diario	Cantidad	% del total diario
Nacional	1,135.094	10.1	1,443.79	11.25	1,256.0	9.7	1,942.0	15.7	1,948.0	15.3
Región sierra	778.832	17.1	1,121.09	24.66	878.6	19.7	1,606.7	34.5	1,654.4	33.4
Región costa	238.103	3.8	211.80	2.71	229.5	2.9	161.6	2.2	149.5	2.0
Región amazónica	98.009	24.2	90.75	20.16	125.0	28.3	149.7	35.3	112.2	28.2
Región insular	20.15	83.3	20.15	83.26	23.0	77.5	24.0	100.0	31.9	100.0

Fuente: Adaptado de (AME-INEC, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018).

Realizado por: Johnny Bayas, Jimmy Chimbolema

En la Tabla 5-4 se muestra las cantidades de residuos sólidos diferenciados recolectados al día, donde se arroja los siguientes resultados:

- ✓ La región Insular posee la mayor cantidad de residuos sólidos recolectados diferenciados, tomado del año 2018 con un total del 100% de todos los residuos, por el hecho de que es la región que realiza una mejor recolección diferenciada de residuos sólidos entre diferenciados y no diferenciado, esto independientemente de su área de acción, esto según (CNC, 2019).
- ✓ La región Amazónica posee el segundo lugar en cuanto al valor porcentual de residuos sólidos diferenciados recolectados con valores del 20.16% hasta el 35.3%
- ✓ La región Sierra posee el tercer lugar con un valor porcentual de residuos sólidos diferenciados recolectados con valores que van 17.31% al 64.5%, correspondiendo directamente a la información otorgada donde 51 municipios realizan recolección diferenciada.
- ✓ La región Costa posee los valores más bajos en cuanto al total diario de los residuos sólidos diferenciados recolectados al día, con valores que no superan el

4% de la cantidad del total de los residuos recolectados durante todo el periodo, debido a problemas recurrentes en cuanto a las políticas públicas de recolección diferenciadas de Residuos Sólidos mal definidas, ya que tan solo 9 municipios que representa tan solo el 10.71%, realizan recolección diferenciada esto según (CNC, 2019).

- ✓ El año de que posee el mayor porcentaje de residuos sólidos diferenciados recolectados al día a nivel nacional es el año 2017 con 15.7% del total diario de 1,942 t/día.

Luego del análisis realizado a la diferenciación de los residuos sólidos recolectados al día, constituye una parte importante en el desarrollo de este proyecto, el poder enfatizar en las cifras que maneja el Ecuador en cuanto a la generación de los Residuos Sólidos Orgánicos (ton/mes). Estos se muestran a continuación en la Tabla 6-4, como recopilación de la información otorgada por el sistema INEC en el periodo 2014-2018.

Tabla 6-4 Cantidades y proporciones de residuos orgánicos recuperados/tratados de residuos sólidos recolectados (t/mes) a nivel nacional y por regiones (Periodo 2014-2018)

Nacional /Región / Detalla	2014		2015		2016		2017		2018	
	Cantidad t/mes	% del total recolectado	Cantidad t/mes	% del total recolectado	Cantidad t/mes	% del total recolectado	Cantidad t/mes	% del total recolectado	Cantidad t/mes	% del total recolectado
Nacional	3,138.79	1.22	3,559.59	0.92	2,264.54	0.59	2,368.06	0.64	2,812.59	0.74
Región Sierra	1,737.66	1.28	2,132.09	1.56	1,891.03	1.41	1,937.74	1.39	2,331.51	1.57
Región Costa	876.40	0.81	823.69	0.35	57.98	0.02	170.74	0.08	170.18	0.08
Región Amazónica	449.88	3.71	505.62	3.74	234.00	1.77	239.29	1.88	228.68	1.92
Región Insular	74.85	10.31	98.20	13.53	81.54	9.17	20.30	2.82	82.23	8.58

Fuente: Adaptado de: (AME-INEC, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018).

Realizado por: Johnny Bayas, Jimmy Chimbolema

En la Tabla 6-4 se muestra las cantidades y porciones de residuos orgánicos recuperados/ tratados de residuos sólidos recolectados (ton/mes) a nivel regional como nacional, donde se evidencia que:

- ✓ A nivel nacional el año 2014 muestra el mayor porcentaje de proporción de residuos orgánicos recolectados/tratados con un 1.22% de 3,138.79 (t/mes), que

es la cantidad total generada del año, en relación a lo comentando por (ONU, 2017), donde se menciona que los países de bajos ingresos generan mayor cantidad de Residuos Sólidos de origen orgánico.

- ✓ En contraste con el año el 2014, el año 2016 posee el menor porcentaje de proporción de residuos orgánicos con un 0.59% de una cantidad total de residuos de 2,264.54 ton/mes, ya que de los 221 GADM del Ecuador, solo 90 presentan índices de aprovechamiento de Residuos Sólidos Orgánicos (MAE, 2020).
- ✓ La región Insular posee el valor porcentual más alto, en comparación con las demás regiones en un intervalo de 2.82% al 10.31% en correspondencia a la proporción de los residuos sólidos orgánicos recuperados/ tratados de residuos sólidos recolectado.
- ✓ La región Costa posee los valores porcentuales más bajos, no alcanzando ni el 1% de la porción de residuos sólidos orgánicos en todo el periodo (2014-2018).

De la misma forma, con fin de complementar mejor el desarrollo de la temática es necesario conocer las cantidades que en contraparte con la sección anterior constara de un compendio de la información en cuanto se refiere a las cantidades y proporciones de residuos sólidos inorgánicos tanto recuperados como tratados en el periodo 2014-2018 a nivel regional como nacional, véase esto en la Tabla 7-4.

Tabla 7-4 Cantidades y proporciones de residuos inorgánicos recuperados/tratados de los residuos sólidos recolectados (t/mes) a nivel nacional y por regiones (Periodo 2014-2018)

Región /Nacional	**2014**		**2015**		**2016**		**2017**		**2018**	
	Cant. t/mes	**% del total**	**Cant. t/mes**	**% del total**	**Cant. t/mes**	**% del total**	**Cant. t/mes**	**% del total**	**Cant. t/mes**	**% del total**
Región Sierra	954.11	0.70	2,753.76	2.02	1,724.38	1.29	1,740.92	1.25	383.76	0.26
Región Costa	132.50	0.12	66.40	0.03	455.22	0.19	439.52	0.20	24.26	0.01
Región Amazónica	63.21	0.52	80.57	0.60	128.54	0.97	115.79	0.91	142.64	1.19
Región Insular	90.65	12.49	75.72	10.43	149.35	16.80	22.37	3.11	37.94	3.96
Nacional	1,240.46	0.48	2,976.44	0.77	2,457.50	0.64	2,318.60	0.63	588.59	0.15

Fuente: Adaptado de (AME-INEC, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018).

Realizado por: Johnny Bayas, Jimmy Chimbolema

En la Tabla 7-4 se muestra las cantidades y porciones de residuos Inorgánicos recuperados/ tratados de residuos sólidos recolectados (t/mes) a nivel regional como nacional, donde se evidencia que:

- ✓ A nivel nacional el año 2015 muestra el mayor porcentaje de proporción de residuos orgánicos con un 0.77% de 2,976.44 (t/mes), que es la cantidad total generada del año.
- ✓ En contraste con el año 2015, el año 2018 presenta el menor valor porcentual con un 0.15% de 588.59 (t/mes) que es la cantidad total generada del año.
- ✓ La región Insular posee el valor porcentual más alto, en comparación con las demás regiones en un intervalo de 3.11% al 16.80% en correspondencia a la proporción de los residuos sólidos Inorgánicos recuperados/ tratados de residuos sólidos recolectados, esto debido en parte a la buena aplicación de política publicas enfatizadas en la GIRS.
- ✓ La región Costa posee los valores porcentuales más bajos, no alcanzando ni el 1% de la porción de residuos sólidos Inorgánicos en todo el periodo (2014-2018).

La evolución de la Gestión Integral de Residuos Sólidos en Ecuador durante los últimos años ha tenido variaciones, la Tabla 8 presenta los costos de la GIRS a nivel nacional y por regiones en el periodo (2014-2018).

Tabla 8-4 Indicador sobre el costo de la Gestión Integral de Residuos Sólidos (USD/t) a nivel nacional y por regiones (Periodo 2014-2018)

Región/Nacional / Año	2014	2015	2016	2017	2018
Nacional	96.48	52.50	55.03	63.35	65.83
Región Sierra	143.41	68.72	72.70	92.08	86.94
Región Costa	60.37	39.11	42.01	42.60	50.35
Región Amazónica	117.90	114.56	100.39	92.59	108.57
Región Insular	244.53	244.53	233.58	199.64	166.06

Fuente: Adaptado de (AME-INEC, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018).

Realizado por: Johnny Bayas, Jimmy Chimbolema

Algunos de los principales elementos mostrados en la Tabla 8-4 sobre el costo de la Gestión Integral de Residuos Sólidos en el periodo (2014-2018) son:

- ✓ El indicador más alto en cuanto al costo de la Gestión Integral de Residuos Sólidos corresponde al año 2018 con un valor de 65.83(USD/t).
- ✓ En términos de costo en general, la región Insular posee los valores más altos de inversión de la Gestión Integral de Residuos Sólidos, que va de los 166.06 (USD/t) año 2018 a 244.53 (USD/t), año 2014 y 2015.
- ✓ La región Costa posee lo costes más bajos en la Gestión Integral de Residuos Sólidos, con valores que va 39.11 (USD/t) a 60.37 (USD/t), que como se ha mencionado previamente, a pesar de la alta generación de Residuos Sólidos.
- ✓ Donde la mayoría del presupuesto asignado para la GIRS va destinada para la etapa de recolección, más sin embargo tomando los valores del año 2018 como referencia presenta los valores más bajos, esto relacionado a la poca gestión realizada por la falta de una base política pública consistente en la región.

A continuación, se muestra los valores totales destinados a la Gestión Integral de Residuos Sólidos recolectados (USD/t) a nivel nacional y por regiones en el periodo (2014-2018), véase esto en la Tabla 9.

Tabla 9-4 Costo total por Gestión Integral de Residuos Sólidos recolectados (USD/mes) a nivel nacional y por regiones (Periodo 201-2018)

Nacional/Región / Año	2014	2015	2016	2017	2018
Nacional	16’963,609.74	14’404,643.75	20’622,843.2	25’651,180.4	27’569,375.7
Región Sierra	9’763,953.62	7’431,630.98	9’371,742.7	14'369,217.6	13’541,968.9
Región Costa	5’736,043.52	5’400,673.05	9’715,721.0	9’986,865.8	12’494,027.6
Región Amazónica	1’294,301.61	1’403,028.73	1’331,230.1	1’181,862.5	1’374,294.1
Región Insular	169,310.99	169,310.99	204,149.3	113,234.5	159,085.1

Fuente: Adaptado de (AME-INEC, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018).

Realizado por: Johnny Bayas, Jimmy Chimbolema.

En la Tabla 9-4 se muestra lo siguiente:

- ✓ En el año en que se ha realizado la mayor inversión es el año 2018 con 27’569,375.7 (USD/t) a nivel nacional.
- ✓ La región con mayor inversión en la Gestión Integral de Residuos Sólidos es la

región Sierra con un valor de 14’369,217.6 (USD/mes) en el año 2017.

- ✓ La región con menor inversión en la Gestión Integral de Residuos Sólidos es la región Amazónica con un valor de 1’181,862.5 (USD/mes) en el año 2017.

Dentro del contexto de gestión integral de residuos sólidos recolectados, se establece el subsidio en (USD/mes) a nivel nacional y por regiones. Los valores mencionados dentro del subsidio de la gestión integral de residuos sólidos se visualizan en la tabla 10, además se estima estos valores en términos de porcentaje. El monto de inversión en la GIRS en Ecuador ha ido evolucionando a partir de nuevos ideales y propuestas de los sectores competentes, donde el presupuesto actual del Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos asciende a USD 56.995.616,30, esto según MAE (2020), con objetivos bien planteados tales como establecer procesos correctos para la Gestión Integral y sostenible de los Residuos Sólidos.

Tabla 10-4 Subsidio de la Gestión Integral de Residuos Sólidos recolectados (USD/mes) a nivel nacional y por regiones (Periodo 2014-2018)

Nacional /Región	2014		2015		2016		2017		2018	
	Sub, USD/mes	% de Sub.	Sub, USD/mes	% de Sub.	Sub, USD/mes	% de Sub.	Sub, USD/mes	% de Sub.	Sub, USD/mes	% de Sub.
Nacional	8’240,937.12	48.58	7’324,194.84	50.85	11’558,935.8	56.0	11’258,047.1	43.9	11’517,889.6	41.8
Región Sierra	3’441,395.76	35.25	3’073,615.60	41.36	3’530,175.4	37.7	3’019,327.6	21.0	4’632,122.0	34.2
Región Costa	3’601,242.33	62.78	3’007,638.10	55.69	6’867,733.0	70.7	7’286,989.7	73.0	5’755,851.8	46.1
Región Amazónica	1’111,088.04	85.84	1’155,730.15	82.37	1’072,689.7	80.6	911,495.3	77.1	1’079,033.1	78.5
Región Insular	87,210.99	51.51	87,210.99	51.51	88,337.7	43.3	40,234.5	35.5	50,882.6	32.0

Fuente: Adaptado de: (AME-INEC, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018).

Realizado por: Johnny Bayas, Jimmy Chimbolema

Dentro de la tabla 10-4 se muestran valores importantes del subsidio en cuanto a la gestión integral de residuos sólidos a nivel nacional y por regiones, de esta manera se establecen los siguientes resultados:

- ✓ A nivel nacional el año en que ha tenido mayo valor de subsidio de la gestión integral de residuos sólidos ha sido el 2016, con un valor subsidio aproximado de 11’558,935.8 (USD/mes).

