



UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Maestría en Ciencias Ambientales

Propuesta de generación eléctrica a partir de biomasa en la provincia de Loja - Ecuador

Tesis presentada para optar al título de Magíster de la Universidad de Buenos Aires en Ciencias Ambientales

Rodman Andrés Salazar Poma

Director de Tesis: Ing. Agr. Mg. Ernesto Gustavo Pirillo

Buenos Aires, 2.019

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación es dedicado primeramente a mis padres de quienes he tenido el apoyo permanente en todas las etapas de mi vida y de quienes estoy profundamente agradecido y orgulloso, a Nathaly mi esposa, quien con amor y paciencia me ha dado ese gran apoyo moral y técnico necesario para el fortalecimiento del presente trabajo de investigación.

A mis hermanos, familiares, amigos y demás personas que aportaron de alguna manera para que el trabajo se desarrolle de la mejor manera.

AGRADECIMIENTOS

Mis sinceros agradecimientos a:

- A la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad de Buenos Aires, Argentina, directivos y profesores por la organización del programa de maestría en Ciencias Ambientales, y por ser la sede de todo el conocimiento adquirido en estos años.
- MgSc. Ernesto Pirillo, quien ha sido el profesor guía en el desarrollo del presente trabajo.
- A mis compañeros de la Maestría en Ciencias Ambientales quienes con su conocimiento y profesionalismo hicieron que el periodo de estudios sea más enriquecedor.
- Al Instituto de Fortalecimiento al Talento Humano del Gobierno de Ecuador y a la Secretaría de Educación Superior Ciencia y Tecnología del Ecuador, por permitirme ser parte del programa de becas y continuar con mi preparación académica en el exterior.

Propuesta de generación eléctrica a partir de biomasa en la provincia de Loja - Ecuador

RESUMEN

Ecuador es un país eminentemente agropecuario, con una producción agrícola de 20'483.220 toneladas de diversos cultivos y aproximadamente 31' 873.135 cabezas de ganado avícola, vacuno y porcino, la cual es destinada para consumo interno y exportación (ESIN, 2.014); los residuos de dicha producción están subutilizados en el país, lo que ha ocasionado problemas ambientales como: la generación de contaminantes atmosféricos al quemar la biomasa a cielo abierto, efluentes líquidos y gaseosos al depositarla en sitios clandestinos o en rellenos sanitarios, así como también la proliferación de vectores, entre otros.

Tomando en cuenta esta problemática se plantea la presente investigación que pretende determinar el volumen de producción de biomasa agrícola y pecuaria, y calcular su potencial de generación eléctrica, para con esta información proponer tecnologías de aprovechamiento de la biomasa existente en la provincia de Loja, mediante el emplazamiento de una planta de generación eléctrica que promueva el desarrollo de energías renovables en el país, y permitan convertir el residuo (biomasa residual) en un recurso (energía eléctrica, calor), constituyéndose en una alternativa viable que genere impactos positivos en los aspectos: ambientales (reduciendo la generación de óxidos de azufre, partículas contaminantes y permita optimizar el uso del suelo), sociales (mediante la generación de fuentes de empleo en el área de influencia directa e indirecta del proyecto) y económicos (reduciendo los costos de gestión de residuos y obteniendo recursos económicos resultantes de la venta de productos principales y secundarios como producto de la implementación de este tipo de proyectos).

Palabras clave: biomasa residual, energía renovable, potencial de generación eléctrica, poder calorífico inferior, impacto ambiental, plan de manejo ambiental.

Electrical generation proposal from biomass in the province of Loja, Ecuador

ABSTRACT

Ecuador is an eminently agricultural country, with an agricultural production of 20'483.220 tons of crops and approximately 31'873.135 head of poultry, cattle and pigs, which is destined for internal consumption and export (ESIN, 2.014); The waste from this production is underutilized in the country, which has caused environmental problems such as: the generation of air pollutants by burning open pit biomass, liquid and gaseous effluents when deposited in clandestine sites or sanitary landfills, as well as vector proliferation, among others.

Taking into account this problem, the present research is proposed, which aims to determine the volume of agricultural and livestock biomass production, and calculate its potential for electricity generation, with this information propose technologies for the use of biomass existing in the province of Loja, through the location of a power generation plant that promotes the development of renewable energy in the country, and that allows converting the waste (residual biomass) into a resource (electrical energy, heat), becoming a viable alternative that generates positive impacts on the aspects: environmental (reducing the generation of sulfur oxides and polluting particles and optimizing land use), social (generating sources of employment in the area of direct and indirect influence of the project) and economic (rreducing waste management costs and obtaining economic resources resulting from the sale of main and secondary products as a result of the implementation of these types of projects) .

Key words: residual biomass, renewable energy, power generation potential, lower calorific value, environmental impact, environmental management plan.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 CUMBRES MUNDIALES Y CONFERENCIAS DE LAS PARTES	4
1.1.1 CUMBRE DE LA TIERRA ESTOCOLMO -1972-.....	4
1.1.2 CUMBRE DE LA TIERRA RIO DE JANEIRO -1992-.....	4
1.1.3 CUMBRE DE LA TIERRA DE JOHANNESBURGO -2002-.....	5
1.1.4 CONFERENCIAS DE LAS PARTES (COP).....	6
2. OBJETIVOS.....	11
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	11
3. REVISIÓN DE BIBLIOGRAFÍA	12
3.1 BIOMASA.....	12
3.1.1 TIPOS DE BIOMASA VEGETAL.....	12
3.2 ENERGÍA.....	12
3.3 CONVERSIÓN ENERGÉTICA.....	13
3.4 TIPOS DE FUENTES ENERGÉTICAS	13
3.4.1 FUENTES DE ENERGÍA NO RENOVABLE.....	13
3.4.2 FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE.....	13
3.4.2.1 ENERGÍA SOLAR TÉRMICA.....	14
3.4.2.2 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	14
3.4.2.3 ENERGÍA GEOTÉRMICA	15
3.4.2.4 HIDROELECTRICIDAD.....	15
3.4.2.5. ENERGÍA MAREOMOTRIZ.....	15
3.4.2.6. ENERGÍA EÓLICA.....	15
3.4.2.7. BIOENERGÍA	16
3.5 MÉTODOS DE APROVECHAMIENTO	16
3.5.1 MÉTODOS TERMOQUÍMICOS.....	17
3.5.1.1 COMBUSTIÓN.....	17
3.5.1.2 GASIFICACIÓN	17
3.5.1.3 PIRÓLISIS	19
3.5.2 MÉTODOS BIOQUÍMICOS.....	19
3.5.2.1 FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA	19
3.5.2.2 DIGESTIÓN ANAEROBIA	20
4. METODOLOGÍA	20
4.1 ÁREA DE ESTUDIO.	20
4.2 IDENTIFICACIÓN DE FUENTES DE BIOMASA RESIDUAL	22
4.3 CARACTERIZACIÓN DE BIOMASA RESIDUAL Y POTENCIAL DE GENERACIÓN ELÉCTRICA	23
4.3.1 ANÁLISIS ELEMENTAL:.....	24
4.3.2 ANÁLISIS PRÓXIMO	24
4.3.3 ANÁLISIS DE LOS COMPONENTES (ESTRUCTURAL)	24
4.3.4 POTENCIAL DE GENERACIÓN ELÉCTRICA.....	24
4.4 MÉTODO DE APROVECHAMIENTO DE BIOMASA RESIDUAL	26
4.5 EMPLAZAMIENTO DE UNA PLANTA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA	26
4.6. FACTIBILIDAD PARA LA IMPLANTACIÓN DE UNA PLANTA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	27
5. RESULTADOS	28
5.1 PRODUCCIÓN DE BIOMASA RESIDUAL EN ECUADOR.....	28
5.1.1 PRODUCCION DE BIOMASA RESIDUAL AGRÍCOLA	29
5.1.2 PRODUCCIÓN DE BIOMASA RESIDUAL PECUARIA.....	30
5.2 POTENCIAL DE GENERACIÓN ELÉCTRICA DE BIOMASA RESIDUAL EN ECUADOR	33
5.2.1 POTENCIAL DE GENERACIÓN ELÉCTRICA AGRICOLA (PE) ECUADOR	34
5.2.1.1 ESMERALDAS.....	35
5.2.1.2 GUAYAS.....	36
5.2.1.3 LOS RÍOS.....	36
5.2.2 POTENCIAL DE GENERACIÓN ELÉCTRICA PECUARIA (PE) - ECUADOR.....	36
5.3 PRODUCCIÓN DE BIOMASA RESIDUAL EN LA PROVINCIA DE LOJA	38
5.3.1 PRODUCCIÓN DE BIOMASA RESIDUAL AGRÍCOLA EN LA PROVINCIA DE LOJA	39
5.3.2 CARACTERIZACIÓN DE BIOMASA RESIDUAL AGRÍCOLA	49
5.3.2.1 ANÁLISIS ELEMENTAL.....	49

5.3.2.2 ANALISIS PRÓXIMO	50
5.3.2.3 ANÁLISIS DE LOS COMPONENTES	50
5.3.3 PRODUCCION DE BIOMASA RESIDUAL PECUARIA EN LA PROVINCIA DE LOJA.....	51
5.3.3.1 BIOMASA RESIDUAL PECUARIA DE PRODUCCIÓN AVÍCOLA.....	52
5.3.3.2 BIOMASA RESIDUAL PECUARIA DE GANADO PORCINO	53
5.3.3.3 BIOMASA RESIDUAL AGRÍCOLA DE GANADO VACUNO PARA LA OBTENCIÓN DE CARNE	55
5.3.3.4 BIOMASA RESIDUAL PECUARIA DE GANADO VACUNO PARA LA OBTENCIÓN DE LECHE.....	56
5.3.4 POTENCIAL DE GENERACIÓN ELÉCTRICA DE BIOMASA RESIDUAL (PE) EN LA PROVINCIA DE LOJA	58
5.3.4.1 POTENCIAL DE GENERACIÓN ELÉCTRICA DE BIOMASA RESIDUAL AGRÍCOLA.....	60
5.3.4.2 POTENCIAL DE GENERACIÓN ELÉCTRICA DE BIOMASA RESIDUAL PECUARIA	61
5.4 EMPLAZAMIENTO DE LA PLANTA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA PROVINCIA DE LOJA.....	62
5.5 FACTIBILIDAD PARA EL EMPLAZAMIENTO DE LA PLANTA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA PROVINCIA DE LOJA	67
5.5.1 ASPECTOS AMBIENTALES	67
5.5.1.1 CALIDAD DE AIRE.....	68
5.5.1.2 CALIDAD DEL AGUA.....	71
5.5.1.3 CALIDAD DEL SUELO.....	71
5.5.1.4 CALIDAD DE FLORA, FAUNA Y PAISAJE	71
5.5.2 ASPECTOS SOCIALES.....	71
5.5.3 PLAN DE MANEJO AMBIENTAL.....	72
5.5.3.1 PLAN DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE IMPACTOS	72
5.5.3.2 PLAN DE CONTINGENCIAS.....	73
5.5.3.3 PLAN DE CAPACITACIÓN	73
5.5.3.4 PLAN DE SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL.	73
5.5.3.5 PLAN DE MANEJO DE DESECHOS;	74
5.5.3.6 PLAN DE RELACIONES COMUNITARIAS	75
5.5.3.7 PLAN DE MONITOREO Y SEGUIMIENTO	75
5.5.3.7a MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA.....	75
5.5.3.7a1 MEDIDAS PARA CONTROLAR LA CALIDAD DEL AGUA	77
5.5.3.7b MONITOREO CALIDAD DE AIRE	77
5.5.3.7b1 MEDIDAS PARA CONTROLAR LA CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE	79
5.5.3.7c MONITOREO DE RUIDO	83
5.5.3.7c1 MEDIDAS PARA CONTROLAR LA CONTAMINACIÓN POR RUIDO	83
5.5.3.8 PLAN DE ABANDONO Y ENTREGA DEL ÁREA.....	84
5.6 ASPECTOS ECONÓMICOS	84
5.6.1 Gases de Efecto Invernadero (GEI) evitados	85
5.6.2 Costos evitados por la gestión de la biomasa residual.....	86
5.6.3 Costos evitados por remediación ambiental.....	86
5.7 ESTUDIOS DE CASO	86
5.7.1 CENTRAL DE CAPTACIÓN DE BIOGAS PICHACAY	86
5.7.2 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA COGASIFICACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN ECHEANDÍA PROVINCIA DE BOLÍVAR.	88
5.8 FINANCIAMIENTO	89
5.8.1 PROGRAMAS INTERNACIONALES	90
5.8.2 INICIATIVAS PRIVADAS EN ECUADOR.....	92
6. CONCLUSIONES.....	95
7. RECOMENDACIONES.....	97
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Efectos del cambio climático

Tabla 2. Conferencias de las partes (COPs periodo 1979 – 2.018)

Tabla 3. Energía entregada para servicio público. Abril 2.019

Tabla 4. Uso de suelo en Loja

Tabla 5. PCI agrícola y pecuario

Tabla 6. Biomasa residual agrícola y biomasa residual pecuaria en Ecuador

Tabla 7. Generación de Biomasa residual agrícola en Ecuador

Tabla 8. Producción de biomasa residual pecuaria por provincias en Ecuador

Tabla 9. Cultivos de producción de biomasa residual pecuaria en Ecuador

Tabla 10. Potencial de generación eléctrica agrícola en Ecuador

Tabla 11. Potencial de generación eléctrica pecuaria en Ecuador

Tabla 12. Producción de biomasa residual agrícola y pecuaria en la provincia de Loja

Tabla 13. Producción de biomasa residual agrícola en la provincia de Loja

Tabla 14. Cantones con mayor producción de BRA de arroz en la provincia de Loja

Tabla 15. Cantones con mayor producción de BRA de banano en la provincia de Loja

Tabla 16. Cantones con mayor producción de BRA de café en la provincia de Loja

Tabla 17. Cantones con mayor producción de BRA de caña de azúcar en la provincia de Loja

Tabla 18. Cantones con mayor producción de BRA de maíz duro en la provincia de Loja

Tabla 19. Análisis elemental de la BRA de los principales cultivos en la provincia de Loja

Tabla 20. Análisis próximo de la BRA de los principales cultivos en la provincia de Loja

Tabla 21. Análisis de los componentes de la BRA de los principales cultivos en la provincia de Loja

Tabla 22. Producción de BRP en la provincia de Loja

Tabla 23. Cantones con mayor producción de BRP avícola en la provincia de Loja

Tabla 24. Cantones con mayor producción BRP porcino en la provincia de Loja

Tabla 25. Cantones con mayor producción de BRP de ganado vacuno (carne) en la provincia de Loja

Tabla 26. Cantones con mayor producción de BRP de ganado vacuno (leche) en la provincia de Loja

Tabla 27. Porcentaje de humedad por tipo de producción

Tabla 28. Generación Eléctrica de la Biomasa Residual Agrícola (BRA) en la provincia de Loja

Tabla 29. Generación Eléctrica de la Biomasa Residual Pecuaria (BRP) en la provincia de Loja

Tabla 30. Potencial de Generación de energía eléctrica de BRA en la provincia de Loja

Tabla 31. Potencial de Generación de energía eléctrica de BRP en la provincia de Loja

Tabla 32. Distancias a capitales provinciales cercanas desde Catamayo, Macará y Zapotillo

Tabla 33. Identificación de impactos ambientales potenciales

Tabla 34. Afectaciones a la salud humana y al ambiente

Tabla 35. Colores para recipientes de desechos sólidos

Tabla 36. Niveles máximos de contaminación sobre calidad ambiental de agua y descarga de efluentes

Tabla 37. Límites máximos permisibles de concentración de contaminantes al aire por fuentes fijas

Tabla 38. Límites máximos permisibles de concentración de contaminantes al aire para motores de combustión interna

Tabla 39. Niveles de alerta, alarma y emergencia de contaminantes

Tabla 40. Tecnologías de aplicación según el contaminante generado

Tabla 41. Niveles máximos de emisión de ruido para fuentes fijas

Tabla 42. Ingresos operativos anuales del consorcio EBE

Tabla 43. Ingresos percibidos por EMAC

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

- Ilustración 1. Promedio global de concentraciones de GEI; emisiones antropogénicas globales de CO₂
- Ilustración 2. Promedio global de temperaturas y promedio del cambio del nivel del mar
- Ilustración 3. Producción de energía comparando las Energías Renovables y otras opciones de producción
- Ilustración 4. Centrales de generación de energías renovables en la provincia de Loja
- Ilustración 5. Proceso de conversión energética
- Ilustración 6. Elementos de un captador térmico
- Ilustración 7. Célula solar fotovoltaica
- Ilustración 8. Partes de un aerogenerador
- Ilustración 9. Gasificadores de lecho fluidizo, burbujeante (derecha), circulante (izquierda)
- Ilustración 10. Muestreo de Marcos de Áreas (MMA) (izquierda); y Muestreo de Marco de Lista (derecha)
- Ilustración 11. Usos y aprovechamiento de biomasa húmeda y biomasa seca
- Ilustración 12. Provincias de mayor generación de BRA en Ecuador
- Ilustración 13. Provincias de mayor generación de BRP en Ecuador
- Ilustración 14. Potencial de generación eléctrica agrícola en Ecuador
- Ilustración 15. Potencial de generación eléctrica agrícola de la provincia de Esmeraldas
- Ilustración 16. Potencial de generación eléctrica agrícola de la provincia del Guayas
- Ilustración 17. Potencial de generación eléctrica agrícola de la provincia de Los Ríos
- Ilustración 18. Potencial de generación eléctrica pecuaria en Ecuador
- Ilustración 19. Cantones de la provincia de Loja con mayor producción de BRA
- Ilustración 20. Cantones con mayor producción de BRA de arroz en la provincia de Loja
- Ilustración 21. Cantones con mayor producción de BRA de banano en la provincia de Loja
- Ilustración 22. Cantones con mayor producción de café en la provincia de Loja
- Ilustración 23. Cantones con mayor producción de BRA de caña de azúcar en la provincia de Loja
- Ilustración 24. Cantones con mayor producción de BRA de maíz duro en la provincia de Loja
- Ilustración 25. Cantones con mayor producción de BRP en la provincia de Loja
- Ilustración 26. Cantones con mayor producción BRP avícola en la provincia de Loja
- Ilustración 27. Cantones con mayor producción de BRP porcina en la provincia de Loja
- Ilustración 28. Cantones con mayor producción de BRP de ganado vacuno (carne) en la provincia de Loja
- Ilustración 29. Cantones con producción de BRP de ganado vacuno (leche) en la provincia de Loja
- Ilustración 30. Cantones con mayor potencial de generación eléctrica agrícola en la provincia de Loja
- Ilustración 31. Cantones con mayor PCI de BRP en la provincia de Loja
- Ilustración 32. Ubicación de subestaciones en la provincia de Loja

FE DE ERRATAS:

En la página 22, segundo párrafo dice: “Además, se realizó una Evaluación de Impacto Ambiental ...” y debería decir “Además, se realizó una Identificación Preliminar de Impactos Ambientales Potenciales ...”

1. INTRODUCCIÓN

La energía eléctrica ha sido sujeto de experimentación y desarrollo a lo largo de la historia, es así que el inicio de su utilización para alumbrado público y domiciliario como lo conocemos, se ha dado mediante la invención de varios tipos de lámparas incandescentes que carecían de uso práctico, tenían corta duración de encendido, eran costosas, y no eran lo suficientemente confiables para su operación; por lo tanto, no eran artículos comerciales, hasta que en 1.875 el ruso Pavel Jablochhoff diseñó una lámpara de arco en base a dos barras de carbono aisladas por caolín, este sistema permitió que París cuente con iluminación en centros comerciales, puentes y calles (Howell & Schroeder, 1.927).

Posteriormente, Joseph Wilson Swan en 1.878 inventó en Inglaterra la bombilla eléctrica incandescente tomando como base un filamento de nitrocelulosa; y, en 1.979 Thomas Alva Edison, perfeccionó dicha bombilla reemplazando la nitrocelulosa por filamento de ceniza de algodón.

Entre otros de los grandes descubrimientos que permitieron el desarrollo de la energía eléctrica realizados a finales del siglo XIX, es necesario destacar la primera central de corriente alterna por parte de Nikola Tesla (Jarabo, F, *et al.* 1.988), la cual permitió a Londres y a Nueva York acoplar los primeros sistemas eléctricos públicos del mundo desde 1.881.

En Latinoamérica los países pioneros en implementar estos sistemas, fueron: Chile y Brasil en 1.883, Costa Rica en 1884, y Argentina en 1.886; por su parte Ecuador contó con alumbrado público a partir de 1897 (Tafunell, 2.011).

El desarrollo de estos inventos que ya utilizaban como fuente de energía a los combustibles fósiles, sumado al crecimiento poblacional, trajo consigo un notable incremento en los requerimientos energéticos de la población, de manera que fue necesario cuadruplicar la producción de petróleo, duplicar la de carbón, y triplicar la producción de energía eléctrica desde inicios del siglo XX (Jarabo, F, *et al.* 1.988), produciendo el aumento de gases de efecto invernadero, término originado en 1827 por el francés Jean Baptiste Fourier, al observar que el dióxido de carbono retiene el calor de la atmósfera.

Desde mediados del siglo XIX se han llevado a cabo investigaciones relacionadas a la concentración de gases en la atmósfera, es así que John Tyndall en 1.859 identificó que algunas moléculas complejas tenían la propiedad de absorber radiación térmica, señalando que los

cambios en la concentración de agua o dióxido de carbono, podrían haber producido las “mutaciones climáticas” estudiadas por los geólogos; en 1.895 Svante Arrhenius expresó que un incremento o reducción de las cantidades de dióxido de carbono en la atmósfera puede traer consigo retroceso o avance de los glaciares (Le Treut, et al. 2.007)

En la década de 1.970 se reconoció como gases de efecto invernadero el metano, óxido nitroso y clorofluorocarbonatos, al igual que los aerosoles sulfatados, cuya generación está vinculada directamente a las actividades humanas (Le Treut, et al. 2.007) tanto industriales como domiciliarias que utilizan como base de su funcionamiento a los combustibles fósiles (Charlson, et al. 1.990), mismos que ocurren a merced de una creciente y permanente demanda de recursos naturales, provocando afectaciones severas al ambiente, tales como: explotación selectiva de especies, destrucción de ecosistemas naturales, contaminación de suelos, agua y aire, entre otras (IPCC, 2.002)(Ilustración 1).

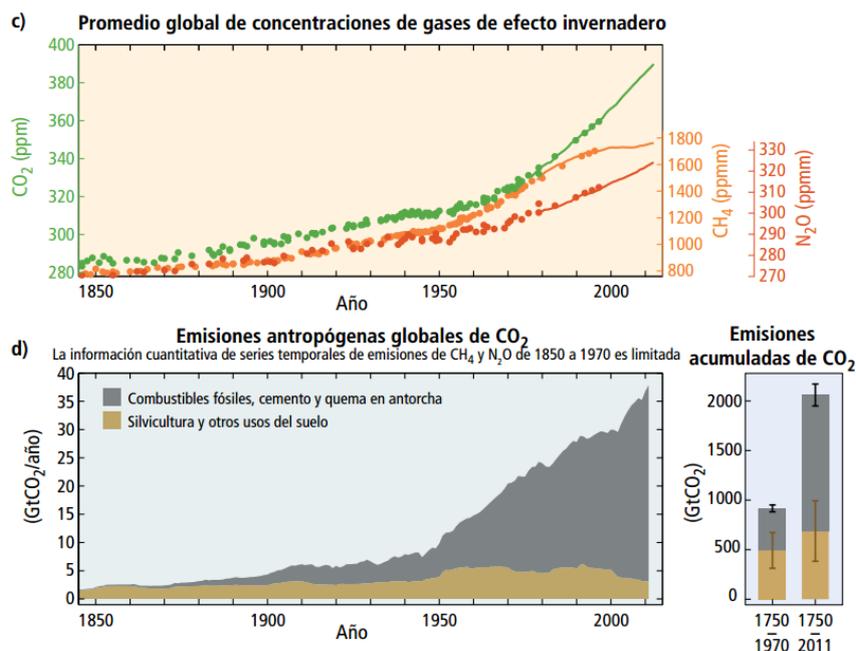


Ilustración 1. Promedio global de concentraciones de GEI; emisiones antropogénicas globales de CO₂
Fuente: (IPCC, 2.014)

Las actividades humanas se encuentran entre las principales causas del calentamiento global (Hegerl, et al. 2.007) observado a partir de la segunda mitad del siglo XX, en donde se registró un incremento de 0,85°C de temperatura terrestre y oceánica en el período 1.983-2.012, siendo el más cálido de los últimos 1.400 años en el hemisferio norte, tal como se muestra en la Ilustración 2 (IPCC, 2.014).

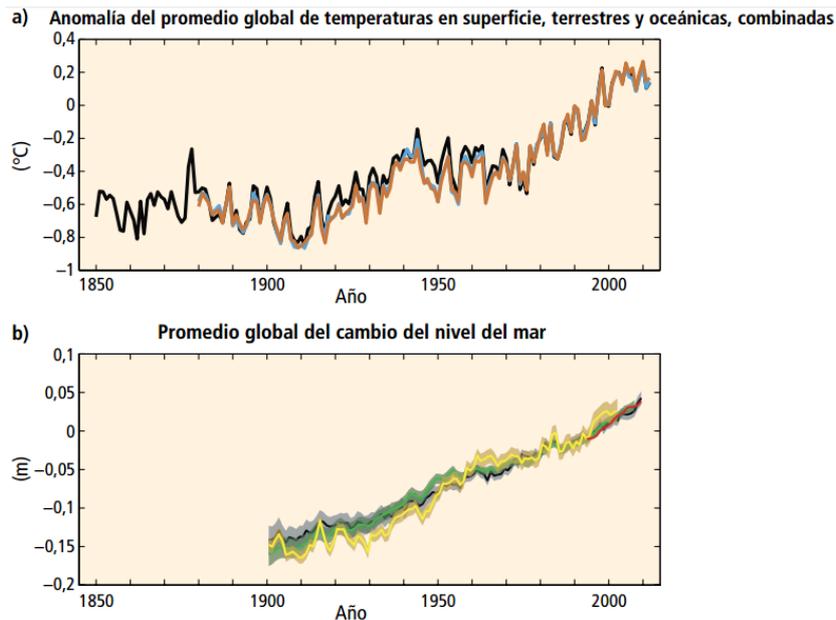


Ilustración 2. Promedio global de temperaturas y promedio del cambio del nivel del mar
Fuente: (IPCC, 2.014)

Tomando en consideración las alteraciones a los ecosistemas y los cambios climáticos (Tabla 1) ocasionados por el incremento desmedido del uso de combustibles fósiles como fuente principal de energía para las actividades humanas, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) desde 1.972 ha venido organizando reuniones con los representantes de todos los países del mundo, mediante la conformación de encuentros denominados “Cumbres de la Tierra” y “Conferencias de las Partes” (COP), cuyo objetivo principal ha sido impulsar la generación de espacios de reunión para proponer acciones que permitan reducir las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, estableciendo plazos de cumplimiento (Naciones Unidas, 1.992).

EFEECTO	PERIODO	NIVEL DE CONFIANZA	DATOS
Temperatura de la superficie terrestre y oceánica (combinados y promediados globalmente)	1.880 - 2.012	MEDIO	Calentamiento 0,85 [0,65 a 1,06] °C
Calentamiento del océano	1.971 - 2.010	ALTO	Calentamiento 75 metros superiores 0,11 [0,09 a 0,13] °
Cambios de salinidad en la superficie del océano	1.950 - 2.014	MEDIO	Aumento de salinidad, donde predomina la evaporación. Desalinización donde predomina la precipitación
Acidificación -Incorporación de CO ₂ al océano-	1.950 - 2.014	ALTO	Disminución del ph del agua en 0.1 (26% aumento de acidez)
Disminución de superficie media anual del hielo marino en el Ártico	1.979 - 2.012	ALTO (verano)	Pérdida entre 3,5% - 4,1% por decenio
Aumento de extensión media anual de hielo marino en Antártida	1.979 - 2.012	ALTO	Aumento de extensión en unas zonas y disminución en otras.
Nivel medio global del mar	1.901-2.010	ALTO	El nivel medio del mar se elevó 0,19 [0,17 a 0,21] m

Tabla 1. Efectos del cambio climático
Fuente: (IPCC, 2.014)

1.1 CUMBRES MUNDIALES Y CONFERENCIAS DE LAS PARTES

1.1.1 CUMBRE DE LA TIERRA ESTOCOLMO -1972-

Las Naciones Unidas convocaron esta conferencia con el objetivo de encontrar las mejores iniciativas para reducir la caza ilegal de ballenas, la contaminación química, y analizar efectos de las pruebas de bombas atómicas, entre otras cuestiones referentes al tema ambiental, marcando un punto inicial de cambio para el desarrollo de políticas ambientales con ámbito internacional.

La conferencia se realizó ante representantes de 113 países, 19 organismos intergubernamentales y otras organizaciones; fue reconocida como el comienzo de la conciencia política moderna y pública de los problemas ambientales globales, obteniendo como resultado una Declaración sobre Medio Ambiente Humano, que contenía principios sobre el medio ambiente y desarrollo, un plan de acción y postulados no vinculantes, que provocaron un gran impacto en la conciencia ambiental de la población, promoviendo importantes modificaciones a nivel mundial.

1.1.2 CUMBRE DE LA TIERRA RIO DE JANEIRO -1992-

En la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro, participaron 172 gobiernos, entre ellos 108 jefes de Estado, y cerca de 2.400 representantes de organizaciones no gubernamentales (ONG), en donde se abordaron principalmente los siguientes temas:

- Patrones de producción — Ejecutar auditorías de manera sistemática por parte de Naciones Unidas y gobiernos, a los procesos productivos que contengan residuos contaminantes, por ejemplo, el contenido de plomo en la gasolina.
- Proponer fuentes alternativas de energía para reemplazar el uso de combustibles fósiles, vinculados al cambio climático global (Ilustración 3).
- Apoyar los sistemas de transporte público con el objetivo de reducir las emisiones de los vehículos, la congestión en las ciudades y los problemas de salud causados por la polución y el smog.
- La necesidad de crear mayor conciencia y preocupación por la creciente escasez de agua.

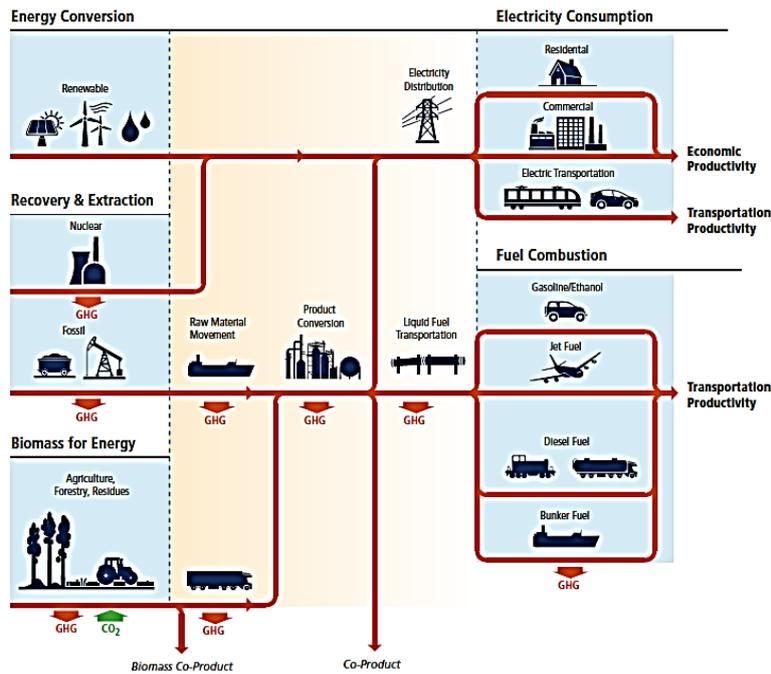


Ilustración 3. Producción de energía comparando las Energías Renovables y otras opciones de producción
 Fuente: (Arvizu, et al. 2.011).

Los principales documentos que resultaron de ejecutar la conferencia se mencionan a continuación:

- Declaración de Río de Janeiro sobre Medio Ambiente y Desarrollo.
- Agenda 21.
- Convención sobre la diversidad biológica.
- Declaración sobre los bosques y masas forestales.
- Convención Marco sobre el Cambio Climático.

1.1.3 CUMBRE DE LA TIERRA DE JOHANNESBURGO -2002-

En la Cumbre de la Tierra de Johannesburgo participaron alrededor de 180 gobiernos, y se acordó mantener los esfuerzos para promover el desarrollo sostenible, mejorar la vida de las personas que viven en pobreza y revertir la continua degradación del ambiente a escala mundial; con el propósito de establecer compromisos y asociaciones para alcanzar resultados medibles en el corto plazo.

El principal objetivo de la cumbre fue renovar el compromiso político asumido en Río de Janeiro 1.992 sobre las acciones ambientales a tomar en cuenta para cambiar el futuro del planeta, mediante la ejecución de diversos programas que se ajustaban a lo que se conoce como "desarrollo sostenible".

1.1.4 CONFERENCIAS DE LAS PARTES (COP)

Además de las Cumbres de la Tierra, se han llevado a cabo convenciones intergubernamentales para elegir las mejores alternativas que permitan reducir las afectaciones provocadas por acción antrópica; entre ellos, se mencionan las más importantes:

<u>Conferencia Mundial sobre el Clima (Ginebra)</u>	<u>1.979</u>	El principal resultado fue considerar al cambio climático como una amenaza ambiental para el planeta; se adoptó una declaración donde se estimulaba a los gobiernos a prevenir y evitar los posibles cambios en el clima provocados por la actividad humana.
<u>Creación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC)</u>	<u>1.988</u>	Las Naciones Unidas mediante la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, crearon el IPCC con el aporte de 400 científicos, que llegaron a la conclusión de que la reducción de las emisiones de GEI, detendría el calentamiento global. Se llegó al compromiso de la presentación de informes de evaluación periódicos que incluyan una evaluación técnica y científica completa sobre el cambio climático.
<u>Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático en Kyoto (COP3)</u>	<u>1.997</u>	<u>Establecimiento del Protocolo de Kyoto:</u> Los países industrializados adquirieron compromisos concretos para reducir las emisiones contaminantes de los seis gases que potenciaban el Efecto Invernadero (dióxido de carbono, gas metano, óxido nitroso, perfluorocarbonos, hexafluoruro de azufre e hidrofluorocarburos) durante el periodo 2.008-2.012, y de esta manera se buscaba reducir 5,2% la contaminación atmosférica con relación a las emisiones de 1.990.
<u>Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático en Bali (COP13)</u>	<u>2.007</u>	Se inició el proceso que permitió acordar un segundo plazo para el cumplimiento de lo acordado en el Protocolo de Kyoto con vigencia entre 2.012 y 2.020, ya que no se lograron los objetivos planteados, debido a que los compromisos resultaron ineficientes.
<u>Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático en Copenhague (COP15)</u>	<u>2.009</u>	Se logró fijar como límite del incremento de temperatura media global en 2°C; sin embargo, no se especificó la forma en que se alcanzaría esta meta en términos prácticos. Adicionalmente se hizo referencia de mantener el incremento de la temperatura bajo los 1,5°C, petición realizada por los países en desarrollo y en estado vulnerable.
<u>Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático en Cancún (COP16)</u>	<u>2.010</u>	Se creó el Fondo Verde para el Clima con el fin de proveer financiamiento tanto a proyectos como a actividades para países en vías de desarrollo. Adicionalmente se acordó en Cancún el cumplimiento de metas hasta 2.012 mediante un mecanismo tecnológico que permita promover la innovación, desarrollo y difusión de tecnologías sin afectar en gran medida al ambiente.
<u>Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático en Durban (COP17)</u>	<u>2.011</u>	Los principales emisores de Gases de Efecto Invernadero: EE.UU. y los países de reciente industrialización - Brasil, China, India y Sudáfrica- estuvieron dispuestos a iniciar un proceso hasta 2.015 donde se definiría un acuerdo vinculante de protección climática.
<u>Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático en Doha (COP18)</u>	<u>2.012</u>	Se enfatizó la necesidad de reducir considerablemente la generación de GEI lanzando un nuevo periodo para el cumplimiento de los objetivos planteados en Kyoto.

