

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**“EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA
BIOMASA RESIDUAL AGRÍCOLA, FORESTAL Y PECUARIA DE
LA UNALM”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERA AGRÍCOLA

ANGELA TIFFANY CASTILLO HÍJAR

LIMA - PERÚ

2022

Document Information

Analyzed document	TESIS-BACH. ANGELA CASTILLO HIJAR-2022.pdf (D143540836)
Submitted	2022-09-02 19:40:00
Submitted by	Jose Calle
Submitter email	jcalle@lamolina.edu.pe
Similarity	4%
Analysis address	jcalle.unalm@analysis.orkund.com

Sources included in the report

W	URL: https://1library.co/article/biomasa-residual-forestal-biomasa-residual-forestal-recurso-energ%C3%A9tico.y60n2k4y Fetched: 2022-01-17 02:44:11
W	URL: https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/52391/LERMA%20-%20Planificaci%C3%B3n%2C%20log%C3%ADstica%20y%20valorizaci%C3%B3n%20de%20biomasa%20forestal%20 Fetched: 2021-11-03 20:07:11
SA	TFM Yaimé Delgado Arcaño Versión final.pdf Document TFM Yaimé Delgado Arcaño Versión final.pdf (D11624648)
W	URL: https://docplayer.es/167840342-Universidad-nacional-agraria-la-molina.html Fetched: 2021-05-30 16:37:20
W	URL: https://portal.unas.edu.pe/sites/default/files/epirnr/EMISIONES%20DE%20METANO%20A%20PARTIR%20DE%20ESTIERCOL%20DE%20VACUNO%252C%20CUY%20Y%20PORCINO Fetched: 2022-09-02 19:41:00
W	URL: https://www.researchgate.net/profile/Ana_De-Lucas/publication/260383181_Biomasa_biocombustibles_y_sostenibilidad/links/54201c510cf241a65a1b01e5/Biomasa-biocombustibles_y_sostenibilidad.pdf Fetched: 2021-01-18 00:34:48
SA	Christian Cepeda- Utilización de residuos agroindustriales.docx Document Christian Cepeda- Utilización de residuos agroindustriales.docx (D26791405)
SA	BIOMASA AMBIENTALES.docx Document BIOMASA AMBIENTALES.docx (D40309349)
SA	Reyes biomasa.docx Document Reyes biomasa.docx (D38550552)
W	URL: http://sostenible.palencia.uva.es/system/files/publicaciones/Biomasa%2C%20Biocombustibles%20y%20Sostenibilidad.pdf Fetched: 2020-11-22 08:48:47
W	URL: http://www.agenergia.org/wp-content/uploads/2018/05/1234281334_Gralidades_biomasa.pdf Fetched: 2022-09-02 19:41:00
W	URL: http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-65422015000400042 Fetched: 2021-12-03 04:30:54
SA	ArtCient_BiomasaSólida_Apupalo_Arcos_Barroso.pdf Document ArtCient_BiomasaSólida_Apupalo_Arcos_Barroso.pdf (D92752287)
W	URL: https://www.redalyc.org/pdf/5722/572260849003.pdf Fetched: 2021-05-22 05:22:33
SA	Exposición Biocombustible-Grupo Forestal.pptx Document Exposición Biocombustible-Grupo Forestal.pptx (D140876568)
W	URL: https://www.redalyc.org/comocitar.oa?id=257024712012 Fetched: 2022-09-02 19:41:00
SA	Urkund_pazmiño.pdf Document Urkund_pazmiño.pdf (D118293475)
W	URL: https://www.udima.es/sites/udima.es/files/programas/562-5579-adolfo.nunez_.pdf Fetched: 2022-02-21 16:08:46

Entire Document

La UNALM es titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación (Art. 24 - Reglamento de Propiedad Intelectual)
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA FACULTAD
DE INGENIERÍA AGRÍCOLA "EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA BIOMASA RESIDUAL AGRÍCOLA, FORESTAL Y PECUARIA DE LA UNALM" TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO
ÍNDICE GENERAL I. INTRODUCCIÓN 1 II. REVISIÓN DE LITERATURA 4 2.1

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA

**“EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA BIOMASA
RESIDUAL AGRÍCOLA, FORESTAL Y PECUARIA DE LA UNALM”**

TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE:

INGENIERA AGRÍCOLA

Presentado por:

BACH. ANGELA TIFFANY CASTILLO HÍJAR

Sustentado y aprobado por el siguiente jurado:

Dr. JOSUÉ ELIEZER ALATA REY
Presidente

Mg. Sc. KENYI GLICERIO CAVALCANTI CÁRDENAS
Miembro

Mg. Sc. TAÍCIA HELENA NEGRIN MARQUES
Miembro

Dr. JOSÉ LUIS CALLE MARAVÍ
Asesor

Mstra. Quím. MARY FLOR CÉSARE CORAL
Co-Asesora

LIMA – PERU

2022

DEDICATORIA

A mi papá Héctor quien descansa en paz.