- ✓ La Costa es la región que tiene el valor más elevado de subsidio de la gestión integral de residuos sólidos, con un valor de 7’286,989.7 (USD/mes), en el año 2017.
- ✓ La región con menor subsidio de la gestión integral de residuos sólidos es la región Insular con un valor aproximado de 40,234.5 (USD/mes), en el año 2017.
- ✓ La región costa pese a no contar con buenas políticas públicas de GIRS, registra en el año 2018 un elevado valor de subsidio con 5’755,851.8 (USD/mes) a comparación con las demás regiones, esto se debe a que la región costa presenta la mayor población a nivel nacional, por tal razón invierte en la recolección y transporte de los residuos sólidos, sin interesarse en la gestión propia de los mismos.

Los diferentes tipos de disposición final son determinantes para mostrar la situación en cuanto a la Gestión Integral de Residuos Sólidos se refiere, debido a eso es necesario mostrar la situación en cuanto a los mecanismos de disposición final, véase esto en la Tabla 11.

Tabla 11-4 Indicador disposición final de los residuos sólidos a nivel nacional y por regiones (%) (Periodo 2014-2018)

Nacional / Región	2014			2015			2016			2017			2018		
	B	C	R	B	C	R	B	C	R	B	C	R	B	C	R
Nacional	49.5	11.8	38.6	40.72	17.19	42.08	35.7	20.8	43.4	25.6	28.8	45.7	20.7	34.6	44.7
Región Sierra	39.8	10.8	49.5	24.73	20.43	54.84	21.5	29.0	49.5	11.8	35.5	52.7	7.6	39.1	53.3
Región Costa	68.7	15.7	15.7	63.10	17.86	19.05	57.1	19.0	23.8	45.2	29.8	25.0	38.1	38.1	23.8
Región Amazónica	31.7	7.3	61.0	29.27	9.76	60.98	24.4	4.9	70.7	17.5	10.0	72.5	15.4	15.4	69.2
Región Insular	66.7	0.0	33.3	66.67	-	33.33	33.3	33.3	33.3	-	50.0	50.0	-	50.0	50.0

Leyenda: B: Botadero, C: Celda emergente, R: Relleno sanitario.

Fuente: Adaptado de (AME-INEC, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018).

Realizado por: Johnny Bayas, Jimmy Chimbolema

En la Tabla 11 se muestra el porcentaje de los puntos de destino de disposición final de los Residuos Sólidos a nivel nacional y por regiones en el periodo (2014-2018), con los siguientes resultados:

- ✓ A nivel nacional el relleno sanitario es el que mayor porcentaje tiene con un 45.7% como valor más alto en el año 2017.
- ✓ En la región Amazónica, el mecanismo más prominente es el relleno sanitario con valores que van del 60% al 72.5%.
- ✓ En la región Costa, el mecanismo más prominente es el Botadero con valores que van del 38.1% al 68.71%.
- ✓ En la región Sierra, el mecanismo más prominente es el relleno sanitario con valores que van del 49.5% al 54.8%.
- ✓ Cabe destacar que, Según cifras del INEC, el 96% de la basura se entierra y solo se recicla el 4%. De lo que se entierra, el 66.5% es orgánico y el 33.5% restante corresponde a desechos inorgánicos que clasificados adecuadamente pueden ser reciclados en su mayoría.(Morán, 2020)

Tabla 12-4 Comparación de indicadores con otros países de América Latina y el Caribe, según el producto interno bruto (nominal) per cápita (PIB)-2019

País / Detalle	PPC RSU	Cobertura de recolección	Formas de Disposición Final por población en ALC %,		Costos Unitarios (US$/t)			Tasa de reciclaje	PIB per cápita 2019	Población estimada 2020
	(kg/hab/día)	%	Total, disposición adecuada	Total, disposición inadecuada	Recolección	Disposición final	Total	%	USD	Hab
Argentina	1.15	99.8	64.7	35.3	54.02	17.63	71.65	-	10,006.1	45’195,777
Barbados	0.9 10	90.10	82 10	18.10	-	-		9	18,148.2	287,371
Belice	1.05	85.2	34 5	66 5	-	-		-	4,815.2	397621
Bolivia	0.49	83.3	44.8	55.2	15.27	7.89	23.16	-	3,552.1	11’673,029
Brasil	10.411	90.411	58.3 11	41.711	42.46	31.48	73.94	1	8,717.2	212’559,409
Chile	1.25	97.8	82.2 10	17.810	23.34	11.43	34.77	10	14,896.5	19’116,209
Colombia	0.69 2	98.9	93.18 5	6.825	34.12	23.31	54.43	17.2	6,432.4	50’882,884
Costa Rica	0.88	90.4	67.4	32.6	22.65	18.81	41.46	0.3	12,238.4	5,094,114
Ecuador	0.7312	84.2	30.3	69.7	30.05	5.61	35.66	-	6,183.8	17’643,060
El Salvador	0.89	78.8	78.9 10	21.110	30.42	21.02	51.44	-	4,187.3	6,486,201
Guatemala	0.61	77.7	15.5	84.5	10.84	-	10.84	-	4,620	17’915,567
Guyana	1.56	89.6	-	-	-	-		19.3	5,468.4	786,559
Haití	0.710	11.10	0.10	100.10	-	-		-	754.6	11’402,533
Honduras	-	64.6	11.3	88.7	20.81	8.16	28.97	-	2,574.9	9’904,608
Jamaica	-	73.9	0	100	-	-		-	5,582.3	2’961,161
México	0.94	93.2	65.6	34.4	26.39	10.56	36.95	9.6	9,863.1	128’932,753
Nicaragua	-	92.3	0	100	-	-		-	1,912.9	6’624,554
Panamá	1.22	84.9	55.9 10	44.110	-	-		-	15,731	4’314,768
Paraguay	0.94	57	36.4	63.6	6.59	5.88	12.47	-	5,414.8	7’132,530
Perú	0.75	84	43.5	56.5	15.02	5.98	20.1	14.7	6,977.7	32’971,846
Rep. Dom.	1.06	97	33.9 6	66.16	-	-		-	8,282.1	10’847,904
Trinidad y Tobago	1.86	100.10	0 .10	100.10	-	-		8.2	17,276.5	1’399,491
Uruguay	1.03	98	13.7 10	86.310	47.85	9.19	57.04	-	16,190.1	3’473,727
Venezuela	0.86	100	13	87	-	-		-	16,054.5	28’435,943
Promedio ALC	**0.9**	**89.9**	**55.4**	**44.6**	**34.22**	**20.43**	**34.37**	**-**	**8,847.40**	**653’962,332**

Fuente: (BID, 2015), (BM, 2019), United Nations (2020)

Realizado por: Johnny Bayas, Jimmy Chimbolema

En la Tabla 12 se muestra la comparación de indicadores con otros países de América Latina y el Caribe, según el producto interno bruto (nominal) per cápita (PIB)-2019

- ✓ Dentro de América latina el país que se ha interesado más de la región en cuanto a la cobertura de recolección es Argentina con un 99.8, que en su contraparte con Ecuador el cual es el país puesto a análisis con un valor de 84.2, no existiendo una diferencia abismal entre ambas naciones, esto debido a que en Ecuador el problema no es la recolección de los residuos si no el que hacer luego de ser recolectados.
- ✓ Vemos en términos generales que la mayoría de los países tiene una disposición final adecuada, que al contrario de países como Ecuador que casi es el doble del valor porcentual que entra en la descriptiva de disposición inadecuada.
- ✓ La mayoría de países de América Latina y el Caribe están en una situación similar en cuanto a la GIRS, ya que la disposición final de RSU en rellenos sanitarios se incrementó en la región del 22,6% al 54,4%, reduciendo simultáneamente la cifra correspondiente al uso de basurales como destino final de los RSU de 45,3% al 23,3% (aunque con frecuencia existe el riesgo de que un relleno sanitario tome la condición de basural bajo una operación deficiente, se carezca de recursos, etc.) (PNUMA, 2018).

4.2 Revisión de los principales conceptos, productos y esquemas de sistemas de Biorrefinería de residuos orgánicos para el Ecuador.

Dentro del contexto de presente proyecto se contempla el entender como la Biorrefinería se podría convertir en un mecanismo usual de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos producidos en el país. Todo esto está relacionado a la situación actual por la que pasa la Gestión Integral de Residuos Sólidos en el país, la cual muestra la carencia de buenas políticas públicas de GIRS que puedan ser aplicadas en cada región. Y de esta forma desde el punto de vista de un aprovechamiento y reusó de la porción orgánica, la cual ha sido la más desperdiciada e infravalorada del país. Se formula a través de ella un concepto de biorrefinería, el cual se desarrolla en base al planteamiento de los principales conceptos relacionados a este sistema determinante para una visión positiva hacia el futuro económico y ambiental para Ecuador.

Biorrefinería

El proceso que conlleva una Biorrefinería se relaciona con el contexto de la refinería de petróleo, que al contrario de esta utiliza la biomasa orgánica como materia prima, es decir, aprovecha esta fuente renovable de manera sostenible y amigable con el ambiente. Partiendo de este punto nace la necesidad de conocer con qué recursos cuenta el país para la implantación de este sistema, cuya información tal vez no refleje la realidad total de los Residuos Sólidos en Ecuador, sin embargo, marca un punto de partida para él mismo. Uno de ellos es la PPC con la que cuenta Ecuador, siendo de 0.86 kg/hab/día en el año 2018, esto provisto por el sistema AME-INEC y con una generación media en lo que respecta a la PPC de América Latina. Además de una generación de 14,620 (t/día), como indicador de cantidades de residuos sólidos recolectados al día.

Desechos municipales

Aquel material descartado que comprende los desperdicios que provienen de domicilios, área de servicios públicos y privados, demoliciones, construcciones y de establecimientos comerciales. Cabe destacar que dentro de estos desechos se encuentra la porción orgánica que según los resultados de la Tabla 2-4 composición de los residuos Sólidos producidos por el tipo de Residuo en las áreas Urbanas a nivel nacional, se determinó que, en el año de referencia, el 56.17% pertenece a la porción orgánica determinando así un punto de mejoramiento económico- social para el Ecuador, con el aprovechamiento de la Biomasa obtenida en el país.

Biomasa

La biomasa como materia prima, que va desde azúcares, almidón degradable, fibras celulósicas y compuestos aromáticos (Dong *et al.*, 2019). Cuya materia prima genera una visión prometedora para la generación de energía por medio de la transformación de la biomasa mediante diversos procesos y tecnologías dentro de un mismo sistema. De igual forma forja una visión prometedora acerca de la implantación de un modelo de Bioeconomía circular que enfatiza en el fortalecimiento de la economía nacional.

Gasificación

Es un proceso termoquímico de exidacion parcial utilizado para la combustión posterior de los residuos sólidos urbanos a altas temperaturas. Este proceso oxida principalmente los desechos de alimentos el cual genera una mezcla de gas combustible que puede utilizarse para motores de gas. Así mismo se utiliza como materia prima para la producción de productos químicos como por ejemplo el metanol como plantean (Girotto, Alibardi, y Cossu, 2015). De esta forma se puede aprovechar esta tecnología para transformar los residuos de alimentos de Ecuador y generan alternativas de aprovechamiento mediante las tecnologías biológicas.

Fermentación Enzimática

Es un proceso biológico el cual mediante microorganismos degrada las moléculas de la fracción orgánica para transformar en productos de valor. Generalmente realiza el proceso de fermentación de los residuos orgánicos mediante varios microorganismos el cual fermenta azucares de manera efectiva (Panpatte y Jhala, 2019). Así mismo esta tecnología es una alternativa para a provechar los residuos de alimento de Ecuador para generar bioetanol como producto sostenible.

Digestión Anaerobia

Es un proceso biológico el cual mediante la tecnología de conversión de la materia prima se produce biometano a partir de la fracción orgánica de los RSU. Esta tecnología puede aplicar a distintos tipos de materia orgánica biodegradable de esta forma se utilizó para los RSU de Ecuador. Así mismo mediante la descomposición de la materia por microorganismos anaerobios es útil para la recuperación de energía y nutrientes (Duan *et al.*, 2020).

Compostaje

Es un proceso el cual aprovecha la materia orgánica y lo convierte en humus mediante proceso de degradación (Caiza, Chimbo, Sarduy Pereira, Pisco, y Diéguez Santanaa,

2018). Generalmente resulta compost como producto final el cual es útil para aplicar en los cultivos como biofertilizante que ayudan a mejorar los nutrientes del suelo (Duan *et al.*, 2020). De esta forma aprovechar el resto de los residuos de alimentos mediante proceso de compost como una alternativa de mejora para los suelos cultivados de Ecuador.

4.2.1 Biorrefinería aplicable a la materia prima disponible en Ecuador sistemas de biorrefinería de residuos.

La biorrefinería de residuos es la alternativa para el aprovechamiento de RSU, de esta forma reducir la demanda de acumulación de los residuos sólidos en los rellenos sanitarios, botaderos y celdas emergentes. Estas biorrefinerías proporcionan alternativas sostenibles de soluciones ambientales, así como soluciones rentables por la demanda de la gestión de residuos en los países en desarrollo. Como consecuencia de la demanda de energía renovable se estima que para el 2025 los países en desarrollo tendrán mayor demanda con un 46% a 58% (Nizami, Rehan, *et al.*, 2017). Por tal razón debido a la demanda energética y en vista que Ecuador posee una fracción orgánica de los RSU se considera importante tener en cuenta este sistema de biorrefinería de residuos. Dentro de la biorrefinería de residuos es importante tener en cuenta la biotecnología apropiada para los distintos procesos de transformación de la materia prima en productos sostenibles. La biotecnología apropiada depende del tipo de residuo, costo de capital y operativos, eficiencia y contar con mano de obra calificada. Según Nizami, Rehan, *et al.* (2017) la biotecnología de Digestión anaerobia tiene un costo de capital bajo con (USD $ 0.1-0.14) a comparación con el costo de la Incineración (USD $ 14.5-22). Asimismo, la biorrefinería de residuos municipales o industriales se completa con los residuos o sobras del proceso, y los residuos domésticos (Nizami, Rehan, *et al.*, 2017).