		Además, se comprometió apoyo financiero-tecnológico para la inversión en tecnologías limpias y crecimiento sostenible direccionado a los países en vías de desarrollo.
<u>Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático en Varsovia (COP19)</u>	<u>2.013</u>	Se tomaron decisiones sobre la forma de sumar esfuerzos entre naciones para reducir las emisiones contaminantes, desarrollando al mismo tiempo capacidad de adaptación y estimulando la ejecución de acciones de forma efectiva. En esta cumbre <u>Ecuador</u> realizó una propuesta denominada <u>Emisiones Netas Evitadas</u> la cual pretendía eliminar los proyectos que pueden generar emisiones contaminantes, a cambio de la donación de incentivos económicos de parte de los países desarrollados.
<u>Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático en París (COP21)</u>	<u>2.015</u>	<u>Acuerdo de París:</u> Se acordó mantener el aumento de la temperatura en este siglo por debajo de los 2°C, buscando reforzar la habilidad para hacer frente a los impactos del cambio climático, direccionando su interés hacia la descarbonización del sector energético Se acordó ejecutar acciones para proveer el acceso a más de un billón de personas de servicios energéticos modernos.
<u>Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático en Marruecos (COP22)</u>	<u>2.016</u>	<u>Proclamación de Marruecos:</u> buscaba establecer compromisos por parte de los países para detener el calentamiento global; el documento abarcaba acciones a ser implementadas hasta antes del 2.020, para dar respuesta a las necesidades de los países más vulnerables, facilitando el acceso a la financiación de proyectos climáticos y estrategias de adaptación.
<u>Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático en Katowice (COP24)</u>	<u>2.018</u>	Se diseñaron instrumentos para alcanzar de forma eficiente el cumplimiento de los objetivos climáticos, mediante trabajos de cooperación hasta 2.019. Además, se lanzó el proceso para la aprobación de un nuevo objetivo de financiación climática global en 2.025.

Tabla 2. Conferencias de las partes (COPs periodo 1.979 – 2.018)

Fuente: (United Nations, 2.019)

Elaboración: Maestrando

Para alcanzar las metas propuestas en las Conferencias de las Partes descritas anteriormente, se han diseñado mecanismos basados en economías de mercado, entre ellos: comercio de los derechos de emisión, mecanismos de aplicación conjunta, fondos de adaptación, y mecanismos de desarrollo limpio (Chum et al., 2.011; UNFCCC; 2.019); estos últimos han sido implementados para aprovechar el potencial energético disponible, disminuyendo la dependencia de los combustibles fósiles, reduciendo la concentración de contaminantes, y generando ingresos económicos.

Además, el IPCC (2.011) plantea la implementación de Energías Renovables como alternativas útiles para enfrentar el cambio climático, razón por lo cual, varios países han decidido invertir en proyectos que permitan la generación de este tipo de energía en su producción nacional, tal es el caso de Costa Rica, que en 2.018 generó 98,60 % de energías renovables, según el Centro Nacional de Control de Energía del Gobierno de Costa Rica (2.019); en Noruega, la

producción eléctrica renovable es del 98% (Energy News, 2.019); Uruguay por su parte en la última década experimentó la denominada “Revolución Energética Renovable” y en 2.018 llegó a producir el 97% de su energía tomando como fuente de generación las renovables (Presidencia Oriental del Uruguay, 2.018); por su parte, Ecuador, ha venido llevando a cabo proyectos que le han permitido incrementar la generación de energía renovable, que hasta octubre de 2.019 fue de 22.797,99 GWh lo cual representa el 87,32% de lo producido a nivel nacional (ARCONEL, 2.019) (Tabla 3). Dichos proyectos se describen a continuación:

Energía Entregada para Servicio Público		GWh	%
Energía Renovable	Hidráulica	22.454,55	86,00%
	Eólica	85,18	0,33%
	Fotovoltaica	34,86	0,13%
	Biomasa	181,64	0,70%
	Biogas	41,76	0,16%
Total Energía Renovable		22.797,99	87,32%
No Renovable	Térmica MCI	1.046,54	4,01%
	Térmica Turbogas	912,76	3,50%
	Térmica Turbovapor	1.299,90	4,98%
Total Energía No Renovable		3.259,20	12,48%
Total Producción Nacional		26.057,20	99,80%
Interconexión	Importación	52,41	0,20%
Total Energía Entregada para Servicio Público		26.109,61	100,00%

Tabla 3. Energía entregada para servicio público. Octubre 2.019.
Fuente: (ARCONEL, 2.019)

Energía Hidroeléctrica: representa el 86,00% del total de generación de energía renovable a nivel nacional, convirtiéndose en la principal fuente de energía del país. Actualmente se llevan cabo ocho proyectos hidroeléctricos localizados a lo largo del país (Coca Codo Sinclair, Sopladora, Toachi Pilatón, Delsitanisagua, Manduriacu, Quijos, Minas San Francisco, Mazar Dudas).

Energía Eólica: se encuentran en operación dos proyectos de generación de energía eólica localizados en las Islas Galápagos (San Cristóbal y Baltra), y en la provincia de Loja (Parque Eólico Villonaco); mismos que representan el 0,33% del total de generación eléctrica a nivel nacional; además, se vienen realizando estudios para el incremento de la generación mediante los proyectos Villonaco II y Villonaco III.

Energía Fotovoltaica: se han venido desarrollando proyectos que no superan los 6 MWh de energía efectiva en las provincias: Cotopaxi, El Oro, Galápagos, Imbabura, Loja, Manabí, Morona Santiago y Pichincha.

Biogás: existen proyectos basados en la obtención de energía eléctrica en los rellenos sanitarios de las provincias de Azuay y Pichincha, que representan el 0,16% del total de energía eléctrica a nivel nacional.

Energía de Biomasa o Bioenergía: se han desarrollado proyectos piloto para el aprovechamiento de biomasa en las provincias de Azuay, Cañar y Guayas, resultante de los cultivos agrícolas, en base a su volumen de producción y al tipo de biomasa generada; este tipo de energía representa únicamente del 0,70% del total generado a nivel nacional.

El desarrollo de la bioenergía es complejo tomando en cuenta que sus formas de aprovechamiento son costosas, principalmente debido al proceso de transformación que requiere la biomasa (Jarabo, *et al.* 1.988); sin embargo, permite obtener beneficios ambientales (Fernández, 2.007), como:

- Balance neutro de emisiones de dióxido de carbono.
- Reducción de generación de óxidos de azufre y partículas contaminantes.
- Permite la conversión del residuo (biomasa residual) en un recurso (energía eléctrica, calor).
- Disminuye la dependencia de combustibles fósiles.
- Favorece el desarrollo de oportunidades para la utilización de excedentes agrícolas.
- Genera puestos de trabajo, y,
- Favorece a la investigación y desarrollo tecnológico y energético del país.

Tomando en consideración que el Ecuador es considerado un país eminentemente agrícola, en donde más del 43,15% de su territorio (ESIN, 2.014) está destinado a la producción agropecuaria, así como también los beneficios ambientales de la generación de energía eléctrica a través de biomasa, enunciados anteriormente, se propone la siguiente investigación, delimitando como área de estudio la provincia de Loja, cuya superficie es la de mayor extensión en la región Sierra, y registra una amplia cobertura de producción agrícola (principalmente cultivos de arroz, caña de azúcar y maíz duro) y pecuaria (granjas avícolas) que permite evidenciar un elevado potencial de aprovechamiento de estos recursos; además es necesaria la generación de investigación sobre energía renovable en la provincia de Loja, debido a que no se cuenta con proyectos de aprovechamiento de biomasa residual para la generación de energía eléctrica, y los proyectos de generación fotovoltaica (Sabiango, Gonzaenergy,

Surenergy, San Pedro, Loja Energy, Renova Loja, con capacidad no mayor a 1 MWh), y eólica (Central Eólica Villonaco con 16.5 MW de potencia) no superan los 22 MW de potencia, tal como se muestra en la Ilustración 4 (ARCONEL, 2.017).

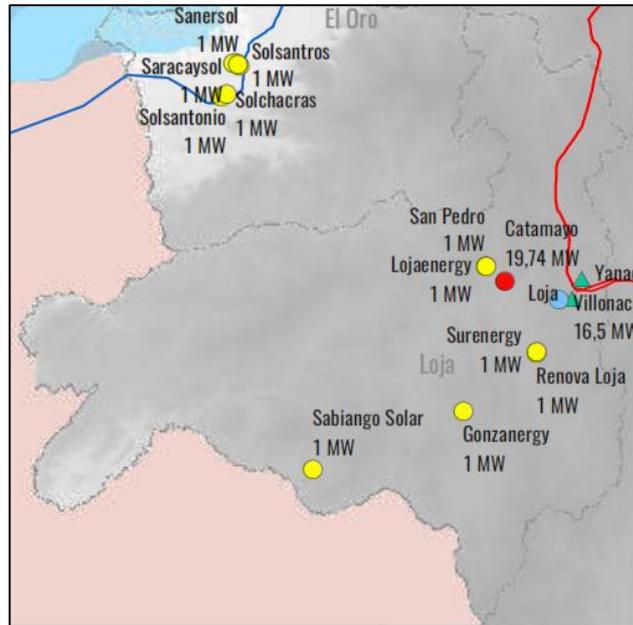


Ilustración 4. Centrales de generación de energías renovables en la provincia de Loja.
Fuente: (ARCONEL, 2.017)

Dicha investigación permitirá conocer el volumen de generación de biomasa residual para cada cultivo agrícola y/o de producción animal, así como también, evaluar el potencial estimado de generación eléctrica para aprovechar el recurso biomásico de Loja, buscando incrementar la oferta de energía eléctrica renovable en el Sistema Interconectado Nacional.

2. OBJETIVOS:

2.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar una propuesta de generación eléctrica en base al aprovechamiento de la biomasa residual agrícola y pecuaria en la provincia de Loja.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la producción de biomasa residual agrícola y pecuaria en Ecuador.
- Calcular el potencial de generación de energía eléctrica a partir de biomasa residual agrícola y pecuaria en Ecuador.
- Determinar la producción de biomasa residual agrícola y pecuaria en la provincia de Loja.
- Determinar el potencial de generación de energía eléctrica a partir de biomasa residual agrícola y pecuaria en la provincia de Loja.
- Definir un método de aprovechamiento de biomasa residual agrícola y pecuaria para generar energía eléctrica en la provincia de Loja.
- Determinar la factibilidad para el emplazamiento de una planta de generación de energía eléctrica en la provincia de Loja.

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1 BIOMASA

La biomasa, está definida por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación FAO, (2.004) como *“toda materia orgánica aérea o subterránea, viva o muerta”*; sin embargo, para fines energéticos, el término biomasa se emplea para denominar a una *“fuente de energía renovable basada en la utilización de la materia orgánica formada por vía biológica o de los productos derivados de ésta”*.

3.1.1 TIPOS DE BIOMASA VEGETAL

- **Forestal:** Es la materia orgánica que existe en determinado ecosistema forestal por encima y por debajo del suelo, es frecuente separarla por componentes: fuste, ramas, hojas, corteza, raíces, hojarasca, y madera muerta (Schlegel, *et al.* 2.000).
- **Biomasa residual agropecuaria y de residuos de poda:** En el sector agrícola, la biomasa residual está conformada por los subproductos que se generan durante los procesos de recolección y transformación de las cosechas; en cuanto al sector pecuario y avícola, define como biomasa a los residuos asociados a la cría de bovinos, porcinos y aves (estiércol generado por las cadenas productivas) (ESIN, 2.014).

3.2 ENERGÍA

La energía conceptualmente se define como la *“capacidad para realizar un trabajo”*, aunque de forma general se puede afirmar que es la *“medida de la capacidad de un sistema para proporcionar trabajo por medios mecánicos, o calor por medios no mecánicos”*; la ciencia física reconoce la existencia de la energía mecánica en dos formas: cinética y potencial, y la energía de los cuerpos (Jarabo, *et al.* 1.988).

La conversión de los tipos de energía está determinada por los principios de la Termodinámica, que se enuncian de la siguiente manera:

1. La energía no se puede crear ni destruir, solo puede transformarse de una de sus formas a otra.
2. La energía se degrada continuamente hacia una forma de energía de menor calidad.

3.3 CONVERSIÓN ENERGÉTICA

La conversión de energías primarias (combustibles de origen fósil, combustibles nucleares, o fuentes renovables) en formas de energía útil, se realiza mediante la formación de cadenas energéticas, mismas que conllevan pérdidas en el proceso propio del comportamiento de la energía, como se indica en la Ilustración 5. (Jarabo, *et al.* 1.988).

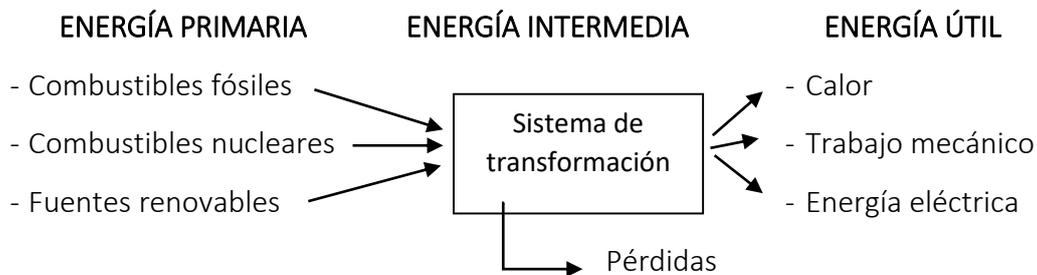


Ilustración 5. Proceso de conversión energética
Fuente: (Jarabo, et al. 1.988)

3.4 TIPOS DE FUENTES ENERGÉTICAS

Las fuentes energéticas se diferencian según su origen, y de esto depende su duración y tecnología de aprovechamiento:

3.4.1 FUENTES DE ENERGÍA NO RENOVABLE

Son aquellas que se formaron como producto de la lenta descomposición de materia orgánica acumulada en el subsuelo hace millones de años, en condiciones de altas presiones y temperaturas, dando paso a lo que actualmente se conoce como fuentes de energía no renovable: gas natural, petróleo, carbón, pizarras bituminosas, arenas asfálticas, entre otros; los mismos que en base a las cantidades disponibles en la naturaleza, y sus largos periodos de renovación, son considerados recursos finitos (Jarabo, *et al.* 1.988).

3.4.2 FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE

Son aquellas que se producen de forma continua y son inagotables a escala humana (energías solar, eólica, hidráulica, mareomotriz, y de biomasa); ofrecen un enorme potencial tanto a corto como a largo plazo para mitigar el cambio climático, sin embargo, su generación representa una pequeña fracción del consumo energético actual.

Recientemente se ha venido impulsando el desarrollo de nuevos y mejores métodos de aprovechamiento de las fuentes de energías renovables, reduciendo el costo de las tecnologías

de generación eléctrica y promoviendo políticas públicas que permitan proveer de servicios energéticos sustentable a la población, entre ellos se mencionan los siguientes:

3.4.2.1. ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

Su principio de funcionamiento consiste en captar la radiación solar para transmitirla hasta un fluido (agua o aire) mediante un colector o placa solar, que posteriormente puede ser utilizado para calefacción mediante un intercambiador de calor.

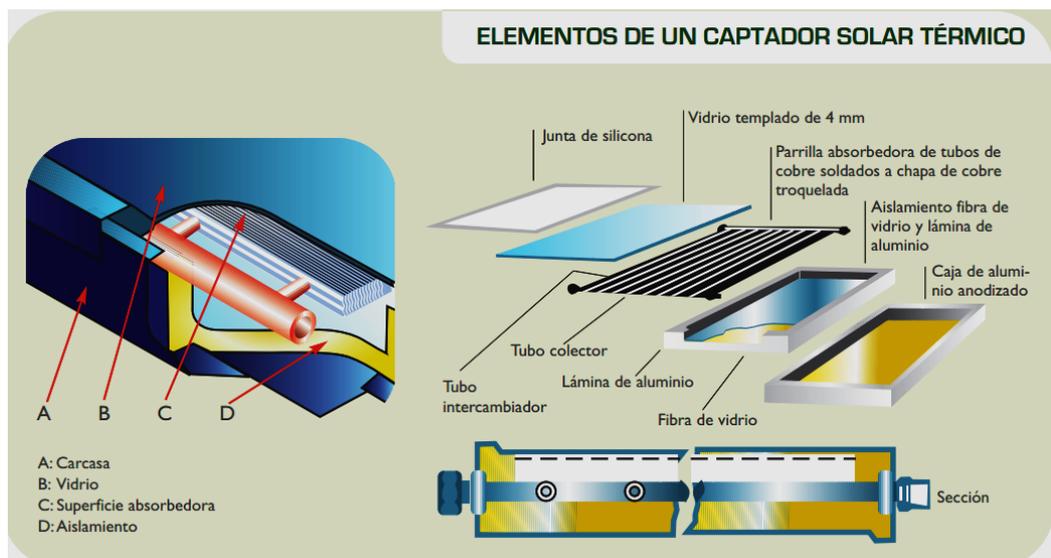


Ilustración 6. Elementos de un captador térmico
Fuente: (Arvizu, et al. 2.011)

La energía solar es abundante y ofrece un gran potencial para mitigar el cambio climático a corto (2.020) y largo plazo (2.050); su desarrollo depende de la reducción de sus costos de generación mediante el apoyo de políticas públicas y la innovación continua (Arvizu, et al. 2.011).

3.4.2.2 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

Se basa en captar luz solar sobre semiconductores para generar flujo en los electrones contenidos al interior de las células fotovoltaicas conectadas en serie, en paralelo o en serie-paralelo para la generación de energía eléctrica; se dividen en sistemas aislados (sistemas autónomos sin conexión a la red eléctrica) y sistemas conectados a la red eléctrica, que pueden estar formados por paneles fotovoltaicos, baterías, reguladores de carga, inversores, etc.

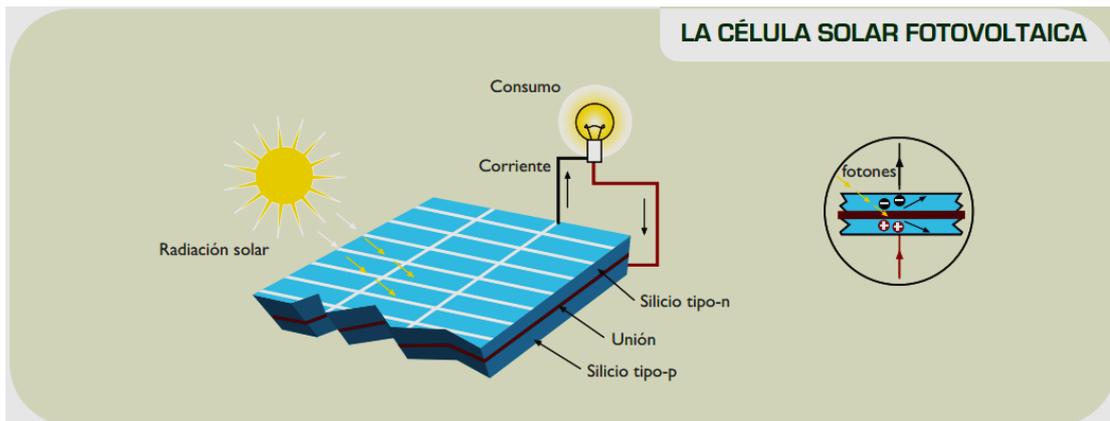


Ilustración 7. Célula solar fotovoltaica
Fuente: (Arvizu, et al. 2.011)

3.4.2.3 ENERGÍA GEOTÉRMICA

La energía geotérmica es la energía calórica generada y almacenada en el interior de la tierra, su origen es atribuido a dos causas combinadas: el calor residual de la acreción planetaria, y el calor generado por la desintegración radiactiva de los isótopos de potasio, uranio y torio producidos en el manto terrestre (Peláez y Espinoza, 2.015).

3.4.2.4 HIDROELECTRICIDAD.

La hidroelectricidad proviene de la energía potencial contenida en fuentes hídricas; las centrales hidroeléctricas aprovechan la diferencia de nivel existente entre dos puntos y el caudal de agua para transformar la energía potencial mediante la utilización de una turbina hidráulica y un generador en energía eléctrica. (Peláez y Espinoza, 2.015).

3.4.2.5 ENERGÍA MAREOMOTRIZ

Es aquella que capta la energía producida por los movimientos alternativos y periódicos de ascenso y descenso de las aguas al mar; su funcionamiento es posible mediante la conformación de embalses en estuarios donde se instalan diques y turbinas que operan generando electricidad (Jarabo, F, *et al.* 1988).

3.4.2.6. ENERGÍA EÓLICA

Se obtiene al transformar la energía cinética de los flujos de viento, en electricidad mediante la utilización de un sistema de aspas; su aprovechamiento a gran escala se realiza por medio de la instalación de aerogeneradores.

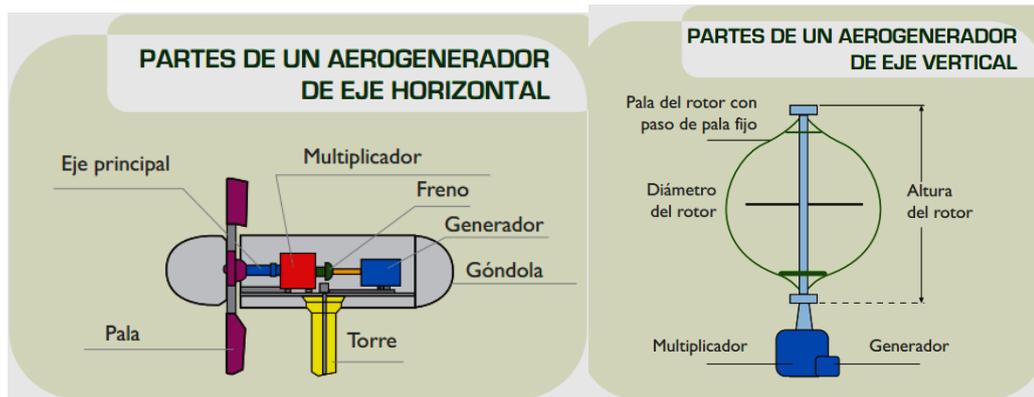


Ilustración 8. Partes de un aerogenerador
Fuente: (Arvizu, et al. 2.011)

3.4.2.7. BIOENERGÍA

La bioenergía es la “energía generada por la conversión de productos sólidos, líquidos y gaseosos, derivados de la biomasa” (OECD/IEA, FAO, 2.017); puede ser utilizada para obtención de biocombustibles, calor o energía eléctrica, dependiendo del método de aprovechamiento, y de sus propiedades físicas, químicas, y energéticas, se identifican dos tipos de biomasa:

- Cultivos energéticos: Son plantaciones dedicadas al cultivo de especies con fines exclusivamente energéticos, mediante la utilización de equipos de aprovechamiento con tecnología avanzada.
- Biomasa residual: Corresponde a residuos biomásicos de los procesos de producción y transformación de otros productos, tanto para la alimentación (agricultura e industria agroalimentaria) como para uso industrial (madera, papel, tejidos, sustancias químicas, entre otros).

3.5 MÉTODOS DE APROVECHAMIENTO

Existen dos métodos de aprovechamiento para la generación de energía dependiendo de la humedad de la biomasa:

- Métodos Termoquímicos: Muestran mayor eficacia en biomasa seca (humedad menor al 50%), y depende del valor calórico, concentración de carbono fijo, componentes volátiles, contenido de cenizas, y de metales alcalinos, se basa en someter a la biomasa a la acción de altas temperaturas, en condiciones variables de oxidación, en donde suceden reacciones químicas irreversibles.

- Métodos Bioquímicos: Muestran mayor eficacia en biomasa húmeda (humedad mayor al 50%), los cuales se basan en el contenido de humedad y en porcentajes de celulosa y lignina (McKendry, 2.002a); se llevan a cabo mediante la aplicación de microorganismos para la degradación de moléculas complejas a compuestos más simples de alta densidad energética.

3.5.1 MÉTODOS TERMOQUÍMICOS

3.5.1.1 COMBUSTIÓN

Es el método mediante el cual se somete la materia orgánica a elevadas temperaturas en presencia de oxígeno, para la obtención de dióxido de carbono, vapor de agua, cenizas y principalmente calor; las variables que afectan directamente a su funcionamiento son: la proporción de oxígeno en el gas de entrada (entre 20% y 40% superior al recomendado), temperatura de combustión (en un rango entre 600 y 1.300 °C), y las características de la biomasa (contenido de humedad, bajo contenido de azufre, cloro, flúor, y contenido de carbono).

Los sistemas en los que se realiza la combustión de biomasa son: hornos, equipos de recuperación de calor (caldera), y sistemas de recuperación de energía (turbogenerador, red de conducción de vapor, entre otros); la energía obtenida puede destinarse a la producción de calor para uso doméstico o industrial y a la producción de energía eléctrica (Cukierman, 2.016).

3.5.1.2 GASIFICACIÓN

La gasificación contempla los procesos de combustión en condiciones deficientes de oxígeno, obteniendo como resultado monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrógeno y metano; se realiza en condiciones de temperatura de un rango mínimo de 700°C (para evitar la generación de cenizas se somete a temperaturas de 1.500°C); en base a la proporción de nitrógeno en el comburente se forman dos tipos de gas: gas pobre, cuando gasifica la biomasa con el aire; y gas de síntesis, cuando se gasifica la biomasa con el oxígeno.

Los gases resultantes, dependen del tipo de biomasa, del agente oxidante utilizado, de la presión aplicada, de la temperatura de gasificación, y del tipo de reactor a utilizar, mismos que se clasifican según el método de contacto entre las fases fija (biomasa), y móvil (agente oxidante), pueden ser:

- Gasificador de lecho fijo/móvil.
- Gasificador de lecho fluidizado.

Gasificadores de lecho fijo/móvil: La fase fija (biomasa) se mueve lentamente como un pistón mientras se pone en contacto con la fase móvil (agente oxidante) provocando una descomposición de la biomasa a velocidades lentas; dependiendo de la dirección del flujo de la biomasa, los reactores pueden ser de flujo ascendente, descendente o cruzado. Estos reactores pueden procesar partículas que oscilan desde 1 hasta 100 mm; sin embargo, presenta dificultades debido a su baja eficiencia en la transferencia de calor, provocando una desigual distribución de temperaturas y aglomeración de combustible.

Gasificadores de lecho fluidizado: Presentan una adecuada combinación entre las fases (fija y móvil), y uniforme distribución de temperaturas, por lo tanto, una gasificación eficiente. El lecho está conformado por material que puede ser inerte (arena de sílice) o con propiedades olivinas. Según el tipo de lecho puede ser:

- Burbujeante: donde la biomasa entra en contacto con el lecho previamente calentado provocando un secado rápido y posterior pirolisis, sin embargo, es importante indicar que el agente oxidante es agregado en dos etapas: por el fondo y por la parte superior del reactor para aumentar la conversión de la biomasa parcialmente gasificada (Brown, 2.011); y,
- De lecho circulante, están conformados por un reactor, un dispositivo para la recirculación de los sólidos generados, y un ciclón, que permite reducir la aglomeración de partículas y mejorar las condiciones de contacto de fase fija y fase móvil, logrando uniformidad de la temperatura y mayor velocidad de conversión con respecto a la gasificación de flujo burbujeante.

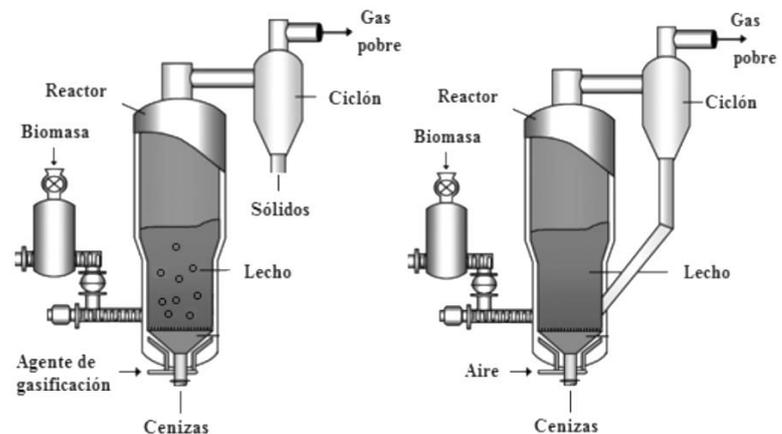


Ilustración 9. Gasificadores de lecho fluidizo, burbujeante (derecha), circulante (izquierda)
Fuente: (Chum. 2.011)
Elaboración: Maestrando

La gasificación es la tecnología con mejores perspectivas para la conversión térmica de biomasa, al presentar ventajas en cuanto a eficiencia de conversión energética en comparación con tecnologías como la combustión y pirólisis; además, la gasificación puede recuperar entre 60 % y 90% de la energía contenida, obteniendo un gas pobre que puede ser utilizado para obtener energía eléctrica mediante motores de combustión interna (Kirkels, et al. 2.011).

3.5.1.3 PIRÓLISIS

Consiste en la descomposición de la biomasa en condiciones de elevadas temperaturas (inicia a los 275°C aproximadamente y finaliza a los 450°C) sin presencia de oxígeno. Los productos obtenidos dependen del tipo de biomasa, temperatura, presión de la operación, y tiempo de permanencia del material en el reactor; es así que como resultado se obtiene: gases compuestos por hidrógeno (hidrógeno y óxidos de carbono), líquidos que contienen compuestos hidrocarbonados complejos y residuos sólidos carbonosos, (cenizas, carbones y alquitranes).

3.5.2 MÉTODOS BIOQUÍMICOS

3.5.2.1 FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA

Es un proceso de conversión de biomasa en etanol; su aplicación depende del tipo de biomasa, ya que es necesario un análisis previo a su implementación; cuando presenta valores elevados de almidón o celulosa, es necesario someterla a procesos para convertirla en compuestos fermentables, los cuales se dividen en las siguientes etapas:

- Pretratamiento de biomasa, reduce la biomasa en partículas pequeñas mediante trituración, molienda o pulverización
- Hidrólisis, transforma la glucosa en azúcares sencillos mediante la aplicación de enzimas o reactivos químicos.
- Fermentación alcohólica, es la conversión de la glucosa contenida en la biomasa en etanol mediante la acción de microorganismos, y
- Separación y purificación del etanol, se realiza un proceso de destilación azeotrópica mediante la utilización de elementos como benceno, éter, hexano, permitiendo obtener etanol con pureza de 99,5% aproximadamente.

3.5.2.2 DIGESTIÓN ANAEROBIA

Es un proceso de fermentación en condiciones de ausencia de oxígeno, donde se obtiene biogás (metano y dióxido de carbono) y lodos con elevado contenido de nitrógeno, fósforo y otros minerales; la biomasa más utilizada para este método es la resultante de residuos ganaderos, y lodos de plantas depuradoras de aguas residuales, debido a sus condiciones de acidez, contenido de sólidos, y nutrientes. El biogás resultante de la digestión puede ser utilizado como fuente de calor, para combustión en calderas de vapor convencionales, calefacción en general y como combustibles en motores de combustión interna acoplados a generadores de electricidad.

4. METODOLOGÍA

4.1 ÁREA DE ESTUDIO.

El área de estudio es la provincia de Loja, ubicada al sur de la cordillera oriental de los Andes, cuyos límites son: al Norte con las provincias de Azuay y El Oro, hacia el Sur y el Oeste, con la República del Perú, y hacia el Este, con la provincia de Zamora Chinchipe. Es la provincia con mayor superficie de la sierra ecuatoriana con 11.065,59 km²; está conformada por 16 cantones: Calvas, Catamayo, Celica, Chaguarpamba, Espíndola, Gonzanamá, Loja, Macará, Olmedo, Paltas, Pindal, Puyango, Quilanga, Saraguro, Sozoranga, y Zapotillo (Prefectura de Loja, 2.015).

Su rango altitudinal se ubica entre los 120 y 3.800 m s. n. m, con una temperatura media anual que varía entre los 6°C (en elevaciones a 3.800 m s. n. m) y los 26°C (en Zapotillo y Macará que limitan con Perú).

La provincia de Loja presenta diversos pisos climáticos:

- Tropical: se ubica por debajo de los 1.200 m s. n. m. localizado en el cantón Zapotillo, y parte de los cantones de Macará, Celica, Pindal, Puyango, Chaguarpamba y Catamayo
- Subtropical: se ubica entre los 1.200 y 1.900 m s. n. m. en los poblados de Yangana, Quinara, Vilcabamba, Malacatos, Amaluza, y parte de Catacocha
- Temperado: ubicado entre los 1.900 y 3.000 m s. n. m. abarca los cantones de Celica, Cariamanga, Gonzanamá, Saraguro, Loja, Chuquiribamba
- Frío: entre los 3.000 y 3.800 m s. n. m. correspondientes a mesetas, flancos y picachos de los cantones de Saraguro, Loja y Espíndola.

El régimen pluviométrico de la provincia de Loja clasifica al clima en cuatro variedades:

- Variedad árida, con un promedio anual de lluvias menor a 400 milímetros anuales, en altitudes inferiores a los 1.200 metros en los cantones de Catamayo, Sozoranga, Zapotillo y la región septentrional de Saraguro;
- Variedad semiárida con un rango promedio anual de lluvias entre los 400 y 600 milímetros al año, localizado en los sectores occidentales y centrales de la provincia, cantones de Zapotillo, Macará, Pindal y Catamayo;
- Variedad semihúmeda con un promedio de pluviosidad anual de 600 a 1.000 milímetros por año distribuido en los cantones de Catamayo, Saraguro, Loja, Catamayo, Paltas, Olmedo, Chaguarpamba, Celica, Pindal, Zapotillo Gonzanamá, Calvas, Quilanga, Macará y Espíndola;
- Variedad húmeda con un rango de lluvias entre 1.000 y 1.500 milímetros al año, distribuidos en los cantones de Saraguro, Loja, Chaguarpamba, Olmedo, Paltas, Celica, Puyango, Gonzanamá, Quilanga, Calvas, Sozoranga, y Espíndola.