A mi familia y amigos, por su amor y apoyo incondicional.

A mi asesor y coasesora de tesis por guiarme durante este proceso.

A los profesores que me inculcaron lo más esencial en esta hermosa carrera.

AGRADECIMIENTO

A mis asesores Ph.D. José Luis Calle Maraví y Mg. Quím. Mary Flor Césare Coral, por permitirme contar con su apoyo en la asesoría de esta tesis.

A los responsables de la Oficina de Gestión Ambiental, el Programa de Hortalizas El Huerto perteneciente a la Facultad de Agronomía y a los Programas de Investigación y Proyección Social de la Facultad de Zootecnia por brindarme la información para la realización de la tesis.

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1	Bioenergía.....	4
2.1.1.	Características de la bioenergía	5
2.1.2.	Biomasa	5
2.1.3.	Biocombustibles	7
2.2	Tipos de la biomasa	8
2.2.1.	Tipos de biomasa según su origen.....	8
2.2.2.	Tipos de biomasa según su naturaleza.....	12
2.2.3.	Tipos de biomasa vegetal según su composición	13
2.3	Fuentes de energía.....	14
2.3.1.	Fuentes de energía primaria.....	15
2.3.2.	Fuentes de energía secundaria	15
2.4	Matriz energética en el Perú	15
2.4.1.	Matriz eléctrica en el Perú	16
2.5	Caracterización de la biomasa como biocombustible sólido	24
2.5.1.	Caracterización estructural de la biomasa lignocelulósica	25
2.5.2.	Caracterización física de la biomasa	28
2.5.3.	Caracterización química de la biomasa	29
2.5.4.	Caracterización energética de la biomasa.....	34
2.6.	Pretratamientos de la biomasa como biocombustible sólido	35
2.6.1.	Reducción de humedad.....	36
2.6.2.	Reducción granulométrica.....	36
2.6.3.	Densificación	37
2.7.	Clasificación de los biocombustibles.....	38
2.7.1.	Biocombustible según su procedencia, sector y uso final	38
2.7.2.	Biocombustibles según su estado	39
2.7.3.	Biocombustibles según generación	42
2.8.	Procesos y tecnologías de conversión energética de la biomasa	45
2.8.1.	Procesos termoquímicos	47
2.8.2.	Procesos bioquímicos	48

2.9.	Formas de energía a partir de la biomasa.....	49
2.9.1.	Energía térmica.....	50
2.9.2.	Energía eléctrica	51
2.9.3.	Cogeneración (calor y electricidad).....	52
2.10.	Potencial energético de la biomasa	53
2.10.1.	Potencial energético de la biomasa residual agrícola y forestal	53
III.	METODOLOGÍA	56
3.1.	Área de estudio	56
3.2.	Materiales y equipos	58
3.2.1.	Fase de campo	58
3.2.2.	Fase de laboratorio.....	58
3.3.	Método	59
3.3.1.	Análisis inicial de datos.....	61
3.3.2.	Cuantificación de la biomasa residual aprovechable.....	68
3.3.3.	Recolección de muestras	72
3.3.4.	Caracterización de la biomasa residual en laboratorio	83
3.3.5.	Mecanismos de conversión energética	91
3.3.6.	Evaluación del potencial energético.....	91
3.3.7.	Aplicaciones de la biomasa con fines energéticos.....	93
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	95
4.1.	Cuantificación de la biomasa residual	95
4.1.1.	Cuantificación de la biomasa residual agrícola	95
4.1.2.	Cuantificación de la biomasa residual forestal	96
4.1.3.	Cuantificación de la biomasa residual pecuaria	97
4.2.	Caracterización de la biomasa residual.....	99
4.4.	Mecanismos de conversión energética.....	104
4.5.	Potencial Energético teórico total de la biomasa residual	106
4.5.1.	Potencial Energético de la biomasa residual del Sector Agrícola	106
4.5.2.	Potencial Energético de la biomasa residual del Sector Forestal	107
4.5.3.	Potencial Energético de la biomasa residual del Sector Pecuario	107
4.6.	Aplicaciones de la biomasa con fines energéticos	109
4.6.1.	Aplicaciones de pellets a partir de la biomasa residual agrícola y forestal ..	110
4.6.2.	Aplicaciones del biogás a partir de la biomasa residual pecuaria	110