4.2.2 Un enfoque de Bioeconomía Circular mediante las Biorrefinerías en Ecuador

La Bioeconomía Circular como tal es el procesamiento en cascada sostenible de residuos biológicos en productos de base biológica, que se pueden compartir, reutilizar, re manufacturar, reciclar o liberar de manera segura a la biosfera a través de ciclos orgánicos y de nutrientes" según Venkata Mohan, Dahiya, Amulya, Katakojwala, y Vanitha (2019), este enfoque, al tener una relación directa con el sistema de Biorrefinería, hace necesario el poder proyectar el cómo un valor de 2,812.59 t/mes de Residuos Orgánicos, podría sostener un sistema de Biorrefinería en el país. De esta forma examinando el potencial de las biorrefinerías de desechos en los países en desarrollo como una solución a los

problemas actuales de eliminación de desechos y como instalaciones para producir combustibles, energía, calor y productos de valor agregado al reutilizar aquello que ya fue descartado, por medio de diversos procesos aplicados a esta fracción de los RSU.

4.2.3 Esquema de biorrefinería de residuos de alimentos para la generación de Bioproductos, bioenergía y biocombustibles

En Ecuador se pretende dar un enfoque de biorrefinería de los residuos generados en las municipalidades, ya que en general solo se almacenan y no se da un proceso de revalorización. Por esta razón y de acuerdo a la porción de residuos sólidos orgánicos generados en el año 2018 como año de referencia, cuyo valor es de 56.17 % en todo el país, se considera esta cantidad óptima para aprovechar la fracción orgánica mediante tecnologías de conversión de la biomasa en fin de generar Bioproductos con un valor agregado. Añadido a esto es importante que de igual manera disminuyan el impacto ambiental generado por la mala disposición de los RSU ya que según Salimi *et al.* (2020) la descomposición de la fracción orgánica de los RSU ocasiona una amenaza ambiental, debido al metano que se genera por parte de los vertederos donde son depositados. Sin dejar además de la dinamización económica de los sectores menos favorecidos a partir de los mismos.

Ecuador presenta una cantidad de RSU diferenciada entre residuos orgánicos e inorgánicos a nivel nacional, así se considera que, del total de RSU recolectados, el 33.1% corresponden a la parte orgánica y el 66.9% a la inorgánica. Denotando así la importancia de la fracción orgánica de los residuos municipales ya que tienen tres elementos principales útiles para la generación de productos que generen un aporte económico a la economía local. Tales son los carbohidratos con un (30-40 %), proteínas (5-15 %) y lípidos (10-15%), Mostrando su valía ya que un alto contenido de carbohidratos es esencial para generar bioetanol como alternativa de combustible, así mismo es factible generar biogás a partir de la fracción Orgánica de Residuos Municipales mediante la digestión anaerobia (Moreno *et al.*, 2021).

4.2.4 Principales tecnologías para la generación de Bioproductos mediante un enfoque de aprovechamiento de los RSU en Ecuador

Las principales biotecnologías de conversión útil dentro de un sistema de biorrefinerías de residuos se basan en la transformación de la fracción orgánica para la obtención de productos de valor agregado. Dentro de ellas están las tecnologías como el Compostaje, Digestión Anaerobia y Fermentación Enzimática, donde la Digestión Anaerobia utiliza la

fracción orgánica de los RSU, así como la Fermentación utiliza residuos de desechos de alimentos (Nizami, Shahzad, *et al.*, 2017). A partir de estos y el contenido de almidón, aceite y lignocelulosa en los residuos orgánicos se pueden obtener bioetanol y biometano esto según (Nizami, Rehan, *et al.*, 2017). Así mismo se puede obtener compost como producto de valor agregado mediante transformación bioquímica de la fracción orgánica de los RSU (Pourmazaheri *et al.*, 2015).

De igual forma resulta necesario el planteamiento de cómo estas tecnologías pueden ser aplicadas en un contexto de Biorrefinería en Ecuador. Tal es el ejemplo de la gasificación que se ha convertido en el proceso termoquímico más utilizado en convertir la materia orgánica mediante la temperatura, en productos de valor agregado como el metanol que se obtiene al someter a la materia orgánica a temperaturas de entre 800 y 900 °C (Girotto, Alibardi, y Cossu, 2015). De igual manera mediante el proceso de fermentación enzimática de acuerdo a la fracción hidrolizada rica en azúcar sometida a fermentación con *Saccharomyces cerevisiae* se obtiene bioetanol (Casco Méndez *et al.*, 2020; Nizami, Rehan, *et al.*, 2017). La tecnología de digestión anaerobia mediante la conversión de la fracción orgánica de los desechos de alimentos de los residuos municipales hacen factible la generación de biometano (Mahjoub y Domscheit, 2020). Así mismo, Righetti, Nortilli, Fatone, Frison, y Bolzonella (2020) asegura que la producción de biometano primero se basa en una fermentación, de esta forma genera hidrogeno y ácidos grasos seguido de una digestión anaerobia de la cual se obtiene metano. Y en base a esto, en la Figura 2 se muestra el esquema de una biorrefinería de residuos a partir de la fracción orgánica de los RSU, así mismo se expresa el tipo de producto obtenido en base a la tecnología de conversión aplicada**.**

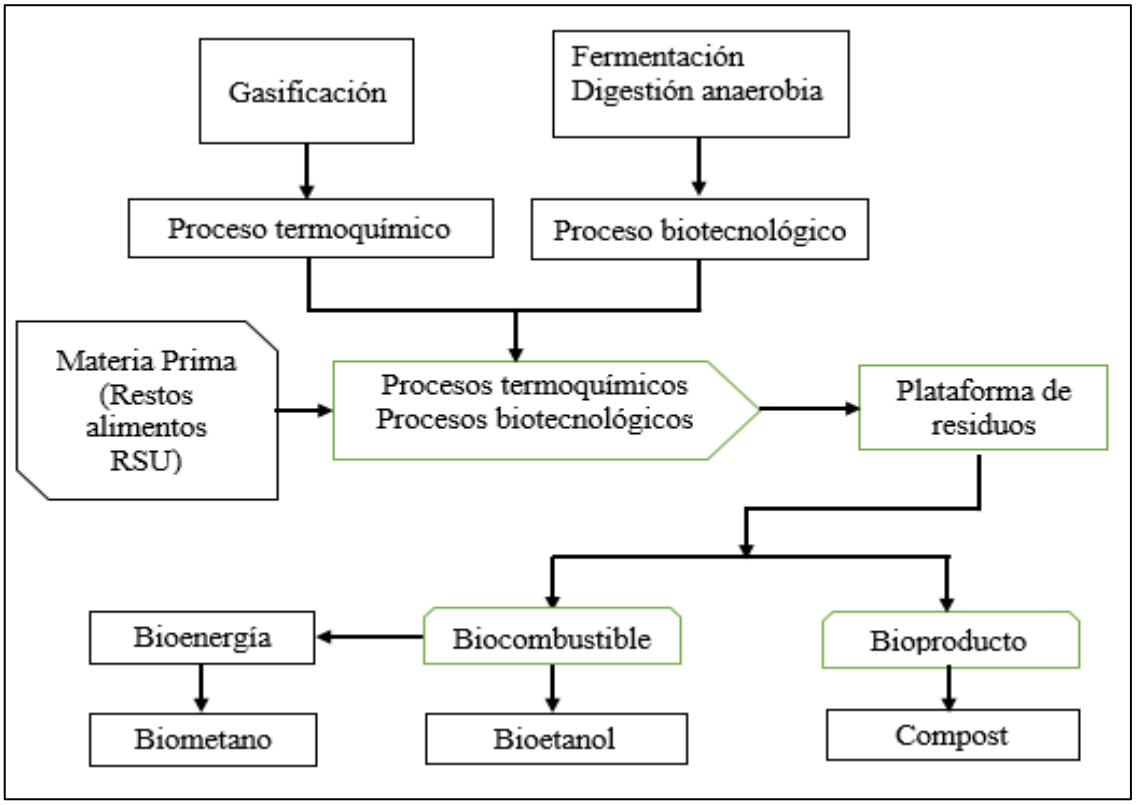

Figura 2-4 Esquema de Biorrefinería de residuos a partir de tecnologías de conversión y productos sostenibles en Ecuador
Realizado por: Johnny Bayas, Jimmy Chimbolema

4.2.4.1 Esquematización en base a la distribución de la materia prima, para la obtención de los diferentes Bioproductos

Para un correcto análisis de la implantación de un sistema de Biorrefinería con objetivos de generación de Bioproductos, es necesario el plantear en cómo se distribuirá las cantidades de Residuos de Alimentos para que, a partir de las tecnologías planteadas, puedan destinarse hacia los tres bioproductos enfocados en este proyecto. El principal enfoque estaría en la producción de Bioetanol a partir del 60% de la cantidad total de Residuos de Alimentos por medio de la Fermentación Enzimática. En cuanto a la generación de Biometano, se empleará el 30% de los restos alimenticios generados, por medio de la Digestión Anaerobia. Y no menos importante se empleará el 10% para la generación de Biocompost por medio del Compostaje, véase en la Figura 3-4.

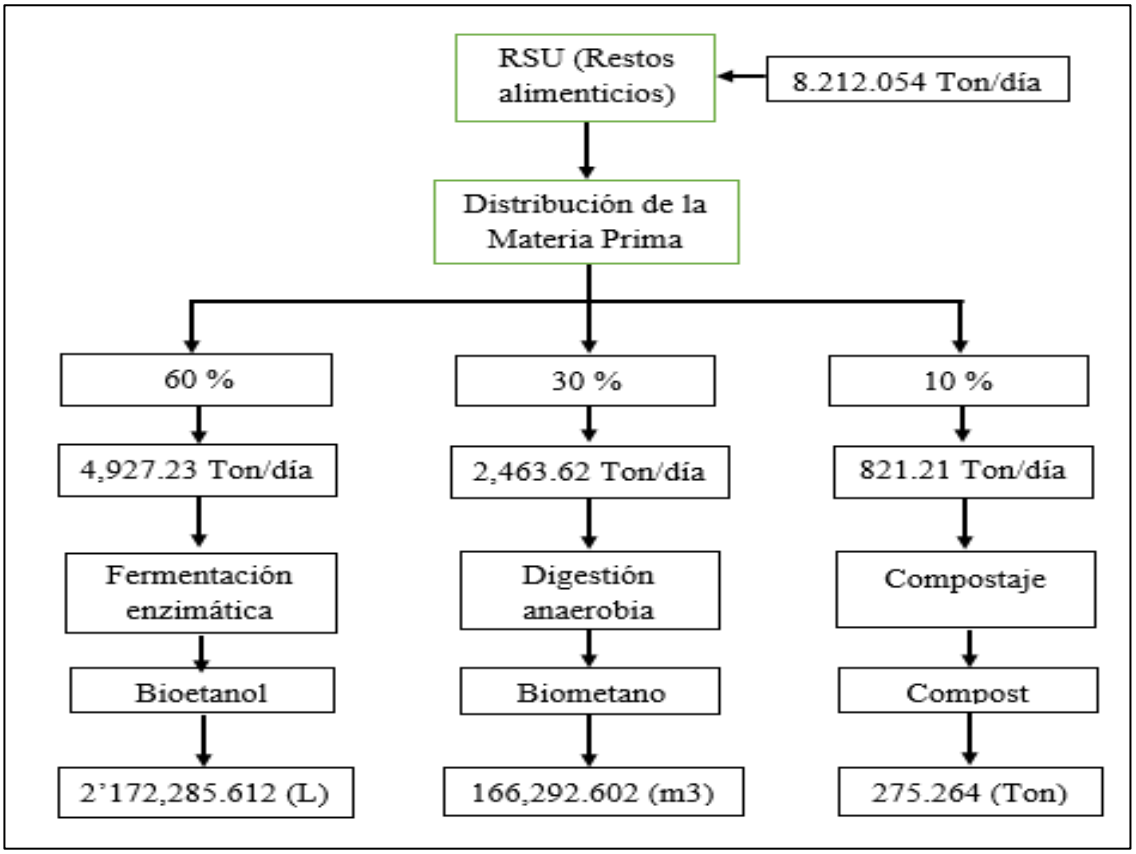

Figura 3-4 Esquema de distribución de la porción orgánica de los RSU y productos generados en Ecuador
Realizado por: Johnny Bayas, Jimmy Chimbolema

4.2.5 Generación de restos de alimentos en Ecuador con fines de valorización

Los Restos Alimenticios de los RSU en Ecuador muestra el punto de partida en el análisis de la posible implementación de un sistema de Biorrefinería de reúso de los desperdicios que habitualmente se genera en los hogares, establecimientos comerciales y restaurantes. Los cuales van a parar al relleno sanitario o botaderos al aire libre más cercano, ignorando los impactos medioambientales que genera la inadecuada gestión de los mismos. Por esta razón en Ecuador se propone un mecanismo de tecnología de fuente renovable que revalorice los desperdicios municipales sin tratamiento. De aquí parte el contraste en como países como Arabia Saudita, Italia entre otros, han implementado este mecanismo de aprovechamiento de esta porción en su Gestión Integral de Residuos Sólidos, y en base a esto han propiciado el dinamismo económico y un impacto positivo sobre el medio ambiente.