La provincia de Loja cuenta con 42,54% de su superficie con tipo de suelo apto para cultivo, del cual, el 6,86% comprende terrenos aluviales, de relieve plano, y pendientes que varían entre el 16% y 30%; mientras que las tierras aptas para cultivos permanentes, pastos y aprovechamiento forestal representan el 35,68% de la superficie provincial (Prefectura de Loja, 2.015). El uso actual del suelo de la provincia de Loja presenta diversas coberturas vegetales y, por ende, distintos ecosistemas, tal como se describe en el cuadro a continuación:

Nº	USO DE SUELO	TOTAL (ha)	PORCENTAJE
1	VEGETACIÓN ARBÓREA	197.584,68	17,86 %
2	VEGETACIÓN ARBUSTIVA	153.933,42	13,91 %
3	PÁRAMO	48.902,41	4,42 %
4	ZONA AGRÍCOLA	183.973,46	16,63 %
5	ZONA PECUARIA	296.271,39	26,77 %
6	CUERPOS DE AGUA	2.532,76	0,23 %
7	EN PROCESO DE EROSIÓN	219.580,76	19,84 %
8	ROCA	552,86	0,05 %
9	ARENA	63,11	0,01 %
10	ZONA ANTRÓPICA	3.175,70	0,29 %
TOTAL		1'106.570,56	100,00 %

Tabla 4. Uso de suelo en Loja
Fuente: Prefectura de Loja, 2.015

La investigación se realizó con el objetivo de identificar las fuentes de biomasa residual generada en Ecuador y la provincia de Loja; así como también, compilar los registros del volumen de generación de residuos por unidad de superficie, tomando como referencia las Encuestas de Producción Agropecuaria Continua (ESPAC), y las Series Estadísticas Anuales Nacionales del Ecuador a nivel de provincia de los años 2.012, y 2.017; posteriormente, se realizó la caracterización de la materia orgánica en base a parámetros físicos, químicos, análisis elemental, análisis próximo, análisis estructural y contenido energético (Castells, *et al.* 2.005); y, finalmente plantear alternativas de aprovechamiento que permitan estimar la factibilidad de aplicación de tecnologías para la conversión energética de la biomasa disponible en la provincia de Loja.

Además, se realizó una Evaluación de Impacto Ambiental tomando en consideración las posibles afectaciones que puede conllevar la implementación de una planta de generación de energía eléctrica a partir de biomasa, planteando actividades de prevención, reducción, o mitigación de los impactos negativos identificados o, a su vez, medidas que permitan potenciar los impactos positivos resultantes en la actividad, tomando en consideración lo establecido en la normativa ambiental vigente promulgada por el Ministerio de Ambiente del Ecuador y la Guía Metodológica de Evaluación de Impactos Ambientales (EIA) (Pirillo, 2.015).

4.2 IDENTIFICACIÓN DE FUENTES DE BIOMASA RESIDUAL

El Ecuador por medio del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), realiza con frecuencia anual una Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) para obtener información sobre las hectáreas cosechadas y la producción de cada cultivo en el sector agrícola, mientras que en el sector pecuario contabiliza el número de animales y los subproductos alimenticios que se pueden obtener (carne, huevos, leche); la encuesta utiliza la metodología de Muestreo por Marcos Múltiples (MMM) (Ilustración 10), donde se combina la información del Muestreo de Marco de Áreas¹ (MMA), y el Muestreo de Marco de Lista² (MML) (ESIN, 2.014).

¹ Muestreo de Marco de Áreas (MMA): superficie agropecuaria sembrada en el Ecuador, dividida en segmentos de análisis

² Muestreo de Marco de Lista (MML): listado de especies sembradas en Ecuador

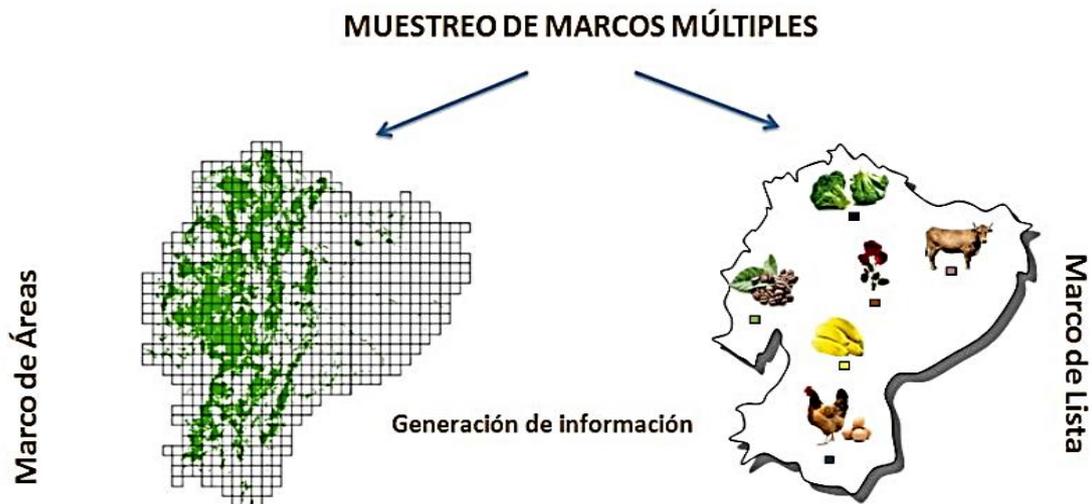


Ilustración 10. Muestreo de Marcos de Áreas (MMA) (izquierda); y Muestreo de Marco de Lista (derecha)
Fuente: Atlas Bioenergético de la República del Ecuador (2.014)

La información presentada en la ESPAC del año 2.012, compilada en el Atlas Bioenergético del Ecuador (ESIN, 2.014) presenta registros de producción absoluta (ton/año) y residuos (ton/año) del sector agrícola y pecuario, que sirvieron de insumos para calcular un ratio de biomasa, que a su vez se utilizó para extrapolar los datos de producción y residuos de la ESPAC 2.017, permitiendo determinar factor de producción de biomasa residual.

$$RdB = RP/Prod$$

Donde:

RdB = Factor de producción de biomasa residual

RP = Residuos producidos (toneladas)

Prod = Producción (toneladas)

El factor de producción RdB se utilizó para obtener los pesos estimados de biomasa residual para el presente estudio, ya que la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua ESPAC 2.017 no considera estos datos en su informe.

4.3 CARACTERIZACIÓN DE BIOMASA RESIDUAL Y POTENCIAL DE GENERACIÓN ELÉCTRICA

La caracterización de la biomasa residual agrícola y pecuaria para el presente estudio se realizó tomando como base los análisis: elemental, próximo, y de los componentes propuestos por Castells, et al. (2.005) en el texto Tratamiento y Valorización Energética de los Residuos, descritos a continuación:

4.3.1 ANÁLISIS ELEMENTAL:

Permite determinar el contenido de los elementos que pueden gasificarse y supondrán un aporte calorífico en las reacciones de combustión de la biomasa, es decir, incluye el porcentaje en peso de carbono (C), oxígeno (O₂), hidrógeno (H), nitrógeno (N), azufre (S) y otros componentes. Es necesario analizar elementos adicionales que puedan modificar el proceso de combustión o que representen algún tipo de problema en cuanto a emisiones contaminantes como halógenos y metales.

4.3.2 ANÁLISIS PRÓXIMO

El análisis próximo permite determinar los porcentajes del material que se combustiona en estado gaseoso (material volátil), en estado sólido (carbono fijo) y el porcentaje de material de desecho inorgánico (cenizas); para Buragohai, (2.010) lo tanto, es de fundamental importancia para determinar la energía contenida en la biomasa (Brito & Barrichello, 1.978).

Los parámetros de material volátil y carbono fijo elevados crean condiciones idóneas para la generación de energía eléctrica, mientras que, porcentajes elevados de cenizas influyen negativamente en el proceso, de igual manera, a mayor humedad, mayor es el requerimiento energético para su aprovechamiento.

4.3.3 ANÁLISIS DE LOS COMPONENTES (ESTRUCTURAL)

El análisis de los componentes determina los porcentajes de contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina; según Álvarez (2.013) el poder energético de la biomasa está directamente relacionado con la cantidad de celulosa y hemicelulosa, ya que son una potencial fuente de carbono (Loja, 2.017).

4.3.4 POTENCIAL DE GENERACIÓN ELÉCTRICA

El potencial de generación eléctrica (PE) se lo define como la energía química de la biomasa que puede ser transformada para su aprovechamiento (Perera, 2.005); mientras que, el PCI de los residuos agrícolas expresa el contenido de energía calórica que pueden ser liberados mediante su combustión (ESIN, 2.014).

Para calcular el potencial teórico de generación eléctrica de la biomasa agrícola y pecuaria existente en Ecuador, se tomó como referencia la metodología utilizada por Calderón, et al. (2.017) que propone la siguiente ecuación:

$$PE = \frac{RS * LCV * CF}{3600} * 1.000$$

Donde:

PE = Potencial de generación de energía eléctrica (Kilowatts hora -KWh-)

RS = Generación de residuos anuales (kilogramos –kg-)

LCV o PCI = Poder Calorífico Inferior (MegaJoules / kg) (Tabla 5)

CF = Factor de planta de generación (59%)³

TIPO DE BIOMASA		LCV o PCI (MJ/kg)
AGRÍCOLA	Arroz (cáscara)	14,155
	Arroz residuo de campo	
	Banano residuos de campo	8,4
	Banano residuos de empaque	
	Cacao residuo beneficio	11,33
	Cacao residuo de campo	
	Cacao residuo de proceso	
	Café residuo de beneficio	10,64
	Café residuo de campo	
	Café residuo de proceso	
	Caña de Azúcar residuo de campo	19,85
	Maíz duro residuo de campo	12,55
	Palma Africana residuo de campo	14,44
	Palma Africana residuo de proceso	
	Palmito residuo de campo	14,12
	Palmito residuo de proceso	
	Piña residuo de campo	10,06
	Piña residuo de proceso	
Plátano residuo de campo	8,41	
Plátano residuos de empaque		
PECUARIA	Producción avícola	14,07
	Producción carne porcina	31,98
	Producción vacuna (carne)	4,74
	Producción vacuna (leche)	6,1

Tabla 5. PCI agrícola y pecuario
Fuente: Atlas Bioenergético de la República del Ecuador (2.014)

³ En la investigación se consideró un factor de planta de Generación 59%, utilizado por Calderón, et al. (2.017) en el documento Valoración económica de los cobeneficios del aprovechamiento energético de los residuos agrícolas en el Ecuador.

4.4 MÉTODO DE APROVECHAMIENTO DE BIOMASA RESIDUAL

Para definir el método de aprovechamiento apropiado para la conversión energética de la biomasa, se tomó en consideración los datos obtenidos en los análisis: elemental, próximo, y de los componentes y las propiedades energéticas de cada residuo (McKendry, 2.002b).

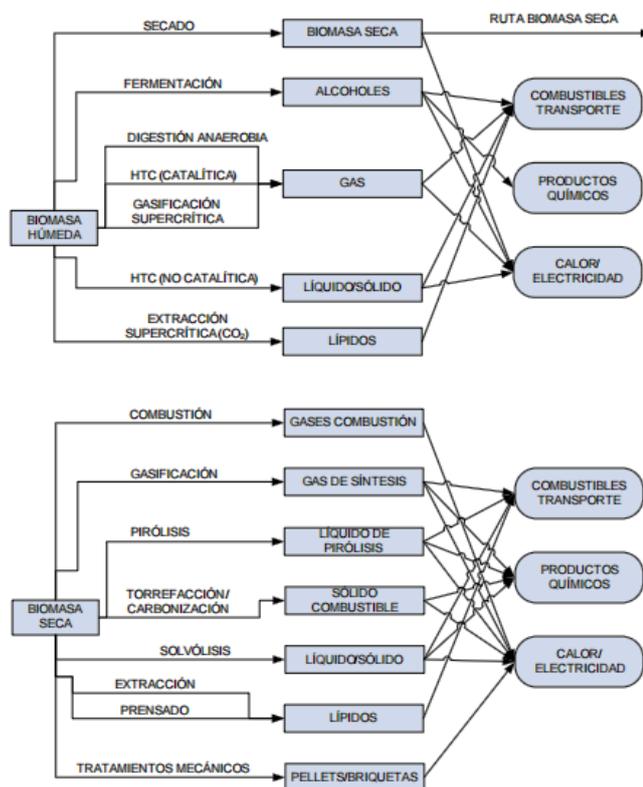


Ilustración 11. Usos y aprovechamiento de biomasa húmeda y biomasa seca
Fuente: (McKendry, 2.002a)

4.5 EMPLAZAMIENTO DE UNA PLANTA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Se planteó criterios técnicos de selección para determinar cuál sería la ubicación ideal para el emplazamiento de una planta de generación eléctrica, tomando en cuenta la metodología planteada por De la Paz Blanco, (2.012):

- Costo de mano de obra: se debe considerar los costos de mano de obra que se generen en la etapa constructiva y de operación en la planta de generación.
- Disponibilidad de espacios para el emplazamiento: corresponde al costo de expropiaciones de terrenos y la disponibilidad de superficies libres para su construcción y operación.
- Cercanía para abastecimiento de insumos: las distancias de centros poblados abaratan o encarecen los costos de construcción, operación y mantenimiento.

- Rutas de acceso y estado de la red vial: el estado de las vías y rutas de acceso permite optimizar tiempo y estado de vehículos para el abastecimiento de biomasa residual.
- Localización de subestaciones eléctricas: es un factor que debe considerarse debido a la logística necesaria para conectar la energía generada con el Sistema Interconectado Nacional.
- Disponibilidad de agua: es necesario considerar la disponibilidad de agua en la planta para su operación (construcción) y mantenimiento (refrigeración de motores, limpieza, etc.).
- Estado de normativas y regulaciones en el sitio: las regulaciones locales deben ser consideradas para la implantación de la Planta, previo a su instalación.
- Grado de impacto social: debe tomarse en cuenta el impacto que genera la construcción y operación de la planta en las comunidades ubicadas en las zonas aledañas.
- Ubicación para acopio de biomasa residual: es importante que los centros de acopio se encuentren cerca de la localización de la planta con la finalidad de optimizar recursos.
- Volumen de producción de cultivos agrícolas y/o producción pecuaria: los volúmenes de abastecimiento de biomasa residual deben justificar técnica y económicamente la implantación de la planta.
- Potencial de generación de energía eléctrica de los cultivos objeto de análisis: la biomasa residual aprovechable debe contar con un potencial de generación de energía eléctrica que justifique la implantación de la planta.

4.6 FACTIBILIDAD PARA LA IMPLANTACIÓN DE UNA PLANTA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Para evaluar la factibilidad de la implantación de la planta de generación eléctrica se diseñó un Estudio de Impacto Ambiental que contiene los impactos potenciales de la construcción, operación y cierre de la planta de generación eléctrica, así como también las medidas de prevención, reducción y/o mitigación, aplicables al proyecto.

5. RESULTADOS

5.1 PRODUCCIÓN DE BIOMASA RESIDUAL EN ECUADOR

En Ecuador, la biomasa residual para 2.017 fue de 22'756.694,49 toneladas, distribuidas en biomasa residual agrícola con 18'986.048,96 toneladas, en base a la producción de los cultivos de arroz (*Oryza sativa*), banano (*Musa paradisiaca*), cacao (*Theobroma cacao* L), café (*Coffea arabica*), caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), maíz duro (*Zea mays*), palmito (*Bactris gasipaes*), piña (*Ananas comosus*), plátano (*Musa spp*) y, palma africana (*Elaeis guineensis*); y biomasa residual pecuaria con 3'770.645,53 toneladas, considerando la producción avícola, porcina y vacuna (producción de leche y carne) (Tabla 6).

BIOMASA AGRÍCOLA		
PROVINCIA	BIOMASA (ton/año)	PORCENTAJE
AZUAY	28.600,57	0,15%
BOLIVAR	113.346,30	0,60%
CAÑAR	323.573,05	1,70%
CARCHI	155,55	0,00%
CHIMBORAZO	-	0,00%
COTOPAXI	331.316,34	1,75%
EL ORO	1.111.032,57	5,85%
ESMERALDAS	4.344.705,83	22,88%
GUAYAS	4.389.803,39	23,12%
IMBABURA	59.551,83	0,31%
LOJA	182.019,30	0,96%
LOS RIOS	3.943.890,77	20,77%
MANABI	1.040.785,63	5,48%
MORONA SANTIAGO	16.750,83	0,09%
NAPO	20.713,75	0,11%
ORELLANA	629.264,72	3,31%
PASTAZA	2.516,58	0,01%
PICHINCHA	390.697,24	2,06%
SANTA ELENA	4.872,60	0,03%
SANTO DOMINGO	999.028,73	5,26%
SUCUMBÍOS	1.045.578,79	5,51%
TUNGURAHUA	-	0,00%
ZAMORA CHINCHIPE	7.844,60	0,04%
TOTAL	18.986.048,96	100,00%

BIOMASA PECUARIA		
PROVINCIA	BIOMASA (ton/año)	PORCENTAJE
AZUAY	129.415,92	3,43%
BOLIVAR	101.842,23	2,70%
CAÑAR	69.306,86	1,84%
CARCHI	96.929,10	2,57%
CHIMBORAZO	229.899,32	6,10%
COTOPAXI	130.673,42	3,47%
EL ORO	212.849,93	5,64%
ESMERALDAS	35.901,19	0,95%
GUAYAS	765.497,90	20,30%
IMBABURA	118.273,03	3,14%
LOJA	57.927,44	1,54%
LOS RIOS	47.718,15	1,27%
MANABI	270.384,08	7,17%
MORONA SANTIAGO	16.443,27	0,44%
NAPO	7.560,32	0,20%
ORELLANA	4.801,11	0,13%
PASTAZA	107.625,79	2,85%
PICHINCHA	462.350,01	12,26%
SANTA ELENA	15.723,62	0,42%
SANTO DOMINGO	574.414,92	15,23%
SUCUMBÍOS	12.685,44	0,34%
TUNGURAHUA	290.294,04	7,70%
ZAMORA CHINCHIPE	12.128,43	0,32%
TOTAL	3.770.645,53	100,00%

Tabla 6. Biomasa residual agrícola y biomasa residual pecuaria en Ecuador
Fuente: ESPAC, 2.017
Elaboración: Maestrando

5.1.1 PRODUCCION DE BIOMASA RESIDUAL AGRÍCOLA

La biomasa residual agrícola (BRA), se distribuye para cada una de las provincias según su tipo de cultivo y las condiciones físicas y ambientales de producción específica; es así que el 88,9% de la producción BRA (16'874.825,70 toneladas) se concentra en las provincias de Guayas (23,12%), Esmeraldas (22,88%), Los Ríos (20,77%), El Oro (5,85%), y Manabí (5,48%) (región costa), Santo Domingo de los Tsáchilas (5,26%) (región sierra), y Sucumbíos (5,51%) (región oriental) (Ilustración 12).

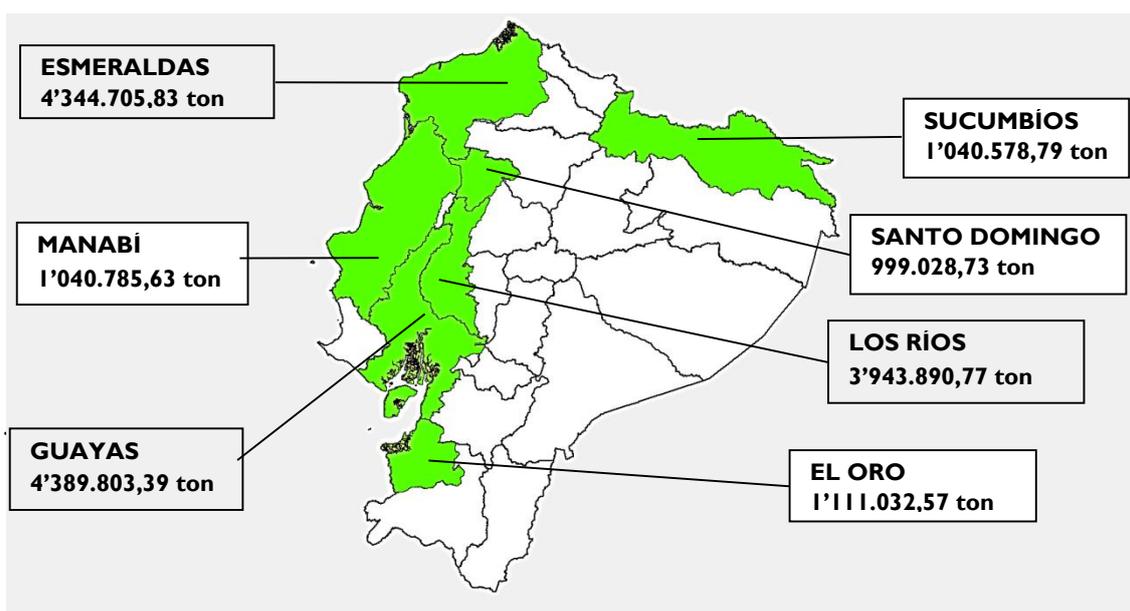


Ilustración 12. Provincias de mayor generación de BRA en Ecuador

Fuente: ESPAC, 2.017

Elaboración: Maestrando

Los cultivos presentes en la provincia de Guayas producen el mayor volumen de biomasa residual agrícola del país, constituida principalmente por los residuos de caña de azúcar, banano, arroz y cacao; seguido por la provincia de Esmeraldas, en donde, el cultivo de palma africana genera el mayor volumen de biomasa residual y en el caso de Los Ríos, la distribución de la BRA se da principalmente en los cultivos de banano, palma africana y cacao, tal como se muestra en la Tabla 7.

BIOMASA RESIDUAL AGRÍCOLA (ton/año)												
PROVINCIA	ARROZ	BANANO	CACAO	CAFÉ	CAÑA DE AZUCAR	MAÍZ DURO	PALMA AFRICANA	PALMITO	PIÑA	PLATANO	TOTAL BRA	%
AZUAY			28.600,57								28.600,57	0,00
BOLIVAR		4.885,10	70.151,88				35.260,78			3.048,54	113.346,30	0,01
CAÑAR	1.098,83	198.318,60	50.143,86		74.011,75						323.573,05	0,02
CARCHI					155,55						155,55	0,00
CHIMBORAZO											-	-
COTOPAXI		88.554,85	56.532,56			77,40	153.210,92			32.940,60	331.316,34	0,02
EL ORO	29.008,35	979.491,59	102.429,67	102,96							1.111.032,57	0,06
ESMERALDAS		36.705,90	251.325,98				4.016.074,71	13.497,65		27.101,58	4.344.705,83	0,23
GUAYAS	1.023.875,37	1.087.280,80	639.365,17		1.198.427,24	141.925,50	254.751,55			44.177,76	4.389.803,39	0,23
IMBABURA		227,77			52.587,44					6.736,62	59.551,83	0,00
LOJA	7.659,20	8.820,51		1.501,06	108.619,68	55.418,85					182.019,30	0,01
LOS RIOS	326.368,77	1.536.320,52	653.913,08		12.777,26	254.719,35	1.122.692,24	331,64	184,11	36.583,80	3.943.890,77	0,21
MANABI	44.280,37	19.399,76	414.417,36	5.576,15		159.853,50	194.314,58		229,53	202.714,38	1.040.785,63	0,05
MORONA S		1.779,39								14.971,44	16.750,83	0,00
NAPO			20.713,75								20.713,75	0,00
ORELLANA	4.388,88		32.054,93			10.197,45	582.623,46				629.264,72	0,03
PASTAZA										2.516,58	2.516,58	0,00
PICHINCHA			10.288,78				290.470,01	89.271,19		667,26	390.697,24	0,02
SANTA ELENA						4.872,60					4.872,60	0,00
SANTO D		60.796,33	132.367,41	281,79			643.431,96	38.890,05	50.791,87	72.469,32	999.028,73	0,05
SUCUMBÍOS			58.142,12	8.020,12			968.262,55			11.154,00	1.045.578,79	0,06
TUNGURAHUA											-	-
ZAMORA CH			4.283,90							3.560,70	7.844,60	0,00
TOTAL	1.436.679,77	4.022.581,13	2.524.731,00	15.482,08	1.446.578,93	627.064,65	8.261.092,79	141.990,53	51.205,51	458.642,58	18.986.048,96	100%

Tabla 7. Generación de Biomasa residual agrícola en Ecuador

Fuente: ESPAC, 2.017

Elaboración: Maestrando

Los cultivos agrícolas que generan la mayor cantidad de biomasa residual en el país son: palma africana (*Elaeis guineensis*) (43,51%), banano (*Musa paradisiaca*) (21,29%), cacao (*Theobroma cacao*) (13,30%), caña de azúcar (*Saccharum officinallis*) (7,62%) y arroz (*Oryza sativa*) (7,57%) (Tabla 7).

5.1.2 PRODUCCIÓN DE BIOMASA RESIDUAL PECUARIA

La biomasa residual pecuaria (BRP), se distribuye para cada una de las provincias por tipo de producción: avícola, vacuno y porcino; el 74,4% de la producción BRP nacional que representa 2'805.690,21 toneladas, se encuentra concentrada en las provincias de Guayas (29,30%), Manabí (7,17%), El Oro (5,64%) (región costa), Santo Domingo (15,23%), Pichincha (12,26%), Tungurahua (7,70%) y Chimborazo (6,10%) (Ilustración 13).

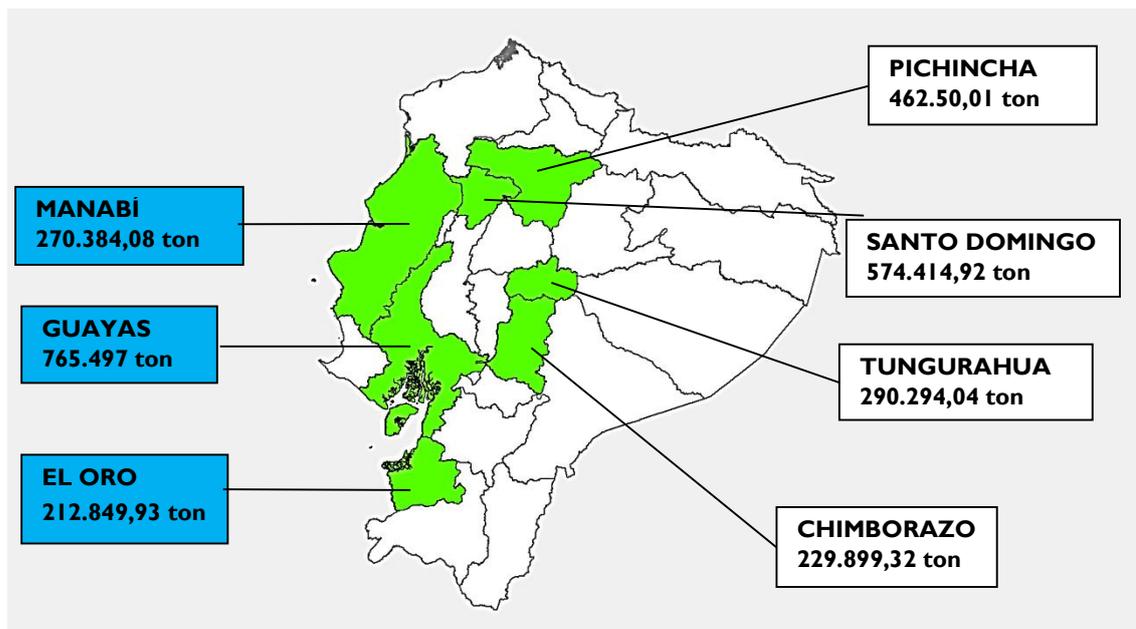


Ilustración 13. Provincias de mayor generación de BRP en Ecuador

Fuente: ESPAC, 2.017

Elaboración: Maestrando

La provincia de Guayas, cuenta con la mayor producción de BRP a nivel nacional, distribuida de la siguiente manera: biomasa avícola 93,64 %, biomasa vacuna (producción de leche y carne) 4,05 %, y biomasa porcina 2,31%; seguido de Santo Domingo de los Tsáchilas, con 90,09% de biomasa avícola, 3,82 % de biomasa vacuna (producción de leche y carne), y 6,09 % de biomasa porcina; mientras que Pichincha, presenta una producción de biomasa avícola de 83,91 %, biomasa vacuna 14,08 % (producción de leche y carne), y biomasa porcina 2,01 % (Tabla 8).

BIOMASA RESIDUAL PECUARIA (ton/año)						
PROVINCIA	VACUNO LECHE	VACUNO CARNE	AVÍCOLA	PORCINO	TOTAL BRP	%
AZUAY	72.094,01	494,15	27.011,21	29.816,55	129.415,92	3,43%
BOLIVAR	35.327,60	307,04	40.835,02	25.372,57	101.842,23	2,70%
CAÑAR	38.468,15	225,56	22.088,86	8.524,29	69.306,86	1,84%
CARCHI	26.420,87	140,40	53.707,99	16.659,84	96.929,10	2,57%
CHIMBORAZO	49.230,85	340,14	146.125,38	34.202,95	229.899,32	6,10%
COTOPAXI	48.537,30	412,08	70.513,66	11.210,39	130.673,42	3,47%
EL ORO	11.426,92	370,42	182.893,08	18.159,50	212.849,93	5,64%
ESMERALDAS	25.112,35	597,01	3.946,50	6.245,33	35.901,19	0,95%
GUAYAS	30.489,37	496,52	716.830,65	17.681,37	765.497,90	20,30%
IMBABURA	14.623,29	156,70	99.540,12	3.952,92	118.273,03	3,14%
LOJA	21.083,05	305,54	28.664,00	7.874,86	57.927,44	1,54%
LOS RIOS	7.497,95	209,97	31.968,71	8.041,52	47.718,15	1,27%
MANABI	120.336,66	1.594,02	130.825,37	17.628,04	270.384,08	7,17%
MORONA S	13.644,53	259,14	943,97	1.595,63	16.443,27	0,44%
NAPO	2.998,24	38,17	4.195,85	328,06	7.560,32	0,20%
ORELLANA	2.246,86	57,49	1.212,28	1.284,48	4.801,11	0,13%
PASTAZA	1.512,57	21,22	105.506,60	585,40	107.625,79	2,85%
PICHINCHA	64.662,47	435,05	387.950,11	9.302,38	462.350,01	12,26%
SANTA ELENA	101,34	8,13	15.614,15		15.723,62	0,42%
SANTO D	21.673,85	258,03	517.474,21	35.008,83	574.414,92	15,23%
SUCUMBÍOS	6.770,52	167,72	1.973,52	3.773,68	12.685,44	0,34%
TUNGURAHUA	25.890,82	159,91	255.834,07	8.409,24	290.294,04	7,70%
ZAMORA CH	9.660,18	145,11	1.194,00	1.129,13	12.128,43	0,32%
TOTAL	649.809,74	7.199,51	2.846.849,30	266.786,98	3.770.645,53	100%

Tabla 8. Producción de biomasa residual pecuaria por provincias en Ecuador

Fuente: ESPAC, 2.017

Elaboración: Maestrando

La biomasa residual pecuaria a nivel nacional está representada principalmente por la producción avícola con el 75,50 %, seguido por el ganado vacuno (producción de leche y carne) que representa el 17,42 %, y finalmente, el porcino que llega únicamente al 7,08 %, tal como se indica en la Tabla 9.

PRODUCCIÓN	TONELADAS ton/año	%
VACUNO LECHE	649.809,74	17,23%
VACUNO CARNE	7.199,5073	0,19%
AVÍCOLA	2.846.849,30	75,50%
PORCINO	266.786,98	7,08%
TOTAL	3.770.645,53	100,00%

Tabla 9. Cultivos de producción de biomasa residual pecuaria en Ecuador

Fuente: ESPAC, 2.017

Elaboración: Maestrando

5.2 POTENCIAL DE GENERACIÓN ELÉCTRICA DE BIOMASA RESIDUAL EN ECUADOR

La estimación del potencial de generación de energía eléctrica se realizó mediante la metodología propuesta (Calderón, et al. 2017), sin embargo, para clarificar los cálculos realizados se desarrolla a continuación un ejemplo con datos referenciales:

DATOS REFERENCIALES:

PE = X

RS = 1.017,51 toneladas de biomasa residual de arroz (seco)

1'017,516,97 kg de biomasa residual de arroz (seco)

LCV o PCI = 14,16 MJ/kg. Potencial Calorífico Inferior del arroz para Ecuador (ESIN, 2.014)

CF = 59% (Calderón, et al. 2.017), considerando la utilización de gasificación mediante una turbina de gas, y pérdidas de eficiencia y rendimiento como producto del proceso.

PE: Potencial de Generación de Energía Eléctrica; RS: Generación de Residuos Sólidos Anuales; LCV o PCI: Poder Calorífico Inferior; CF: Factor de Planta de Generación.

Por lo tanto, el cálculo se realizó de la siguiente manera:

$$PE = \frac{1'017.516,97 \text{ kg} * 14,16 \text{ MJ/kg} * 0,59}{3600} * 1.000$$

$$PE = \frac{8'500.743,77 \text{ MJ}}{3600} * 1.000$$

El factor de conversión utilizado en la ecuación (en donde se convierte MegaJoules/kg MJ/kg a Kilowatios hora KWh) es de 0,277778, resultante de dividir 1.000 para 3.600 según Calderón, et al. (2017), así:

$$PE = 2'361.317,72 \text{ KWh}$$

Las unidades obtenidas en la ecuación de "Potencial de generación eléctrica" son Kilovatios hora, sin embargo, para el presente trabajo se realizó la conversión a GWh, tomando en consideración que 1.000 KWh = 1 MWh y 1000 MWh = 1 GWh

$$PE = 2,36 \text{ GWh}$$

Este cálculo se lo realizó para calcular el total de energía eléctrica proyectado utilizando los datos de la biomasa residual agrícola y pecuaria en Ecuador y la provincia de Loja y en base al cual se realizaron los análisis posteriores.

Considerando la metodología indicada en la presente investigación, se detalla a continuación el potencial teórico de generación eléctrica (PE) en Ecuador aprovechando la biomasa residual agrícola y pecuaria.

5.2.1 POTENCIAL DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA AGRICOLA (PE) ECUADOR

El cálculo indicado, permitió estimar el potencial que tiene el aprovechamiento de la biomasa residual de los cultivos de arroz, banano, cacao, café, caña de azúcar, maíz duro, palma africana, palmito, piña y plátano. El potencial teórico de generación eléctrica de BRA para Ecuador es de 27.303,43 GWh; en donde los cultivos energéticos con mayor potencial de generación son: la palma africana (18.416,42 GWh), arroz (3.087,33 GWh) y caña de azúcar (2.521,48 GWh), debido principalmente al volumen de residuos anuales (ton/año) y al poder calorífico inferior (PCI).