V. CONCLUSIONES.....	112
VI. RECOMENDACIONES.....	114
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	116
VIII. ANEXOS.....	122

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:Tipos de biomasa residual y sus características físicas	10
Tabla 2:Compuestos que conforman la biomasa vegetal	13
Tabla 3:Clasificación de la biomasa vegetal según su composición estructural	13
Tabla 4:Centrales de generación de energía eléctrica con tecnología RER 2008 - 2020	19
Tabla 5:Tipos de bioenergía que se utilizan en el Perú	21
Tabla 6:Centrales de Generación de energía eléctrica con RER con Biomasa en el Perú ..	23
Tabla 7:Parámetros fundamentales de la caracterización de la biomasa.....	24
Tabla 8:Composición estructural (% en peso) de varios tipos de biomasa lignocelulósica	27
Tabla 9:Composición de biomasa leñosa y herbácea	33
Tabla 10:Composición fisicoquímica del estiércol de diferentes especies.....	34
Tabla 11:Poderes caloríficos de diversas biomazas y combustibles fósiles.	35
Tabla 12:Sistemas de densificación de la biomasa.....	38
Tabla 13:Clasificación de la biomasa para la obtención de biocombustibles	39
Tabla 14:Clasificación de los biocombustibles según su generación.....	43
Tabla 15:Procesos de conversión y tecnologías de transformación de la biomasa	45
Tabla 16:Sistemas de generación de energía a partir de biomasa	52
Tabla 17:Unidades de producción de cultivos agrícolas de la UNALM.....	62
Tabla 18:Superficie sembrada de principales cultivos agrícolas de la UNALM.....	63
Tabla 19:Distribución poblacional de las especies pecuarias del campus 1 de la UNALM	65
Tabla 20:Tipo de tratamientos para la valorización de la biomasa residual.....	67
Tabla 21:Rendimientos de cosecha e índices de residuo de los cultivos agrícolas	69
Tabla 22:Modelos alométricos para determinar la biomasa residual forestal	70
Tabla 23:Valores de la biomasa (kg/árbol) por especie de estudio de la UNALM.....	71
Tabla 24:Valores de la biomasa residual conformado por ramas y hojas (BRr-h).....	71
Tabla 25:Tasa de producción de estiércol según especie pecuaria.....	72
Tabla 26:Requerimientos de la norma ASTM D7582 para el analizador termogravimétrico TGA701 LECO	86
Tabla 27:Requerimientos de las normas ASTM D5373 y ASTM D4239 para los analizadores CHN628, O628 y S628 LECO	87
Tabla 28:Requerimientos del protocolo ASTM D5865 - 13 para el calorímetro AC600 LECO.....	90
Tabla 29:Potencial de la biomasa residual agrícola (kg/año) según tipo de cultivo, tipo de residuo y área sembrada (Ha)	95

Tabla 30:Potencial de la biomasa residual forestal (kg/año) según la cantidad de números de árboles.....	97
Tabla 31:Potencial de la biomasa residual pecuaria (kg/año)	98
Tabla 32:Análisis proximal de la biomasa residual generada en el campus 1 de la UNALM.....	99
Tabla 33:Análisis proximal de la biomasa residual del campus 1 de la UNALM	101
Tabla 34:Análisis elemental de la biomasa residual del campus 1 de la UNALM	102
Tabla 35:Análisis de contenido energético de la biomasa residual de la UNALM.....	103
Tabla 36:Pretratamientos para la biomasa residual para fines energéticos	104
Tabla 37:Potencial energético teórico de la biomasa residual agrícola.....	107
Tabla 38:Potencial energético teórico de la biomasa residual forestal.....	107
Tabla 39:Potencial energético teórico de la biomasa residual pecuaria	108
Tabla 40:Potencial energético teórico total (MWh/año) a partir de la biomasa residual generada en el campus 1 de la UNALM.....	108