Según el año de referencia establecido para el análisis, determina que en el año 2018 Ecuador posee 8212.054 t/día de Residuos Alimenticios, cuya cantidad es subjetiva debido a que se estimó en base al número de habitantes del año de referencia en cuestión,

junto a la PPC del país, véase esto en la tabla 13-4. Sin embargo, nos permite analizar la factibilidad de implantación de un sistema de Biorrefinería en el país, a la vez que facilita el poder estimar proyecciones de las cantidades de Bioproductos que se podría generar a partir de los Residuos de Alimentos disponibles. A manera de contrastar los resultados de la aplicación de esta tecnología, tomaremos el ejemplo de la ciudad La Meca, Arabia Saudita que con 2400 t/día han implantado este sistema de aprovechamiento de sus residuos y ha proporcionado un ahorro de aproximadamente 23,3 millones de dólares, que se utiliza en el sector energético principalmente (Nizami, Shahzad, *et al.*, 2017).

Tabla 13-4 Producción de Residuos de alimentos a nivel nacional durante el periodo 2016-2018 en Ecuador

	Año	Ppc (kg/hab/día)	Población (Hab)	Generación de residuos (t/día)	Composición RSO %	Restos de Alimentos (t/día)
Nacional	2016	0.583	16529000	9,636.407	58.47	5,634.407
	2017	0.861	16790000	14,456.19	57.3	8,283.397
	2018	0.86	17’000,000.8	14,620.00	56.17	8,212.054

Fuente: (BID, 2015), (BM, 2019), United Nations (2020).

Realizado por: Johnny Bayas, Jimmy Chimbolema

4.2.6 Comparativa de la generación de productos sostenibles a partir de procesos de conversión de la fracción orgánica de Ecuador con otros países

La cantidad de RSU que se generan en todas partes del mundo, han propiciado en otros países la necesidad de implementar alternativas de enfoque de aprovechamiento de la materia orgánica. Aquí es donde la biorrefinería se ha convertido en una fuente rentable y prometedora para el apoyo energético, además convirtiéndose en la técnica principal para el desarrollo de una bioeconomía circular (Duan *et al.*, 2020). De esta manera se muestra que la materia orgánica tiene un alto valor potencial para la generación de productos de gran valor. Países como China, Grecia y Arabia Saudí entre otros aprovechan la fracción orgánica para generar productos mediante una serie de tecnologías de conversión de la materia, véase en la tabla 14-4.

Tabla 14-4 Generación de productos sostenibles mediante proceso de conversión de la fracción orgánica en tres países diferentes

País	Residuos orgánicos	Producto	Cantidad		Proceso	Referencia
			Total	1 tonelada		
Grecia (Atenas)	Fracción orgánica residuos de alimentos domésticos	Etanol	53.90 g/L	188 L	Fermentación enzimática	(Loizidou *et al.*, 2017)
Arabia Saudí (La Meca)	Desperdicios de alimentos (1,178.08 t /día)	Biometano	210,684.9 de m^3	180 m^3	Digestión anaerobia	(Nizami, Shahzad, *et al.*, 2017)
Italia	Desperdicios de alimentos	Abono Orgánico	1´845,505.6 t	0.3 toneladas	Compostaje	(Cesaro, Conte, Belgiorno, Siciliano, y Guida, 2019)

Fuente: Adaptado de (Nizami, Shahzad, *et al.*, 2017), (Loizidou *et al.*, 2017) y (Cesaro, Conte, Belgiorno, Siciliano, y Guida, 2019)
Realizado por: Johnny Bayas, Jimmy Chimbolema

4.2.6.1 Análisis de la generación de Bioetanol en Ecuador

Ecuador con la cantidad establecida de Residuos de Alimentos, se proyecta una generación de 440.873 litros de Bioetanol por tonelada. Cabe destacar que el valor hipotético de bioetanol en Ecuador se dio en base a la literatura obtenida, mediante la composición de celulosa (12.1 % w/w base seca) de los RSU, valor propuesto por (Loizidou *et al.*, 2017). Tal valor, junto a la cantidad de RSU nos permite determinar el Cp, arrojando un resultado de $9.8627E^{+10}$ g/día. De igual manera el rendimiento de etanol (Rtp) de 0.029 g etanol /g seco RA, valor propuesto por (Demichelis, Laghezza, Chiappero, y Fiore, 2020), de igual forma tomando en cuenta la densidad del Etanol (790 g/L), no permite determinar el Volumen de Etanol a partir de una tonelada de Residuos de Alimentos, en contraste con lo obtenido Loizidou *et al.* (2017) en Atenas Grecia que muestra que generan alrededor de 188 litros de etanol a partir de una tonelada de Residuos de Alimentos domésticos por medio del proceso biotecnológico de fermentación enzimática, tal y como se muestra en la Tabla 14-4.

4.2.6.2 Análisis de la generación de Biometano en Ecuador

Ecuador con la cantidad establecida de Residuos de Alimentos, generara un valor hipotético de 67.499 m^3de Biometano por tonelada de Residuos de Alimentos. Cabe recalcar que para la obtención de los valores de Bioproductos como el Biometano en Ecuador, se obtuvo valores clave para la obtención de la cantidad de este gas por medio

de la literatura, tales como los componentes Sólidos Totales Secos (19.1 %) que nos permite calcular la cantidad de sólidos totales de nuestros Residuos Urbanos, además del valor porcentual de sólidos volátiles (93%) que nos permite determinar los sólidos volátiles de los Residuos Sólidos en cuestión, estos porcentajes fueron tomados de Guo *et al.* (2019). Así mismo, Moreno *et al.* (2021) menciona que el potencial de biometano (PBM) de RSU es de 380 ml/g SV. De esta forma permitiendo establecer la cantidad de producción de Biometano por una tonelada de RSU en Ecuador. Este valor en contraste con lo que se obtuvo de Nizami, Shahzad, *et al.* (2017). Se muestra que la Meca produce biometano por toneladas de desperdicios de alimentos a partir de Digestión Anaerobia, respectivamente alrededor de 180 m^3 de Biometano por cada tonelada de Residuos de Alimentos como se menciona en la Tabla 14-4. A la vez este producto ayuda a reducir emisiones de CH_4 y CO_2, reducen 20.2 mil toneladas de CH_4 y 505 mil Mt CO_2 eq. Esto en base a la experiencia que poseen sobre la aplicación de tecnologías de Aprovechamiento de la porción orgánica con fines económicos y ambientales.

4.2.6.3 Análisis de la generación de Biocompost en Ecuador

Para la estimación del potencial de biocompost se consideraron los resultados de Jara-Samaniego *et al.* (2017) que estudió el proceso de compostaje como método de tratamiento para los residuos sólidos municipales generados en la provincia de Chimborazo. Se seleccionaron los resultados del experimento que empleó la fracción orgánica de los RSU. La calidad de este producto fue aceptable, por ejemplo, el índice de germinación fue del 80.7%, el contenido de materia orgánica fue de 46.8% y el pH de 8.38. Algunos resultados físico químicos se emplearon para estimar la cantidad de nutrientes y componentes que pudieran recuperarse por el aprovechamiento de la fracción orgánica y la elaboración de compost con los RSU de Ecuador, se muestran en la tabla 15-4. Adicionalmente, se tuvo en cuenta para los cálculos de rendimiento de compost/toneladas de RSU orgánicos, los resultados del estudio de Cesaro, Conte, Belgiorno, Siciliano, y Guida (2019) que menciona que por cada 890 kg de Residuos Orgánicos separados en la fuente se obtienen 300 kg de compost, con valores de humedad cercanos al 19%. Por lo que a partir de 1 t/día RSU Orgánicos que se generan en Ecuador se pueden obtener 0.335 t/día de Compost.

Tabla 15-4 Estimación de la cantidad de nutrientes y componentes que pudieran recuperarse por el aprovechamiento de la fracción orgánica y la elaboración de compost en los RSU de Ecuador

Parámetros	Valores de referencia de compost RSU Orgánicos, Ecuador [a]	Elementos/Componentes, t/día [b]
Carbono Orgánico total (%)	27.1	745.97
Nitrógeno Total (%)	1.63	44.87
P_2O_5 (%)	0.87	23.95
K_2O (%)	1.41	38.81
Ácidos húmicos (%)	2.5	68.82
Ácidos fúlvicos (%)	4.1	112.86

Fuente: [a] Jara-Samaniego *et al.* (2017), [b] Cesaro, Conte, Belgiorno, Siciliano, y Guida (2019).
Realizo por: Johnny Bayas, Jimmy Chimbolema

En base al planteamiento del esquema (Figura 2-4), presentando de la funcionadlidad de la Biorrefineria y las diferentes cantidades de Residuos de Alimentos destinados hacia la producción de los tres bioproductos mencionados, se establecen las cantidades de bioetanol, biometano y compost que se pudieran obtener. La tabla 16-4 muestras las cantidades de productos.

Tabla 16-4 Generación de productos sostenibles mediante tecnologías de proceso de conversión a partir de restos de alimentos (t/día) en Ecuador

Residuos orgánicos	Proceso de tecnología	Producto	Valores	Cantidad 1 tonelada
Restos de alimentos de los RSU (8,212.054 t/día)	Fermentación	bioetanol (L)	• Cp (g/día) [a] = 9.8627E+10 • bioetanol (L)= 3´620,476.48	440.873 L
	Digestión anaerobia	biometano (m^3)	• ST (t/día) [b] = 1,568.50 • SV (g/día) [b] = 1.4587E+09 • Biometano m^3= 554,308.744	67.499 m^3
	Compost	Abono orgánico	• Humedad [c] = 19 % • Biocompost =2,752.64 t	0.335 t

Fuente: [a] (Loizidou *et al.*, 2017), [b] Guo *et al.* (2019), [c] Cesaro, Conte, Belgiorno, Siciliano, y Guida (2019)
Realizado por: Johnny Bayas, Jimmy Chimbolema

4.2.7 Generación de productos a partir de la distribucion de los Residuos Alimenticios de los RSU

Entre los principales enfoques de este proyecto está el determinar como la porción Orgánica de los RSU, por medio de tecnologías de conversión de Biomasa podría generar Bioproductos que fortalezcan la economía circular del país. Es por esa razón que en la tabla 17-4 se muestra la generación de productos a partir de la distribución de la materia prima (restos alimenticios) para la generación de Bioetanol con un 60% de la materia prima. Así como para el Biometano se emplea un 30% del total de los restos alimenticios para la producción de este gas valorizado. De igual forma se emplea el 10% de la materia prima para la generación de Biocompost, cuyo producto mejora la producción de diversos cultivos con su uso, de aquí partiendo su valor en el mercado, esto en base a lo planteado en la Figura 3-4. Esta distribución es necesaria ya que según Moreno *et al.* (2021) ddespués de la producción de bioetanol a partir de la fracción orgánica de los RSU, todavía queda una cantidad significativa de material orgánico de la materia prima que puede transformarse en biogás mediante digestión anaeróbica.

Tabla 17-4 Cantidad de materia prima distribuida (t/día), para diferentes tecnologías y productos generados

Residuos orgánicos/ Distribución materia			Proceso de tecnología	Producto	Cantidad
Restos de alimentos de los RSU (8,212.054 t/día)	60%	4,927.232 t/día	Fermentación	bioetanol (L)	2172285,612
	30%	2,463.616 t /día	Digestión anaerobia	biometano (m^3)	166,292.602
	10%	821.205 t /día	Compostaje	biocompost (t)	275,2641659

Realizado por: Johnny Bayas, Jimmy Chimbolema

4.3 Potencialidades y posibles limitaciones de la implementación de conceptos de Biorrefinerías de desechos orgánicos en Ecuador

4.3.1 Potencialidades de la implementación de un sistema de Biorrefinería en Ecuador.

4.3.1.1 Generación de la Materia Prima

Ecuador al generar 8,212.054 t/día de residuos alimenticios se considera como un país verde, cuya generación de residuos alimenticios son suficientes para la implantación de un sistema de Biorrefinería ya que según Carvajal (2014), director del proyecto RESETA, menciona que Ecuador es el país de la Biomasa, por ende cuenta con la materia prima

suficiente para este tipo de proyectos, y hace necesario el análisis de las posibles limitantes y potencialidades de la implantación de un sistema de Biorrefinería.

4.3.1.2 Potencialidad económica

La implementación de una biorrefinería es útil debido que presenta tecnologías de conversión de materia prima con bajo costo que pueden aplicarse para generar productos sostenibles. Por ejemplo, la tecnología de digestión anaerobia presenta un costo de ($ 0.1–0.14) por tonelada de desechos por año en comparación al costo de la incineración (USD $ 14.5-22) (Nizami, Shahzad, *et al.*, 2017). El desarrollo de una biorrefinería genera gran aporte a la económico considerándose así una economía de manera sostenible al aprovechar la biomasa orgánica. Como se muestra en la literatura, la biorrefinería de residuos en la Meca genera US $ 202´041,739.14 a partir de bioenergía y biocombustibles, así mismo genera un ahorro total de costos de petróleo de US $ 98´302,102.10 (Nizami, Shahzad, *et al.*, 2017). Por ejemplo, en el país las centrales hidroeléctricas permiten un ahorro aproximado de USD 213´000,000 por la reducción del consumo de combustibles de origen fósil (EP, 2019). De esta forma Ecuador al tener gran cantidad de materia orgánica podría genera beneficio económico mediante la biorrefinería de residuos.