POTENCIAL DE GENERACIÓN ELÉCTRICA ECUADOR (GWh)												
AGRICOLA (GWh)												
PROVINCIA	ARROZ	BANANO	CACAO	CAFÉ	CAÑA DE AZUCAR	MAÍZ DURO	PALMA AFRICANA	PALMITO	PIÑA	PLATANO	TOTAL (GWh)	% AGR
AZUAY	-	-	8,95	-	-	-	-	-	-	-	8,95	0,03%
BOLIVAR	-	1,16	21,96	-	-	-	78,61	-	-	1,18	102,91	0,38%
CAÑAR	2,36	47,26	15,70	-	129,01	-	-	-	-	-	194,33	0,71%
CARCHI	-	-	-	-	0,27	-	-	-	-	-	0,27	0,00%
CHIMBORAZO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00%
COTOPAXI	-	21,10	17,70	-	-	0,14	341,55	-	-	12,71	393,21	1,44%
EL ORO	62,34	233,42	32,07	0,16	-	-	-	-	-	-	327,98	1,20%
ESMERALDAS	-	8,75	78,68	-	-	-	8.953,02	15,09	-	10,46	9.066,00	33,20%
GUAYAS	2.200,24	259,10	200,16	-	2.088,93	261,93	567,92	-	-	17,05	5.595,34	20,49%
IMBABURA	-	0,05	-	-	91,66	-	-	-	-	2,60	94,32	0,35%
LOJA	16,46	2,10	-	2,27	189,33	102,28	-	-	-	-	312,45	1,14%
LOS RIOS	701,35	366,11	204,72	-	22,27	470,10	2.502,81	0,37	0,05	14,12	4.281,90	15,68%
MANABI	95,16	4,62	129,74	8,45	-	295,02	433,18	-	0,06	78,23	1.044,46	3,83%
MORONA SANTIAGO	-	0,42	-	-	-	-	-	-	-	5,78	6,20	0,02%
NAPO	-	-	6,48	-	-	-	-	-	-	-	6,48	0,02%
ORELLANA	9,43	-	10,04	-	-	18,82	1.298,84	-	-	-	1.337,13	4,90%
PASTAZA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,97	0,97	0,00%
PICHINCHA	-	-	3,22	-	-	-	647,54	99,82	-	0,26	750,84	2,75%
SANTA ELENA	-	-	-	-	-	8,99	-	-	-	-	8,99	0,03%
SANTO DOMINGO	-	14,49	41,44	0,43	-	-	1.434,40	43,49	12,56	27,97	1.574,77	5,77%
SUCUMBIÓS	-	-	18,20	12,15	-	-	2.158,54	-	-	4,30	2.193,20	8,03%
TUNGURAHUA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00%
ZAMORA CHINCHIPE	-	-	1,34	-	-	-	-	-	-	1,37	2,72	0,01%
TOTAL	3.087,33	958,60	790,41	23,46	2.521,48	1.157,29	18.416,42	158,77	12,66	177,00	27.303,43	100%

Tabla 10. Potencial de generación eléctrica agrícola en Ecuador

Fuente: ESPAC, 2.017

Elaboración: Maestrando

Las provincias que muestran mayor potencial de generación eléctrica en base a la biomasa residual agrícola son: Esmeraldas (9.066,00 GWh), Guayas (5.595,34 GWh), y Los Ríos (4.281,90 GWh), con un total de generación entre las tres provincias de 18.943,24 GWh, lo que representa el 69,38 % del PE agrícola calculado a nivel nacional (Ilustración 14).

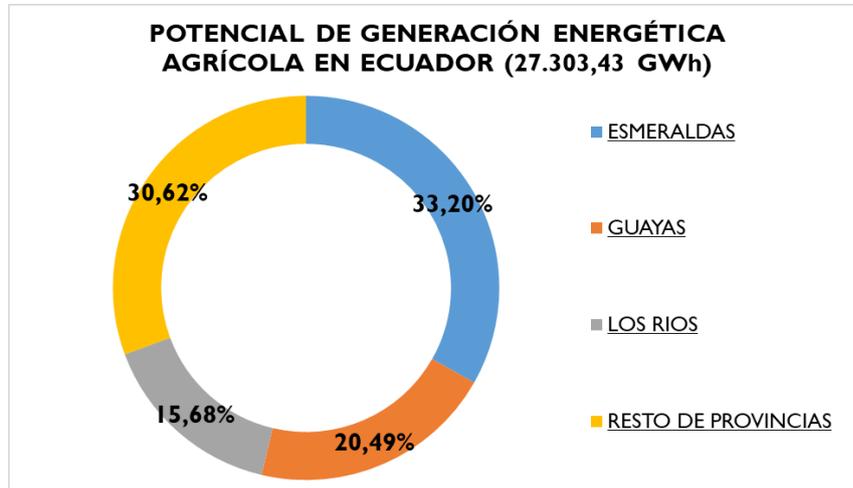


Ilustración 14. Potencial de generación eléctrica agrícola en Ecuador
Fuente: ESPAC, 2.017
Elaboración: Maestrando

5.2.1.1 ESMERALDAS

Es la provincia con mayor potencial de generación de energía eléctrica (9,06 GWh/año), donde la biomasa residual de la palma africana presentó prácticamente la totalidad del PE en la provincia con 8.953,02 GWh (98,65% provincial) seguido por los cultivos de cacao, banano y biomasa avícola con porcentajes menores al 1%.

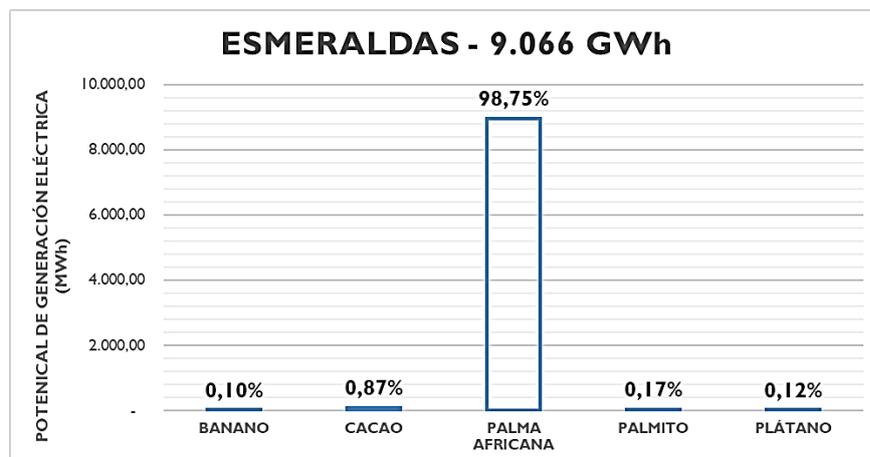


Ilustración 15. Potencial de generación eléctrica agrícola de la provincia de Esmeraldas
Elaboración: Maestrando

5.2.1.2 GUAYAS

En la provincia de Guayas la biomasa de los cultivos de arroz y caña de azúcar registran los mayores valores en cuanto al potencial de generación eléctrica con 2.200,24 GWh y 2.088,93 GWh respectivamente, seguido por palma africana con 567,92 GWh.

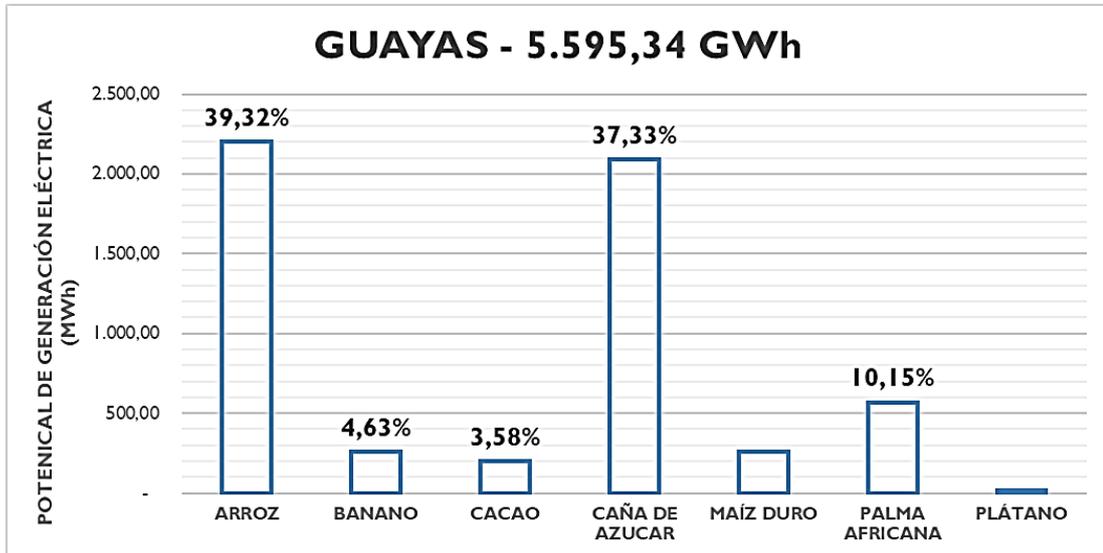


Ilustración 16. Potencial de generación eléctrica agrícola de la provincia del Guayas
Elaboración: Maestrando

5.2.1.3 LOS RÍOS

La biomasa residual agrícola que presenta el mayor potencial de generación eléctrica es la palma africana (2.502,81 GWh), seguido del arroz (701,35 GWh), banano (366,11 GWh), cacao (204,72 GWh), y caña de azúcar (22,27 GWh).

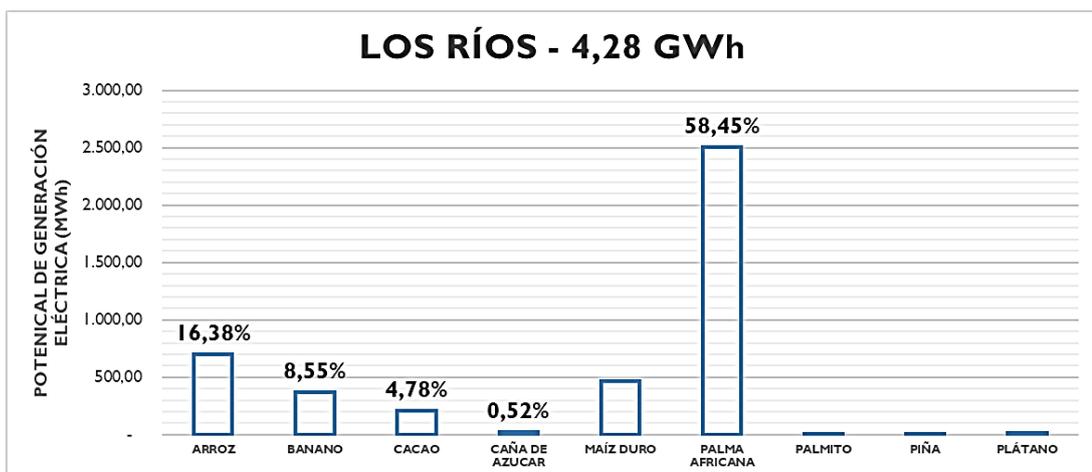


Ilustración 17. Potencial de generación eléctrica agrícola de la provincia de Los Ríos
Elaboración: Maestrando

5.2.2 POTENCIAL DE GENERACIÓN ELÉCTRICA PECUARIA (PE) - ECUADOR

El potencial de generación eléctrico aprovechando la biomasa residual pecuaria en Ecuador estimado es 1.586,43 GWh; las excretas de la producción avícola presentan el mayor PE con 1.312,92 GWh, que representa el 82,76% del total pecuario.

POTENCIAL DE GENERACIÓN ELÉCTRICA ECUADOR (GWh)						
PECUARIO (GWh)						
PROVINCIA	VACUNO LECHE	VACUNO CARNE	AVÍCOLA	PORCINO	TOTAL (GWh)	% PEC
AZUAY	10,09	0,05	12,46	20,32	42,92	2,71%
BOLIVAR	4,94	0,03	18,83	17,29	41,10	2,59%
CAÑAR	5,38	0,02	10,19	5,81	21,40	1,35%
CARCHI	3,70	0,02	24,77	11,35	39,83	2,51%
CHIMBORAZO	6,89	0,04	67,39	23,30	97,62	6,15%
COTOPAXI	6,79	0,04	32,52	7,64	47,00	2,96%
EL ORO	1,60	0,04	84,35	12,37	98,36	6,20%
ESMERALDAS	3,51	0,06	1,82	4,26	9,66	0,61%
GUAYAS	4,27	0,05	330,59	12,05	346,96	21,87%
IMBABURA	2,05	0,02	45,91	2,69	50,66	3,19%
LOJA	2,95	0,03	13,22	5,37	21,57	1,36%
LOS RIOS	1,05	0,02	14,74	5,48	21,29	1,34%
MANABI	16,84	0,17	60,33	12,01	89,36	5,63%
MORONA SANTIAGO	1,91	0,03	0,44	1,09	3,46	0,22%
NAPO	0,42	0,00	1,94	0,22	2,58	0,16%
ORELLANA	0,31	0,01	0,56	0,88	1,75	0,11%
PASTAZA	0,21	0,00	48,66	0,40	49,27	3,11%
PICHINCHA	9,05	0,05	178,92	6,34	194,35	12,25%
SANTA ELENA	0,01	0,00	7,20	-	7,22	0,45%
SANTO DOMINGO	3,03	0,03	238,65	23,85	265,57	16,74%
SUCUMBÍOS	0,95	0,02	0,91	2,57	4,45	0,28%
TUNGURAHUA	3,62	0,02	117,99	5,73	127,36	8,03%
ZAMORA CHINCHIPE	1,35	0,02	0,55	0,77	2,69	0,17%
TOTAL	90,95	0,78	1.312,92	181,78	1.586,43	100,00%

Tabla 11. Potencial de generación eléctrica pecuaria en Ecuador

Fuente: ESPAC, 2.017

Elaboración: Maestrando

Las provincias que muestran mayor potencial de generación eléctrica en base a la biomasa residual pecuaria son: Guayas (346,96 GWh), Santo Domingo (265,57 GWh), y Pichincha (194,35 GWh) (Ilustración 18).

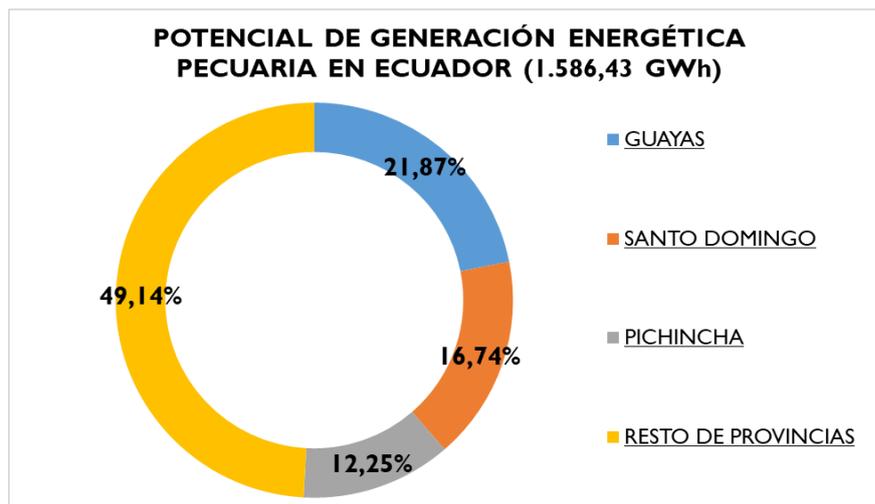


Ilustración 18. Potencial de generación eléctrica pecuaria en Ecuador
Fuente: ESPAC, 2.017
Elaboración: Maestrando

5.3 PRODUCCIÓN DE BIOMASA RESIDUAL EN LA PROVINCIA DE LOJA.

En la provincia de Loja, la producción de biomasa residual estimada para 2.017 fue de 239.946,75 toneladas anuales, que corresponden a 182.019,30 toneladas de BRA, en base a la producción de cultivos de arroz (*Oryza sativa*), banano (*Musa paradisiaca*), café (*Coffea arabica*), caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), y maíz duro (*Zea mays*), que representa el 0,96% del total de BRA a nivel nacional; y 57.927,45 toneladas de BRP, considerando la producción avícola, porcina y vacuna (producción de leche y carne), representando el 1,54% de la producción de BRP en el país (Tabla 12).

CANTÓN	BRA (ton)		CANTÓN	BRP (ton)	
	TOTAL BRA (ton/año)	PORCENTAJE		TOTAL BRP (ton/año)	PORCENTAJE
CALVAS	4.757,41	2,61%	CALVAS	1.121,26	1,94%
CATAMAYO	100.747,97	55,35%	CATAMAYO	11.496,48	19,85%
CELICA	778,93	0,43%	CELICA	1.561,62	2,70%
CHAGUARPAMBA	2.180,61	1,20%	CHAGUARPAMBA	7.906,56	13,65%
ESPINDOLA	2.041,45	1,12%	ESPINDOLA	431,44	0,74%
GONZANAMÁ		0,00%	GONZANAMÁ	2.828,89	4,88%
LOJA	7.871,71	4,32%	LOJA	21.935,39	37,87%
MACARÁ	13.767,16	7,56%	MACARÁ	1.196,69	2,07%
OLMEDO	832,24	0,46%	OLMEDO	189,41	0,33%
PALTAS	10.567,53	5,81%	PALTAS	1.781,12	3,07%
PINDAL		0,00%	PINDAL	903,67	1,56%
PUYANGO	12.603,48	6,92%	PUYANGO	786,05	1,36%
QUILANGA	-	0,00%	QUILANGA	1.207,54	2,08%
SARAGURO		0,00%	SARAGURO	3.476,81	6,00%
SOZORANGA	1.077,22	0,59%	SOZORANGA	326,77	0,56%
ZAPOTILLO	24.793,59	13,62%	ZAPOTILLO	777,76	1,34%
TOTAL	182.019,30	100%	TOTAL	57.927,45	100%

Tabla 12. Producción de biomasa residual agrícola y pecuaria en la provincia de Loja
Fuente: (ESIN, 2.014)
Elaboración: Maestrando

5.3.1 PRODUCCIÓN DE BIOMASA RESIDUAL AGRÍCOLA EN LA PROVINCIA DE LOJA

Los cantones de Catamayo (55,35%), Zapotillo (13,62%), Macará (7,56%), Puyango (6,92%) y Paltas (5,81%), concentraron el mayor porcentaje de biomasa residual agrícola, representando el 89,27% del total existente a nivel provincial, tal como se muestra en la Ilustración 19.

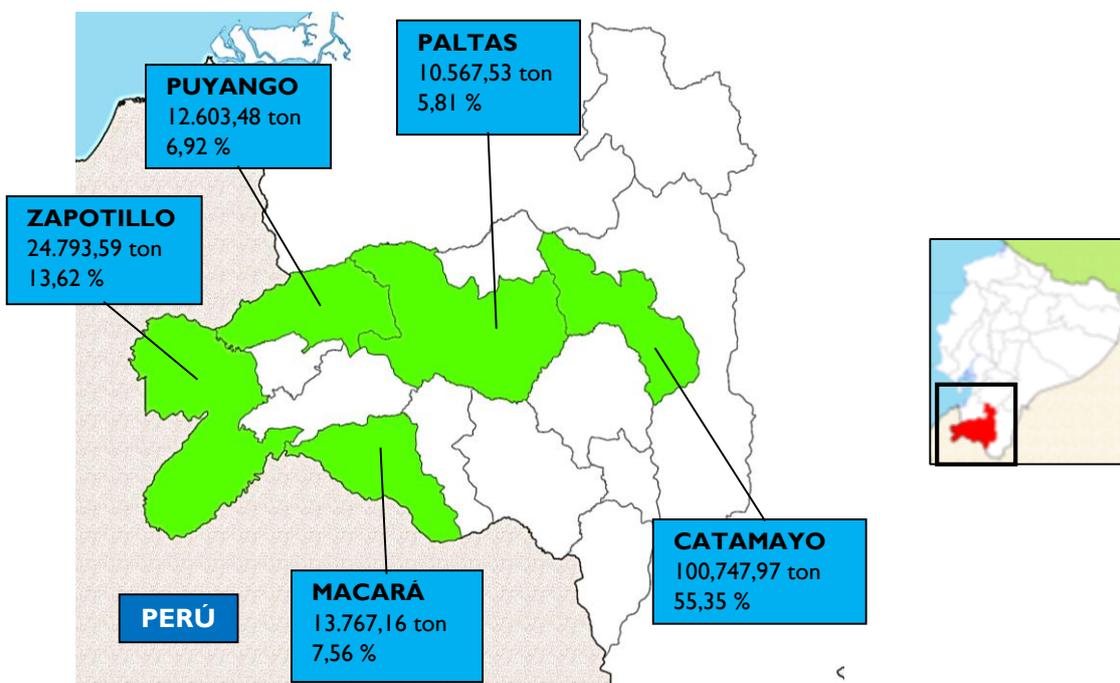


Ilustración 19. Cantones de la provincia de Loja con mayor producción de BRA
Elaboración: Maestrando

En la provincia de Loja, los cultivos que generaron el mayor volumen de biomasa residual agrícola fueron la caña de azúcar y el maíz duro, con 164.038,53 toneladas, lo cual representa el 90,12% del total de BRA provincial, mientras que los cultivos de banano, arroz y café presentaron una baja producción, representando únicamente el 9,87% restante (Tabla 13).

CANTÓN	BRA (ton/año)						PORCENTAJE
	ARROZ	BANANO	CAFÉ	CAÑA DE AZUCAR	MAÍZ DURO	TOTAL BRA (ton/año)	
CALVAS		528,05			4.229,36	4.757,41	2,61%
CATAMAYO				100.747,97		100.747,97	55,35%
CELICA		778,93				778,93	0,43%
CHAGUARPAMBA		1.680,14	500,47			2.180,61	1,20%
ESPINDOLA					2.041,45	2.041,45	1,12%
GONZANAMÁ							0,00%
LOJA				7.871,71		7.871,71	4,32%
MACARÁ	6.805,36	521,88			6.439,92	13.767,16	7,56%
OLMEDO		832,24				832,24	0,46%
PALTAS		1.718,25	389,96		8.459,32	10.567,53	5,81%
PINDAL							0,00%
PUYANGO		2.185,39	610,63		9.807,46	12.603,48	6,92%
QUILANGA						-	0,00%
SARAGURO							0,00%
SOZORANGA	501,59	575,63				1.077,22	0,59%
ZAPOTILLO	352,24				24.441,35	24.793,59	13,62%
TOTAL	7.659,20	8.820,51	1.501,06	108.619,68	55.418,85	182.019,30	100%

Tabla 13. Producción de biomasa residual agrícola en la provincia de Loja
Elaboración: Maestrando

A continuación, se describe las características, métodos de aprovechamiento y distribución a nivel cantonal de los cultivos que generaron mayor volumen de biomasa residual agrícola en la provincia de Loja.

ARROZ

Total provincial de BRA (Arroz): 7.659,20 toneladas

Tipo de cultivo: transitorio

Cantones productores: Macará, Sozoranga y Zapotillo

La producción de BRA del cultivo de arroz, se concentró en el cantón Macará, con 6.805,36 toneladas, que representa 88,85% de la producción provincial, seguido por el canton Sozoranga con 501,59 toneladas (6,55%) , y Zapotillo con 352,24 toneladas (4,60%) (Tabla 14)

BIOMASA AGRÍCOLA			
CULTIVO	CANTÓN	PRODUCCIÓN (ton/año)	%
ARROZ	MACARÁ	6.805,36	88,85%
ARROZ	SOZORANGA	501,59	6,55%
ARROZ	ZAPOTILLO	352,24	4,60%
TOTAL		7.659,19	100,00%

Tabla 14. Cantones con mayor producción de BRA de arroz en la provincia de Loja
Elaboración: Maestrando

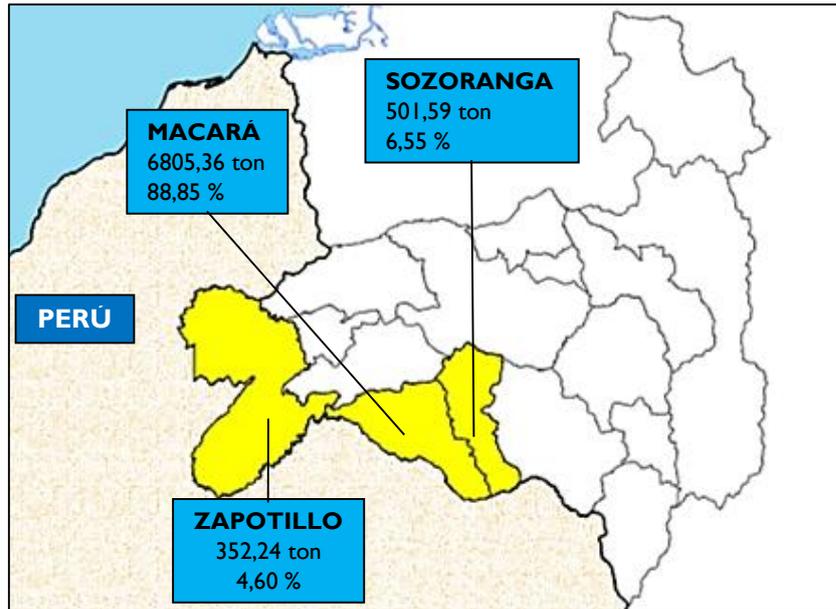


Ilustración 20. Cantones con mayor producción de BRA de arroz en la provincia de Loja
Elaboración: Maestrando

Periodos de cosecha: abril – mayo y septiembre a noviembre

Residuo de campo: panca (pajilla)

Residuo de procesamiento: cáscara

Utilización: consumo interno

Tecnologías de aplicación: se describen los métodos de aprovechamiento energético propuestos por diversos autores, para el cultivo de arroz.

Gasificación de lecho fluidizo burbujeante para la cogeneración de energía y calor, utilizado por Sánchez (2.017), tomando en cuenta los bajos porcentajes de humedad de la cascarilla, composición química y poder calorífico; se aplicó temperaturas entre 850 y 950 °C, permitiendo reducir el tiempo de ignición debido a la elevada transferencia de calor del lecho de arena; obteniendo como resultado una reducida formación de óxidos de nitrógeno y cenizas, demostrando de esta manera alta eficiencia en el proceso.

De igual manera, Fernández, (2.019), propone un sistema de gasificación, con un reactor tipo downdraft, que produce como resultado un gas relativamente libre de alquitranes, mostrando una elevada conversión de carbono; mientras que, por otro lado, Serrano et al. (2.017), propone la gasificación, condicionando su utilización al suministro y cantidad de biomasa

residual disponible, a los costos del pretratamiento previos a la gasificación, y a los costos de las instalaciones.

Barriga, (2.013) plantea aplicar la técnica de gasificación, con rangos de temperatura superiores a 1.000°C debido a su elevado contenido de ceniza, y bajos porcentajes de humedad, permitiendo obtener monóxido de carbono e hidrógeno como gases resultantes; los subproductos de la utilización de este tipo de biomasa son: “Gel de Sílice” en base al calentamiento de las cenizas resultantes del proceso y briquetas de cascarilla de arroz (Arévalo, et. al. 2.017).

BANANO

Total provincial de BRA (banano): 8.820,51 toneladas

Tipo de cultivo: permanente

Cantones productores: Calvas, Celica, Chaguarpamba, Macará, Olmedo, Paltas, Puyango, Sororanga.

La biomasa residual del cultivo de banano, se distribuyó en proporciones inferiores a 25% para cada cantón, es así que Puyango genera el 24,78 % provincial, Paltas el 19,48 %, Chaguarpamba el 19,05 %; mientras que los cantones de Calvas, Celica, Macará, Olmedo y Sozoranga generaron el 36,71% restante de la BRA para este cultivo, con porcentajes de generación inferiores al 10% del total provincial (Tabla 15).

BIOMASA AGRÍCOLA			
CULTIVO	CANTÓN	PRODUCCIÓN (ton/año)	%
BANANO	CALVAS	528,05	5,99%
BANANO	CELICA	778,93	8,83%
BANANO	CHAGUARPAMBA	1.680,14	19,05%
BANANO	MACARÁ	521,88	5,92%
BANANO	OLMEDO	832,24	9,44%
BANANO	PALTAS	1.718,25	19,48%
BANANO	PUYANGO	2.185,39	24,78%
BANANO	SOZORANGA	575,63	6,53%
TOTAL		8.820,51	100,00%

Tabla 15. Cantones con mayor producción de BRA de banano en la provincia de Loja
Elaboración: Maestrando

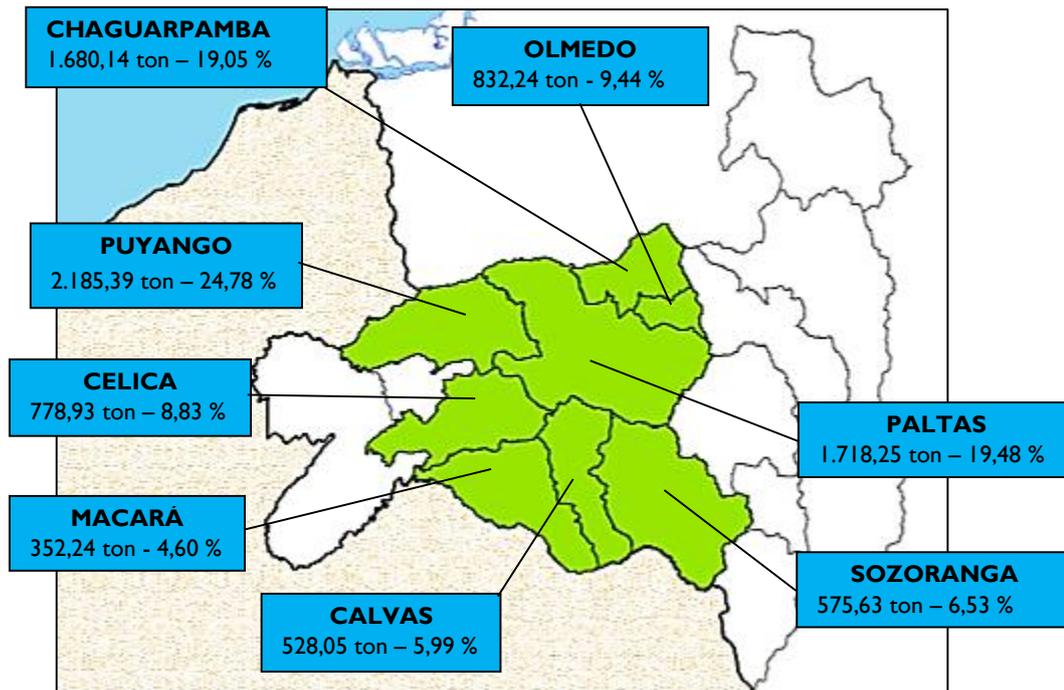


Ilustración 21. Cantones con mayor producción de BRA de banano en la provincia de Loja
Elaboración: Maestrando

Periodos de cosecha: anual

Residuo de campo: hoja, pseudo tallo

Residuo de procesamiento: raquis, rechazo de producto

Utilización: consumo interno y exportación

Tecnologías de aplicación: se describen los métodos de aprovechamiento energético propuestos por diversos autores, para el cultivo de banano.

Gumisiriza, et al. (2017) indica que no es adecuado utilizar técnicas termoquímicas para el aprovechamiento energético de este tipo de biomasa, sin un proceso de secado previo, considerando su alto contenido de humedad; más bien, para su procesamiento recomienda la digestión anaerobia (método bioquímico) debido a su capacidad para degradar materia orgánica generando almidón, lignocelulosa (con elevado potencial para la generación de energía en forma de biogás) y biofertilizante, para la aplicación en cultivos.

Serrano, et al (2.017), indica que la biomasa residual del banano previo a un proceso de secado, presenta mejores resultados de aprovechamiento energético utilizando los métodos de GCC (Gasificación y Ciclo Combinado) que al aplicar Combustión Directa, GTG (Gasificación y Turbina de Gas), y PCC (Pirólisis y Ciclo Combinado).

Matsumura, et al. (2.003); propone someter la biomasa a condiciones supercríticas de temperatura y presión (temperaturas superiores a los 370°C y presiones superiores a 22 MPa), para obtener así reacciones homogéneas con los compuestos orgánicos; de manera que, se evita el proceso de secado de biomasa, y no genera alquitranes, coque o sales, reduciendo problemas de corrosión en los equipos; sin embargo, sus costos son elevados.

CAFÉ

Total provincial de BRA (café): 1.501,06 toneladas

Tipo de cultivo: permanente

Cantones productores: Chaguarpamba, Paltas y Puyango

La biomasa residual del cultivo de café, se concentró en los cantones de Puyango con el 40,68% de la producción (610,63 toneladas), Chaguarpamba con 33,34 % (500,47 toneladas) y Paltas con el 25,98 % (389,96 toneladas) (Tabla 16).

BIOMASA AGRÍCOLA			
CULTIVO	CANTÓN	PRODUCCIÓN (ton/año)	%
CAFÉ	CHAGUARPAMBA	500,47	33,34%
CAFÉ	PALTAS	389,96	25,98%
CAFÉ	PUYANGO	610,63	40,68%
TOTAL		1.501,06	100,00%

Tabla 16. Cantones con mayor producción de BRA de café en la provincia de Loja
Elaboración: Maestrando

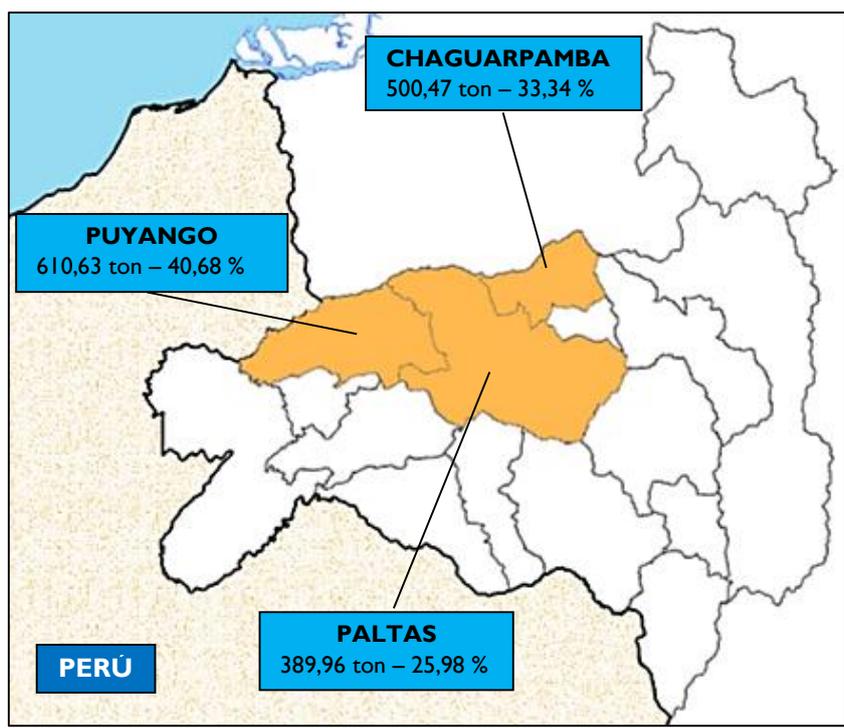


Ilustración 22. Cantones con mayor producción de BRA de café en la provincia de Loja
Elaboración: Maestrando

Periodos de cosecha: Junio – septiembre

Residuo de campo: podo, renovación de plantas

Residuo de beneficio: cáscaras, pulpas y mucílago

Residuo de procesamiento: tarilla

Utilización: consumo interno y exportación

Tecnologías de aplicación: se describen los métodos de aprovechamiento energético propuestos por diversos autores, para el cultivo de café.

Arenas (2.009) señala que “la tecnología de gasificación de biomasa de lecho fijo “downdraft” es la más apropiada para la generación de energía usando como recurso biomásico la cascarilla de café”.

Coincide con esta postura Coto (2.013), quien señala que la cascarilla de café es un combustible apto a combustión, gasificación, densificación.