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:Cadena de producción de la bioenergía	4
Figura 2:Generación de Biomasa	7
Figura 3:Tipos de biomasa según diferentes clasificaciones	8
Figura 4:Fuentes de Biomasa residual	9
Figura 5:Procesos de conversión de las fuentes de energía primaria	14
Figura 6:Matriz energética del Perú, 2018 (Mtep, %).	16
Figura 7:Evolución de la producción de energía eléctrica (SEIN) por tipo de generación 1997 2018	17
Figura 8:Tecnologías de Generación de Energía Eléctrica en el Perú.....	18
Figura 9:Participación porcentual de la Energía RER en Operación, 2008 - 2020	19
Figura 10:Estructura de la biomasa lignocelulósica	26
Figura 11:Composición de la biomasa y fracciones determinada en cada análisis	29
Figura 12:Bases para expresar la composición de la biomasa.....	30
Figura 13:Expresiones utilizadas para el cambio de base de referencia.....	30
Figura 14:Curva termogravimétrica cualitativa para el análisis de un combustible.....	32
Figura 15:Tipos de biocombustibles sólidos	40
Figura 16:Tipos de biocombustibles líquidos.....	41
Figura 17:Procesos de conversión de la biomasa en biocombustibles	46
Figura 18:Procesos de conversión energética de la biomasa. y aplicaciones	50
Figura 19:Definición y contexto de los recursos potenciales de los cultivos agrícolas y forestales.....	53
Figura 20:Ubicación de las unidades de producción en el área de estudio	57
Figura 21:Diagrama de Flujo para determinar potencial energético a partir de la biomasa residual a escala anual.	60
Figura 22:Fuentes de biomasa residual obtenidas en las unidades de producción y áreas verdes de la UNALM.	61
Figura 23:Principales cultivos agrícolas generadores de biomasa residual.....	63
Figura 24:Principales especies forestales del campus 1 de la UNALM.....	64
Figura 25:Mantenimiento de áreas verdes y recojo de residuos agroforestales del campus 1 de la UNALM.....	66
Figura 26:Pilas de compostaje a partir de residuos agroforestales y pecuarios; y malezas en la UNALM.....	67
Figura 27:Superficie cultivada de algodón y recolección de muestra de restos de cosecha generada en la UNALM.	73

Figura 28:Superficie cultivada de maíz y recolección de muestra de rastrojo generada en la UNALM	74
Figura 29:Superficie cultivada de palto y recolección de muestra de poda generada en la UNALM.	74
Figura 30:Especie forestal Grevilea y recolección de muestra de poda generada en las áreas verdes de la UNALM.	75
Figura 31:Especie forestal Huaranguay y recolección de muestra de poda generada en las áreas verdes de la UNALM.	76
Figura 32:Especie forestal Molle serrano y recolección de muestra de poda generada en las áreas verdes de la UNALM.	77
Figura 33:Recolección de la muestra de estiércol a) vacunos y b) equinos (caballos) generados en la UNALM.....	78
Figura 34:Recolección de la muestra de purín de la categoría de cerdos crecimiento y acabado de la UNALM.....	79
Figura 35:Recolección de las muestras de estiércol de a) gallinas ponedoras y b) pollos de carne generados en la UNALM.	80
Figura 36:Recolección de las muestras de estiércol de a) ovinos, b) llamas y c) alpacas generadas en la UNALM.....	81
Figura 37:Recolección de las muestras de estiércol de a) cuyes y b) conejos generados en la UNALM	82
Figura 38:Muestras de estiércol de las especies pecuarias generadas en la UNALM.....	83
Figura 39:Acondicionamiento y homogenización de las muestras de biomasa residual de especies a) agrícolas y forestales y b) pecuarias.....	84
Figura 40:Procedimiento de a) pesado y b) secado en estufa de la muestra de biomasa residual	85
Figura 41:Procedimiento de a) molido, b) tamizado y c) muestras en base seca para su análisis	85
Figura 42:Análisis de muestras en el equipo analizador termogravimétrico TGA-701 LECO ...	86
Figura 43:Análisis de muestras en el equipo analizador elemental CHN628 LECO.....	88
Figura 44:Análisis de muestras en el equipo analizador elemental O628 LECO.....	89
Figura 45:Análisis de muestras en el equipo analizador elemental S628 LECO.	89
Figura 46:Procedimiento de pesado de la muestra por triplicado y colocación del hilo de algodón.	90
Figura 47:Llenado y descarga de oxígeno en la bomba calorimétrica para análisis en el equipo calorímetro AC600.	91
Figura 48:Potencial de la biomasa residual agrícola (kg/año) por tipo de residuo.....	96
Figura 49:Potencial de la biomasa residual forestal (kg/año) por tipo de residuo.....	97
Figura 50:Potencial de la biomasa residual pecuaria (%) por especie pecuaria del año 2020.....	98