4.3.1.3 Potencialidad ambiental

La biorrefinería de residuos es considerada una alternativa de desarrollo sostenible en cuanto a la generación de productos debido a que estos ayudan a mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). De esta forma la valorización de desperdicios de alimentos traerá beneficios al ambiente debido a la reducción de los GEI y los impactos ambientales que se generan en los vertederos (Caldeira *et al.*, 2020). Generalmente los productos como biometano y bioetanol ayudan a reducir las emisiones al ambiente. De hecho, la tecnología de digestión anaerobia al generar biometano como fuente renovable es la que menos emisiones de GEI genera. En base a lo establecido por Nizami, Shahzad, *et al.* (2017) esta tecnología tiene mayor potencial de reducción de emisiones de CH_4 con 20,200 toneladas en comparación con la transesterificación que reduce 3,026 emisiones de CH_4. De similar manera es la tecnología con mayor valor de reducción de potencial de calentamiento global (GWP) con 505,011 $Mt.CO_2$ eq en comparación con el reciclaje que reduce 140,119 $Mt.CO_2$ equivalente (Nizami, Shahzad, *et al.*, 2017). Sin embargo,

según Bankole y Robinson (2012) se establece que los biocombustibles pueden logran un ahorro de al menos el 35% de emisiones de GEI. Además, mediante estas tecnologías se puede ahorrar cantidades de barriles de petróleo y como menciona Nizami, Shahzad, *et al*. (2017) se estima que se puede ahorrar 1’095,000 barriles de petróleo para evitar emisiones a la atmosfera.

4.3.2 Limitaciones tecnoeconómicas y sociales de la implementación de un sistema de Biorrefinería en Ecuador

4.3.2.1 Materia Prima

Una de las grandes problemáticas que enfrenta la implantación de este sistema de aprovechamiento de los Residuos de Alimentos a nivel general es la propia escasez de la materia prima para la fase de operación de la biorrefinería. Caldeira *et al*. (2020) afirma que la disponibilidad de materias primas y problemas logísticos, son de los desafíos más comunes para un sistema de Biorrefinería en términos generales. Sin embargo, para Ecuador una limitante se ve representada por la carencia de estudios que puedan dar un valor de las cantidades específicas que puedan ser usados con propósitos de revalorización, ya que no todas las materias primas de desechos de alimentos tienen el mismo potencial. Un inconveniente que se presenta en cuanto se refiere a los Residuos de Alimentos tiene que ver con la duración de los mismos, ya que se deterioran rápidamente y puede acarrear limitaciones en su uso para generación de productos de valor agregado. Ecuador al presentar bajos índices de separación en la fuente, ni siquiera superando el 38% de la aplicación de este proceso en todo el periodo, dificulta el rápido acceso a estos residuos para uso de la Biorrefinería y por ende aumentando el costo de la materia prima en lo que se refiere al costo de transporte desde su generación hasta las instalaciones del proyecto.

Otra de las barreras que se enfrenta un proyecto como este a nivel general es la limpieza de los RSU que depende en gran medida de la calidad de los RSU recibidos; sin embargo, los RSU no tienen una composición permanente en el tiempo y por esta razón el proceso debe cumplir con ciertas características para hacer frente a las fluctuaciones en la composición de estos (Bankole y Robinson, 2012).

4.3.2.2 Coste de capital inicial y valor operativo

De acuerdo a ello se tiene en cuenta que el costo de capital de una biorrefinería son críticas debido por su alto valor de costo de inversión. Por ejemplo, en el año 2014 se invierto en Ecuador US$ 1’513.275 en una planta piloto de una biorrefinería para generar biocombustibles a base de residuos agrícolas según (Senescyt, 2014). De esta manera se establece que para futuras implementaciones de biorrefinería dentro de los GADs basado en el aprovechamiento de la materia prima, será muy limitado el costo de inversión, ya que sería más factible la aplicación en los principales GADs representantes de cada región. El coste varía de acuerdo con el enfoque y magnitud de las Biorrefinerías en cuanto a la capacidad de procesamiento de materia prima.

En cuanto al análisis de los costos por cada etapa de planificación toma en consideración 12 meses de planificación del proyecto (asumiendo que se ha completado toda la ingeniería preliminar y detallada); 18 meses para la construcción y 6 meses para la puesta en marcha de la planta. Se requiere un capital de trabajo durante los 36 meses de actividades asociadas a la construcción, dando un valor equivalente al 11% de la inversión total de capital (Bankole y Robinson, 2012), dando un valor $151,327.5, esto tomando en cuenta el capital invertido en el proyecto “Reseta” como punto de referencia para la realización del proyecto.

4.3.2.3 Coste de transporte

En base a los resultados obtenidos se interpreta que en Ecuador solo para la etapa de recolección y transporte de los Residuos generados a nivel nacional se obtiene un valor de 30.05 USD/t, de tal forma generando un costo adicional en el transporte de la materia prima hacia la Biorrefinería, ya que de acuerdo al valor estimado de Residuos de Alimentos cuyo valor es 8,212.054, se determina un coste de transporte de $ 246,772.22, contemplando un valor alto, si se focaliza en el gasto público. Ya que según Nizami, Rehan, *et al.* (2017), “las instalaciones de biorrefinería de desperdicio de alimentos se ven muy favorecidas cuando se integran en las plantas de producción de la materia prima, en cuyo caso el costo de transporte de la materia prima es nulo”. Delimitando así para Ecuador una de las barreras que aumentaría el coste de transporte, siendo la ubicación de los sistemas de Aprovechamiento, ya que conlleva a mayores gastos en la recepción de la materia prima hacia los hipotéticos sistemas de Biorrefinerías.

4.3.2.4 Limitaciones Sociopolíticas

Las limitaciones sociales dentro del contexto de biorrefinería se basen en el oportuno interés por parte de la sociedad en clasificar adecuadamente los RSU. Por su parte a nivel nacional solo 87 municipios realizan la recolección diferenciada que representa el 39.37% (CNC, 2019), esto se debe a la falta de conciencia del estilo de vida de las familias en realizar una adecuada recolección en sus casas (Girotto, Alibardi, y Cossu, 2015). Al no realizar una adecuada recolección de los RSU se establece que a nivel nacional para el año 2018 hubo mayor acogida en los rellenos sanitarios (44.7%). Esto conlleva a que el costo total de recolección y disposición final aumentaría debido a que el costo por tonelada este $35.66 establecido en el objetivo uno. Por lo general la mala recolección diferenciada se establece como limitante del costo de recolección y disposición final de los residuos. Girotto, Alibardi, y Cossu (2015) mencionan que una adecuada información sobre clasificación de los residuos de alimentos reducirá en un 70% la mala clasificación de los residuos por parte de las personas.

Así mismo, la carencia de políticas en cuanto se refiere a nuevos métodos de aprovechamiento de la fracción orgánica de los RSU, conlleva a ser una limitante dentro del país. Por tal razón el método más empleado a nivel nacional para el aprovechamiento de los RSU es el compostaje, según (MAE, 2012). Otra de las principales limitantes en cuanto a las políticas es la falta de apoyo por parte del estado en las tecnologías de aprovechamiento de los residuos orgánicos, esto ha sido abordado en otros estudios anteriores (Cárdenas, Maldonado, Valdez, Sarduy-Pereira, y Diéguez-Santana, 2019; Quishpe-López, Lliguicota-Guarquila, Sarduy-Pereira, y Diéguez-Santana, 2020). De esta forma se hace difícil implementar nuevas tecnologías innovadoras para generan productos de valor agregado en un contexto de economía circular. De hecho, en el país solo los GADs con mayores recursos económicos pueden optar por la digestión anaerobia mediante digestores como nueva tecnología según (MAE, 2012).

4.4 Conclusiones

- ✓ En cuanto a la evolución de la Gestión Integral de Residuos Sólidos a nivel nacional, se ha encontrado que, en el año de referencia, el 2018 existe una inversión de 65.83 USD/t, siendo el relleno sanitario el mecanismo de disposición final más utilizado con un 44.7%, con una pobre separación en la fuente de tan solo el 31.8%. Además, se determinó la PPC de 0.859 kg/hab/día, a la vez que se generaron 14,620 t/día, que mediante una composición orgánica del 56.17%, nos permite determinar una cantidad de 8,212.054 t/día de Residuos de Alimentos. Determinando así la cantidad de materia apta para el desarrollo de un sistema de biorrefinería en Ecuador.
- ✓ Se ha propuesto una Biorrefinería de Residuos, destinando ciertas cantidades para la obtención de tres principales Bioproductos utilizando un esquema de distribución de los restos de alimentos. El cual distribuye la materia prima en un 60 % para generación de bioetanol, a través de la fermentación enzimática para la obtención de 2´172,285.612 L. De igual forma toma el 30% de la mataría prima para la producción de 166,292.602 m^3 de biometano a través de la digestión anaerobia. El 10% de la materia prima está destinada a la generación de biocompost mediante la tecnología de conversión de biomasa, compostaje.
- ✓ Se ha determinado que, desde una visión realista el Ecuador posee más limitantes que potencialidades en cuanto a la implantación de un sistema de Biorrefinería de Residuos, siendo la única potencialidad la generación de Residuos de alimentos a nivel nacional con una generación de 8, 212.054 t/ día, junto a los bajos costo de las tecnologías de conversión de materia como la DA con precios de ($ 0.1–0.14) por tonelada de desechos por año. En contraparte a esto se ha identificado que existen limitaciones en la materia prima, ya que un punto importante para la obtención de los bioproductos a través de estos residuos es la Inocuidad de los mismos, cuyo principio es difícil cumplirlo al poseer un porcentaje tan bajo de separación en la fuente como lo es el 31.8%, por lo cual deteriora la materia prima y de esta forma disminuye el potencial de los mismos. Relacionado esto además a la carencia de estudios que puedan dar un valor de las cantidades específicas que puedan ser usados con propósitos de revalorización, ya que no todas las materias primas de desechos de alimentos tienen el mismo potencial y se convierte en una limitante más para el desarrollo de un sistema de Biorrefinería.

- ✓ Se ha identificado la deficiencia de políticas públicas bien definidas en cuanto a la GIRS a nivel nacional, comprobado así, ya que no todos los municipios realizan un sistema de recolección diferenciada, siendo una limitante sociopolítica que repercute en la calidad y cantidad de la materia prima, además estableciendo que la implementación de este sistema en los GADs será muy limitado ya que por el costo de inversión sería más factible la aplicación en los principales GADs representantes de cada región. Relacionado a esto una limitante se ve reflejada en el total desconocimiento de estas alternativas de aprovechamiento de la porción orgánica de los residuos por parte de la gente.

4.5 Recomendaciones

- ✓ En términos generales se recomienda el continuar con la investigación de la valorización de esta porción, ya que no se ha contado con los medios para un desarrollo a más profundidad.
- ✓ Llevar el análisis a nivel experimental, ya que los datos obtenidos son estimaciones en base a la teoría disponible. Sin embargo, el tema puede ser expandido mediante actualización de datos y obtención de valores reales en laboratorio.
- ✓ Se recomienda que para el posterior desarrollo tomando como base este proyecto, el actualizar los datos conforme la situación o tiempo de ejecución lo amerite, además de que incursionarse en un análisis de este tipo sin datos veraces, significa un desarrollo deficiente en el proceso de investigación.
- ✓ Expandir el análisis de valorización de los restos de alimentos de los RSU, por medio de la obtención de nuevos bioproductos a través de la implantación de nuevas tecnologías.

5. REFERENCIAS

AME-INEC. (2014). Registro de Gestión Integral de Residuos Sólidos. Tabulados e Indicadores. Recuperado 30 junio 2020 https://www.ecuadorencifras.gob.ec/municipios-y-consejos-provinciales-2014/

AME-INEC. (2015). Registro de Gestión Integral de Residuos Sólidos. Tabulados e Indicadores. Recuperado 30 junio 2020 https://www.ecuadorencifras.gob.ec/municipios-y-consejos-provinciales-2015/

AME-INEC. (2016). Registro de Gestión Integral de Residuos Sólidos. Tabulados e Indicadores. Recuperado 30 junio 2020 https://www.ecuadorencifras.gob.ec/municipios-y-consejos-provinciales-2016/

AME-INEC. (2017). Registro de Gestión Integral de Residuos Sólidos. Tabulados e Indicadores. Recuperado 30 junio 2020 https://www.ecuadorencifras.gob.ec/gad-municipales/

AME-INEC. (2018). Registro de Gestión Integral de Residuos Sólidos. Tabulados e Indicadores. Recuperado 30 junio 2020 https://www.ecuadorencifras.gob.ec/gad-municipales/

Anca-Couce, A., Hochenauer, C., & Scharler, R. (2021). Bioenergy technologies, uses, market and future trends with Austria as a case study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 135*, 110237. doi:https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110237

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.

Bankole, S., & Robinson, J. (2012). The economic and environmental performance of the production of bioethanol from municipal solid waste in the UK. *Biofuels, 3*(6), 683-702. doi:10.4155/bfs.12.61

Barroso, M. (2010). *Pretratamiento de Biomasa Celulósica para la obtención de Etanol en el Marco de una Biorrefineria*. Madrid.Recuperado de

BID. (2015). *Situación de la gestión de residuos sólidos en América Latina y el Caribe*. https://publications.iadb.org/es/situacion-de-la-gestion-de-residuos-solidos-en-america-latina-y-el-caribe

BioPlat. (2017). *Manual sobre las Biorrefinerías en España*. España.Recuperado de https://bioplat.org/portfolio-items/manual-sobre-las-biorrefinerias-en-espana/

BM. (2019). PIB Nominal Per cápita 2019. from Banco Mundial

https://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GDP.PCAP.CD?locations=ZJ

Caiza, D., Chimbo, A., Sarduy Pereira, L. B., Pisco, W., & Diéguez Santanaa, K. (2018). Propuesta de producción más limpia en el proceso de elaboración de abonos orgánicos con desechos del camal, realizado en el relleno sanitario del cantón Baños de Agua Santa, provincia de Tungurahua. *Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana*.