CAÑA DE AZÚCAR

Total provincial de BRA (caña de azúcar): 108.619,68 toneladas

Tipo de cultivo: transitorio

Cantones productores: Catamayo y Loja

La producción de caña de azúcar representó el cultivo con mayor volumen de generación de biomasa residual a nivel provincial; los cantones en los que se produjo este tipo de cultivo son: Catamayo, que concentra el 92,75 % de la biomasa de bagazo de caña y Loja, en donde se produce únicamente el 7,25 % del total provincial.

BIOMASA AGRÍCOLA			
CULTIVO	CANTÓN	PRODUCCIÓN (ton/año)	%
CAÑA DE AZUCAR	CATAMAYO	100.747,97	92,75%
CAÑA DE AZUCAR	LOJA	7.871,71	7,25%
TOTAL		108.619,68	100,00%

Tabla 17. Cantones con mayor producción de BRA de caña de azúcar en la provincia de Loja
Elaboración: Maestrando

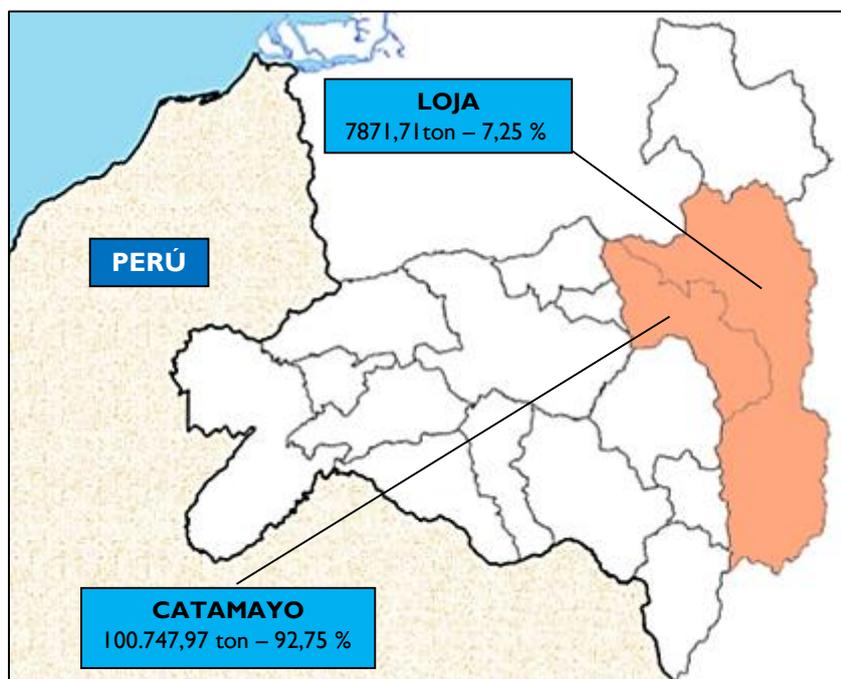


Ilustración 23. Cantones con mayor producción de BRA de caña de azúcar en la provincia de Loja
Elaboración: Maestrando

Periodos de cosecha: junio – diciembre

Residuo de campo: tallos y hojas

Residuo de procesamiento: bagazo

Utilización: consumo interno y exportación

Tecnologías de aplicación: se describen los métodos de aprovechamiento energético propuestos por diversos autores, para el cultivo de caña de azúcar.

Según la investigación realizada por Abreu, et al. (2.016), el aprovechamiento energético del bagazo de caña de azúcar muestra mejores rendimientos aplicando la tecnología de gasificación, siguiendo las siguientes etapas: secado del bagazo, pirólisis, oxidación y reducción; permitiendo obtener un combustible gaseoso con cenizas y partículas sólidas que deben ser eliminadas en la etapa de limpieza de los gases.

Aguirre, (2.015) plantea la utilización de un sistema de cogeneración en fábricas que necesiten en sus procesos de producción energía térmica y energía eléctrica, ya que muestra alta eficiencia, y maximiza el uso de la biomasa.

En Ecuador, el aprovechamiento energético del bagazo de caña, en los ingenios azucareros se ha realizado mediante la aplicación de cogeneración, tanto en la provincia del Guayas, con los proyectos: Ecoelectric Valdez Guayas, y San Carlos Cogeneración, con potencial nominal de 36,50 MW y 35 MW respectivamente, como en la provincia de Ibarra, con el proyecto de Cogeneración del Ingenio Azucarero del Norte Compañía de Economía Mixta (IANCEM), con potencia nominal de 3 MW (Rosero & Chilibingua, 2.011); además, existen experiencias de aprovechamiento energético del follaje (hojas) de la caña de azúcar, mediante gasificación, que permite obtener energía debido a los bajos porcentajes de nitrógeno, y azufre, alto contenido de materia volátil y humedad relativamente baja (Estremadoyro, 2.015)

MAIZ DURO

Total provincial de BRA (maíz duro): 55.418,85 toneladas

Tipo de cultivo: transitorio con ciclos vegetativos promedio de 4,5 meses

Cantones productores: Calcas, Espíndola, Macará, Paltas, Puyango y Zapotillo

En la provincia de Loja la generación de biomasa residual de maíz duro se distribuyó de la siguiente manera: en el cantón Zapotillo 44,10 %, Puyango 17,70%; mientras que el 38,20 % restante, se generó en Paltas, Macará, Calvas, y Espíndola. (Tabla 18)

BIOMASA AGRÍCOLA			
CULTIVO	CANTÓN	PRODUCCIÓN (ton/año)	%
MAÍZ DURO	CALVAS	4.229,36	7,63%
MAÍZ DURO	ESPINDOLA	2.041,45	3,68%
MAÍZ DURO	MACARÁ	6.439,92	11,62%
MAÍZ DURO	PALTAS	8.459,32	15,26%
MAÍZ DURO	PUYANGO	9.807,46	17,70%
MAÍZ DURO	ZAPOTILLO	24.441,35	44,10%
TOTAL		55.418,86	100,00%

Tabla 18. Cantones con mayor producción de BRA de maíz duro en la provincia de Loja
Elaboración: Maestrando

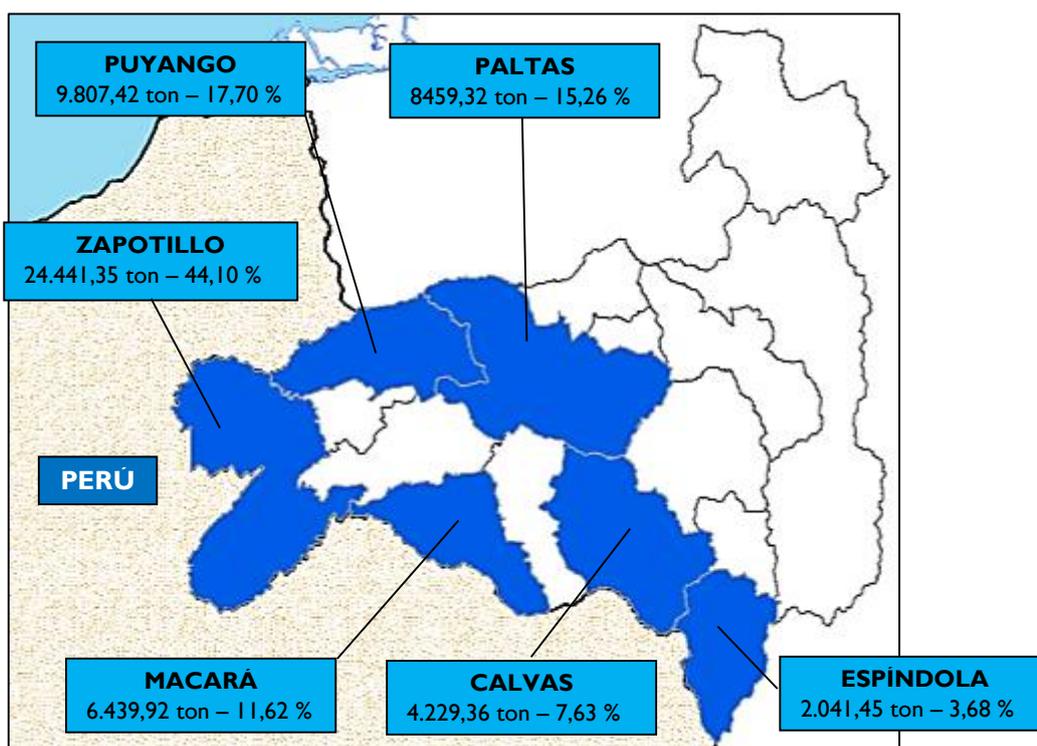


Ilustración 24. Cantones con mayor producción de BRA de maíz duro en la provincia de Loja
Elaboración: Maestrando

Periodos de cosecha: ciclo vegetativo

Residuo de campo: hojas, tallos y mazorcas

Residuo de procesamiento: mazorcas

Utilización: consumo interno y exportación

Tecnologías de aplicación: se describen los métodos de aprovechamiento energético propuestos por diversos autores, para el arroz.

Sofía Corina, analista de la Bolsa de Comercio de Rosario – Argentina, propone la generación de biogás a partir de la fermentación anaeróbica, es decir, la obtención de una mezcla de gases, principalmente metano y dióxido de carbono, mediante la descomposición del silo de maíz y su mezcla con estiércol en ausencia de oxígeno. También señala que “el biogás, al alimentar un motogenerador, produce, por un lado, energía eléctrica que va a la red y, por el otro, energía térmica para calentar agua a una industria cercana. De todo este proceso se desprende el digestato; líquido de concentradas dosis de nutrientes que se usa como biofertilizante para producir el propio maíz (INFOCAMPO, 2.017).

Otros autores señalan que el método más apropiado para la generación eléctrica a través de la tusa de maíz es la gasificación, como es el caso de Matillo et al. (2.019), quienes proponen la utilización de un Motor de Combustión Interna, para la generación de energía.

5.3.2 CARACTERIZACIÓN DE BIOMASA RESIDUAL AGRÍCOLA

La composición de la biomasa constituye un papel preponderante en el proceso de conversión energética, razón por la cual se presenta a continuación la caracterización de la BRA en base a los análisis: elemental, próximo y de los componentes, tomando como referencia datos de investigaciones realizadas en el Ecuador.

5.3.2.1 ANÁLISIS ELEMENTAL

El análisis elemental de la BRA de los cultivos objeto del estudio, presentan proporciones de azufre y nitrógeno menores a 2%, existiendo la posibilidad de la generación de óxidos (SO_x y NO_x) que reducen la eficiencia de aprovechamiento energético; mientras que la biomasa de café, maíz duro y caña de azúcar presentan los mayores valores de contenido de carbono, siendo de 50,30%, 48,50% y 47,68% respectivamente, lo que favorece a la generación de energía.

NOMBRE COMÚN	ANÁLISIS ELEMENTAL					FUENTE
	Carbono (%)	Oxígeno (%)	Hidrógeno (%)	Nitrógeno (%)	Azufre (%)	
Arroz	39,60	37,52	4,97	1,83	0,40	(Tipanluisa, et al. 2013)
Banano	40,30	s/d	4,36	0,74	0,68	(Palacios, 2016)
Café	50,30	43,80	5,30	< 1	s/d	(Manals, et al. 2018)
Caña de azúcar	47,68	42,43	5,01	0,35	0,50	(Díaz, 2008)
Maíz duro	48,50	45,00	5,60	0,38	< 0,01	(Asseffe, et al. 2019)

Tabla 19. Análisis elemental de la BRA de los principales cultivos en la provincia de Loja
Elaboración: Maestrando

5.3.2.2 ANALISIS PRÓXIMO

El análisis próximo indica que la BRA de arroz, maíz duro y caña de azúcar presentan humedad menor al 50% favoreciendo su aprovechamiento energético por métodos termoquímicos; por otra parte, la BRA de café, maíz duro y caña de azúcar muestran los menores porcentajes de generación de ceniza, lo que reduce las probabilidades de corrosión y daños en la maquinaria utilizada para su aprovechamiento energético.

NOMBRE COMÚN	ANÁLISIS PROXIMO				FUENTE
	Volátiles (%)	Carbono fijo (%)	Cenizas (%)	Humedad (%)	
Arroz	59,00	16,12	19,30	7,40	(Tipanluisa, et al. 2013)
Banano	80,00	12,77	14,58	95,66	(Palacios, 2016)
Café	82,00	23,10	1,20	10,10	(Manals, et al. 2018)
Caña de azúcar	47,27	4,16	2,15	46,42	(Díaz, 2008)
Maíz duro	79,36	17,14	1,75	10,00	(Asseffe, et al. 2019)

Tabla 20. Análisis próximo de la BRA de los principales cultivos en la provincia de Loja
Elaboración: Maestrando

5.3.2.3 ANÁLISIS DE LOS COMPONENTES

La BRA de caña de azúcar registra mayor contenido de celulosa y el maíz duro de hemicelulosa, lo que facilita la generación de calor al oxidar la materia orgánica, siendo una fuente potencial de aprovechamiento energético; seguido por la biomasa de café, arroz y banano.

NOMBRE COMÚN	ANÁLISIS DE LOS COMPONENTES			
	Celulosa	Hemicelulosa	Lignina	FUENTE
Arroz	34,40	29,30	19,20	(Tipanluisa, et al. 2013)
Banano	25,00	15,00	60,00	(Fernández, 2013)
Café	36,70	47,37	15,93	(Arias, et al. 2016)
Caña de azúcar	81,79	37,50	8,20	(Díaz, 2008)
Maíz duro	43,14	78,80	23,00	(Manals, 2018)

Tabla 21. Análisis de los componentes de la BRA de los principales cultivos en la provincia de Loja
Elaboración: Maestrando

5.3.3 PRODUCCION DE BIOMASA RESIDUAL PECUARIA EN LA PROVINCIA DE LOJA

Los resultados de la producción de biomasa residual pecuaria en la provincia de Loja se obtuvieron tomando como referencia la producción registrada en la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua de 2.012, extrapolando los datos hasta 2.017; el mayor volumen de generación de BRP se registra en los cantones de Loja (37,87%), Catamayo (19,85%), Chaguarpamba (13,65%) y Saraguro (6%) (Ilustración 25); los cantones restantes se encuentran por debajo de esta cifra, concentrando el 22,64% de la BRP provincial.

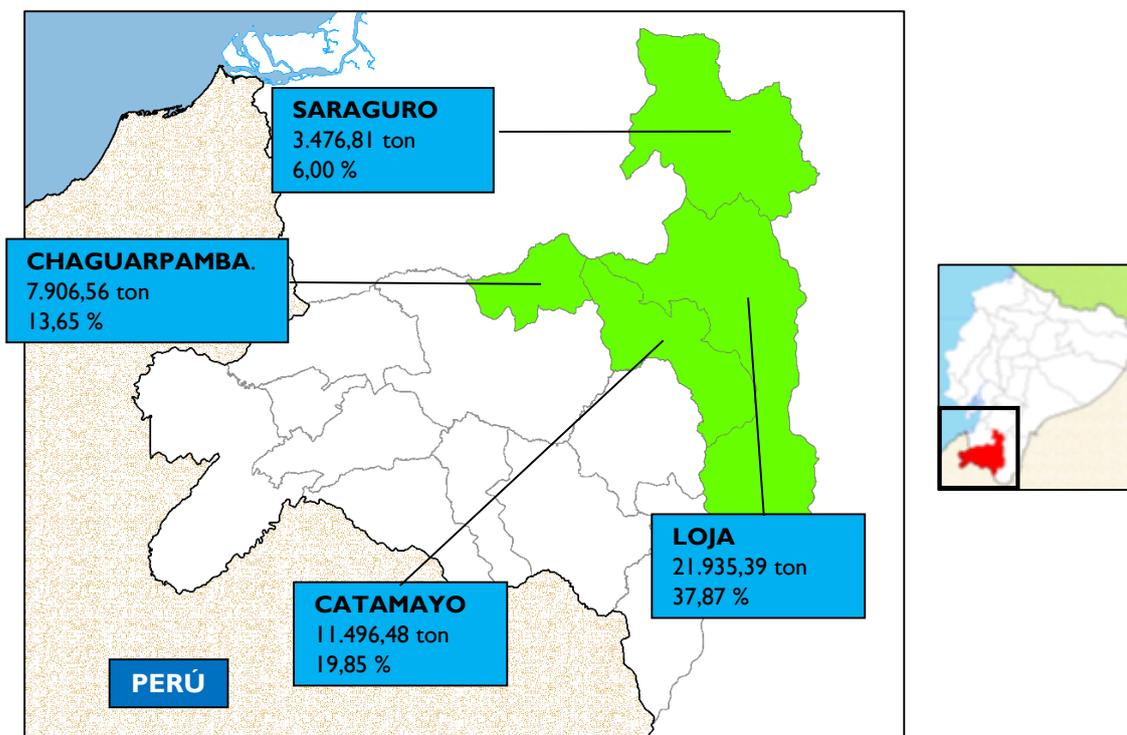


Ilustración 25. Cantones con mayor producción de BRP en la provincia de Loja
Elaboración: Maestrando

Las producciones avícolas (28.664 toneladas) y vacunas para la obtención de leche (21.083,05 toneladas), generaron el mayor volumen de toneladas de BRP en la provincia de Loja, tal como se indica en la Tabla 22

CANTÓN	BRP (ton/año)				TOTAL BRP (ton/año)	PORCENTAJE
	VACUNO LECHE	VACUNO CARNE	AVÍCOLA	PORCINO		
CALVAS	535,00			586,26	1.121,26	1,94%
CATAMAYO	838,56		10.087,51	570,41	11.496,48	19,85%
CELICA	1.100,36			461,26	1.561,62	2,70%
CHAGUARPAMBA	152,42		6.933,74	820,41	7.906,56	13,65%
ESPINDOLA	431,44				431,44	0,74%
GONZANAMÁ	2.326,92	33,67		468,30	2.828,89	4,88%
LOJA	8.360,46	108,26	11.642,76	1.823,91	21.935,39	37,87%
MACARÁ	687,90			508,79	1.196,69	2,07%
OLMEDO	96,10			93,31	189,41	0,33%
PALTAS	1.175,65	45,62		559,85	1.781,12	3,07%
PINDAL	225,87			677,80	903,67	1,56%
PUYANGO	650,10	35,60		100,35	786,05	1,36%
QUILANGA	860,71			346,82	1.207,54	2,08%
SARAGURO	3.284,67	49,54		142,60	3.476,81	6,00%
SOZORANGA	235,22			91,55	326,77	0,56%
ZAPOTILLO	121,67	32,86		623,23	777,76	1,34%
TOTAL	21.083,05	305,54	28.664,00	7.874,86	57.927,45	100%

Tabla 22. Producción de BRP en la provincia de Loja
Elaboración: Maestrando

Se describe, a continuación, las principales características y la distribución de BRP, en la provincia de Loja.

5.3.3.1 BIOMASA RESIDUAL PECUARIA DE PRODUCCIÓN AVÍCOLA

Total provincial de BRP (Avícola): 28.664,00 toneladas

Tipo de producción: permanente

Cantones productores: Catamayo, Chaguarpamba y Loja

La producción de biomasa residual avícola registró el mayor volumen de generación en el cantón Loja con 40,62% (11.642,76 toneladas), seguido por Catamayo con 35,19% (10.087,51 toneladas), y finalmente Chaguarpamba con 24,19% (6.933,74 toneladas).

BIOMASA PECUARIA			
GANADO	CANTÓN	PRODUCCIÓN (ton/año)	%
AVÍCOLA	CATAMAYO	10.087,51	35,19%
AVÍCOLA	CHAGUARPAMBA	6.933,74	24,19%
AVÍCOLA	LOJA	11.642,76	40,62%
TOTAL		28.664,01	100,00%

Tabla 23. Cantones con mayor producción de BRP avícola en la provincia de Loja
Elaboración: Maestrando

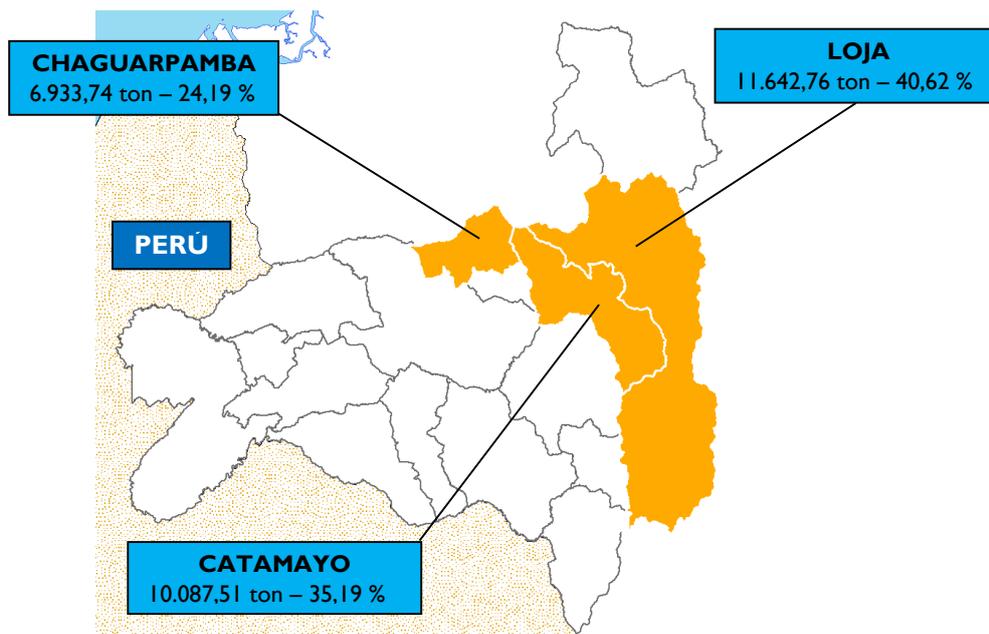


Ilustración 26. Cantones con mayor producción BRP avícola en la provincia de Loja
Elaboración: Maestrando

Periodos de recolección: todo el año

Residuo de campo: excretas

Destino: consumo interno y exportación

Tecnologías de aplicación: el método óptimo para el aprovechamiento energético de la biomasa residual avícola es la biodigestión.

5.3.3.2 BIOMASA RESIDUAL PECUARIA DE GANADO PORCINO

Total provincial de BRP (porcino): 7.874, 86 toneladas

Tipo de producción: permanente

Cantones productores: toda la provincia de Loja, exceptuando el cantón Espíndola

La producción de BRP de ganado porcino se genera en toda la provincia de Loja, exceptuando el cantón Espindola (Ilustración 27); principalmente se da en los cantones de Loja y Chaguarpamba, en donde se registró el mayor volumen de producción con 23,16 % y 10,42% respectivamente, mientras que, los cantones restantes suman 66,42 % (5.230,54 toneladas) y no superan el 9 % de producción (Tabla 24).

BIOMASA PECUARIA			
GANADO	CANTÓN	PRODUCCIÓN (ton/año)	%
PORCINO	CALVAS	586,26	7,44%
PORCINO	CATAMAYO	570,41	7,24%
PORCINO	CELICA	461,26	5,86%
PORCINO	CHAGUARPAMBA	820,41	10,42%
PORCINO	GONZANAMÁ	468,30	5,95%
PORCINO	LOJA	1.823,91	23,16%
PORCINO	MACARÁ	508,79	6,46%
PORCINO	OLMEDO	93,31	1,18%
PORCINO	PALTAS	559,85	7,11%
PORCINO	PINDAL	677,80	8,61%
PORCINO	PUYANGO	100,35	1,27%
PORCINO	QUILANGA	346,82	4,40%
PORCINO	SARAGURO	142,60	1,81%
PORCINO	SOZORANGA	91,55	1,16%
PORCINO	ZAPOTILLO	623,24	7,91%
TOTAL		7.874,86	100,00%

Tabla 24. Cantones con mayor producción BRP porcino en la provincia de Loja
Elaboración: Maestrando



Ilustración 27. Cantones con mayor producción de BRP porcina en la provincia de Loja
Elaboración: Maestrando

Periodos de recolección: todo el año

Residuo de campo: excretas

Destino: consumo interno y exportación

Tecnologías de aplicación: el método óptimo para el aprovechamiento energético de la biomasa residual pecuaria es la biodigestión.

5.3.3.3 BIOMASA RESIDUAL AGRÍCOLA DE GANADO VACUNO PARA LA OBTENCIÓN DE CARNE

Total provincial de BRP (ganado vacuno para la obtención de carne): 305,54 toneladas

Tipo de producción: permanente

Cantones productores: Gonzanamá, Loja, Paltas, Puyango, Saraguro, Zapotillo

La producción de BRP de ganado vacuno para la obtención de carne en el cantón Loja fue de 35,43%, Saraguro 16,21%, y Paltas 14,93%; mientras que los cantones restantes suman 33,43% (102,12 toneladas) con porcentajes inferiores al 12% cada uno (Tabla 25).

BIOMASA PECUARIA			
GANADO	CANTÓN	PRODUCCIÓN (ton/año)	%
VACUNO CARNE	LOJA	108,26	35,43%
VACUNO CARNE	SARAGURO	49,54	16,21%
VACUNO CARNE	PALTAS	45,62	14,93%
VACUNO CARNE	PUYANGO	35,60	11,65%
VACUNO CARNE	GONZANAMÁ	33,67	11,02%
VACUNO CARNE	ZAPOTILLO	32,86	10,76%
TOTAL		305,54	100%

Tabla 25. Cantones con mayor producción de BRP de ganado vacuno (carne) en la provincia de Loja
Elaboración: Maestrando

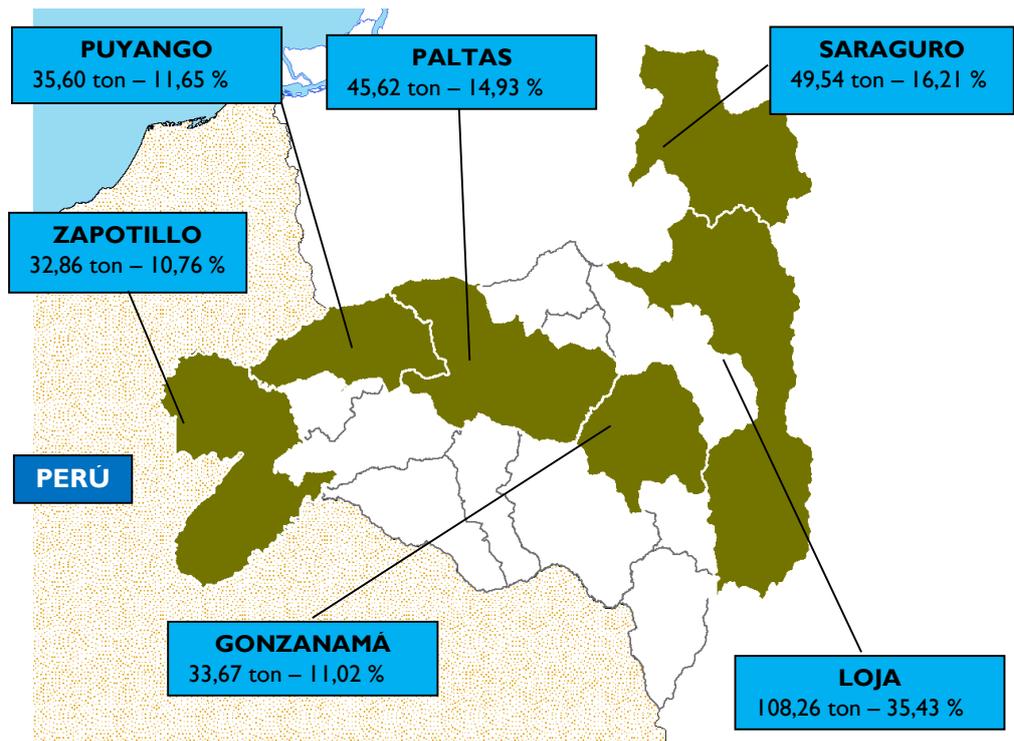


Ilustración 28. Cantones con mayor producción de BRP de ganado vacuno (carne) en la provincia de Loja
Elaboración: Maestrando

Periodos de recolección: todo el año

Residuo de campo: excretas

Destino: consumo interno y exportación

Tecnologías de aplicación: el método óptimo para el aprovechamiento energético de la biomasa residual avícola es la biodigestión.

5.3.3.4 BIOMASA RESIDUAL PECUARIA DE GANADO VACUNO PARA LA OBTENCIÓN DE LECHE

Total provincial de BRP (ganado vacuno para la obtención de leche): 21.083,05 toneladas

Tipo de producción: permanente

Cantones productores: toda la provincia de Loja

La BRP de ganado vacuno para la obtención de leche se genera en toda la provincia (Ilustración 32); los cantones que registran mayor volumen de generación son: Loja (39,65%), Saraguro (15,58%), y Gonzanamá (11,04%); mientras que los cantones restantes suman 33,73% (7.111,00 toneladas), con porcentajes inferiores al 6% (Tabla 26).

BIOMASA PECUARIA			
GANADO	CANTÓN	PRODUCCIÓN (ton/año)	%
VACUNO LECHE	LOJA	8.360,46	39,65%
VACUNO LECHE	SARAGURO	3.284,67	15,58%
VACUNO LECHE	GONZANAMÁ	2.326,92	11,04%
VACUNO LECHE	PALTAS	1.175,65	5,58%
VACUNO LECHE	CELICA	1.100,36	5,22%
VACUNO LECHE	QUILANGA	860,71	4,08%
VACUNO LECHE	CATAMAYO	838,56	3,98%
VACUNO LECHE	MACARÁ	687,90	3,26%
VACUNO LECHE	PUYANGO	650,10	3,08%
VACUNO LECHE	CALVAS	535,00	2,54%
VACUNO LECHE	ESPINDOLA	431,44	2,05%
VACUNO LECHE	SOZORANGA	235,22	1,12%
VACUNO LECHE	PINDAL	225,87	1,07%
VACUNO LECHE	CHAGUARPAMBA	152,42	0,72%
VACUNO LECHE	ZAPOTILLO	121,67	0,58%
VACUNO LECHE	OLMEDO	96,10	0,46%
TOTAL		21.083,05	100,00%

Tabla 26. Cantones con mayor producción de BRP de ganado vacuno (leche) en la provincia de Loja
Elaboración: Maestrando

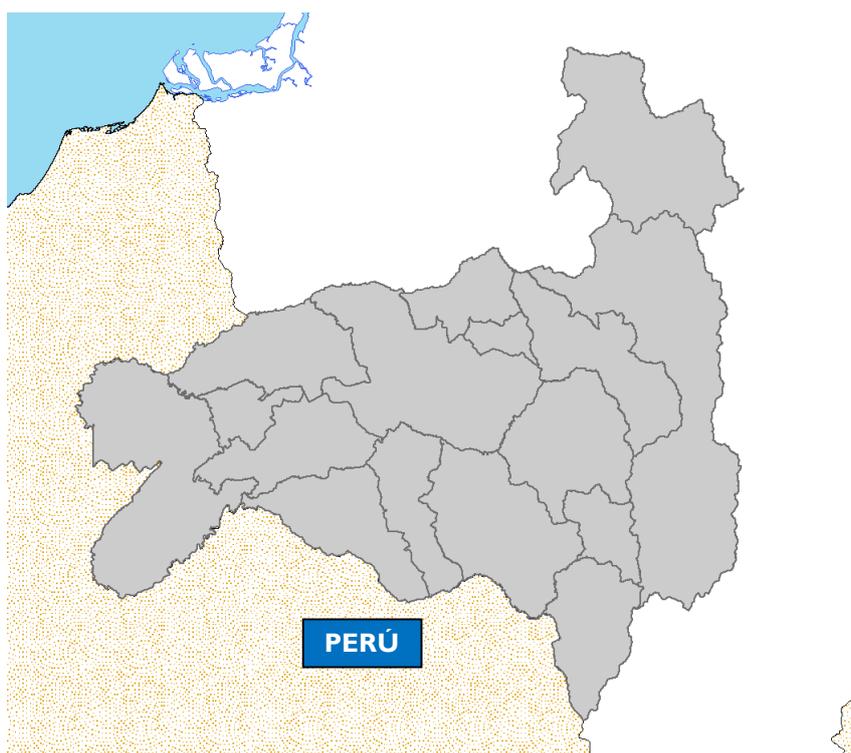


Ilustración 29. Cantones con producción de BRP de ganado vacuno (leche) en la provincia de Loja
Elaboración: Maestrando

Periodos de recolección: todo el año

Residuo de campo: excretas

Destino: consumo interno y exportación

Tecnologías de aplicación: el método óptimo para el aprovechamiento energético de la biomasa residual avícola es la biodigestión.

5.3.4 POTENCIAL DE GENERACIÓN ELÉCTRICA DE BIOMASA RESIDUAL (PE) EN LA PROVINCIA DE LOJA

El potencial teórico de generación de energía eléctrica para la provincia de Loja, se calculó tomando como referencia los valores de biomasa residual seca (sin el porcentaje de humedad) indicados en la Tabla 27, tanto para la producción agrícola (Tabla 28). como pecuaria (Tabla 29).

PRODUCCIÓN		% HUMEDAD	FUENTE
AGRÍCOLA	ARROZ	7,4 %	(Echeverría & López, 2010)
AGRÍCOLA	BANANO	91,35 %	(Abril, 2016)
AGRÍCOLA	CAFÉ	13,10 %	(Manals-Cutiño, et al, 2018)
AGRÍCOLA	CAÑA DE AZÚCAR	46,62 %	(Díaz, 2008)
AGRÍCOLA	MAÍZ DURO	10,27 %	(Stronguiló y Chacón, 2015)
PECUARIO	VACUNO (LECHE)	86 %	(Leckie, et al. 1981)
PECUARIO	VACUNO (CARNE)	86 %	(Leckie, et al. 1981)
PECUARIO	AVÍCOLA	80 %	(Mullo, 2012)
PECUARIO	PORCINO	87 %	(Leckie, et al. 1981)

Tabla 27. Porcentaje de humedad por tipo de producción
Elaboración: Maestrando

CANTÓN	AGRÍCOLA (GWh)	
	TOTAL (GWh)	%
CALVAS	7,93	2,54%
CATAMAYO	175,61	56,20%
CELICA	0,19	0,06%
CHAGUARPAMBA	1,16	0,37%
ESPINDOLA	3,77	1,21%
GONZANAMÁ	-	0,00%
LOJA	13,72	4,39%
MACARÁ	26,63	8,52%
OLMEDO	0,20	0,06%
PALTAS	16,61	5,32%
PINDAL	-	0,00%
PUYANGO	19,55	6,26%
QUILANGA	-	0,00%
SARAGURO	-	0,00%
SOZORANGA	1,22	0,39%
ZAPOTILLO	45,87	14,68%
TOTAL	312,45	100%

Tabla 28. Generación Eléctrica de la Biomasa Residual Agrícola (BRA) en la provincia de Loja
Elaboración: Maestrando

CANTÓN	PECUARIO (GWh)	
	TOTAL (GWh)	%
CALVAS	0,47	2,20%
CATAMAYO	5,16	23,91%
CELICA	0,47	2,17%
CHAGUARPAMBA	3,78	17,52%
ESPINDOLA	0,06	0,28%
GONZANAMÁ	0,65	3,01%
LOJA	7,79	36,14%
MACARÁ	0,44	2,05%
OLMEDO	0,08	0,36%
PALTAS	0,55	2,55%
PINDAL	0,49	2,29%
PUYANGO	0,16	0,76%
QUILANGA	0,36	1,65%
SARAGURO	0,56	2,61%
SOZORANGA	0,10	0,44%
ZAPOTILLO	0,45	2,06%
TOTAL	21,57	100%

Tabla 29. Generación Eléctrica de la Biomasa Residual Pecuaria (BRP) en la provincia de Loja
Elaboración: Maestrando

Los valores indicados en las tablas anteriores permitieron determinar el potencial teórico de generación de energía eléctrica de 334,01 GWh para la provincia de Loja, de los cuales el sector agrícola registró 312,45 GWh (Tabla 30) y el sector pecuario 21,57 GWh (Tabla 31).