Figura 51:Mecanismos de conversión energética más eficientes según tipo de biomasa residual	105
Figura 52:Potencial energético teórico total (MWh/año) de la biomasa residual generada en el campus 1 de la UNALM, 2020.....	109
Figura 53:Aplicación de la energía a partir de la biomasa residual agrícola y forestal a las necesidades de la UNALM.....	110
Figura 54:Aplicación de la energía a partir de la biomasa residual pecuaria a las necesidades de la UNALM.....	111

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1:Clasificación de residuos generados por la UNALM	122
Anexo 2:Cronograma de recolección y codificación de las muestras de biomasa residual generada en la UNALM	123
Anexo 3:Reportes de resultados de las muestras de biomasa residual analizadas en el Laboratorio de Energías Renovables de la UNALM.....	124
Anexo 4:Plantillas descriptivas de las unidades de producción de la facultad de Zootecnia de la UNALM.....	127
Anexo 5:Fichas Técnicas de Centrales de Generación de energía eléctrica con RER - Biomasa en el Perú	139
Anexo 6:Consumo de energía eléctrica anual 2009 - 2018 de la UNALM.....	145
Anexo 7:Catálogo de tecnologías para la conversión en energía a partir de biomasa residual agrícola y forestal	145

RESUMEN

En la actualidad se generan diferentes tipos de biomasa residual en el campus 1 de la UNALM, como los residuos agroforestales generados en el mantenimiento de los cultivos perennes, los procesos productivos de los cultivos temporales, las actividades de limpieza y mantenimiento de las áreas verdes, los cuales se incrementan cada vez más en los puntos de acopio hasta su disposición final donde son tratados para producción de biochar, compostaje y abono. Por ello, el presente trabajo tiene como objetivo general determinar el potencial energético teórico de la biomasa residual agrícola, forestal y pecuaria más importante del Campus 1 de la UNALM y sus aplicaciones. Para ello, se cuantificó la biomasa residual generada por las unidades de producción y áreas verdes, luego se determinó los mecanismos de conversión energética más eficientes para la biomasa residual de mayor potencial energético de los sectores agrícola, forestal y pecuario a partir de la caracterización fisicoquímica y energética en el Laboratorio de Energías Renovables de la UNALM. Las fuentes que generan mayor cantidad de biomasa residual fueron los cultivos de algodón y palto del sector agrícola; grevilea, huaranguay y molle serrano del sector forestal; y cerdos (crecimiento y acabado), vacunos y terneros del sector pecuario. El potencial energético teórico total resultó 1,011.14 MWh al año (obtenido a partir de 1,683.44 toneladas de biomasa residual) donde el 76.96% proviene del sector pecuario, el 19.98% del sector agrícola y el 3.06% del sector forestal. Esta energía teórica podría cubrir el 23.55% de las necesidades de energía eléctrica (4,293.32 MWh al año) de la UNALM correspondiente al año 2020. Finalmente, esta energía en forma de calor y/o electricidad podría ser utilizadas como calefacción e iluminación en las granjas de la UNALM mediante la producción de pellets (biomasa agrícola y forestal) y biogás (biomasa pecuaria).

Palabras clave: residuos vegetales, estiércol pecuario, potencial biomásicos, caracterización fisicoquímica, poder calorífico, energía.