Caldeira, C., Vlysidis, A., Fiore, G., De Laurentiis, V., Vignali, G., & Sala, S. (2020). Sustainability of food waste biorefinery: A review on valorisation pathways, techno-economic constraints, and environmental assessment. *Bioresource Technology, 312*, 123575. doi:https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123575

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

Carvajal, J. (2014). Rueda de prensa Proyecto RESETA (Recursos Sustentables para Etanol). In R. Ramirez (Ed.).

Casco Méndez, G. M., Diéguez-Santana, K., Sarduy-Pereira, L., Guillén, C., Guardado Yordi, E., & Pérez-Martínez , A. (2020). *Diseño del proceso de obtención de bioetanol carburante mediante hidrólisis enzimática del bagazo de caña en la provincia de Pastaza*. Afinidad.

CELEC. (2013). *Instructivo para la gestión de Residuos Sólidos.* Cuenca, Ecuador.Recuperado de https://www.celec.gob.ec/hidropaute/images/Ambiente/Gestion.de.residuos.solidos.pdf?fbclid=IwAR3b3EUhzTsNimq8uQBglFazivsYdMqE9ZsUe7Y3wTCy1YMDuPAwT6dwz-M

Cesaro, A., Conte, A., Belgiorno, V., Siciliano, A., & Guida, M. (2019). The evolution of compost stability and maturity during the full-scale treatment of the organic fraction of municipal solid waste. *Journal of Environmental Management, 232*, 264-270. doi:https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.10.121

CNC. (2019). *Informe sobre mapeo deactores generadores deinformación a nivel territorial e identificación de fuentes deinformación de la competencia de desechos sólidos*. http://www.competencias.gob.ec/wp-content/uploads/2019/07/Manejo-desechos-solidos-

2.pdf?fbclid=IwAR2x_2BMANhUAZAGK4a68wAkBSLweoFmQZmm8ZIktGyq40i0ymA0X2fV9Vw

Demichelis, F., Laghezza, M., Chiappero, M., & Fiore, S. (2020). Technical, economic and environmental assessement of bioethanol biorefinery from waste biomass. *Journal of Cleaner Production, 277*, 124111. doi:https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124111

Diéguez-Santana, K., Sarduy-Pereira, L. B., & Decker, M. (2021). Characterization and Quantification of Municipal Solid Waste in Fátima, Ecuadorian Amazon Parish *Journal of Environmental Treatment Techniques, 9*(2), 392-401. doi:https://doi.org/10.47277/JETT/9(2)401

Dong, C., Wang, Y., Wang, H., Lin, C. S. K., Hsu, H.-Y., & Leu, S.-Y. (2019). New Generation Urban Biorefinery toward Complete Utilization of Waste Derived Lignocellulosic Biomass for Biofuels and Value-Added Products. *Energy Procedia, 158*, 918-925. doi:https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.231

Duan, Y., Pandey, A., Zhang, Z., Awasthi, M. K., Bhatia, S. K., & Taherzadeh, M. J. (2020). Organic solid waste biorefinery: Sustainable strategy for emerging circular bioeconomy in China. *Industrial Crops and Products, 153*, 112568. doi:https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112568

EIU. (2017). *Avances y desafios para el reciclaje inclusivo: Evaluacion de 12 ciudades de America Latina y El Caribe*. Nueva York, Estados Unidos.Recuperado de https://reciclajeinclusivo.org/wp-content/uploads/2017/05/EIU_Inclusive-Recycling_report-SPANISH.pdf?fbclid=IwAR2EKKvBMbgv2saTTwvZ7obvh61xT-ytHUyBbGJtyvXsxJUmeSqXG3M1mQo

EP, C. (2019, Febrero 25). CELEC EP genera el 86 por ciento de la energía que consume el país. Recuperado de https://www.celec.gob.ec/electroguayas/index.php/sala-de-prensa/noticias/124-celec-ep-genera-el-86-por-ciento-de-la-energia-que-consume-el-pais-25-feb-2019

Galván, G. (Producer). (2019). Engimia. *Las biorrefinerías ¿Qué son y cuántos tipos hay?* Recuperado de https://engimia.com/blog/las-biorrefinerias-que-son-y-cuantos-tipos-hay

García-Prado, R., Pérez-Martínez, A., Diéguez-Santana, K., Mesa-Garriga, L., González-Herrera, I., González-Cortés, M., & González-Suarez, E. (2015). Incorporación

de otras materias primas como fuentes de azúcares fermentables en destilerías existentes de alcohol. *Revista Facultad de Ingeniería*(75), 130-142. doi:10.17533/udea.redin.n75a13

García, M. (2008). Genoma España. *Biorrefinerías: Situación Actual y Perspectivas de Futuro*. https://icono.fecyt.es/sites/default/files/filepublicaciones/2009-biorrefinerias-pub_80_d.pdf?fbclid=IwAR0btIYpcvQ_K9DwC-xI7Hqv6tjYjgtgFq_fCrrUlyWFTGAvd-LY7M52hbw

Girotto, F., Alibardi, L., & Cossu, R. (2015). Food waste generation and industrial uses: A review. *Waste Management*, *45*, 32-41. doi:https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.06.008

González, J. (2018). *Las Biorrefinerias: Aolicaciones a materiales y residuos Lignocelulocicos. Horizonte 2050* Santiago de Compostela, España.Recuperado de http://www.ieee.es/Galerias/fichero/docs_investig/2018/DIEEEINV05-2018_Biorrefinerias_Horizonte2050_JuliaGlezAlvarez.PDF

Guo, H., Zhao, Y., Damgaard, A., Wang, Q., Lu, W., Wang, H., & Christensen, T. H. (2019). Material flow analysis of alternative biorefinery systems for managing Chinese food waste. *Resources, Conservation and Recycling*, *149*, 197-209. doi:https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.05.010

INEC. (2018a, Febrero 12). Provincias más pobladas en Ecuador. *Provincias más pobladas en Ecuador.* Recuperado de https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas/

INEC. (2018b, Mayo 03). Según la última estadística de información ambiental: Cada ecuatoriano produce 0,58 kilogramos de residuos sólidos al día. *INEC.* Recuperado de https://www.ecuadorencifras.gob.ec/segun-la-ultima-estadistica-de-informacion-ambiental-cada-ecuatoriano-produce-058-kilogramos-de-residuos-solidos-al-dia/

INEC. (2020a). *Boletín técnico N° 01-2020-GADM. Residuos sólidos*. Quito, Ecuador.Recuperado de https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2018/Residuos_solidos_2018/Boletin_Tecnico_Residuos_2018.pdf

INEC. (2020b). Contador Poblacional. *Contador Poblacional.* Recuperado de https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas/

Jara-Samaniego, J., Pérez-Murcia, M. D., Bustamante, M. A., Pérez-Espinosa, A.,

Paredes, C., López, M., . . . Moral, R. (2017). Composting as sustainable strategy for municipal solid waste management in the Chimborazo Region, Ecuador: Suitability of the obtained composts for seedling production. *Journal of Cleaner Production, 141*, 1349-1358. doi:https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.178

Lara-Flores, A. A., Araújo, R. G., Rodríguez-Jasso, R. M., Aguedo, M., Aguilar, C. N., Trajano, H. L., & Ruiz, H. A. (2018). Bioeconomy and Biorefinery: Valorization of Hemicellulose from Lignocellulosic Biomass and Potential Use of Avocado Residues as a Promising Resource of Bioproducts. In R. R. Singhania, R. A. Agarwal, R. P. Kumar, & R. K. Sukumaran (Eds.), *Waste to Wealth* (pp. 141-170). Singapore: Springer Singapore.

Lin, C.-Y., & Lu, C. (2021). Development perspectives of promising lignocellulose feedstocks for production of advanced generation biofuels: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 136*, 110445. doi:https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110445

Loizidou, M., Alamanou, D. G., Sotiropoulos, A., Lytras, C., Mamma, D., Malamis, D., & Kekos, D. (2017). Pilot Scale System of Two Horizontal Rotating Bioreactors for Bioethanol Production from Household Food Waste at High Solid Concentrations. *Waste and Biomass Valorization, 8*(5), 1709-1719. doi:10.1007/s12649-017-9900-6

Loyola, K. M. (2018). *Estudio comparativo de los indicadores de los residuos sólidos en la zona urbana y cuatro parroquias rurales del Cantón Azogues.* (Grado Ingeniera Ambiental Tesis, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador). Recuperado de https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15608/1/UPS-CT007675.pdf.

MAE. (2012). Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos – PNGIDS ECUADOR. *Programa 'PNGIDS' Ecuador.* 3 octubre 2012. Recuperado de https://www.ambiente.gob.ec/programa-pngids-ecuador/

MAE. (2020). Gobierno por Resultados. *Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos (MAE-PNGIDS)*. https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/01/PNGIDS-ENERO-2020.pdf

Mahjoub, B., & Domscheit, E. (2020). Chances and challenges of an organic waste–based bioeconomy. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, *25*, 100388. doi:https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2020.100388

Morán, S. (Producer). (2020, Junio 23). Plan V. *Ecuador, ahogado en basura, está lejos de cumplir las metas de los ODS al 2030*. Recuperado de https://www.planv.com.ec/historias/sociedad/ecuador-ahogado-basura-esta-lejos-cumplir-metas-ods-al-2030?fbclid=IwAR3P01IdvoVbb8mT4MaFysrkwfqVFkxdpsX8IApjfsEAMPm0BBGo-UG29mk#:~:text=Seg%C3%BAn%20cifras%20del%20INEC%2C%20el,ser%20reciclados%20en%20su%20mayo

Moreno, A. D., Magdalena, J. A., Oliva, J. M., Greses, S., Coll Lozano, C., Latorre-Sánchez, M., . . . González-Fernández, C. (2021). Sequential bioethanol and methane production from municipal solid waste: An integrated biorefinery strategy towards cost-effectiveness. *Process Safety and Environmental Protection, 146*, 424-431. doi:https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.09.022

Nations, U. (2020). Population Data 2020. Recuperado 31 de julio de 2020, from United Nations-Department of Economic and Social Affairs Population Dynamics https://population.un.org/wpp/Download/Standard/Population/

Nizami, A. S., Rehan, M., Waqas, M., Naqvi, M., Ouda, O. K. M., Shahzad, K., . . . Pant, D. (2017). Waste biorefineries: Enabling circular economies in developing countries. *Bioresource Technology, 241*, 1101-1117. doi:https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.05.097

Nizami, A. S., Shahzad, K., Rehan, M., Ouda, O. K. M., Khan, M. Z., Ismail, I. M. I., . . . Demirbas, A. (2017). Developing waste biorefinery in Makkah: A way forward to convert urban waste into renewable energy. *Applied Energy, 186*, 189-196. doi:https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.04.116

OEFA. (2014). *Fiscalización Ambiental en Residuos Sólidos de Gestión Provincial Municipal*. Lima, Perú.Recuperado de https://www.oefa.gob.pe/publicaciones/fiscalizacion-ambiental-en-residuos-solidos-en-gestion-municipal-provincial/

Norma de Calidad ambiental para el manejo y disposición final de desechos sólidos no peligrosos (Anexo VI, Libro VI: De la Calidad Ambiental, del Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente). Registro Oficial Edición Especial Nº 2, 31 de marzo de 2003. (2003). Recuperado de http://www.fao.org/faolex/results/details/en/c/LEX-FAOC112185

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

Oficial, R. (2017). Codigo Organico del Ambiente. *Codigo Organico del Ambiente*. https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/09/Codigo-Organico-del-Ambiente.pdf?fbclid=IwAR2XWKcjJ1PraOjy3lJNnkVsy449znCEC2lskAvifk013_kQdv58pueoWIc

Reglamento al Código Orgánico del Ambiente, (2019).

ONU (Producer). (2017, Noviembre 21). ONU. *Aumenta la regeneración de residuos en América Latina y el Caribe mientras 145.00 toneladas aún se disponen de forma inadeacuada cada día*. Recuperado de https://www.unenvironment.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/aumenta-la-generacion-de-residuos-en-america-latina-y-el-caribe?fbclid=IwAR0I1YhqDYn4hByYZSKgF4B_4WQeRrKZKEHWRbeitMxpE9bw84QvoXOPhA0

Panpatte, D. G., & Jhala, Y. K. (2019). Agricultural Waste: A Suitable Source for Biofuel Production. In A. A. Rastegari, A. N. Yadav, & A. Gupta (Eds.), *Prospects of Renewable Bioprocessing in Future Energy Systems* (pp. 337-355). Cham: Springer International Publishing.