5.3.4.1 POTENCIAL DE GENERACIÓN ELÉCTRICA DE BIOMASA RESIDUAL AGRÍCOLA

Los cultivos que presentan mayor potencial energético en la provincia de Loja son: la caña de azúcar que cuenta con un potencial de 189,33 GWh y el maíz duro con 102,28 GWh (Tabla 27).

POTENCIAL DE GENERACIÓN ELÉCTRICA LOJA (GWh)							
CANTÓN	AGRÍCOLA (GWh)					TOTAL (GWh)	% AGR
	ARROZ	BANANO	CAFÉ	CAÑA DE AZUCAR	MAÍZ DURO		
CALVAS	-	0,13	-	-	7,81	7,93	2,54%
CATAMAYO	-	-	-	175,61	-	175,61	56,20%
CELICA	-	0,19	-	-	-	0,19	0,06%
CHAGUARPAMBA	-	0,40	0,76	-	-	1,16	0,37%
ESPINDOLA	-	-	-	-	3,77	3,77	1,21%
GONZANAMÁ	-	-	-	-	-	-	0,00%
LOJA	-	-	-	13,72	-	13,72	4,39%
MACARÁ	14,62	0,12	-	-	11,89	26,63	8,52%
OLMEDO	-	0,20	-	-	-	0,20	0,06%
PALTAS	-	0,41	0,59	-	15,61	16,61	5,32%
PINDAL	-	-	-	-	-	-	0,00%
PUYANGO	-	0,52	0,93	-	18,10	19,55	6,26%
QUILANGA	-	-	-	-	-	-	0,00%
SARAGURO	-	-	-	-	-	-	0,00%
SOZORANGA	1,08	0,14	-	-	-	1,22	0,39%
ZAPOTILLO	0,76	-	-	-	45,11	45,87	14,68%
TOTAL	16,46	2,10	2,27	189,33	102,28	312,45	100%

Tabla 30. Potencial de Generación de energía eléctrica de BRA en la provincia de Loja
Elaboración: Maestrando

Los cantones que registran mayor potencial de generación eléctrica agrícola en la provincia de Loja, son: Catamayo con 175,61 GWh, en base a la producción de biomasa residual de los cultivos de caña de azúcar, Zapotillo con 45,87 GWh basado principalmente en la producción de maíz duro, y Macará con 26,63 GWh en base a su producción de arroz y maíz duro; el resto de los cantones registraron 64,74 GWh (Ilustración 30).

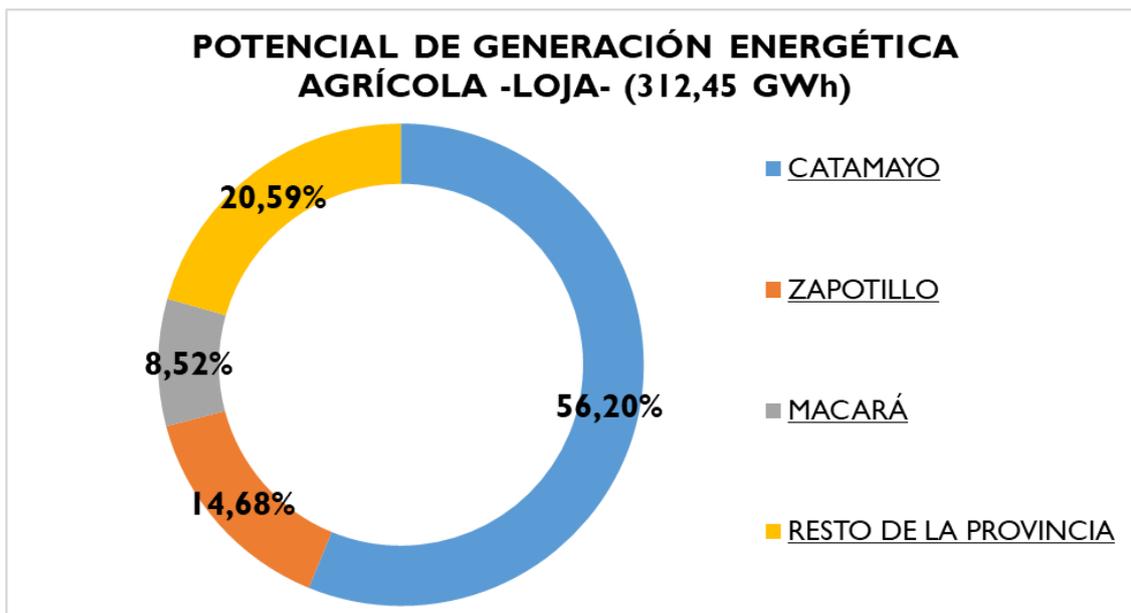


Ilustración 30. Cantones con mayor potencial de generación eléctrica agrícola en la provincia de Loja
Elaboración: Maestrando

5.3.4.2 POTENCIAL DE GENERACIÓN ELÉCTRICA DE BIOMASA RESIDUAL PECUARIA

La biomasa residual de la producción avícola presenta el mayor potencial de generación eléctrica pecuario en la provincia de Loja con 13,22 GWh que representa el 61,29%, debido principalmente al volumen de generación de dichos residuos a nivel provincial.

POTENCIAL DE GENERACIÓN ELÉCTRICA LOJA (GWh)						
CANTÓN	PECUARIO (GWh)				TOTAL (GWh)	% PEC
	VACUNO LECHE	VACUNO CARNE	AVÍCOLA	PORCINO		
CALVAS	0,07	-	-	0,40	0,47	2,20%
CATAMAYO	0,12	-	4,65	0,39	5,16	23,91%
CELICA	0,15	-	-	0,31	0,47	2,17%
CHAGUARPAMBA	0,02	-	3,20	0,56	3,78	17,52%
ESPINDOLA	0,06	-	-	-	0,06	0,28%
GONZANAMÁ	0,33	0,00	-	0,32	0,65	3,01%
LOJA	1,17	0,01	5,37	1,24	7,79	36,14%
MACARÁ	0,10	-	-	0,35	0,44	2,05%
OLMEDO	0,01	-	-	0,06	0,08	0,36%
PALTAS	0,16	0,00	-	0,38	0,55	2,55%
PINDAL	0,03	-	-	0,46	0,49	2,29%
PUYANGO	0,09	0,00	-	0,07	0,16	0,76%
QUILANGA	0,12	-	-	0,24	0,36	1,65%
SARAGURO	0,46	0,01	-	0,10	0,56	2,61%
SOZORANGA	0,03	-	-	0,06	0,10	0,44%
ZAPOTILLO	0,02	0,00	-	0,42	0,45	2,06%
TOTAL	2,95	0,03	13,22	5,37	21,57	100%

Tabla 31. Potencial de generación eléctrica pecuaria BRP en la provincia de Loja
Elaboración: Maestrando

Los cantones que registran mayor potencial de generación eléctrica pecuario de la provincia de Loja, son: Loja con 7,79 GWh, Catamayo con 5,16 GWh y Chaguarpamba con 3,78 GWh, en base a producción de biomasa residual de granjas avícolas principalmente. (Ilustración 31).

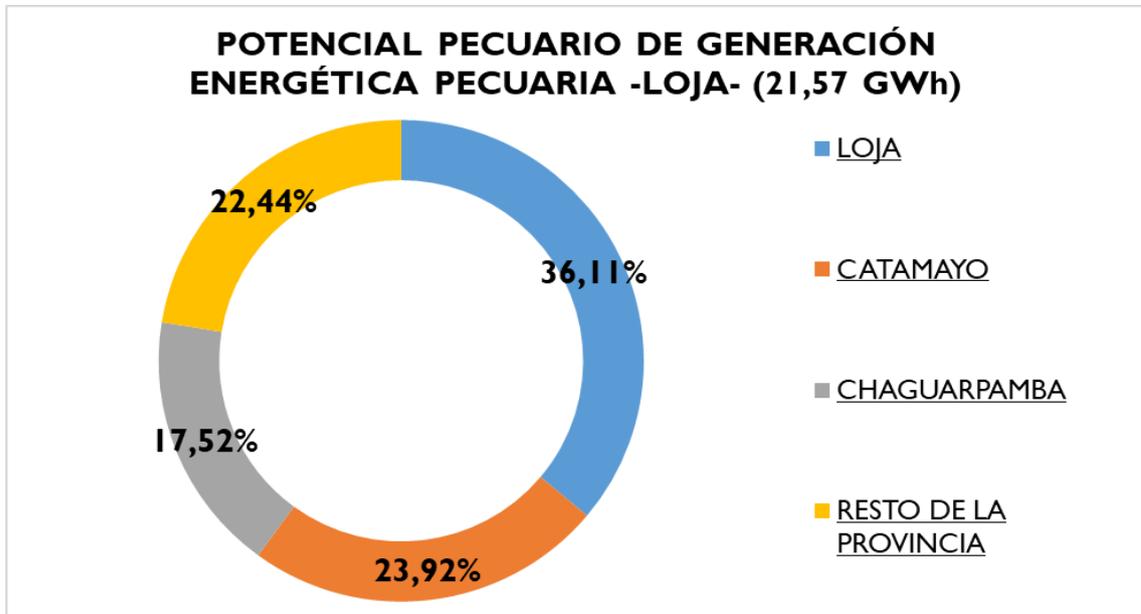


Ilustración 31. Cantones con mayor potencial de generación eléctrica pecuaria en la provincia de Loja
Elaboración: Maestrando

5.4 EMPLAZAMIENTO DE LA PLANTA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA PROVINCIA DE LOJA.

Se describe a continuación los criterios considerados para el emplazamiento de la Planta de Generación de Energía Eléctrica, en base a los resultados obtenidos y tomando en cuenta los parámetros planteada por De la Paz Blanco, (2.012), en la metodología propuesta para la investigación.

- Volumen de generación de biomasa residual agrícola

El total de generación de biomasa residual agrícola estimada en la provincia de Loja para el 2.017 fue de 182.089,30 toneladas; de las cuales, los cantones de Catamayo (55,35%), Zapotillo (13,62%) y Macará (7,56%) son los que registran mayor volumen de generación, principalmente en base a los cultivos de caña de azúcar (59,67%) y maíz duro (35,45%), que juntos generaron en el 2.017 cerca de 164.038,53 toneladas de biomasa residual, lo cual representó el 90,12% del total de BRA provincial.

- El volumen de producción de biomasa residual agrícola del cantón Catamayo fue de 100.747,97 toneladas correspondientes a cultivos de caña de azúcar
- El cantón Zapotillo registró una producción de biomasa residual agrícola de 24.793,5 toneladas, correspondientes a los cultivos de arroz (352,24 toneladas) y maíz duro (24.441,25 toneladas)
- Macará registró una producción de biomasa residual agrícola 13.767,16 toneladas, distribuidas en: arroz (6.805,35 toneladas), banano (521,88 toneladas) y maíz duro (6.439,92 toneladas)

Potencial de generación de energía eléctrica de la biomasa residual agrícola

El potencial de generación eléctrica de la biomasa residual agrícola estimado en la provincia de Loja para el 2.017 fue de 312,45 GWh (considerando el Factor de Planta de Generación FP=59%); los cantones que registran mayor potencial de generación eléctrica son: Catamayo con 175,61 GWh, en base a la producción de biomasa residual del cultivo de caña de azúcar, Zapotillo con 45,87 GWh basado principalmente en la producción de maíz duro, y Macará con 26,63 GWh en base a su producción de arroz y maíz duro.

Ubicación para acopio de biomasa residual.

Tomando en consideración el aglutinamiento de los cultivos se determinó que los centros de acopio se ubiquen en los cantones de: Catamayo, para el cultivo de caña de azúcar, y en Macará y Zapotillo para los cultivos de arroz y maíz duro.

En Catamayo opera la empresa Monterrey Azucarera Lojana Compañía Anónima MALCA, ubicada en el kilómetro 4,5 vía a la Costa, con una superficie de 2.300 hectáreas aproximadamente; en donde cuentan con las condiciones de infraestructura y superficie para servir como centro de acopio del bagazo de caña de azúcar.

En los cantones de Zapotillo y Macará las asociaciones de productores de arroz y maíz duro cuentan con espacios que pueden ser utilizados como centros de acopio para el almacenamiento de la biomasa susceptible de aprovechamiento.

Disponibilidad de espacios para el emplazamiento

Tomando en consideración la ubicación de los centros de acopio para el almacenamiento de la biomasa residual agrícola y sus condiciones topográficas, se propone que la planta de generación eléctrica sea emplazada en el cantón Catamayo, sector Monterrey ubicado en el kilómetro 4,5 vía a la costa, mismo que presenta pendientes de 0 a 12% aptas para la agricultura, y es aquí donde están concentradas las plantaciones de caña de azúcar, lo que representa una ventaja significativa en los costos de movilización de la biomasa.

Por otra parte, en Macará y Zapotillo, se cuenta con el espacio físico para una potencial implantación de Plantas de Generación de Energía Eléctrica, sin embargo, la producción se encuentra dispersa y las asociaciones aún no cuentan con información que permita ejecutar proyectos para aprovechar la biomasa residual generada.

1. Cercanía para abastecimiento de insumos

El cantón Catamayo presenta menores distancias con respecto a las capitales provinciales más cercanas: Loja (39 km), Machala (201 km), Cuenca (241 km) y Zamora (244 km), las cuales cuentan con los insumos necesarios para la construcción y operación de la planta de generación; mientras que Macará y Zapotillo se encuentran más alejados, tal como se muestra en la Tabla 32.

DISTANCIAS (km)		KILÓMETROS
DESDE	HASTA	
Catamayo	Loja	39 km
Catamayo	Zamora	95 km
Catamayo	Machala	201 km
Catamayo	Cuenca	241 km
Macará	Loja	182 km
Macará	Zamora	244 km
Macará	Machala	283 km
Macará	Cuenca	390 km
Zapotillo	Loja	271 km
Zapotillo	Zamora	334 km
Zapotillo	Machala	190 km
Zapotillo	Cuenca	336 km

Tabla 32. Distancias a capitales provinciales cercanas desde Catamayo, Macará y Zapotillo
Elaboración: Maestrando

2. Localización de subestaciones

En la provincia de Loja, existen 19 subestaciones de distribución (Amaluza, Cariamanga, Catacocha, Catamayo, Celica, Loja Centro, Chaguarpamba, El Empalme, Gonzanamá, Macará Loja Norte, Loja Obrapia, Pindal, Playas, San Cayetano, Saraguro, Loja Sur, Velacruz, y Vilcabamba) con una capacidad máxima de 146,97 MW, 7 subestaciones de generación (Villonaco, Gonzaenergy, Lojaenergy, Surenergy, Renovaloja, Sabiango, y San Pedro Solar) y una subestación de transmisión (Loja) (Ilustración 32).

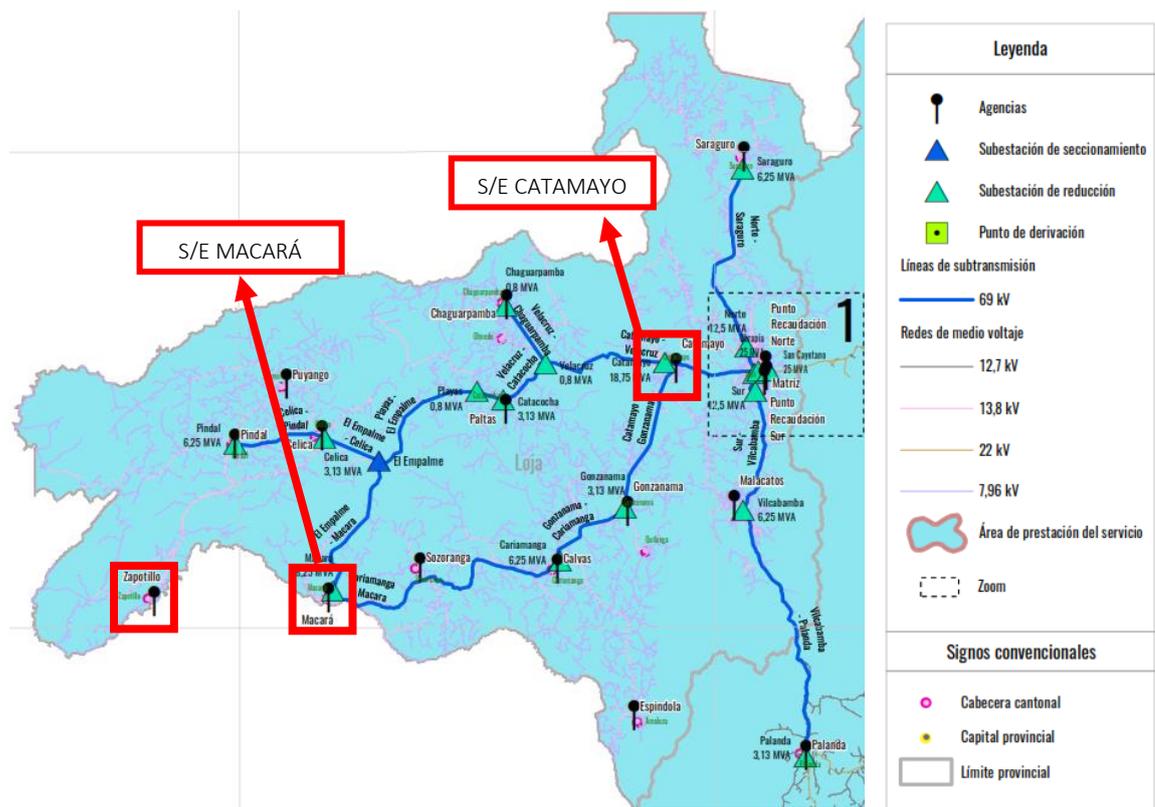


Ilustración 32. Ubicación de subestaciones en la provincia de Loja
Fuente: Adaptado de ARCONEL, (2.019)

En el cantón Catamayo se encuentra ubicada una subestación de distribución de energía eléctrica con capacidad máxima instalada de 18,75 MW, al igual que Macará en cuyo caso la capacidad es de 6,25 MW, por su parte, Zapotillo no cuenta con una subestación de distribución de energía eléctrica (ARCONEL, 2.019) ante lo cual se puede conectar a las subestaciones de Macará o Pindal (6,25 MW).

Disponibilidad de agua

La cobertura de agua potable en el cantón Catamayo es de 64,46% para el área urbana y 33,73% para los asentamientos rurales (GADMC, 2.014).

El río Catamayo cuenta con un caudal medio de 21,55 m³/s, cuyas aguas son destinadas para aprovechamiento agrícola y pecuario mediante canales de riego; sin embargo, es importante destacar que el déficit hídrico va desde los 600 hasta los 800 milímetros en el área urbana, y en el sector rural va desde los 400 a los 600 milímetros (GADMC, 2.014).

En Zapotillo la cobertura de agua mediante red pública abastece únicamente al 21,96% de la población, el suministro de agua se efectúa a través de aportes fluviales del río Alamor y afluentes estacionales de bajo caudal (quebrada Pilares, y río Catamayo); se destaca además que resulta insuficiente el volumen de agua debido a la existencia de periodos secos prolongados (desde mayo hasta diciembre) generando un déficit hídrico entre 800 y 1.000 milímetros anuales (GADMZ, 2.016).

En el cantón Macará la cobertura de la red pública de agua potable urbana es del 79,02%, mientras que en ruralidad decrece hasta el 2,66%; los aportes hídricos del cantón se dan principalmente a través del río Catamayo y mediante la confluencia de un gran número de cuerpos de agua por medio de un sistema de drenaje dendrítico con cuencas exorreicas. El sistema de riego para las unidades de producción se realiza mediante goteo, aspersión, bombeo, y gravedad, ya que el cantón Macará, cuenta con un periodo de sequía al igual que Zapotillo de mayo a diciembre.

3. Rutas de acceso y estado de la red vial:

Las rutas de acceso principales desde y hacia Catamayo se encuentran en buen estado (MTO, 2.019), sin embargo, según se indica en el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Catamayo 2.014 – 2.019, las vías secundarias deben mejorarse, ya que en temporadas de lluvias dificultan el tránsito.

En el cantón Zapotillo, la red vial se encuentra en malas condiciones, una realidad similar a la de Macará en donde únicamente el 11,35% de las vías son asfaltadas (GADMZ, 2.016).

4. Costo de mano de obra:

El Acuerdo Ministerial Nro. MDT-2018-270 del 27 de diciembre de 2018, promulgado por el Ministerio de Trabajo del Ecuador, establece que el valor del pago mínimo mensual en 2019 para los empleados que cumplan 40 horas de trabajos semanales, tanto en empresas públicas como privadas será de 394 dólares de los Estados Unidos de América, en todo el territorio ecuatoriano; por lo tanto, no existe diferencia de sueldos mínimos del personal en ninguno de los cantones analizados.

5.5 FACTIBILIDAD PARA EL EMPLAZAMIENTO DE LA PLANTA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA PROVINCIA DE LOJA

Para determinar la factibilidad del emplazamiento de la PdGEE, se consideraron aspectos ambientales, sociales y económicos, inherentes a la ejecución de esta actividad; y finalmente se plantean alternativas de financiamiento del proyecto.

5.5.1 ASPECTOS AMBIENTALES

Las centrales de generación de energía eléctrica a partir de biomasa, defieren entre sí, según el tipo de biomasa, la tecnología utilizada y la potencia de la planta (Comisión Nacional de Energía & Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) (GmbH, 2007); la presente propuesta describe actividades inherentes a una planta “modelo” para las fases de construcción, operación y abandono que pueden generar impactos al ambiente biótico, físico – natural, y socio – económico, que se detallan en la siguiente tabla:

FASES	ACTIVIDADES	SISTEMA FÍSICO							SISTEMA SOCIAL - ECONÓMICO - CULTURAL			
		CALIDAD AIRE		CALIDAD AGUA	CALIDAD SUELO	FLORA	FAUNA	PAISAJE	FACTOR HUMANO		USO DE SUELO - PATRIMONIO	
		Calidad atmosférica	Ruido	Calidad hídrica	Calidad edafológica	Flora	Fauna	Paisaje	Economía y Empleo	Calidad de vida y salud	Zona de uso industrial	Bienes culturales
Construcción	Excavaciones y movimiento de tierra	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X
	Movimiento de maquinaria	X	X		X		X		X			
	Acopio de material y tierra	X	X		X		X	X	X		X	
	Construcción de redes de agua potable			X					X	X	X	X
	Construcción de redes de alcantarillado			X					X	X	X	
	Construcción de obra civil	X	X	X	X			X	X	X	X	
	Instalaciones eléctricas								X	X	X	
	Construcción de rutas de acceso	X			X	X	X					
	Construcción de PTAR			X				X	X	X	X	
	Remoción de cobertura vegetal			X		X		X	X	X	X	
Operación	Gestión de Residuos (sólidos, líquidos y gaseosos)	X		X	X				X	X		
	Montaje de instalaciones		X					X	X	X	X	
	Operación de la central de generación	X	X	X				X	X	X	X	
	Gestión de Residuos (sólidos, líquidos y gaseosos)								X	X		
Cierre	Transporte de materia prima								X	X		
	Movimiento de maquinaria	X	X		X		X		X			
	Descarga de efluentes			X	X	X	X			X		
	Desmantelamiento de equipos	X			X			X	X	X	X	
	Gestión de Residuos (sólidos, líquidos y gaseosos)	X		X	X				X	X		
	Reforestación de áreas	X		X	X	X						
	Cierre de operaciones											

Tabla 33. Identificación de impactos ambientales potenciales
Elaboración: Maestrando

La principal motivación para implementar sistemas de gasificación de biomasa es el aprovechamiento de grandes cantidades de materia prima con el objetivo de incrementar la eficiencia de los recursos y disminuir los efectos adversos del cambio climático, reduciendo la emisión de dióxido de carbono (Sikarwar et al., 2.016).

Sin embargo, como resultado de la actividad, durante el proceso de aprovechamiento, se liberan materiales contaminantes al ambiente, entre ellos: alquitranes, compuestos alcalinos, halógenos, y metales pesados que pueden causar problemas ambientales y de salud (Arena, et al., 2.009). De acuerdo con Asadullah (2.014) la generación de energía a través de la gasificación de biomasa abarca diferentes tipos de impactos ambientales como: incendios y/o explosiones, peligros de carácter tóxico, afectaciones en la calidad del aire, del suelo, del agua, flora, fauna y paisaje.

5.5.1.1 CALIDAD DE AIRE

La gasificación es una de las tecnologías más utilizadas para la generación de energía eléctrica a partir de biomasa, debido a las bajas emisiones resultantes del proceso, una vez que se apliquen procedimientos de limpieza y acondicionamiento del gas resultante; sin embargo, es

un sistema con inherente riesgo de inflamabilidad y vulnerabilidad a explosiones, especialmente debido a las elevadas temperaturas y a las altas presiones que se generan (Genon, et al. 2.014; Kjellström, 1.984); además, presenta afectaciones al ambiente debido a la emisión de material particulado (PM10, y PM2.5), dioxinas, compuestos aromáticos policíclicos (HAP), monóxido de carbono (CO), óxidos de Azufre (SOx), óxidos de Nitrógeno (NOx) material orgánico volátil (San Miguel, 2.012), entre otros elementos contaminantes que pueden interactuar con los seres humanos mediante inhalación, ingestión, y/o contacto con la piel, trayendo consigo amenazas graves para la salud (Kampa & Castanas, 2.008), por lo que se requiere la aplicación de sistemas de disposición final adecuados, de manera que, permita dar cumplimiento a la normativa ambiental vigente en el país. A continuación, se describen los principales contaminantes generados por la gasificación de biomasa:

Partículas

Se genera durante los procesos de preparación de materia prima, almacenamiento, manejo, y eliminación de cenizas volantes (Malik, A; y Mohapatra, S, 2.013). Los gasificadores pueden producir partículas con elevadas temperaturas como consecuencia de un mal funcionamiento o fallas del equipo, y provocar incendios (CPCB, 2.008); además, según el estudio de Lata et al., (2.006) partículas de tamaño intermedio (entre 0,2 a 5 µm) pueden generar daños graves en la salud como la silicosis (fibrosis), que puede surgir del proceso de gasificación.

Cenizas volantes y carbonización

La gasificación es un procedimiento térmico que da como resultado una gran cantidad de residuos gaseosos y pequeñas cantidades de ceniza y carbón (Demirbas, 2.004; Ajay & David, 2.009; Pudasainee et al. 2.014), su aglomeración al interior del sistema incrementa el requerimiento de energía necesaria para que el generador funcione correctamente; sin un control adecuado de limpieza, se aumenta el riesgo de taponamiento del reactor y con ello el riesgo de explosión (Hernández, 2.015).

Emisiones gaseosas de Nitrógeno y Azufre

La biomasa no maderable al ser sometida a gasificación produce una gran cantidad de azufre, cloro y cenizas, en comparación con la gasificación de la biomasa maderable; investigaciones

muestran que el nitrógeno y azufre están presentes en los gases resultantes en forma de óxidos de nitrógeno NO_x y de azufre SO_x, mismos que pueden provocar afectaciones tanto en el ambiente físico y biótico, así como también a la salud humana (Sutton et al. 2.001).

Monóxido de carbono

El informe de CPCB, (2.008) indica que el principal producto del proceso de gasificación es el monóxido de carbono (CO) y, sin duda, por sus características intrínsecas de ausencia de color y olor en el ambiente, puede provocar intoxicación en seres humanos; la carboxihemoglobina (COHb) formada de 80-90% de monóxido de carbono (CO) en el interior del organismo se puede unir a la hemoglobina, y dar lugar a problemas cardiovasculares e infarto de miocardio.

Halógenos

Los compuestos halógenos, se pueden formar mediante reacciones químicas provocadas por el cloro presente en las cenizas del gasificador, o en el gas en forma de ácido clorhídrico (HCl) (Hernández, 2.015), provocando corrosión en el equipo; su presencia en niveles entre 0,1 y 1 ppm es tolerable, por lo cual, si se sobrepasan estos parámetros, es necesario realizar procesos de depuración del gas combustible (Cigolotti et al., 2.009).

Alquitranes

Según Tchapda & Pisupati (2.014) y Rabou (2.004) el proceso de gasificación de la biomasa tiene la desventaja de generar una gran cantidad de alquitrán, que varía de 0.5 a 150 g/Nm³, dependiendo del diseño del gasificador (Walter et al., 2.007 y Devi et al. 2.003). Los procesos de conversión termoquímica generan cientos o incluso miles de tipos de alquitrán (Woolcock & Brown, 2.013), cuyos efectos en la salud humana y en el ambiente se presentan en la Tabla 34. Para evitar este tipo de afectaciones el gasificador debe emitir menos de 1 g/m³ (Warneck, 2.002) (Ptasinski, et al., 2.007), si se sobrepasan estos niveles, los procedimientos para su eliminación debe ser urgentes, ya que cuando desciende la temperatura del gas, los alquitranes pueden depositarse en compresores, intercambiadores de calor, filtros cerámicos, turbinas de gas y motores, provocando problemas en el funcionamiento del reactor (Hernández, 2.015).

HIDROCARBURO AROMÁTICO	EFFECTOS EN HUMANOS	EFFECTOS EN EL AMBIENTE	REFERENCIA
Naftaleno (alquitrán terciario)	Anemia hemolítica, hemolisis	Agotamiento del glutatión pulmonar y necrosis de células epiteliales bronquiales dependiendo de la dosis	Haddon et al., 1.998 Richieri et al., 1.988
Benceno (alquitrán secundario y terciario)	Anemia, somnolencia, mareos, dolores de cabeza, temblores, confusión	El Benceno en el suelo o agua se descompone con la presencia de oxígeno, y contamina el agua subterránea	ANZECC, 1.992
Tolueno (alquitrán secundario)	Dolores de cabeza por intoxicación, convulsiones, narcosis y muerte.	Tóxico para los peces y otros pequeños organismos	US EPA, 1.994 Environment Canada, 1.984
Xileno (alquitrán secundario)	Irritación de la piel, ojos, nariz y garganta, dificultad para respirar, dolor de cabeza, falta de coordinación muscular, mareos, confusión	Bioacumulación en peces, toxicidad aguda para la vida acuática.	National Center for Health Statistics, 1.995 Environment Australia, 2.001
Etilbenceno (alquitrán secundario y terciario)	Parálisis, dificultad para respirar, daño hepático y muerte.	Alta toxicidad para la vida acuática que puede provocar la muerte de animales, aves o peces	United States Public Health Service, 1.990 ANZECC, 1.992

Tabla 34. Afectaciones a la salud humana y al ambiente
Elaboración: Maestrando

5.5.1.2 CALIDAD DEL AGUA

Según Tripathi, (2.013) las aguas residuales generadas durante el proceso de enfriamiento y limpieza del gas (Mehta & Chavan, 2.009) pueden contener compuestos fenólicos, o percolados con elevadas concentraciones de materia orgánica, acidez, sólidos disueltos, microorganismos patógenos y demás parámetros que pueden alterar las propiedades físicas y químicas de los cuerpos de agua, provocando la muerte de especies animales, y a la vez, contaminando el agua para consumo humano, por lo cual, es necesario realizar un pretratamiento adecuado previo a su descarga (Lata et al., 2.006).

5.5.1.3 CALIDAD DEL SUELO.

Los horizontes de suelo superficiales se ven directamente afectados, tanto en la fase de construcción como en la de operación de la PdGEE, debido principalmente a la remoción de tierras, excavaciones para procesos de rellenado y compactación de vías e infraestructura civil, causando alteraciones en las condiciones naturales del sitio.

5.5.1.4 CALIDAD DE FLORA, FAUNA Y PAISAJE

La flora y fauna en la construcción de la PdGEE se ven afectadas tanto por la remoción de tierras, tala de árboles, cambio de uso de suelo, así como también por las actividades propias del funcionamiento de la maquinaria (ruidos, vibraciones, emanación de gases, entre otros).

En cuanto a la alteración del paisaje, la construcción de una PdGEE altera el ecosistema natural y cambia el paisaje del sector, en mayor medida si el sitio de implantación aún conserva remanentes boscosos, o con baja intervención antrópica.

5.5.2 ASPECTOS SOCIALES

La implementación de una PdGEE puede generar un incremento en el número de personas contratadas desde las etapas de construcción y operación hasta la etapa de cierre de actividades, así como también puede aportar a la dinamización de la economía local y regional mediante la adquisición de insumos; es importante indicar que con la puesta en marcha del proyecto se puede reducir al máximo la quema a cielo abierto del bagazo de caña que provoca contaminación atmosférica y molestias a los moradores de Catamayo, debido a las cenizas generadas.

5.5.3 PLAN DE MANEJO AMBIENTAL

Una vez identificados los impactos ambientales potenciales del emplazamiento de una Planta de Gasificación, se presentan acciones preventivas, correctivas, y/o compensatorias, considerando lo indicado en el Acuerdo Ministerial 061 del Ministerio de Ambiente, artículo 32. que establece lo siguiente: *“El Plan de Manejo Ambiental consiste de varios sub-planes dependiendo de las características de la actividad o proyecto” y “...contendrá los siguientes sub-planes, con sus respectivos programas, presupuestos, responsables, medios de verificación y cronograma.*

- a) Plan de Prevención y Mitigación de Impactos*
- b) Plan de Contingencias*
- c) Plan de Capacitación*
- d) Plan de Seguridad y Salud ocupacional*
- e) Plan de Manejo de Desechos*
- f) Plan de Relaciones Comunitarias,*
- h) Plan de Abandono y Entrega del Área*
- i) Plan de Monitoreo y Seguimiento ...”*

En base a lo citado anteriormente, se desarrollan los planes requeridos por la normativa ambiental vigente en el Ecuador, para la implementación del proyecto.

5.5.3.1 PLAN DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE IMPACTOS

Esta etapa conlleva un estricto control de las actividades generales para evitar la generación de impactos ambientales, entre ellas, se describen:

- Identificación y marcado de la zona de influencia y zonas de especial atención (cuerpos de agua, áreas protegidas, bosques primarios, etc.).
- Protección de las zonas de trabajo para evitar derrames de hidrocarburos; y realizar una correcta gestión de aceites y residuos.
- Integración paisajística de las estructuras.
- Disminución del ruido generado mediante la plantación de especies nativas creando hileras en “tresbolillo”
- Diseño de áreas de verdes y jardines en el área implantada.
- Clasificación y disposición adecuada de los desechos generados.
- Control de las actividades mediante formularios que evidencien la realización de las mismas (medios de verificación).

5.5.3.2 PLAN DE CONTINGENCIAS

Este plan pretende establecer un sistema que permita mitigar y controlar accidentes laborales durante las fases de construcción, operación y mantenimiento de la Planta de Generación de Energía Eléctrica.