ABSTRACT

Currently, different types of residual biomass are generated on campus 1 of the UNALM, such as agroforestry residues generated in the maintenance of perennial crops, the production processes of temporary crops, the cleaning and maintenance activities of green areas, which are increasingly increased at the collection points until their final disposal where they are treated for the production of biochar, composting and fertilizer. For this reason, the present work has as a general objective to determine the theoretical energy potential of the most important agricultural, forestry and livestock residual biomass of Campus 1 of the UNALM and its applications. For this, the residual biomass generated by the production units and green areas was quantified, then the most efficient energy conversion mechanisms will be limited to the residual biomass with the highest energy potential of the agricultural, forestry and livestock sectors based on the physicochemical characterization. and energy in the Laboratory of Renewable Energies of the UNALM. The sources that generate the greatest amount of residual biomass were cotton and avocado crops from the agricultural sector; grevilea, huaranguay and molle serrano from the forestry sector; and pigs (growing and finishing), cattle and calves from the livestock sector. The total theoretical energy potential was 1,011.14 MWh per year (obtained from 1,683.44 tons of residual biomass) where 76.96% comes from the livestock sector, 19.98% from the agricultural sector and 3.06% of the forestry sector. This theoretical energy could cover 23.55% of the electrical energy needs (4293.32 MWh per year) of the UNALM corresponding to the year 2020. Finally, this energy in the form of heat and/or electricity could be used as heating and lighting in the farms. UNALM through the production of pellets (agricultural and forestry biomass) and biogas (livestock biomass).

Keywords: plant residues, livestock manure, biomass potential, physicochemical characterization, calorific value, energy.

I. INTRODUCCIÓN

El Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE, 2007) menciona la importancia de gestionar los residuos procedentes de podas y limpiezas de los bosques, con el fin de limitar la propagación de incendios, siendo una de las soluciones para facilitar el saneamiento de los bosques mediante el aprovechamiento de la masa forestal residual como combustible para calderas de biomasa. Asimismo, se podrían incluir los rastrojos y podas agrícolas, cuya quema tradicional en el campo conlleva un riesgo añadido de incendios. De acuerdo con información de la Directiva para la Gestión de Residuos Agroforestales y Prevención de Incendios de la Universidad Nacional Agraria La Molina - UNALM (Rectorado UNALM, 2017), la biomasa residual agrícola, forestal y pecuaria obtenida de sus Unidades de Producción ha aumentado en volumen, la cual se acumula sin descomponerse y originan cada vez más problemas, como la quema de los residuos agroforestales, generando humo y con ello, emisiones de gases como el dióxido de carbono, afectando tanto la salud humana como el ambiente. Entre las disposiciones generales de esta directiva, se prohíbe la quema de los residuos agrícolas generados en el campo agrícola durante el proceso productivo de cultivos temporales (origen herbáceo) y proceso de mantenimiento de cultivos perennes (origen leñoso), así como, los residuos de origen herbáceo y leñoso generados en las actividades de limpieza y mantenimiento de las áreas verdes dentro del área de la UNALM, excepto la quema prescrita que se realiza por motivos sanitarios.

La Oficina Regional para Centroamérica Biomass Users Network (BUN-CA, por sus siglas en inglés) resalta que las formas más familiares de energía renovable para la mayoría de la población mundial son las que provienen del sol y del viento. Asimismo, existen otras fuentes de biomasa que proveen un alto porcentaje de la energía consumida en el mundo y tienen potencial para suplir mayores volúmenes, siendo estas: la leña, el carbón de leño, y la cascarilla de arroz. En la actualidad, los avances tecnológicos han permitido el desarrollo de procesos más eficientes y limpios para la conversión de biomasa en energía; transformándola, en combustibles líquidos o gaseosos, los cuáles son más convenientes y

eficientes, como es el caso de los procesos de combustión directa, termoquímico y el bioquímico. El uso de estas tecnologías puede disminuir la contaminación del medio ambiente, causada por las emisiones de gases de los sistemas convencionales que utilizan combustibles fósiles como el carbón y los productos derivados del petróleo, debido a que estos gases contribuyen al efecto invernadero y al calentamiento global de nuestro planeta. Estos procesos modernos de conversión solamente suplen el 3% del consumo de energía primaria en países industrializados, en cambio, gran parte de la población rural en los países en desarrollo, el cual representa cerca del 50% de la población mundial y donde está incluido el Perú, aún depende de la biomasa tradicional, principalmente de leña, como fuente de energía primaria (BUN-CA, 2002).

El Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE, 2007) menciona que “entre las energías renovables destaca el uso de productos obtenidos a partir de materia orgánica para producir energía”. Estos productos vienen a ser lo que se denomina comúnmente biomasa, una definición que abarca un gran grupo de materiales de diversos orígenes y con características muy diferentes. Pueden considerarse dentro de la citada definición: los residuos de aprovechamientos forestales y cultivos agrícolas, de podas de jardines, de industrias agroforestales, los cultivos con fines energéticos, los combustibles líquidos derivados de productos agrícolas (denominados biocarburantes), los residuos de origen animal o humano y, etc. Escalante et. al. (2011) mencionan que “en la búsqueda de energías alternativas amigables con el medio ambiente, la biomasa se constituye como una de las principales fuentes de energía renovable”. Graziani (2018) menciona que “en América Latina y el Caribe se viene implementando tecnologías para la gestión de residuos, siendo uno de los nuevos desafíos que pueda asumir para hacer frente al cambio climático, el uso moderno de la biomasa para generar energía renovable”.

Por lo descrito, el presente trabajo de investigación permitió conocer el potencial energético teórico de la biomasa residual agrícola, forestal y pecuaria las cuales representan las fuentes de biomasa más importantes de las áreas de producción y áreas verdes de la UNALM, para la generación de energía en forma de calor y/o electricidad. Debido al incremento de la biomasa residual generada en el campus 1 de la UNALM, este se acumula en los puntos de acopio hasta su disposición final para la producción de biochar, compost y abono, por ello, se plantea su posterior aprovechamiento como fuente de energía en forma de calor y/o electricidad a partir de la biomasa residual agrícola, forestal y pecuaria. En este sentido, la

comunidad universitaria de la UNALM se beneficiará de forma económica y ambiental, proporcionando un tratamiento adecuado a la biomasa residual para contribuir a cubrir las necesidades energéticas de una forma más sostenible, y que pueda ser una iniciativa de diversos proyectos de investigación para la obtención de energía a partir de la biomasa residual.

OBJETIVO GENERAL

- Determinar el potencial energético teórico de la biomasa residual agrícola, forestal y pecuaria más importante del Campus 1 de la UNALM y sus aplicaciones.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Cuantificar la biomasa residual agrícola, forestal y pecuaria aprovechable que se genera en el Campus 1 de la UNALM y su composición fisicoquímica y energética.
- Determinar los mecanismos de conversión energética más eficientes sobre la base del tipo de biomasa residual.
- Determinar la biomasa residual de mayor potencial energético teórico generado en el Campus 1 de la UNALM.
- Evaluar las aplicaciones de esta energía a las necesidades de la UNALM.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Bioenergía

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés) define a la bioenergía como una fuente de energía renovable y sostenible, que “designa todos los tipos de energía derivados de biocombustibles, esto es, los cultivos que persiguen un fin energético” (FAO, 2004). Los biocombustibles tanto en forma comercial como no comercial se obtienen del aprovechamiento de la biomasa proveniente de fuentes como los bosques naturales, las plantaciones polivalentes y los subproductos (residuos y desechos) de la producción y de la elaboración de materias primas derivados. Asimismo, señala que la elaboración de biocombustibles tiene como finalidad “proporcionar unos combustibles de características claramente definidas y que puedan convertirse en energía útil de un modo técnicamente simple y ecológicamente aceptable” (FAO, 2004, p. 17). En la figura 1 se presenta los sistemas bioenergéticos el cual indica el recorrido físico de los biocombustibles a fin de obtener la demanda energética.

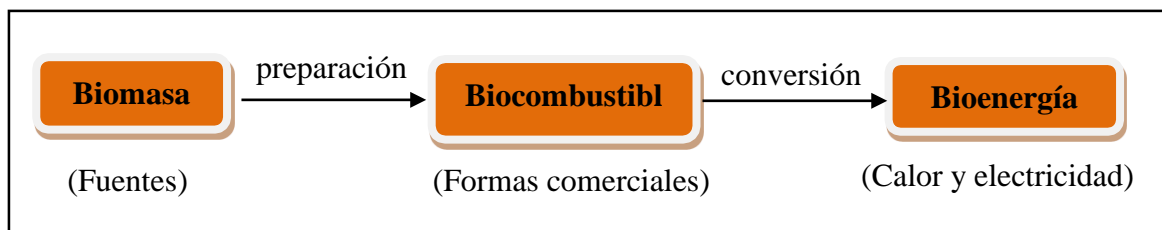


Figura 1: Cadena de producción de la bioenergía

Fuente: FAO (2004)

Elías (2012) define a la bioenergía como “la energía que se obtiene a partir de la biomasa, que es materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía”. Siendo esta biomasa toda planta o materia que existe en la superficie, incluido todos los productores de energía provenientes de biomasa como los organismos vivos de origen biológico.