Pascual, A. (2014). Hacia un modelo de bioeconomía. *Ainia*. Recuperado de https://www.ainia.es/insights/hacia-un-modelo-de-bioeconomia-son-las-biorrefinerias-el-camino-posible/

Pascual, A. (2017). El proyecto URBIOFIN: de residuos a bioproductos a través del modelo de biorrefinería. Recuperado de https://www.ainia.es/tecnoalimentalia/tecnologia/el-proyecto-urbiofin-de-residuos-a-bioproductos-a-traves-del-modelo-de-biorrefineria/

PNUMA. (2018). *Perspectiva de la Gestión de Residuos en América Latina y el Caribe*. Panamá.Recuperado de https://www.unenvironment.org/es/resources/informe/perspectiva-de-la-gestion-de-residuos-en-america-latina-y-el-caribe

Pourmazaheri, H., Salehi Jouzani, G., Karimi, E., Khayam Nekouei, S. M., Tabatabaei, M., & Maali Amiri, R. (2015). Development of a bioprocess for fast production of enriched biocompost from municipal solid wastes. *International*

Biodeterioration & Biodegradation, 104, 482-489. doi:https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2015.08.002

Quintero, J., & Quintero, L. (2015). Biomasa: métodos de producción, potencial energético y medio ambiente. *Uniboyaca, 2*(2), 28-45. doi:ttps://doi.org/10.24267/23462329.109

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

Ramos , P. M., & Gil, J. M. (2017). *Biorrefinerías basadas en explotaciones Agropecuarias y Forestales*. Huesca, España.Recuperado de https://ocw.unizar.es/ocw/pluginfile.php/915/mod_resource/content/1/Manual%20del%20curso.pdf

Righetti, E., Nortilli, S., Fatone, F., Frison, N., & Bolzonella, D. (2020). A Multiproduct Biorefinery Approach for the Production of Hydrogen, Methane and Volatile Fatty Acids from Agricultural Waste. *Waste and Biomass Valorization*, *11*(10), 5239-5246. doi:10.1007/s12649-020-01023-3

Salimi, E., Taheri, M. E., Passadis, K., Novacovic, J., Barampouti, E. M., Mai, S., . . . Loizidou, M. (2020). Valorisation of restaurant food waste under the concept of a biorefinery. *Biomass Conversion and Biorefinery*. doi:10.1007/s13399-020-00613-4

Senescyt. (2014, Febrero 04). Ecuador presenta su primera biorrefineria con el cambio de la matriz energetica y productiva. Recuperado de https://www.educacionsuperior.gob.ec/ecuador-presenta-su-primera-biorrefineria-con-el-cambio-de-la-matriz-energetica-y-productiva-en-la-mira/?fbclid=IwAR1J-thZMqOzqlXAZ23HOKf4NELWQVwL7z4k0qUI7uUs5qznS3UReIHKXaw

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.

Teribia, D. (2016). *Ubicacion optima de una en la Rioja y la Ribera de Navarra en*

funcion de Factores Economicos y Medioambientales. (Ingeniería Industrial, Universidad Pública de Navarra, Pamplona, España). Recuperado de https://academica-e.unavarra.es/handle/2454/21494.

Venkata Mohan, S., Dahiya, S., Amulya, K., Katakojwala, R., & Vanitha, T. K. (2019). Can circular bioeconomy be fueled by waste biorefineries — A closer look. *Bioresource Technology Reports, 7*, 100277. doi:https://doi.org/10.1016/j.biteb.2019.100277

6. APÉNDICES

Apéndice 1-6 Producción per cápita en la zona urbana (kg/hab/día) en el período 2014-2018, de cada provincia del Ecuador

PROVINCIA	PPC en la zona urbana (kg/hab/día)				
	2014	2015	2016	2017	2017
Azuay	0.508	0.460	0.453	0.540	0.543
Bolívar	0.523	0.543	0.574	0.655	0.666
Cañar	0.617	0.636	0.614	0.639	0.613
Carchi	0.632	0.632	0.617	0.694	0.720
Cotopaxi	0.484	0.499	0.466	0.428	0.429
Chimborazo	0.534	0.490	0.564	0.597	0.597
El Oro	0.467	0.554	0.627	0.834	0.801
Esmeraldas	0.647	0.623	0.634	0.675	0.681
Guayas	0.560	0.562	0.570	1.113	1.104
Imbabura	0.598	0.665	0.693	0.698	0.684
Loja	0.541	0.559	0.554	0.689	0.678
Los Ríos	0.636	0.613	0.637	0.758	0.897
Manabí	0.628	0.600	0.621	0.710	0.674
Morona Santiago	0.502	0.523	0.518	0.532	0.570
Napo	0.452	0.582	0.572	0.751	0.510
Pastaza	0.540	0.565	0.565	0.918	0.551
Pichincha	0.691	0.710	0.647	0.857	0.863
Tungurahua	0.504	0.540	0.496	0.597	0.592
Zamora Chinchipe	0.528	0.528	0.544	0.541	0.599
Galápagos	0.723	0.723	0.730	0.729	0.742
Sucumbíos	0.597	0.649	0.601	0.728	0.673
Orellana	0.690	0.690	0.745	0.805	0.708
Santo Domingo	0.780	0.780	0.700	0.744	0.797
Santa Elena	0.660	0.660	0.680	0.646	0.645

Fuente: Adaptado de: (AME-INEC, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018).
Realizado por: Johnny Bayas, Jimmy Chimbolema

Apéndice 2-6 Indicador de la porción de GADs municipales por provincia, que han iniciado o mantienen procesos de separación en la fuente (Periodo 2014-2018)

PROVINCIA	2014	2015	2016	2017	2018
Azuay	33.33%	40%	46.7%	33.3%	50.0%
Bolívar	42.86%	28.57%	28.6%	14.3%	-
Cañar	57.14%	71.43%	71.4%	71.4%	71.4%
Carchi	83.33%	50%	50.0%	66.7%	50.0%
Cotopaxi	14.29%	28.57%	28.6%	28.6%	14.3%
Chimborazo	30.00%	40%	30.0%	30.0%	30.0%
El Oro	21.43%	35.71%	28.6%	28.6%	14.3%
Esmeraldas	14.29%	14.29%	14.3%	14.3%	-
Guayas	8.33%	8%	12.0%	8.0%	4.0%
Imbabura	83.33%	83.33%	83.3%	83.3%	83.3%
Loja	62.50%	68.75%	81.3%	68.8%	56.3%
Los Ríos	7.69%	7.69%	-	-	-
Manabí	9.09%	4.55%	-	-	-
Morona Santiago	58.33%	75%	75.0%	83.3%	60.0%
Napo	40.00%	40%	20.0%	40.0%	20.0%
Pastaza	50.00%	50%	25.0%	25.0%	50.0%
Pichincha	75.00%	87.50%	87.5%	87.5%	100.0%
Tungurahua	22.22%	11.11%	22.2%	22.2%	33.3%
Zamora Chinchipe	88.89%	66.67%	77.8%	87.5%	66.7%
Galápagos	100.00%	100%	100.0%	100.0%	100.0%
Sucumbíos	71.43%	71.43%	57.1%	57.1%	57.1%
Orellana	25.00%	-	-	25.0%	-
Santo Domingo	0.00%	-	-	50.0%	50.0%
Santa Elena	0.00%	-	-	-	-

Fuente: Adaptado de: (AME-INEC, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018).
Realizado por: Johnny Bayas, Jimmy Chimbolema

Apéndice 3-6 Indicador cantidades de residuos sólidos recolectados al día (ton/día) a nivel nacional y por regiones (Periodo 2014-2018)

Provincia	2014	2015	2016	2017	2018
Azuay	617.34	555.13	416.6	500.2	511.5
Bolívar	66.5	68.52	71.8	70.1	71.0
Cañar	131.14	127.53	124.4	123.8	123.0
Carchi	83.07	95.24	95.5	92.7	95.4
Cotopaxi	219.16	192.68	195.4	192.3	194.5
Chimborazo	165.816	200.91	203.2	211.5	207.1
El Oro	508.18	555.60	545.0	564.7	589.4
Esmeraldas	461.39	467.10	446.7	455.5	461.0
Guayas	3433.2	4,890.02	5037.0	4358.8	4350.9
Imbabura	222.4	265.68	266.3	259.7	266.8
Loja	233.581	206.86	235.6	240.4	252.2
Los Ríos	485.6	471.36	482.0	512.1	583.0
Manabí	1091.853	1,175.53	1157.3	1070.7	1067.3
Morona Santiago	71.77	65.42	67.3	53.9	25.5
Napo	58.75	68.50	70.4	67.3	69.4
Pastaza	38.77	40.52	49.1	52.2	57.8
Pichincha	2166.08	2,151.38	2176.0	2231.2	2504.5
Tungurahua	328	370.00	352.7	387.5	386.4
Zamora Chinchipe	32.619	38.81	40.8	35.6	38.3
Galápagos	24.2	24.20	29.6	24.0	31.9
Sucumbíos	106	124.81	105.8	106.5	108.2
Orellana	96.4	112.19	107.5	108.8	98.9
Santo Domingo	311.72	311.72	330.0	346.0	346.0
Santa Elena	249.7	249.70	292.0	272.0	299.0

Fuente: Adaptado de: (AME-INEC, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018).
Realizado por: Johnny Bayas, Jimmy Chimbolema

Apéndice 4-6 Indicador cantidades de residuos sólidos diferenciados recolectados al día (t/día) por provincias (Periodo 2014-2018)

PROVINCIA	2014		2015		2016		2017		2018	
	Cantidad	**% del total diario**	**Cantidad**	**% del total diario**	**Cantidad**	**% del total diario**	**Cantidad**	**% del total diario**	**Cantidad**	**% del total diario**
Azuay	123.89	20.1	361.96	65.20	60.3	14.5	467.1	93.4	487.9	95.4
Bolívar	11.2	16.8	22.00	32.11	20.8	29.0	16.1	23.0	37.1	52.3
Cañar	50.93	38.8	52.77	41.38	76.0	61.1	73.9	59.7	74.0	60.2
Carchi	27.43	33.0	35.26	37.02	15.0	15.7	15.3	16.5	36.9	38.7
Cotopaxi	29	13.2	29.00	15.05	23.0	11.8	5.9	3.1	6.1	3.1
Chimborazo	10.99	6.6	11.71	5.83	12.2	6.0	12.2	5.8	13.2	6.4
El Oro	69.74	13.7	36.00	6.48	20.4	3.7	24.6	4.4	6.6	1.1
Esmeraldas	96	20.8	97.00	20.77	106.0	23.7	106.0	23.3	-	-
Guayas	44.8	1.3	44.80	0.92	63.0	1.3	31.0	0.7	142.9	3.3
Imbabura	217.34	97.7	257.60	96.96	256.3	96.3	253.2	97.5	260.8	97.8
Loja	170.891	73.2	185.88	89.86	225.3	95.6	223.4	92.9	196.7	78.0
Los Ríos	0	0.0	-	-	40.1	8.3	-	-	-	-
Manabí	27.563	2.5	34.00	2.89	-	-	-	-	-	-
Morona Santiago	50.87	70.9	39.43	60.27	42.7	63.5	48.1	89.2	16.9	66.2
Napo	2.45	4.2	11.90	17.37	1.4	2.0	15.0	22.4	9.4	13.5
Pastaza	1	2.6	1.80	4.44	35.5	72.3	37.7	72.2	42.3	73.2
Pichincha	97.661	4.5	158.91	7.39	154.8	7.1	190.4	8.5	194.5	7.8
Tungurahua	39.5	12.0	6.00	1.62	34.8	9.9	35.3	9.1	33.2	8.6
Zamora Chinchipe	27.709	84.9	19.46	50.14	33.8	83.0	35.6	100.0	30.4	79.4
Galápagos	20.15	83.3	20.15	83.26	23.0	77.5	24.0	100.0	31.9	100.0
Sucumbíos	15.5	14.6	17.56	14.07	11.0	10.4	12.5	11.7	13.2	12.2
Orellana	0.48	0.5	0.60	0.53	.6	0.6	0.8	0.7	-	-
Santo Domingo	0	0.0	-	-	-	-	314.0	90.8	314.0	90.8
Santa Elena	0	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Adaptado de: (AME-INEC, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018).
Realizado por: Johnny Bayas, Jimmy Chimbolema

Apéndice 5-6 Indicador cantidades y proporciones de residuos orgánicos recuperados/tratados del total de residuos recolectados (t/mes) por provincias (Periodo 2014-2018)

Provincia	2014		2015		2016		2017		2018	
	Cantidad t/mes	% recolectado	Cantidad t/mes	% recolectado	Cantidad t/mes	% recolectado	Cantidad t/mes	% recolectado	Cantidad t/mes	% recolectado
Azuay	239.83	1.30	486.07	2.92	472.72	3.78	515.87	3.44	471.97	3.08
Bolívar	61.00	3.06	15.00	0.73	15.13	0.70	39.31	1.87	97.75	4.59
Cañar	225.12	5.72	223.50	5.84	188.35	5.05	246.00	6.62	389.51	10.56
Carchi	167.44	6.72	157.05	5.50	56.87	1.99	51.57	1.86	45.40	1.59
Cotopaxi	16.04	0.24	56.00	0.97	7.83	0.13	8.50	0.15	8.50	0.15
Chimborazo	122.25	2.46	143.76	2.39	120.51	1.98	17.22	0.27	126.87	2.04
El Oro	224.20	1.45	161.90	0.97	10.30	0.06	10.45	0.06	40.00	0.23
Esmeraldas	20.00	0.14	21.65	0.15	21.20	0.16	21.20	0.16	-	-
Guayas	615.00	2.61	638.00	0.43	22.59	0.01	138.81	0.11	98.73	0.08
Imbabura	555.80	8.23	662.59	8.31	666.85	8.35	745.28	9.57	734.86	9.18
Loja	238.90	3.59	219.59	3.54	161.32	2.28	27.77	0.39	289.50	3.83
Los Ríos	0.00	0.00	0.00	-	-	-	0.01	0.00	0.45	0.00
Manabí	17.20	0.05	2.14	0.01	3.89	0.01	0.27	0.00	31.00	0.10
Morona Santiago	155.54	7.22	195.29	9.95	102.88	5.10	101.70	6.29	50.23	6.56
Napo	3.01	0.17	14.18	0.69	16.30	0.77	8.43	0.42	20.22	0.97
Pastaza	54.42	4.68	54.40	4.48	27.05	1.84	32.61	2.08	49.36	2.85
Pichincha	105.48	0.16	161.91	0.25	112.94	0.17	164.34	0.25	156.05	0.21
Tungurahua	5.80	0.06	6.62	0.06	8.52	0.08	6.70	0.06	10.80	0.09
Zamora Chinchipe	136.07	13.90	98.33	8.45	59.66	4.88	50.08	4.69	68.25	5.94
Galápagos	74.85	10.31	98.20	13.53	81.54	9.17	20.30	2.82	82.23	8.58
Sucumbíos	100.84	3.17	143.42	3.83	28.11	0.89	45.47	1.42	40.63	1.25
Orellana	0.00	0.00	0.00	-	-	-	1.00	0.03	-	-
Santo Domingo	0.00	0.00	0.00	-	80.00	0.81	115.16	1.11	0.32	0.00
Santa Elena	0.00	0.00	0.00	-	-	-	0.00	0.00%	-	-