Para su ejecución, se debe capacitar a todo el personal sobre el manejo de los equipos de seguridad y los protocolos de manejo del recurso humano, dividiendo al personal en grupos de trabajo (brigadas) a los cuales se asigna un Coordinador de Contingencias, quien dirige las actividades en caso de fugas de hidrocarburos, incendios, explosiones, intoxicaciones, accidentes, actos delictivos, y eventualidades naturales (sismos, inundaciones, deslaves, etc.); es indispensable que cada grupo de trabajo cuente con una brigada que permita afrontar cada contingencia.

5.5.3.3 PLAN DE CAPACITACIÓN

El personal deberá ser capacitado al menos con frecuencia trimestral, sobre los siguientes temas: cumplimiento de las medidas del Plan de Manejo Ambiental, relaciones personales, uso del Equipo de Protección Personal, manejo y coordinación de contingencias, manipulación de materia prima, seguridad laboral, uso de extintores, primeros auxilios, manejo de derrames, control y prevención de incendios y demás temáticas que se consideren necesarias según los requerimientos de las actividades específicas de la PdGEE.

5.5.3.4 PLAN DE SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL.

El administrador de la PdGEE deberá coordinar las siguientes actividades con todo el personal: mantener el área de implementación en condiciones sanitarias y ambientales en base a lo establecido en el Reglamento de Salud y Seguridad de los Trabajadores mediante Decreto Ejecutivo 2393 donde se indica la obligación de dotar a todos los empleados de Equipos de Protección Personal, analizar las condiciones de cada sitio de trabajo, realizar chequeos médicos anuales e instalar al menos un botiquín de primeros auxilios.

Además, es obligatorio establecer protocolos de trabajo mediante un Reglamento Interno de Salud y Seguridad aprobado por el Ministerio de Trabajo del Ecuador, como entidad responsable del control y seguimiento de la seguridad laboral.

5.5.3.5 PLAN DE MANEJO DE DESECHOS;

En la etapa de construcción y operación de la PdGEE se debe prevenir el inadecuado manejo, manipulación, y almacenamiento de desechos comunes y de aquellos considerados como peligrosos y especiales por la normativa ambiental ecuatoriana, ya que, un manejo inadecuado puede producir serias afectaciones al ambiente.

La PdGEE deberá obtener el Registro de Generador de Desechos Peligrosos, de forma obligatoria, respetando lo indicado en el Acuerdo Ministerial 026 del Ministerio de Ambiente, donde se establecen procedimientos específicos para el manejo adecuado de los desechos peligrosos en el país.

En lo referente a los residuos de construcción (escombros) y material edáfico resultante de la construcción, deberán ser transportados y depositados en las escombreras autorizadas por el GAD Municipal del cantón Catamayo, llevando un registro completo de los volúmenes generados, transportados y depositados.

Los recipientes de almacenamiento de los desechos comunes deberán ser clasificados según su tipo: orgánicos, reciclables y no reciclables, tomando en cuenta los colores establecidos en la norma INEN 2841 2014-03 sobre ESTANDARIZACIÓN DE COLORES PARA RECIPIENTES DE DEPÓSITO Y ALMACENAMIENTO TEMPORAL DE RESIDUOS SÓLIDOS, los cuales se indican a continuación:

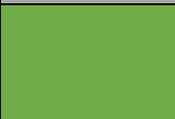
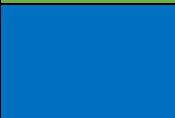
TIPO DE RESIDUOS	COLOR DE RECIPIENTE	DESCRIPCIÓN
Orgánicos		Origen biológico, restos de comida, cáscaras de fruta, verduras, hojas, pasto, etc.
Reciclables		Todo material susceptible a ser reciclado, reutilizado (vidrio, plástico, papel, cartón, entre otros).
No reciclables		Todo residuo no reciclable

Tabla 35. Colores para recipientes de desechos sólidos
Fuente: Texto de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio de Ambiente
Elaboración: Maestrando

Los desechos generados, deberán ser reutilizados y/o reciclados en cada uno de los procesos operativos de la planta, debiendo prever un programa de minimización gradual que permita reducir la cantidad de residuos generados en la PdGEE de Catamayo.

5.5.3.6 PLAN DE RELACIONES COMUNITARIAS

Se deberá mantener comunicación permanente con los pobladores que vivan en zonas aledañas a la PdGEE, mediante reuniones periódicas (con frecuencia semestral o cuando la comunidad lo considere necesario) con la finalidad de informar sobre las actividades realizadas, y receptor quejas, observaciones y/o sugerencias de la comunidad, mismas que deberán ser analizadas y solventadas por la entidad, según sea el caso, para de esta manera crear un ambiente de trabajo coordinado entre la comunidad y la PdGEE.

5.5.3.7 PLAN DE MONITOREO Y SEGUIMIENTO

El Plan de monitoreo y seguimiento establece la necesidad de realizar al menos dos monitoreos anuales, y cuando la Autoridad Ambiental lo requiera; permite determinar el estado de la calidad ambiental del sitio de implantación, y en caso de detectar incumplimientos a la normativa vigente (Acuerdo Ministerial 061 del MAE), es decir, sobrepasando los límites máximos permisibles, es necesario presentar un Plan de Acción ante la Autoridad Ambiental con las medidas correctivas y periodos de cumplimiento por parte de la empresa, en un plazo no mayor a 10 días.

Los monitoreos de agua, aire, ruido y suelo con los límites permisibles se detallan a continuación:

5.5.3.7a MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA

Los monitoreos a la calidad de agua deberán realizarse con frecuencia semestral o cuando la Autoridad Ambiental lo requiera, en base a lo establecido en el Acuerdo Ministerial 097-A del Ministerio de Ambiente, Anexo 1 sobre la Norma de Calidad Ambiental y de descarga de Efluentes: Recurso Agua, tal como se indica a continuación:

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Aceites y Grasas.	Sust. solubles en hexano	mg/l	30,0
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN ⁻	mg/l	0,1
Cinc	Zn	mg/l	5,0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extr. carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl ⁻	mg/l	1 000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	Nmp/100 ml		⁴ Remoción > al 99,9 %
Color real	Color real	Uni. de color	* Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O ₅ .	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	250
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrato amoniacal	N	mg/l	30,0
Nitrógeno Total Kjedah	N	mg/l	50,0
Compuestos Organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Compuestos organofosforados	Organofosforados totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	Ph		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	
Sólidos Totales	ST	mg/l	
Sulfatos	SO ₄ ⁼	mg/l	

⁴ Aquellos regulados con descargas de coliformes fecales menores o iguales a 3.000, quedan exentos de tratamiento.

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Sulfuros	SO ₃	mg/l	
Temperatura	S	mg/l	
Tensoactivos	°C	mg/l	
Tetracloruro de carbono	Sust. activas al azul de metileno		

* La apreciación del color se estima sobre 10 cm de muestra diluida.

Tabla 36. Niveles máximos de contaminación sobre calidad ambiental de agua y descarga de efluentes

Fuente: Texto de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio de Ambiente

5.5.3.7a1 MEDIDAS PARA CONTROLAR LA CALIDAD DEL AGUA

Los efluentes de la planta se pueden producir principalmente como resultado del lavado de gases, así como también por el enfriamiento y mantenimiento de equipos. Se plantean algunos sistemas de tratamiento de agua, ya que, al ser utilizada para producir vapor sobrecalentado, extrae sales y minerales que pueden provocar incrustaciones en las paredes del equipo. Las tecnologías de tratamiento más utilizadas son:

Intercambio iónico

El agua entra en contacto con resinas de intercambio iónico, capaces de capturar minerales disueltos; una vez que las resinas están saturadas, se pueden regenerar al ser colocadas en soluciones ácidas y básicas capaces de disolver los cationes y aniones capturados.

Ósmosis Inversa

El sistema consiste en ejercer presión sobre un volumen de agua para conducirla a través de una membrana semipermeable que impide el paso de los minerales, de este modo, el agua que atraviesa la membrana se desmineraliza y se vuelve apta para ser usada como agua de proceso, mientras que, del otro lado de la membrana se incrementa la concentración de sales.

5.5.3.7b MONITOREO CALIDAD DE AIRE

Los monitoreos a la calidad del aire, se deberán realizar con frecuencia semestral o cuando la Autoridad Ambiental lo requiera, tomando en cuenta la normativa específica para los límites permisibles sobre Calidad de Aire, en base al Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 3 sobre la Norma de Emisiones al Aire desde Fuentes Fijas (Tabla 37), y Motores de combustión (Tabla 38); y Anexo 4 sobre las concentraciones de contaminantes criterio que definen los niveles de alerta, de alarma y de emergencia en la calidad del aire (Tabla 39).

Contaminante	Combustible	Fuente fija existente: con autorización de entrar en funcionamiento antes de la fecha de publicación de la reforma de la norma	Fuente fija nueva: con autorización de entrar en funcionamiento a partir fecha publicación de la reforma de la norma
Material particulado	Sólido sin contenido de azufre	200	100
	Fuel oil	200	100
	Diesel	150	80
Óxidos de nitrógeno	Sólido sin contenido de azufre	800	650
	Fuel oil	700	600
	Diesel	500	450
	Gaseoso	200	180
Dióxido de azufre	Fuel oil	1650	1650
	Diesel	700	700

mg/Nm³: miligramos por metro cúbico de gas de combustión en condiciones normales, 760 mmHg. de presión y temperatura de cero grados centígrados (0 °C), en base seca y corregidos al 18% de oxígeno (O₂).

Sólido sin contenido de azufre, incluye biomasa como la madera y bagazo.

Tabla 37. Límites máximos permisibles de concentración de contaminantes al aire por fuentes fijas
Fuente: Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio de Ambiente

Contaminante	Combustible		Fuente fija existente: con autorización de entrar en funcionamiento antes de enero de 2003	Fuente fija existente: con autorización de entrar en funcionamiento desde enero de 2003 hasta fecha publicación de la reforma de la norma	Fuente fija nueva: con autorización de entrar en funcionamiento a partir fecha publicación de la reforma de la norma
Material particulado	Líquido	Fuel oil -crudo petróleo	350	150	100
		Diesel	350	150	125
Óxidos de nitrógeno	Líquido	Fuel oil	2300	2000	1900
		Diesel	2300	2000	1900
	Gaseoso	Gaseoso	2300	2000	1900
Dióxido de azufre	Líquido	Fuel oil	1500	1500	1500
		crudo petróleo	1500	1500	1500
		Diesel	1500	1500	1500

Tabla 38. Límites máximos permisibles de concentración de contaminantes al aire para motores de combustión interna
Fuente: Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio de Ambiente

CONTAMINANTE Y PERIODO DE TIEMPO	ALERTA	ALARMA	EMERGENCIA
Monóxido de Carbono Concentración promedio en ocho horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	15000	30000	40000
Ozono Concentración promedio en ocho horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	200	400	600
Dióxido de Nitrógeno Concentración promedio en una hora ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1000	2000	3000
Dióxido de Azufre Concentración promedio en veinticuatro horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	200	1000	1800
Material particulado PM 10 Concentración en veinticuatro horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	250	400	500
Material Particulado PM 2,5 Concentración en veinticuatro horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	150	250	350

Nota:

[1] Todos los valores de concentración expresados en microgramos por metro cúbico de aire, a condiciones de 25 °C y 760 mm Hg.

Tabla 39. Niveles de alerta, alarma y emergencia de contaminantes
Fuente: Texto de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio de Ambiente

5.5.3.7b1 MEDIDAS PARA CONTROLAR LA CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE

Se plantean las siguientes medidas para controlar las emisiones de material particulado, emisiones de gases, dioxinas y furanos, ácido sulfhídrico, olores, manejo de cenizas, halógenos, alquitranes, compuestos alcalinos y metales pesados.

Control de emisiones de material particulado

El Acuerdo Ministerial 097-A del Ministerio de Ambiente, establece que, la medición del material particulado se deberá realizar tomando como referencia lo señalado en el protocolo USEPA Parte 60, Apéndice B, PS 11 para Sistemas de Monitoreo Continuo (CEMS), aprobados por la Agencia de Protección Ambiental (EPA).

El control del material particulado permite disminuir el contenido de metales pesados presentes en ciertos residuos, por lo cual, para su tratamiento se recomienda utilizar distintos tipos de tecnologías, tomando en cuenta las condiciones del efluente y los rangos de efectividad esperados (Tabla 40).

TIPO DE TECNOLOGÍA	RANGO DE EFECTIVIDAD ESPERADO	CONDICIÓN DEL EFUENTE
Ciclones y multiciclones	80% en tamaños menores a 20 μm 95% en tamaños mayores a 50 μm	Seco o húmedo – según acondicionamiento
Torres de aspersión	98% en tamaños mayores a 5 μm 50% en tamaños menores a 3 μm	Húmedo
Lavadores de gases (Venturi scrubbers)	90 a 99% en tamaños menores a 5 μm	Húmedo
Filtros de manga	95 a 99% en tamaños menores a 5 μm	Seco o húmedo – según acondicionamiento
Precipitador electrostático	80 a 99% o más en todas las partículas	Seco o húmedo – según acondicionamiento
Filtro de papel en alta eficiencia	Hasta 99% en tamaños menores a 5 μm	Seco

Tabla 40. Tecnologías de aplicación según el contaminante generado

Fuente: Hanly, J., and Petchonka, J. 1993

Elaboración: Maestrando

Control de emisiones de gases

Los gases que comúnmente se producen por la quema de biomasa son monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), cloruro de hidrógeno (HCl), óxido de azufre (SO₂), compuestos orgánicos volátiles (COV) e hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP).

El monóxido de carbono e hidrocarburos, incluyendo los COVs y HAPs, se producen cuando la biomasa no se combustiona completamente, por lo que su emisión depende del control de la estequiometría de los gases y la humedad del combustible.

Las tecnologías propuestas para reducir o evitar la generación de óxidos de nitrógeno (formados cuando la biomasa se combustiona a bajas temperaturas), son:

Reducción catalítica: Consiste en aplicar urea (NH_3) a temperaturas adecuadas con el fin de reducir selectivamente los NO_x presentes en los gases de combustión, obteniendo como resultado nitrógeno y agua.

Inyección de agua o vapor: Se aplica agua con el objetivo de reducir la temperatura de la llama; considerando los niveles iniciales de NO_x , este método puede reducir su producción a más de un 60%.

Pre mezcla pobre: Consiste en mezclar el combustible con un aire de 2 a 2,4 veces el aire estequiométrico; con lo cual se rebaja la temperatura de la llama disminuyendo la formación de NO_x .

Quemadores de bajo NO_x : Este tipo de quemadores permiten que tanto el combustible como el aire se mezclen y combustionen en forma controlada.

Tecnología de lecho fluidizado. La aplicación de esta tecnología presenta la ventaja de trabajar a temperaturas de aproximadamente unos 800°C , menores al requerido por las tecnologías tradicionales, lo que disminuye las emisiones de óxidos de nitrógeno y la formación de aglomerados y escorias en la combustión de la biomasa. Asimismo, es una tecnología eficiente con relación al inconstante contenido de humedad y la característica heterogénea que suele presentar la biomasa.

Las tecnologías propuestas para reducir o evitar la generación de óxidos de azufre (SO_2) son:

La tecnología de lechos fluidizados: mostró una efectividad del 90% para la minimización de emisiones de óxido de azufre (SO_2); su funcionamiento se basa en agregar carbonato de calcio CaCO_3 como material absorbente que “captura” el azufre disponible, formando compuestos sólidos que se precipitan al fondo del lecho para finalmente ser retirados junto con las cenizas.

Desulfurización en lechos externos: se añade óxidos de hierro y zinc como adsorbentes a la atmósfera de reducción, en condiciones habituales de salida del gasificador, (10 y 30 bares de presión y entre 500 y 700°C de temperatura), obteniendo resultados favorables.

Control de dioxinas y furanos

Las dioxinas y furanos son contaminantes persistentes, bioacumulables, tóxicos y probablemente cancerígenos, que se forman cuando se combustiona biomasa que contiene sustancias cloradas y carbono a temperaturas entre los 250°C y 450°C; por lo cual es necesario controlar exhaustivamente la calidad de biomasa para prevenir su generación y emisión. En caso de contar con biomasa clorada, se recomienda agregarla al proceso en pequeñas dosis conjuntamente con biomasa libre de cloro.

Control del ácido sulfúrico

El biogás presenta cantidades variables de sulfuro de hidrógeno (H_2S), que al reaccionar con agua se convierte en ácido sulfúrico (H_2SO_4) con características altamente corrosivas, pudiendo ocasionar graves daños en el motor de la planta. Para reducir o eliminar el porcentaje de sulfuro de hidrógeno en el biogás se pueden utilizar filtros de óxido de calcio (cal viva o cal apagada), o a su vez, inyectar oxígeno puro (entre 2% y 6% del volumen), a la salida del reactor.

Control de olores

La emisión de olores proviene de biomasa en proceso de descomposición, por ello, para evitar y controlar estas emanaciones es recomendable mantener el lugar de almacenamiento seco, cubierto y tapado, equipar las bodegas con biofiltros (de turba, astillas de madera, cortezas de árboles, entre otros) en los conductos de salida; en caso de presentar emanaciones demasiado intensas se propone añadir ozono en la ventilación de la sala de almacenamiento, a la salida del digestor de biomasa.

Control de halógenos

Los halógenos pueden controlarse mediante la aplicación de mineral de trona ($Na_2CO_3 \cdot NaHCO_3 \cdot 2H_2O$) y bicarbonato de sodio ($NaHCO_3$), a temperaturas entre los 400 y 500°, ya que a temperaturas superiores se sinteriza el carbonato de sodio (Na_2CO_3), reduciéndose

drásticamente la porosidad de las partículas y el coeficiente de difusión; esta clase de sorbentes además, tiene la capacidad de eliminar tanto compuestos halógenos como óxidos de azufre (Hernández, 2.015)

Control de alquitranses, compuestos alcalinos y metales pesados

La ausencia de metodologías efectivas y económicamente accesibles para la eliminación de alquitranses es el principal impedimento para su implementación a gran escala, sin embargo, se plantean las siguientes metodologías que permiten reducir la generación de estos contaminantes:

Métodos primarios:

- Entrada de aire secundario: trae consigo un incremento en la temperatura de conversión, lo que reduce el poder calorífico del gas.
- Uso de catalizadores: mediante la aplicación de materiales como dolomita, caliza y olivino se reduce la generación de alquitranses; debiendo controlarse los niveles de azufre, coque, cenizas, ya que actúan como inhibidores del proceso.

Métodos secundarios:

- Scrubbers (lavadores de gases): permiten condensar el gas luego de su paso por el gasificador, lo que facilita su eliminación; sin embargo, debe tomarse en cuenta que con los alquitranses también se condensan partículas de ácido clorhídrico, óxidos de azufre, metales alcalinos, entre otros, lo que trae consigo un proceso posterior de descontaminación del efluente.
- Craqueo térmico: consiste en incrementar la temperatura de gasificación a más de 1.200 °C, en donde los alquitranses se descomponen en gases ligeros, lo que además trae consigo que la ceniza sufra procesos de sinterización, daños en el material refractario y en los intercambiadores de calor.
- Sistema OLGA: es un sistema del Centro de Investigación Energética de Países Bajos (ECN), que consiste en dejar fluir el gas en una torre de absorción en contracorriente con un solvente que atrapa los alquitranses, devolviéndolos al gasificador, aumentando la eficiencia del sistema.

5.5.3.7c MONITOREO DE RUIDO

Los monitoreos para el control del ruido generado se deberán realizar en base a lo establecido en el Acuerdo Ministerial 097-A del Ministerio de Ambiente, Anexo 5 sobre “Niveles Máximos de Emisión de Ruido y metodología de medición para fuentes fijas y fuentes móviles” (Tabla 41)

NIVELES MÁXIMOS DE EMISIÓN DE RUIDO PARA FFR		
Uso de suelo	LKeq (dB)	
	Periodo Diurno	Periodo Nocturno
	07:01 hasta 21:00 horas	21:01 hasta 07:00 horas
Residencial (R1)	55	45
Equipamiento de Servicios Sociales (EQ1)	55	45
Equipamiento de Servicios Públicos (EQ2)	60	50
Comercial (CM)	60	50
Agrícola Residencial (AR)	65	45
Industrial (ID1/ID2)	65	55
Industrial (ID3/ID4)	70	65
Uso Múltiple	Cuando existan usos de suelo múltiple o combinados se utilizará el LKeq más bajo de cualquiera de los usos de suelo que componen la combinación. Ejemplo: Uso de suelo: Residencial + ID2 LKeq para este caso = Diurno 55 dB y Nocturno 45dB.	
Protección Ecológica (PE) Recursos Naturales (RN)	La determinación del LKeq para estos casos se lo llevara a cabo de acuerdo al procedimiento descrito en el Anexo 4.	

Tabla 41. Niveles máximos de emisión de ruido para fuentes fijas
 Fuente: Texto de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio de Ambiente
 Elaboración: Maestrando

Los niveles producidos por las Fuentes Fijas de Ruido (FFR), se deben determinar tomando en cuenta la evaluación ambiental base de ruido, y la metodología para medición y cuantificación enunciados en el Anexo 5, descrito anteriormente. Los puntos de monitoreo, para determinar los niveles del ruido específico y el Nivel Máximo de Presión Sonora (LKeq), deberán ser aplicados en la fase de construcción y operación de la Planta de Generación Eléctrica.

5.5.3.7c1 MEDIDAS PARA CONTROLAR LA CONTAMINACIÓN POR RUIDO

Para el control de la contaminación acústica, es necesario realizar un mantenimiento periódico de la maquinaria y equipos (control de ruido en la fuente) según las especificaciones técnicas de funcionamiento y de ser el caso, se puede instalar dispersores de vibración, reduciendo el roce entre las piezas de la maquinaria instalada, verificando la eficacia de la reducción del ruido generado en base a la normativa local.

En caso de que las emisiones registren niveles de ruido superiores a los parámetros permitidos en la normativa descrita (Tabla 41) se recomienda colocar barreras acústicas que las reduzcan, y en última instancia dotar de equipos de protección al personal expuesto a la fuente de ruido.

5.5.3.8 PLAN DE ABANDONO Y ENTREGA DEL ÁREA

Una vez que la PdGEE haya cumplido con su vida útil, o en su defecto, basado en la demanda energética y a la disponibilidad de materia prima (biomasa) se decida su cierre o reubicación, se deberá considerar el procedimiento para el desmantelamiento de la misma, en donde el material reciclable resultante (papel, cartón, plásticos, maderas, acero, hierro, etc.) tendrá que ser entregado a empresas recicladoras de acuerdo a la normativa ambiental vigente en Ecuador; de igual manera, los escombros producidos tendrán que ser depositados en escombreras autorizadas por el GAD Municipal de Catamayo, llevando el control del volumen desalojado mediante registros y listas de chequeo.

La zona deberá ser reforestada con vegetación nativa del cantón, de manera que permita una rehabilitación edáfica del sitio y recupere paulatinamente sus condiciones naturales previas a la intervención antrópica.

5.6 ASPECTOS ECONÓMICOS

Para el emplazamiento de una Planta de Generación Eléctrica es preciso definir los rubros económicos contemplados en cada una de las etapas del proyecto: inicio, construcción, operación y cierre, tal como se describe en los párrafos siguientes.

Etapa inicial: se debe contar con el capital suficiente para iniciar el proyecto, en caso de no poseer dicha liquidez es necesario buscar alternativas de financiamiento; la empresa debe legalizar la ocupación del terreno para el emplazamiento de la PdGEE (compra del terreno, alquiler, expropiación, y/o comodato), obtener los permisos ambientales y municipales para evitar sanciones o paralizaciones y finalmente, debe adquirirse los equipos y maquinaria necesarios.

Construcción: Una vez se cuente con los requerimientos de la etapa inicial, es necesario dar paso a las obras civiles en el sitio de implantación, entre ellas: apertura y conformación de vías,

tendido eléctrico, remoción de tierra, compactación del terreno, obras de infraestructura, y conformación de sistemas de descarga de aguas residuales.

Operación y mantenimiento: contempla el pago al personal operativo y administrativo, gastos indirectos (muebles y equipos de oficina, pago de servicios básicos, viáticos, entre otros), así como también la adquisición de repuestos y costos derivados del mantenimiento de equipos y maquinaria.

En el análisis económico se deberá tomar en cuenta los gastos financieros generados por el financiamiento con entidades bancarias, es decir amortizaciones e intereses; así como también los egresos generados por el pago de utilidades a trabajadores, pago del impuesto a la renta, depreciación de maquinaria y equipos entre otros.

El presente análisis debe considerar flujos económicos de los ingresos generados por concepto de venta de energía, biocombustibles, y/o calor, así como también los beneficios y/o afectaciones ambientales y sociales (externalidades en términos económicos) de la puesta en marcha del proyecto, para cuantificarlos e incorporarlos previo a la toma de decisiones de ejecución, durante la operación y al finalizar actividades, tal como se indican a continuación:

5.6.1 Gases de Efecto Invernadero (GEI) evitados

El aprovechamiento de biomasa para la producción de energía eléctrica, permite reducir considerablemente la generación de gases de efecto invernadero, evitando de esta manera que la biomasa sea utilizada para actividades como: quemas a cielo abierto, putrefacción en el sitio de generación, que sea depositada en sitios clandestinos o en rellenos sanitarios donde su acumulación favorece la generación de contaminantes atmosféricos como: metano, dióxido de carbono, monóxido de carbono, nitrógeno, sulfuro de hidrógeno, entre otros; estos GEI evitados pueden ser calculados y comercializados mediante Certificados de Reducción de Emisiones (CERs) a países industrializados tomando como base el valor promedio de venta mensual de una tonelada de dióxido de carbono equivalente (tCO₂eq), que en el mes de agosto de 2.019 fue de 29,96 dólares, según señaló SENDECO2⁵

⁵ SENDECO2 Es el sistema europeo de negociación de CO₂ que se dedica a la compraventa de derechos de emisión por cuenta propia y al asesoramiento técnico y administrativo de las Instalaciones Industriales sujetas a la Directiva de Comercio (EU ETS). Fuente: SENDECO2. 2019. Precios CO₂. Disponible en: <https://www.sendeco2.com/es/precios-co2>

5.6.2 Costos evitados por la gestión de la biomasa residual

Los costos que implica el manejo de biomasa residual, incluyen: mano de obra, transporte, sitio para almacenamiento, maquinaria, equipos, y áreas para la disposición final de desechos, mismos que pueden ser evitados mediante la aplicación de alternativas de manejo técnico y adecuado, como es el caso del aprovechamiento energético de la biomasa por medio de una PdGEE, donde además de reducir costos, se obtienen subproductos comercializables permitiendo la generación de ingresos económicos adicionales.

5.6.3 Costos evitados por remediación ambiental

El aprovechamiento de biomasa permite reducir el volumen de desechos sólidos generados en una circunscripción territorial determinada, y a la vez, evita la generación de pasivos ambientales como producto de descargas clandestinas de efluentes líquidos, contaminación atmosférica, generación de percolados, contaminación de suelo, entre otros.

Para determinar la viabilidad del presente proyecto, se analizó las proyecciones de ingresos y egresos generados en la operación de proyectos de aprovechamiento de biomasa residual para la obtención de energía eléctrica (Central de Biogás Pichacay) y cogasificación (Planta de cogasificación en Echeandía), mediante estudios de caso que se detallan a continuación:

5.7 ESTUDIOS DE CASO

En Ecuador se han venido desarrollando proyectos de aprovechamiento de biomasa que consideran aspectos económicos y ambientales, tal como se exponen a continuación:

5.7.1 CENTRAL DE CAPTACIÓN DE BIOGAS PICHACAY

En 2.012 se constituyó el consorcio EBE (EMAC BGP Energy) entre la Empresa Municipal de Aseo de Cuenca (EMAC) y la empresa holandesa BILLINGHURST GEORGE & PARTNERS - BGP CONSULTING ENGINEERS con el objetivo de manejar y administrar la Planta de Captación de Biogás en el relleno sanitario Pichacay, por un periodo de 20 años, en la parroquia rural Santa Ana, provincia del Azuay.

La inversión inicial estuvo a cargo de la empresa BGP por el valor de 1'950.000,00 dólares de los Estados Unidos de Norteamérica, para cubrir los rubros de adquisición de equipos, contratación de personal, y gastos directos e indirectos.

Su funcionamiento se plantea mediante la utilización de dos generadores con una potencia nominal de 2MW, sin embargo, debido a la altitud de funcionamiento (2.560 m s. n. m.), se estima un rendimiento de 84,7%, es decir un máximo de generación de energía eléctrica de 1.694 kWh, con horarios de trabajo de 24 horas al día, los 345 días al año (20 días al año se calcula para mantenimiento de equipos); tomando en cuenta el pago establecido por el Concejo Nacional de Electricidad CONELEC en 2.013 (0,1108 dólares por kilovatio hora –kwh-) el consorcio EBE registra un ingreso de 4.504,08 dólares diarios y 1'554.116,26 dólares anuales por concepto de venta de energía, tal como se muestra en la Tabla 42.

Ingresos operativos anuales.

Descripción	1 Generador	2 Generadores
Capacidad máxima (kW)	847	1694
Precio de venta (\$)	0,1108	0.1108
Total ingreso por hora (\$)	93,85	187.70
Horas de trabajo(h)	24	24
Total ingresos al día (\$)	2.252,34	4.504,68
Días de trabajo en el año (días)	345	345
Total ingresos al año (\$)	777.058,13	1,554.116,26

Tabla 42. Ingresos operativos anuales del consorcio EBE
Fuente: (Carpio y Tepán, 2.014)

Por otra parte, el convenio de pago realizado por el consorcio EBE establece que la EMAC debe recibir 0,03 dólares por cada metro cúbico de gas extraído del relleno sanitario Pichacay (842m³ por hora, cuando los dos generadores se encuentren instalados y en operación), representando un ingreso de 221.277,60 dólares anuales (Tabla 43).

Descripción	1 Generador	2 Generadores
Caudal biogás (m ³ /h)	421	842
Costo por m ³ (\$)	0.03	\$ 0.03
Horas de trabajo (h)	24	24
Total costo al día (\$)	303.12	606.24
Días de trabajo en el año (días)	365	365
Total costo de gas al año (\$)	110,638.80	221,277.60

Tabla 43. Ingresos percibidos por EMAC
Fuente: (Carpio y Tepán, 2.014)

Las afectaciones ambientales negativas generadas por la operación de la central de gas son: emisión de ruido y cambio en la ocupación de uso de suelo, sin embargo es necesario destacar los beneficios ambientales de su funcionamiento, entre ellos: reducción en la emanación de olores, incremento de la vida útil del sitio de disposición final de desechos, reducción de la utilización de combustibles fósiles para la obtención de energía y calor, y una gestión integral de desechos eficiente, así como también, se destaca que la energía renovable generada es

susceptible de ser aprovechada tanto para autoabastecimiento del relleno sanitario como también para enlazarla al Sistema Interconectado Nacional.

El análisis financiero se realizó considerando los resultados obtenidos en la proyección de ingresos y egresos del proyecto, donde, además se tomó en cuenta los siguientes indicadores económicos: Valor Actual Neto VAN = \$1'708.953,32 dólares, y Tasa Interna de Retorno TIR = 15,2%, con un periodo de recuperación de la inversión de 10 años y 11 meses; el análisis de estos indicadores evidencia la factibilidad ambiental y económica del proyecto.

5.7.2 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA COGASIFICACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN ECHEANDÍA PROVINCIA DE BOLÍVAR.

Se analizó la factibilidad ambiental, técnica, y financiera de una Planta de Cogasificación para el cantón Echeandía (población de 10.400 habitantes), provincia de Bolívar, tomando como materia prima los desechos orgánicos generados, (2.353,52 toneladas anuales, lo que representa 0,62 kg de materia orgánica por persona por día), para la generación biocombustibles y energía eléctrica (INER, 2.015).

El procedimiento de cogasificación contempla las siguientes fases:

- Trituración: involucra el proceso de secado de biomasa, limpieza (de vidrios y metales) y trituración, hasta conseguir el tamaño de partícula requerido para ingresarla al gasificador.
- Cogasificación, el material triturado es ingresado a un gasificador donde se obtiene “gas de síntesis” aplicando oxígeno a elevadas temperaturas, posteriormente es conducido hasta un “blower” donde se extraen las partículas medianas y finalmente dirigido hasta un proceso de filtrado que permite retener las impurezas restantes.
- Compresión: el gas resultante es sometido a un proceso de enfriamiento para posteriormente alcanzar las condiciones de presión y temperatura necesarias para ingresar el reactor.
- Obtención de hidrocarburos: el “gas de síntesis” ingresa a un reactor Fischer Tropsch donde es transformado en hidrocarburos, para posteriormente ser transportados a un segundo intercambiador de calor previo a ser conducido al separador trifásico.

- Separación trifásica: Los hidrocarburos gaseosos son condensados para obtener biocombustibles y agua, el gas remanente que permanece suspendido en la parte superior del separador debe ser utilizado para generar energía eléctrica.

El análisis económico evaluó los indicadores VAN y TIR considerando dos escenarios posibles: el primero, estima la inversión de 859.216,7 dólares, tomando en cuenta el precio del catalizador, análisis físico-químicos, transporte de material, montaje de equipos, elementos mecánicos, pago de servicios básicos, costo del personal administrativo, seguros para los equipos, contratación de dos técnicos para realizar el estudio, diseño y simulación de la planta asumiendo la construcción de obra civil en un galpón con base de concreto de 100 m² de superficie; el segundo escenario contempló la inversión de 791.948,7 dólares, con los rubros descritos en el escenario anterior, con la diferencia de que se realizó una reducción de la superficie de construcción a 60 m² para la obra civil, y los técnicos son parte del staff del INER para realizar el estudio, diseño y simulación de la planta.

En el primer escenario, el valor del VAN fue negativo y la TIR de 4,19% lo que muestra que financieramente no es rentable; el segundo escenario muestra un VAN positivo y la TIR de 5,16%, mostrando rentabilidad; sin embargo, para determinar la factibilidad se debe tomar en cuenta también los beneficios ambientales (costos evitados por remediación ambiental, por gestión de desechos, reducción de generación de gases de efecto invernadero) y sociales (necesidades satisfechas de la población, dinamización del sistema productivo) de la implementación del proyecto, es así que, al incluir estos beneficios, se obtuvo como resultado un VAN positivo (1.687,222 dólares) y TIR de 25,28%, con lo cual se determinó que la planta de procesamiento de desechos mediante cogasificación a un plazo de 20 años de ejecución es ambiental y económicamente rentable, con un periodo de recuperación de la inversión de 4 años.

5.8 FINANCIAMIENTO

Los proyectos de energías renovables considerados como Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL) pueden acceder a financiamiento por parte de organismos nacionales e internacionales para el otorgamiento de créditos que permitan reducir las emisiones contaminantes (PNUMA – CAF, 2.016), a continuación, se detallan algunas de las alternativas de financiamiento para la ejecución del proyecto.

5.8.1 PROGRAMAS INTERNACIONALES

PROGRAMA ECOMICRO DEL FONDO MULTILATERAL DE INVERSIONES DEL BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO.