Fuente: Adaptado de: (AME-INEC, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018).
Realizado por: Johnny Bayas, Jimmy Chimbolema

Apéndice 6-6 Indicador sobre el costo de la Gestión Integral de Residuos Sólidos (USD/t) por provincias (Periodo 2014-2018)

Provincia	2014	2015	2016	2017	2018
Azuay	130.20	127.56	144.03	76.74	72.57
Bolívar	109.56	98.18	75.77	65.27	77.69
Cañar	105.96	111.45	114.00	98.04	160.56
Carchi	47.97	44.85	90.92	72.59	126.61
Cotopaxi	180.00	50.28	86.73	55.01	106.38
Chimborazo	67.71	56.77	75.99	66.24	68.49
El Oro	50.52	70.13	105.42	88.81	68.59
Esmeraldas	63.08	32.16	37.45	57.11	66.16
Guayas	70.44	34.00	32.08	32.37	44.48
Imbabura	57.97	81.01	67.25	63.33	54.91
Loja	66.59	89.98	82.68	95.65	75.35
Los Ríos	42.34	50.73	56.17	53.92	45.20
Manabí	69.01	46.78	52.32	52.58	65.08
Morona Santiago	175.76	102.01	109.34	139.68	236.79
Napo	64.54	73.89	75.99	86.92	91.15
Pastaza	278.29	301.11	195.15	79.87	77.31
Pichincha	574.61	57.51	56.12	120.57	101.22
Tungurahua	69.83	71.65	73.38	67.20	60.89
Zamora Chinchipe	139.15	133.91	128.63	180.89	177.54
Galápagos	244.53	244.53	233.58	199.64	166.06
Sucumbíos	90.97	103.29	93.26	90.79	92.08
Orellana	77.25	80.58	63.11	52.05	98.28
Santo Domingo	35.39	32.42	54.08	49.16	52.71
Santa Elena	36.53	35.81	39.41	58.97	45.43

Fuente: Adaptado de: (AME-INEC, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018).
Realizado por: Johnny Bayas, Jimmy Chimbolema

Apéndice 7-6 Costo por Gestión Integral de Residuos Sólidos recolectados (USD/mes) a nivel nacional y por provincias (Periodo 2014-2018)

	2014	2015	2016	2017	2018
Nacional	16963609.74	14,404,643.75	20,622,843.2	25651180.4	27569375.7
Azuay	1259056.07	280,568.53	1,804,741.6	1937918.8	1892830.0
Bolívar	188984.43	144,916.20	164,427.0	136729.7	164958.3
Cañar	379856.51	431,192.26	243,331.9	370436.4	569568.9
Carchi	79946.13	120,696.06	267,466.2	225694.9	368477.5
Cotopaxi	968833.08	319,754.73	498,590.5	535806.9	626373.8
Chimborazo	328865.06	304,711.09	451,152.7	429497.2	433359.8
El Oro	635981.53	1,035,120.21	1,723,785.6	1402832.3	1235819.0
Esmeraldas	751525.21	601,033.00	420,464.6	776359.4	914029.1
Guayas	1335465.51	1,477,369.70	4,837,151.4	4952549.5	7045814.0
Imbabura	380591.78	596,925.37	519,679.6	501697.2	426674.2
Loja	448485.94	490,305.44	542,903.7	701006.9	585165.1
Los Ríos	551967.69	452,487.63	641,310.2	655970.1	580661.8
Manabí	2202359.58	1,616,062.51	1,747,809.3	1686152.5	2267901.9
Morona Santiago	204712.36	212,832.59	220,563.2	228425.4	179950.7
Napo	101927.42	150,428.57	160,366.9	175056.5	190425.6
Pastaza	325230.25	339,410.00	293,426.6	128366.5	132452.4
Pichincha	4704901.32	3,610,861.15	3,576,498.2	8240021.5	7219626.5
Tungurahua	697766.64	810,700.15	764,353.5	779310.1	698269.0
Zamora Chinchipe	159400.64	169,124.19	158,160.7	190474.2	215938.0
Galápagos	169310.99	169,310.99	204,149.3	113234.5	159085.1
Sucumbíos	276043.16	314,516.34	293,251.5	289554.0	306916.2
Orellana	226987.78	216,717.04	205,461.3	169985.9	348611.2
Santo Domingo	326666.66	321,000.00	538,598.0	511098.2	556665.7
Santa Elena	258744.00	218,600.00	345,200.0	513002.0	449801.8

Fuente: Adaptado de: (AME-INEC, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018).
Realizado por: Johnny Bayas, Jimmy Chimbolema

Apéndice 8-6 Subsidio de la Gestión Integral de Residuos Sólidos recolectados (USD/mes) a nivel nacional y por regiones (Periodo 2014-2018)

Provincia	2014		2015		2016		2017		2018	
	Valor Subsidiado USD/mes	% de Subsidiado	Valor Subsidiado USD/mes	% de Subsidiado	Valor Subsidiado USD/mes	% de Subsidiado	Valor Subsidiado USD/mes	% de Subsidiado	Valor Subsidiado USD/mes	% de Subsidiado
NACIONAL	8240937.12	48.58	7,324,194.84	50.85	11,558,935.8	56.0	11258047.1	43.9	11517889.6	41.8
Azuay	-87332.28	-6.94	242,017.53	86.26	284,750.6	15.8	297459.1	15.3	287778.9	15.2
Bolívar	107441.42	56.85	115,278.99	79.55	134,303.8	81.7	106365.3	77.8	131074.8	79.5
Cañar	313530.43	82.54	342,455.83	79.42	208,645.4	85.7	199933.7	54.0	331437.3	58.2
Carchi	45457.38	56.86	76,270.85	63.19	221,642.8	82.9	174571.1	77.3	337287.3	91.5
Cotopaxi	789204.24	81.46	143,709.83	44.94	323,359.9	64.9	219315.6	40.9	167044.4	26.7
Chimborazo	218094.51	66.32	153,464.44	50.36	291,355.2	64.6	302670.6	70.5	303771.3	70.1
El Oro	178838.78	28.12	333,825.84	32.25	950,778.2	55.2	1030077.8	73.4	287900.7	23.3
Esmeraldas	579575.25	77.12	380,184.97	63.26	266,621.6	63.4	487532.3	62.8	636797.0	69.7
Guayas	747277.96	55.96	879,301.91	59.52	4,119,442.5	85.2	4286761.3	86.6	3028366.4	43.0
Imbabura	154598.12	40.62	340,431.64	57.03	271,877.8	52.3	234341.7	46.7	168401.5	39.5
Loja	372433.83	83.04	409,483.40	83.52	373,103.4	68.7	582803.7	83.1	454779.8	77.7
Los Rios	336980.97	61.05	386,765.32	85.48	484,596.3	75.6	506824.6	77.3	375745.0	64.7
Manabí	1575046.20	71.52	928,360.06	57.45	904,394.4	51.7	843923.3	50.1	1261630.0	55.6
Morona Santiago	173568.89	84.79	174,456.90	81.97	175,253.1	79.5	184513.6	80.8	141631.8	78.7
Napo	80730.26	79.20	123,665.07	82.21	120,007.9	74.8	146241.5	83.5	160557.3	84.3
Pastaza	306695.20	94.30	320,875.00	94.54	274,242.5	93.5	102725.1	80.0	107712.1	81.3
Pichincha	1017758.32	21.63	747,0	20.69	622,371.6	17.4	183660.5	2.2	1866437.7	25.9

			35.23							
Tungurahua	377367.55	54.08	399,467.86	49.27	445,293.6	58.3	430443.2	55.2	250778.3	35.9
Zamora Chinchipe	145257.93	91.13	149,109.59	88.17	137,922.7	87.2	166027.1	87.2	177105.5	82.0
Galápagos	87210.99	51.51	87,210.99	51.51	88,337.7	43.3	40234.5	35.5	50882.6	32.0
Sucumbíos	214206.14	77.60	221,232.34	70.34	210,158.3	71.7	211316.3	73.0	201277.9	65.6
Orellana	190629.62	83.98	166,391.25	76.78	155,105.2	75.5	100671.7	59.2	290748.6	83.4
Santo Domingo	132842.24	40.67	104,000.00	32.40	353,471.3	65.6	287763.2	56.3	333330.7	59.9
Santa Elena	183523.17	70.93	99,200.00	45.38	141,900.0	41.1	131870.5	25.7	165412.8	36.8

Fuente: Adaptado de: (AME-INEC, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018).
Realizado por: Johnny Bayas, Jimmy Chimbolema

Apéndice 9-6 Indicador (%), disposición final de los residuos sólidos a nivel nacional y por regiones (Periodo 2014-2018)

	2014			2015			2016			2017			2018		
Provincias	**Botadero**	**Celda emergente**	**Relleno sanitario**	**Botadero**	**Celda emergente**	**Relleno sanitario**	**Botadero**	**Celda emergente**	**Relleno sanitario**	**Botadero**	**Celda emergente**	**Relleno sanitario**	**Botadero**	**Celda emergente**	**Relleno sanitario**
Nacional	49.5	11.8	38.6	40.72	17.19	42.08	35.7	20.8	43.4	25.6	28.8	45.7	20.7	34.6	44.7
Azuay	0.0	6.7	93.3	13.33	6.67	80.00	13.3	6.7	80.0	6.7	6.7	86.7	7.1	7.1	85.7
Bolívar	42.9	57.1	0.0	42.86	57.14	-	42.9	57.1	0.0	42.9	57.1	-	14.3	85.7	-
Cañar	42.9	0.0	57.1	14.29	-	85.71	14.3	57.1	28.6	-	71.4	28.6	-	71.4	28.6
Carchi	16.7	0.0	83.3	0.00	-	100	0.0	0.0	100.0	-	-	100.0	-	-	100.0
Cotopaxi	71.4	0.0	28.6	42.86	28.57	28.57	14.3	57.1	28.6	-	71.4	28.6	-	71.4	28.6
Chimborazo	60.0	10.0	30.0	40.00	30	30	40.0	30.0	30.0	30.0	40.0	30.0	10.0	60.0	30.0
El Oro	35.7	35.7	28.6	21.43	28.57	50	28.6	21.4	50.0	28.6	14.3	57.1	21.4	28.6	50.0
Esmeraldas	85.7	0.0	14.3	57.14	14.29	28.57	57.1	14.3	28.6	57.1	14.3	28.6	57.1	14.3	28.6
Guayas	75.0	4.2	20.8	68.00	8	24	56.0	12.0	32.0	52.0	24.0	24.0	40.0	36.0	24.0
Imbabura	16.7	0.0	83.3	16.67	-	83.33	0.0	0.0	100.0	-	16.7	83.3	-	-	100.0
Loja	43.8	12.5	43.8	31.25	25	43.75	25.0	37.5	37.5	12.5	37.5	50.0	18.8	37.5	43.8
Los Ríos	84.6	7.7	7.7	92.31	7.69	-	84.6	15.4	0.0	46.2	46.2	7.7	38.5	61.5	-
Manabí	63.6	27.3	9.1	63.64	31.82	4.55	54.5	31.8	13.6	36.4	45.5	18.2	31.8	45.5	22.7
Morona Santiago	25.0	8.3	66.7	33.33	-	66.67	8.3	8.3	83.3	16.7	8.3	75.0	20.0	-	80.0
Napo	60.0	0.0	40.0	40.00	-	60	40.0	0.0	60.0	-	20.0	80.0	-	40.0	60.0
Pastaza	0.0	25.0	75.0	0.00	25	75	0.0	0.0	100.0	-	-	100.0	-	-	100.0
Pichincha	62.5	0.0	37.5	0.00	37.50	62.50	25.0	25.0	50.0	12.5	25.0	62.5	-	25.0	75.0
Tungurahua	66.7	11.1	22.2	44.44	11.11	44.44	33.3	22.2	44.4	11.1	44.4	44.4	11.1	44.4	44.4

Zamora Chinchipe	22.2	0.0	77.8	22.22	11.11	66.67	33.3	0.0	66.7	12.5	-	87.5	-	22.2	77.8
Galápagos	66.7	0.0	33.3	66.67	-	33.33	33.3	33.3	33.3	0.0	50.0	50.0	-	50.0	50.0
Sucumbíos	28.6	14.3	57.1	14.29	28.57	57.14	14.3	14.3	71.4	14.3	28.6	57.1	14.3	28.6	57.1
Orellana	75.0	0.0	25.0	75.00	-	25	75.0	0.0	25.0	75.0	-	25.0	75.0	-	25.0
Santo Domingo	0.0	50.0	50.0	0.00	50	50	0.0	50.0	50.0	-	50.0	50.0	-	50.0	50.0
Santa Elena	100.0	0.0	0.0	100.00	-	-	100.0	0.0	0.0	100.0	-	-	100.0	-	-

Fuente: Adaptado de: (AME-INEC, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018).
Realizado por: Johnny Bayas, Jimmy Chimbolema