Es un programa de cooperación técnica del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), cofinanciado por Global Affairs Canada, y el Fondo de Desarrollo Nórdico (Nordic Development Fund NDF) (IDB LAB, s.f); se creó considerando que en hogares de bajos ingresos y PYMES (pequeñas y medianas empresas) de América Latina y El Caribe no existe suficiente acceso a proyectos de energías renovables y eficiencia energética, principalmente debido a la falta de fuentes de financiamiento para la adquisición de estas tecnologías, y la insuficiente oferta de capacitación que facilite su desarrollo (GREEN FOR GROWTH FUND, 2.012).

Los productos de financiamiento que oferta el programa son:

- Préstamos productivos: para aquellos interesados en convertirse en proveedores/minoristas de energía renovable, eficiencia energética, productos y/o servicios de adaptación.
- Préstamos al consumo: que promueven el aumento de la adopción y el uso de estas tecnologías.
- Financiamiento para empresarios verdes y negocios de PYMEs.
- Proporcionar micro-seguros para la protección de los activos de las PYMEs, incluyendo el seguro de cosechas para los pequeños agricultores.

FONDO VERDE PARA EL CLIMA

Es un fondo mundial establecido por 194 países que son parte de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC); este fondo se creó para apoyar los esfuerzos de los países en desarrollo por limitar o reducir sus emisiones y ayudarlos a adaptarse a los efectos del cambio climático. En lo referente a Ecuador, el fondo ha financiado 3 proyectos con un total de 328,2 millones de dólares, relacionados a la reducción de emisiones por deforestación (GREEN CLIMATE FUND, s.f).

IFC. CORPORACIÓN FINANCIERA INTERNACIONAL. Programa de Financiamiento para Energía Sostenible

El objetivo del programa es promover oportunidades de financiamiento para proyectos relacionados con energías sostenibles, mediante la consolidación de un portafolio de proyectos encaminados a la utilización de energías renovables, reducción del consumo energético o de recursos hídricos en al menos un 15%, que serán sometidos a calificación para su financiamiento (IFC, 2.007).

En América Latina, el IFC tiene como prioridad fomentar la innovación y fortalecer la integración regional, es así que las áreas de enfoque son: infraestructura, asociaciones público privadas, acceso a finanzas, ampliación de educación asequible, energía renovable y agronegocios; en Ecuador han financiado 47 proyectos, sin embargo, ninguno de ellos enfocado a la generación de energía eléctrica (IFC, 2.007).

FINANCIAMIENTO DEL BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO (BID)

El BID cuenta con un programa denominado BID INVEST, que apoya otorgando financiamiento para la ejecución de proyectos que permitan desarrollar alternativas para generar energía limpia, modernizar la agricultura y fortalecer los sistemas de transporte.

En América Latina ha financiado 138 proyectos, de los cuales seis se han desarrollado en Ecuador y estuvieron relacionados con generación de energía renovable, y uno de ellos se encuentra en implementación (BIDINVEST, 2.019)

SOCIEDAD ALEMANA PARA LA COOPERACIÓN INTERNACIONAL (GIZ)

Es una empresa de la República Federal de Alemania dedicada a la cooperación internacional a nivel mundial, cuyo objetivo principal es el de mejorar la calidad de vida de las personas que viven bajo condiciones difíciles y complejos procesos de cambio y reformas; la GIZ es en Ecuador uno de los actores más relevantes de la cooperación bilateral, que cumple un papel clave en la obtención de logros esenciales como:

- Lograr que el Ministerio del Ambiente (MAE) del Ecuador ejecute proyectos relacionado con la protección de la biodiversidad y de recursos naturales;

- Introducción de procesos innovadores y fortalecimiento de capacidades en tecnología y energías renovables;
- Fortalecimiento de capacidades para el personal que cumple funciones de planificación y de gestión en el sector público, tanto a nivel del gobierno nacional, como en los Gobiernos Autónomos Descentralizados;
- Desarrollo de modelos de gestión participativos y sostenibles para áreas protegidas, entre otros.

En Ecuador se han concluido 9 proyectos de cooperación sobre asuntos estatales, cambio climático, sostenibilidad, biodiversidad, y asuntos indígenas; sin embargo, no se han desarrollado proyectos de generación eléctrica por medio de esta entidad.

5.8.2 INICIATIVAS PRIVADAS EN ECUADOR

El 2.012, marcó el inicio de la oferta crediticia por parte del sector bancario ecuatoriano, para invertir en proyectos que reduzcan la contaminación y aporten beneficios al sistema climático, como se menciona a continuación:

Banco ProCredit: Se enfoca en las pequeñas y medianas empresas; en 2.012 lanzó productos financieros para impulsar inversiones relacionadas a la eficiencia energética, energías renovables y protección ambiental.

La cartera de proyectos se distribuye de la siguiente manera: créditos para fomentar la eficiencia energética (70%), energías renovables (20%), y medidas ambientales (10%). Actualmente se encuentran desarrollando un concepto ecológico con orientación a la construcción y movilidad sustentable; además, esta institución bancaria ha propuesto una metodología para trabajar en el financiamiento de proyectos (Project Finance) enfocados en iniciativas de aprovechamiento de energías: solar e hídrica.

Las condiciones que ofrece para los créditos verdes son: menores tasas de interés, y ampliación de los plazos hasta 10 años para adquirir activos fijos categorizados dentro de energía renovable.

Banco Pichincha: Es el banco privado con mayor presencia en Ecuador, desde 2.012 ha venido desarrollando líneas de crédito direccionada al uso eficiente de la energía y de mitigación de impactos ambientales; dentro de sus productos se encuentran los denominados “créditos

verdes”, cuya cartera de crédito se distribuye de la siguiente manera: 70% para la generación de energía renovable y eficiencia eléctrica; mientras que el 30% restante se destina para proyectos relacionados con agricultura.

Banco Desarrollo de los Pueblos: Conformada como entidad bancaria desde 2.013, dirige sus operaciones a estructuras financieras locales, es decir hacia cooperativas de ahorro y crédito y personas naturales o jurídicas mediante microcréditos y créditos a asociaciones.

Cuenta con un producto denominado CreEcológico con tres enfoques principales:

1. Recuperación de suelos para fortalecer la capacidad agrícola;
2. Fomentar inversiones en materia de energía renovable (plantas de biogás, paneles solares térmicos y energía eólica);
3. Protección de bosques y páramos;

FONDO DE INVERSIÓN AMBIENTAL SOSTENIBLE (FIAS)

El Fondo de Inversión Ambiental Sostenible –FIAS- (Naciones Unidas Ecuador, 2.018) fue creado para administrar, movilizar, invertir y ejecutar fondos que permitan impulsar iniciativas, tendientes a la gestión ambiental, protección, conservación, uso sostenible de los recursos naturales y biodiversidad articuladas en la legislación ecuatoriana; cuenta con los siguientes fines específicos:

- Construir mecanismos para la gestión, canalización, inversión y seguimiento de recursos para cooperación técnica – financiera, para la ejecución de iniciativas, planes, programas y proyectos tendientes a fortalecer la gestión ambiental en el Ecuador
- Gestionar instrumentos financieros mediante los cuales se apoyará a la ejecución de las políticas ambientales nacionales, planes de desarrollo y demás disposiciones establecidas en la normativa ambiental, y convenios internacionales suscritos por el Ecuador.

FINANZAS SOSTENIBLES - ASOBANCA

En Ecuador, la asociación de bancos privados suscribió el Protocolo de Finanzas Sostenibles, con el objetivo de buscar alternativas para realizar el fortalecimiento institucional; se

plantearon los siguientes enfoques: financiamiento verde, gestión ambiental interna, y los sistemas de análisis de riesgos ambientales y sociales (SARAS).

En base a lo expuesto, se indica que existen varias alternativas de financiamiento tanto en el ámbito nacional, como internacional, por lo tanto, es necesario definir los montos de inversión necesarios según el método de aprovechamiento, equipos, mantenimientos, dimensiones del terreno, número de personal operativo y administrativo, y demás rubros que permitan conocer el valor real necesario para la construcción y puesta en marcha de una PdGEE en Catamayo.

6. CONCLUSIONES

- Los cultivos que presentan mayor potencial de generación eléctrica en Ecuador son: la palma africana, el arroz y la caña de azúcar, debido a su poder calorífico inferior, volumen de residuos y sus características químicas.
- La región costa del Ecuador debido principalmente a sus condiciones climáticas y topográficas presenta zonas con gran potencial agrícola, especialmente en las provincias de Guayas, Esmeraldas, Los Ríos y Manabí generando mayor volumen de producción y residuos en comparación con las otras regiones del país
- Los cultivos de caña de azúcar, arroz y maíz duro registraron los mayores volúmenes de generación de biomasa residual agrícola en la provincia de Loja; y tomando en cuenta su poder calorífico inferior, presentan un potencial de generación eléctrica que merece análisis e investigación.
- El bagazo de la caña de azúcar producido casi en su totalidad en el cantón Catamayo es la biomasa residual de la provincia de Loja que presentó mayor producción, y potencial de aprovechamiento energético, presentando las condiciones más favorables para evaluar su aprovechamiento.
- La biomasa residual resultante de la producción avícola en la provincia de Loja, es común en todos los cantones, sin embargo, su representatividad en cuanto a potencial de generación eléctrica es de 3,95%, razón por la cual no fue considerada para desarrollar un análisis de su aprovechamiento.
- Loja es la segunda provincia a nivel nacional con mayor potencial de generación eléctrica del cultivo de caña de azúcar, solo por debajo de Guayas (2.823,45 GWh).
- La tecnología de aprovechamiento propuesta para la conversión energética de la biomasa residual de caña de azúcar es la gasificación, tomando en cuenta la composición química de este cultivo (bajos porcentajes de nitrógeno y azufre, alto contenido de material volátil y humedad).
- El cantón Catamayo reúne las condiciones topográficas y de accesibilidad para el emplazamiento de una Planta de Generación de Energía Eléctrica, mediante el aprovechamiento de BRA de caña de azúcar.

- Para la implementación de un PdGEE es indispensable establecer un Plan de Manejo Ambiental que permita proponer medidas que persigan evitar, reducir y/o mitigar los impactos negativos propios del proceso de gasificación de la biomasa.
- El emplazamiento de una PdGEE en el cantón Catamayo puede presentar beneficios a la comunidad con la creación de fuentes de empleo adecuado y a la vez fortalecerá la cadena productiva del cantón; además, es una alternativa que permite reducir los impactos negativos en la salud de los pobladores a causa de la quema a cielo abierto del bagazo de caña y la posible contaminación de fuentes hídricas por la generación de percolados.
- En términos económicos, la producción de bioenergía resulta costosa, sin embargo, es adecuado incluir en el balance económico general los ingresos percibidos por beneficios ambientales (reducción de pérdidas, costos evitados por remediación ambiental y gestión de desechos) y sociales (necesidades insatisfechas de la población, incremento en la productividad).
- Existen organismos nacionales e internacionales que brindan fuentes de financiamiento para la ejecución de proyectos de generación de energías renovables, que busquen reducir las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera.
- La bioenergía constituye una alternativa viable para utilizar los excedentes agrícolas y convertirlos en un recurso (energía eléctrica y calor), generando impactos ambientales, sociales y económicos positivos.

7. RECOMENDACIONES

La biomasa residual agrícola de palma africana debería ser sujeto a investigación para optimizar su aprovechamiento, debido a la marcada presencia biomásica a nivel nacional y su elevado potencial de generación de energía eléctrica.

En base a los resultados obtenidos, se considera necesario desarrollar el potencial energético del cultivo de maíz duro en la provincia de Loja, debido a la producción que presenta y al potencial que representa a nivel provincial.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, H; González, M; Ramírez, M., Marlén, & Espinosa Pedraja, Rubén. (2.016). Evaluación de esquemas de cogeneración de energía a partir de bagazo de caña de azúcar. Centro Azúcar, 43(1), 87-98. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612.016000100010&lng=es&tlng=es.
- Abril, M. (2016). Optimización de la reacción de hidrólisis ácida de los residuos de la planta de banano para mayor rendimiento a glucosa. Tesis. Universidad de Cuenca. 82 pp.
- Aguirre, J. (2.015). Estudio del sistema de cogeneración a partir de biomasa en los ingenios azucareros. Tesis para optar con el título de “Ingeniería Eléctrico – Mecánica en Gestión Empresarial Industrial 132 pp.
- Ajay K., D. David J., A. and Hanna M. Thermochemical Biomass Gasification: A Review of the
- Álvarez, A. (2.013). Caracterización Química de Biomasa y su relación con el Poder calorífico. Universidad de Oviedo, España.
- ANZECC. (1.992). Australian water quality guidelines for fresh and marine waters. National Water Quality Management Strategy Paper No 4. Australian and New Zealand Environment and Conservation Council, Canberra.
- ARCONEL Agencia de Regulación y Control de la Electricidad. (2.017). Estadística Anual y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano 2.017. Disponible en: <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2.018/10/estadistica%20reducida.pdf>
- ARCONEL Agencia de Regulación y Control de la Electricidad. (2.019). Información Estadística abril 2.019. Consultado 20 de mayo de 2.019. Disponible en: <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2.018/10/atlas%20reducido.pdf>
- Arena, U; Zaccariello, L; Mastellone, M. (2.009). Tar removal during the fluidized bed gasification of a plastic waste, Waste Management, Vol. 29, pp. 783–791.
- Arenas, D. (2.009). Propuesta de diseño de un proceso para la generación de energía eléctrica a partir de los residuos de la producción de café. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá-Colombia. 147 pp.
- Arévalo, J; Quishpe, G; Raymundo, C. (2.017). Sustainable Energy Model for the production of biomass briquettes based on rice husk in low-income agricultural areas in Peru In: 4th International Conference on Power and Energy Systems Engineering, CPESE 2.017, 25-29 September 2.017, Berlin, Germany. Science Direct. ELSEVIER. Procedia energy. 8 pp.
- Arvizu, D., P. Balaya, L. Cabeza, T. Hollands, A. Jäger-Waldau, M. Kondo, C. Konseibo, V. Meleshko, W. Stein, Y. Tamaura, H. Xu, R. Zilles, (2.011): Direct Solar Energy. In IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation [O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, C. von Stechow (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Asadullah, M. (2.014). Barriers of commercial power generation using biomass gasification gas: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 29, pp. 201–215.
- Bain, R. (2.009). Introduction to Biopower. National Renewable Energy Laboratory. Disponible en <http://www.ncsl.org/documents/energy/rbain1209.pdf>.
- Balderrama-Castañeda, Salvador, Luján-Álvarez, Concepción, Lewis, David K., Ortega-Gutiérrez, Juan A., de Jong, Bernardus H.J., & Nájera-Ruiz, Tonatihu. (2.011). Factibilidad de generación de electricidad mediante gasificación de residuos de aserradero en el norte de México. Madera y bosques, 17(2), 67-

84. Recuperado en 30 de junio de 2019, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712.011000200006&lng=es&tlng=es.

- Barriga, W. (2.013). Simulación de un gasificador de biomasa como fuente alternativa de energía. Facultad de Ingeniería Química. Universidad Central de Ecuador. Carrera de Ingeniería Química. Quito-Ecuador. 105 pp.
- BIDINVEST. (2.019). Nuestros proyectos. Disponible en: <https://www.idbinvest.org/es/projects>
- Brito, J; Barrichello, L. (1.978) Características do eucalipto como combustível: análise química imediata da madeira e da casca. IPEF, v.16, p.63-78, 1978
- Brown, R.C. (2.011) Thermochemical processing of biomass. 2.011 John Wiley & Sons, Ltd. ISBN: 9780470721117.
- Buragohain, B; Mahanta P. Moholkar, V. S. (2.010). Renewable Sustainable Energy Rev.,14, 73–92.
- Calderón, M; Andrade, F; Lizarzaburu, L; Masache; M. (2.017). Valoración económica de los cobeneficios del aprovechamiento energético de los residuos agrícolas en el Ecuador. CEPAL y UNIÓN EUROPEA. Santiago de Chile. pp. 44.
- Carpio, F; Tepan, J. (2.014). Influencia de la generación distribuida en la red de distribución eléctrica – caso práctico central de biogás de Pichacay. Universidad de Cuenca. Cuenca-Ecuador. 276 pp
- Castells X.E., Cadavid C., Campos P.E., Flotats R.X.; García F.J., Gaya F.J., Jurado G.L., Ruiz A.F., Cremades O.L., Velo G.E. (2.005). Tratamiento y valorización energética de residuos, Ediciones Díaz de Santos, ISBN:84-7978-694-9, España, p.64.
- Centro Nacional de Control de Energía. (2.019). Demanda de Energía. Abril 2019. Disponible en: https://apps.grupoice.com/CenceWeb/CenceDescargaArchivoMes.jsf?init=true&categoria=3&codigoTipoArchivo=3007&fecha_inic=ante
- Charlson, R, Langner, J, Rodhe, H. (1.990). Sulphate aerosol and climate. Nature, 348(6296), 22–22. doi:10.1038/348022a0
- Chum, H; Faaij, J; Moreira, G; Berndes, P; Dhamija, H; Dong, B; Gabri-elle, G; Goss Eng, W; Lucht, M; Mapako, O; Masera Cerutti, ; McIntyre, T; Minowa, T; Pingoud K. (2.011). Bioenergy. In: IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change [O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, C. von Stechow (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Cigolotti, V., McPhail, S. and Moreno, A. (2.009). Nonconventional Fuels for High-Temperature Fuel Cells: Status and Issues. Journal of Fuel Cell Science and Technology, 6(2), p.021311.
- Comisión Nacional de Energía; Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH. (2.007). GUÍA PARA EVALUACIÓN AMBIENTAL ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES: Proyectos de Biomasa (en línea). Disponible en: http://antiguo.cne.cl/cnewww/export/sites/default/05_Public_Estudios/descargas/GuiaBiomasaEIA.pdf. Consultado: 02 de marzo de 2.018.
- Coto, O. (2.013). Uso de los residuos agrícolas orgánicos como fuente de energía: Aprovechamiento de Recursos y Reducción de Gases de Efecto Invernadero en Costa Rica. Informe de Consultoría. Producto 2. Proyecto “Uso de los Residuos Agrícolas Orgánicos como Fuente de Energía: Aprovechamiento de Recursos y Reducción de Gases de Efecto Invernadero en Costa Rica” Informe de Consultoría Producto 2: Prácticas Actuales de Tratamiento y Disposición de los Residuos Agrícolas

Orgánicos en Costa Rica. Disponible en: <http://www.mag.go.cr/proyectos/proy-residuos-agricolas-org/productos/Informe%20RAO%20CR%20Producto%202.pdf>.

- CPCB Central Pollution Control Board (Ministerio de Ambiente y Bosques, Gobierno de India). (2.008). Comprehensive industrial documents for producer gas plants and biomass gasifiers. Technical report.
- Cukierman, A. (2.016). Generación de bioenergía mediante procesos termoquímicos de conversión de biomasa. En M. Laborde, & R. Williams, Energías Renovables Derivadas del Aprovechamiento de Aguas, Vientos y Biomasa (págs. 56-78). Buenos Aires: ANCEF.
- De la Paz Blanco, Carlos (2.012) Metodologías para la localización óptima de centrales de biomasa y minihidráulica como recursos energéticos renovables en la comarca de El Bierzo. (Trabajo Fin de Máster). Universidad Complutense de Madrid.
- Demirbas, A. (2.004). Hazelnut shell to hydrogen-rich gaseous products via catalytic gasification process. Energy Sources, Part-A, Vol. 26, pp. 25–33.
- Díaz, R. (2008). Caracterización Energética del Bagazo de Caña de Azúcar del Ingenio Valdez. Ecuador. Curso Internacional: “PRODUCCIÓN Y APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE BIOMASA”. Riobamba-Ecuador. Disponible en <http://www.lippel.com.br/dados/download/16-07-2014-15-41caracterizacion-del-bagazo-de-cana-de-azucar.pdf>
- Echeverría, M; López, O. (2010). Caracterización energética de la cascarilla de arroz para su aplicación en la generación de energía termoeléctrica. Escuela Politécnica Nacional. 185 pp.
- Energy News. (2.019). Noruega avanza a pasos de gigante hacia las energías renovables con inversiones a futuro (en línea) (artículo de prensa). Disponible en: <https://www.worldenergytrade.com/index.php/m-news-alternative-energy/192-news-energia-alternativa-general/2617-noruega-avanza-a-pasos-de-gigante-hacia-las-energias-renovables-con-inversiones-a-futuro>
- Environment Australia (Department of the Environment and Heritage). (2.001). State of Knowledge Report: Air Toxics and Indoor Air Quality in Australia. EA, Canberra.
- Environment Canada. (1.984). Toluene - Environmental and Technical Information for Problem Spills. Technical Services Branch. Ottawa, Ontario. 104 pp.
- ESIN. (2.014). Atlas bioenergético de la República de Ecuador.
- Espinal, J; Olvera, O; Hernández, V; Morillón, D. (2.016). Potencial de generación de biogás de un rancho ganadero en la comunidad de San Bartolo Cuautlalpan, en Revista de Sistemas Experimentales. Vol.3 No.8 36-52.
- Estremadoyro, J. (2.015). Análisis de factibilidad para producción de energía utilizando un gasificador de hojas de caña de azúcar (Tesis de pregrado en Ingeniería MecánicoEléctrica). Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Mecánico Eléctrica. Piura, Perú.
- Fernández, E. (2.019). Generación de energía eléctrica mediante gasificación de la cascarilla de arroz para un molino en Lambayeque. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Lambayeque-Perú. 113 pp.
- Fernández, J. (2.007). Energía de la biomasa. Disponible en: <https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/cuadernos-energias-renovables-para-todos-biomasa.pdf>
- GADMC. Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Catamayo. (2.014). Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Catamayo 2.014 – 2.019.
- GADMZ. Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Zapotillo. (2.015). Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Zapotillo 2.015–2.019.

- Genon, G; Panepinto D; Viggiano, F. (2.014). Energy from biomass: the potentialities, environmental aspects and technology WIT Trans. Ecol. Environ, 2, 995–1006.
- GREEN CLIMATE FUND. s.f. About the fund. Disponible en: <https://www.greenclimate.fund/who-we-are/about-the-fund>
- GREEN FOR GROWTH FUND. (2.012). Challenges in Financing Renewable Energy Projects. Workshop Overview and Introduction to Renewable Energy. Disponible en: https://www.efse.lu/fileadmin/user_upload/File_Attachments/Events/annual_meetings/2.012_EFSE_Annual_Meeting/ggf_introduction_to_renewable_energy.pdf
- Gumisiriza, R; Hawumba, J; Okure, M; Hensel, O. (2.017). Biomass waste-to-energy valorisation technologies: a review case for banana processing in Uganda. In: Biotechnology for Biofuels. Disponible en: <https://biotechnologyforbiofuels.biomedcentral.com/track/pdf/10.1186/s13068-016-0689-5>
- Haddon, C., Smithers, L., Schneider-Maunoury, S., Coche, T., Henrique, D. and Lewis, J. (1.998). Multiple deltagenes and lateral inhibition in zebrafish primary neurogenesis. Development 125, 359-370.
- Hanly, J., and Petchonka, J. (1.993). "Equipment Selection for Solid Gas Separation." Chemical Engineering. Vol 100 No 7, Julio, 83-85.
- Hegerl, G.C., F. W. Zwiers, P. Braconnot, N.P. Gillett, Y. Luo, J.A. Marengo Orsini, N. Nicholls, J.E. Penner and P.A. Stott. (2.007). Understanding and Attributing Climate Change. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge | University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA
- Hernández, L. (2.015). Diseño de una planta de gasificación de residuos sólidos urbanos para generación de electricidad con una pila de combustible. Universidad de Sevilla. Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Química.
- Howell, J; Schroeder, H. (1.927). History of incandescent lamp. The Maqua Company. New York. 220 pp. Disponible en: <https://archive.org/details/historyofincande00howe/page/n5>.
- IDB LAB. s.f. Ecomicro. Disponible en: <http://www.ecomicro.org/en-us/Home/About.aspx>
- IFC Corporación Financiera Internacional; Grupo del Banco Mundial. (2.007). Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad PLANTAS DE ENERGÍA TÉRMICA (en línea). Disponible en <https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/6876178048855a0b84f4d66a6515bb18/0000360593ESes.pdf?MOD=AJPERES>. Consultado el 03 de marzo de 2.018.
- INER Instituto Nacional de Energía Renovable. (2.015). Estudio de factibilidad Técnica, Financiera, Económica para el proyecto "Implementación de una planta de procesamiento de basura mediante cogasificación para una población de 10.400 habitantes en el cantón Echeandía. Quito. Ecuador. 31 pp.
- INFOCAMPO. (2.017). Convertir al maíz en energía eléctrica, una propuesta donde todos ganan (en línea). Disponible en: <https://www.infocampo.com.ar/convertir-al-maiz-en-energia-electrica-una-propuesta-donde-todos-ganan/>
- IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change (2.014). Cambio climático 2.014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 157 págs.

- IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change. (2.002). Climate Change and Biodiversity. IPCC Technical Paper V. IPCC-WMO-UNEP. 77 p. En línea <https://archive.ipcc.ch/pdf/technical-papers/climate-changes-biodiversity-sp.pdf>
- IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change. (2.011): Summary for Policymakers. In: IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation [O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, C. von Stechow (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Jarabo, F; Friedrich, C; Elortegui, N; Fernández, J; Macías, J. (1.988). El libro de las energías renovables. S.A.P.T. (S.A. de Publicaciones Técnicas). Primera edición. España. 292 pp.
- Kampa, M; Castanas, E. (2.008). Human health effects of air pollution. Environ. Pollut. 151, 362–367.
- Kirkels, A. F., & Verbong, G. P. J. (2.011). Biomass gasification: Still promising? A 30-year global overview. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15(1), 471–481.
- Kjellström, B. (1.984). Hazards of producer gas operation, The Beijer Institute, Stockholm, Sweden.
- Lata K., Mande S., Linoj, N. V., Rajeshwari, K. V., Sharma D. T., Babu L., Kishore, V. V. N. 2006. Development of technology for treatment of wastewater generated in biomass gasifier systems. The Energy and Resources Institute.
- Le Treut, H., R. Somerville, U. Cubasch, Y. Ding, C. Mauritzen, A. Mokssit, T. Peterson and M. Prather, (2.007): Historical Overview of Climate Change. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Leckie, J; Masters, G; Whitehouse, L; Young L. (1981). More other homes and garbage, DDesigns for self-sufficient living. Sierra Club Books. San Francisco. 387 pp.
- Loja, C. (2.017). Optimización de los residuos de cascarilla de arroz mediante pretratamiento por hidrólisis ácida para la obtención de azúcares reductores. Universidad de Cuenca. Facultad de Ciencias Químicas. Escuela de Ingeniería. Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Químico. Cuenca, 94 pp.
- Malik, A; Mohapatra, S. K. (2.013). Biomass-based gasifiers for internal combustion (IC) engines—A review. Sadhana Vol. 38, Part 3, pp. 461–476.
- Manals-Cutiño, Enma M, Salas-Tort, Dolores, & Penedo-Medina, Margarita. (2018). Caracterización de la biomasa vegetal “cascarilla de café. Tecnología Química, 38(1), 169-181. Disponible en http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852018000100013&lng=es&tlng=es.
- Matsumura, Y; Harada, M; Li, D; Komiyama, H; Yoshida, Y; Ishitani, H. (2.003). Biomass Gasification in Supercritical Water with Partial Oxidation, In: Journal of the Japan Institute of Energy, 82, 919-925.
- McKendry, P. (2.002a). Energy Production from Biomass (Part 1): Overview of Biomass. Bioresource Technology 83, pp. 37-46.
- McKendry, P. (2.002b). Energy production from biomass (part 3): gasification technologies. Bioresource technology, Vol. 83, pp. 55-63.
- Mehta V., and Chavan A. (2.009). Physico-chemical Treatment of Tar-Containing Wastewater Generated from Biomass Gasification Plants World Academy of Science. Engineering and Technology. Vol. 3, pp. 09-29.
- Milne TA, Evans RJ, Abatzoglou N. (2.014). Biomass Gasifier “tars”: their nature, formation and conversion. Informe NREL/TP-570-25357. Disponible en: <http://www.nrel.gov/docs/fy99osti/25357.pdf>

- MTOP Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2.019). Mapa del estado la red vial estatal (en línea). Disponible en: https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2.019/03/Mapa_Estado_Red-Vial_Estatal_Febrero_2.019.pdf. Consultado el 03 abril de 2.019.
- MTOP Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2.019). Reporte del Estado de la Red Vial Estatal Nacional (RVE). https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2.019/07/RVE_reporte_JUNIO-2.019.pdf
- Mullo, I. (2012). Manejo y procesamiento de la gallinaza. Memoria técnica. Tesis. Universidad Superior Politécnica de Chimborazo. 79 pp.
- Naciones Unidas Ecuador. (2.018). Ecuador presentó el fondo de inversión ambiental sostenible (FIAS). Disponible en: <http://www.un.org/ec/ecuador-presento-el-fondo-de-inversion-ambiental-sostenible-fias/>
- Naciones Unidas. (1.992). Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Disponible en: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>
- National Center for Health Statistics. (1.990). Advanced report of Final Mortality Statistics. Monthly Vital Statistics. Report. Vol 41. No 7. Suppl. Hyattsville. (MD). Public Health Service 1993.
- National Center for Health Statistics. (1.995). Health, United States. Hyattsville, Maryland: Public Health Service. 1996
- Peláez, M; Espinoza, J. (2.015). Energías renovables en el Ecuador. Situación actual, tendencias y perspectivas. Universidad de Cuenca. 447 pp.
- Perera, P.G. Rathnasiri, S.A.S. Senarath, A.G.T. Sugathapala, S.C. Bhattacharya, P. Abdul Salam. (2.005). Assessment of sustainable energy potential of non-plantation biomass resources in Sri Lanka, Biomass and Bioenergy. 29. pp 199-213.
- Pirillo, Ernesto. (2.015). Guía Metodológica de Evaluación de Impactos Ambientales (EIA). Comisión de Estudios Ambientales (CESAM). Facultad de Ingeniería. Universidad de Buenos Aires (UBA).
- PNUMA – CAF. (2.016), El Desarrollo Sostenible en el Sistema Bancario de Ecuador. Disponible en: <https://www.unepfi.org/wordpress/wp-content/uploads/2.017/11/EL-DESARROLLO-SOSTENIBLE-EN-EL-SISTEMA-BANCARIO-DE-ECUADOR-AW-WEB.pdf>
- Prefectura de Loja. (2.015). Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la provincia de Loja. 428 pp.
- Presidencia Oriental del Uruguay. (2.018). Uruguay es líder en energías renovables en América Latina y referente mundial en políticas de acceso a la electricidad. Disponible en <https://presidencia.gub.uy/comunicacion/comunicacionnoticias/energias-cosse-renovables-acceso-energeticos-2.020-emiratos-arabes-unidos>
- Ptasinski, K. J.; Prins, M. J. and Pierik, A. (2.007). Exergetic evaluation of biomass gasification. Energy, Vol.32, pp. 568– 574.
- Pudasainee, D., Paur, R.,Fleck, S. and Seifert. (2.014). H. Trace metals emission in syngas from biomass gasification. Fuel Processing Technology, Vol. 120 pp. 54–60.
- Rabou, L.P.L.M. (2.004). Biomass tar recycling and destruction in a CFB gasifier. Fuel, Vol. 84, pp. 577–581.
- Richieri, P. R. and A. R. Buckpitt. (1.988). Glutathione depletion by naphthalene in isolated hepatocytes and by naphthalene oxide in vivo Biochem. Pharmacol. 37:2473–2478.

- Rosero E; Chiliquina, B. (2.011). Ecuador Informe Final Producto 1: Línea Base de las Tecnologías Energéticas. Producto 2: Estado del Arte de las Energías Renovables. Observatorio de Energías Renovables en América Latina y El Caribe. OLADE/ONUDI. 92 pp.
- San Miguel, G; Domínguez, M. P; Hernández M; Sanz-Pérez, F. (2.012). Biomass Bioenergy, 47, 134–144.
- Sánchez, A. (2.017). Diseño de una planta de gasificación con cogeneración para el aprovechamiento energético de la cascarilla de arroz en un proceso industrial. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid. 180 pp.
- Schlegel, B; Gayoso, J; Guerra, J. (2.000). Manual de procedimientos de biomasa forestal. Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el Mercado mundial. Universidad Austral de Chile. INFOR. FONDEF. 24 pág.
- Serrano, J; Mejía, W; Ortiz, J; Sánchez, A; Zalamea, S. (2.017). Determinación del Potencial de Generación Eléctrica a partir de biomasa en el Ecuador. Revista de la Facultad de Ciencias Químicas. ISSN: 1390 -1869 N° 17. 21 pp.
- Shapouri, H..A. Duffield, M. Wang, (2.002): The Energy Balance of Com-Ethanol: An Update, U.S. Department of Agriculture, Agricultural Economic Report No. 814.
- Sikarwar, V; Zhao, M; Clough, P; Yao, J; Zhong, X; Memon, M; Shah, N; Anthony, E; Fennell, P. (2.016). An overview of advances in biomass gasification. Energy Environ. Sci. 9, 2939-2977.
- Stronguilló, M; Chacón, M. (2015). Caracterización de biomasa residual de la región Arequipa para la producción de biocombustibles. Enfoque UTE, 6(4), 42-54. <https://dx.doi.org/10.29019/enfoqueute.v6n4.77>
- Sutton, D., Kelleher, B., Julian, R.H. (2.001). Review of literature on catalysts for biomass gasification. Fuel Processing Technology. Vol. 73, pp. 155–173.
- Tafunell, X. (2.011). La revolución eléctrica en América Latina: una reconstrucción cuantitativa del proceso de electrificación hasta 1930. Revista de Historia Económica, Journal of Iberian and Latin American Economic History Vol. 29, No. 3: 327–359. & Instituto Figuerola, Universidad Carlos III de Madrid.
- Tchabda, A. and Pisupati, S. V. (2.014). A Review of Thermal Co-Conversion of Coal and Biomass/Waste. Energies, Vol. 7, pp. 1098-1148.
- Tripathi, L. D., Anil K., G. S. and Singh, P. L. (2.013). Waste Water Treatment of Biomass based Power Plant. International Journal of Chem Tech Research CODEN (USA): IJCRGG, Vol.5, No.2, pp 761764.
- U.S. EPA. (1.994). Interim policy for particle size and limit concentration issues in inhalation toxicity. Fed Regist 59:53799 and <<http://www.epa.gov/iris/backgr-d.htm>>.
- UNFCCC United Nations Framework Convention on Climate Change. (2.019). The Clean Development Mechanism. Disponible en: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-kyoto-protocol/mechanisms-under-the-kyoto-protocol/the-clean-development-mechanism>.
- United Nations. (2.019). Conference of the Parties (COP). Disponible en: <https://unfccc.int/process/bodies/supreme-bodies/conference-of-the-parties-cop>
- Walter, T., Sourabh S. P. and James G. G. (2.007). Hot Gas Removal of Tars, Ammonia, and Hydrogen Sulfide from Biomass Gasification Gas. Catalysis Reviews, Vol. 49, pp. 407–456.
- Warneck, R. (2.002). Gasification of biomass: comparison of fixed bed and fluidized bed gasifier. Biomass and Bio-energy, Vol. 18, pp. 489–497.
- Woolcock, P. J., Brown, R. C. (2.013). A review of cleaning technologies for biomass-derived syngas. Biomass and bioenergy, Vol. 52, pp. 54-84.