Vásquez et al. (2017) definen que “la energía de biomasa o bioenergía es un tipo de energía renovable procedente del aprovechamiento de la materia orgánica e industrial formada en algún proceso biológico o mecánico”. Esta fuente de energía se extrae de los residuos de las sustancias que constituyen los seres vivos (plantas, animales, entre otros) o sus restos y residuos.

2.1.1. Características de la bioenergía

Masera et. al. (2011) consideran que la bioenergía presenta varias ventajas con respecto a otras fuentes de energía. Estas ventajas se detallan a continuación:

- Es almacenable: la energía de la biomasa está almacenada en la materia orgánica. Por este motivo es una forma de energía que no tiene la intermitencia de otras renovables como la solar y la eólica, lo que le da ventajas para la generación de calor o electricidad.
- Permite satisfacer la mayor parte de los usos finales: es la única energía renovable que puede sustituir a los combustibles fósiles en todas las aplicaciones y finalidades, porque permite producir calor, fuerza motriz, electricidad y biocarburantes líquidos.
- Es ubicua: la biomasa se puede encontrar o cultivar en casi todas partes, y está disponible en forma concentrada como subproducto de procesos agroindustriales, residuos de actividades humanas y como estiércol de animales.

2.1.2. Biomasa

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 1993) menciona que “la biomasa es el producto de la reacción fotosintética del dióxido de carbono y el agua”. Asimismo, considera que la “biomasa es un término utilizado para designar cualquier tipo de biomasa en forma sólida utilizada como combustible, especialmente leña, carbón vegetal, estiércol, residuos agrícolas y otros residuos sólidos biodegradables”.

Escalante et al (2011) definen a la biomasa como “la materia viva que está presente en una capa muy fina de la superficie terrestre llamada biosfera, la cual representa una fracción muy pequeña de la masa terrestre”. Asimismo, la biomasa se define como toda planta o materia

que hay sobre la superficie e incluye todos los productores de energía provenientes de los organismos vivos de origen biológico (Elías, 2012).

La Organización Latinoamericana de Energía (OLADE, 2019) define a la biomasa como la “materia orgánica de origen vegetal y animal utilizada con fines energéticos. La biomasa puede ser usada directamente como combustible o procesada y convertida en subproductos líquidos y gaseosos”. Siendo las fuentes de mayor uso: la leña, productos de caña y otra biomasa, utilizados para fines energéticos. Estas fuentes son: la leña, productos de caña y otra biomasa.

- Leña: son los recursos forestales que incluye los troncos y ramas de los árboles, pero excluye los desechos de la actividad maderera.
- Productos de caña: incluyen los productos de caña de azúcar como el bagazo, el jugo de caña y la melaza. Estas dos últimas constituyen la principal materia prima para la obtención de etanol.
- Otra biomasa: comprende los residuos de origen orgánico que se obtienen a partir de procesos biológicos e industriales y que proceden de diversos sectores como la agricultura, la ganadería, la industria maderera, etc. Según ello, los residuos se pueden clasificar en residuos animales, residuos vegetales, residuos industriales o recuperados y residuos urbanos.

a. Generación de la biomasa

De Lucas et al. (2012), señalan que “la energía que acumula la biomasa tiene su origen en el sol: a partir del proceso denominado fotosíntesis”, las plantas se encargan de absorber la energía lumínica del sol, agua del suelo y el CO₂ de la atmósfera, almacenando en ellas sustancias orgánicas (energía) y liberando oxígeno durante el proceso. Finalmente, los animales se encargan de incorporar y transformar esta energía al alimentarse de las plantas, por ello, los productos de esta transformación se consideran residuos y pueden ser utilizados como recurso energético.

El Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE, 2007) señala que la generación de la biomasa se produce debido a que “la energía almacenada a través de la fotosíntesis, proceso por el cual algunos organismos vivos, como las plantas, utilizan la

combustibles derivados como el metanol, etanol y biogás, procedentes de elementos primarios tras sufrir procesos de conversión biológica, esto es, fermentación o digestión anaeróbica”.

2.2 Tipos de la biomasa

Existen numerosas clasificaciones de biomasa, dentro de ellas, las más aceptadas, y fundamentadas son según su origen, naturaleza y composición (Sebastián et al., 2010; De Lucas et al., 2012; San Miguel & Gutiérrez, 2015). En la figura 3 se presentan los diferentes tipos de biomasa según la clasificación de estos autores.

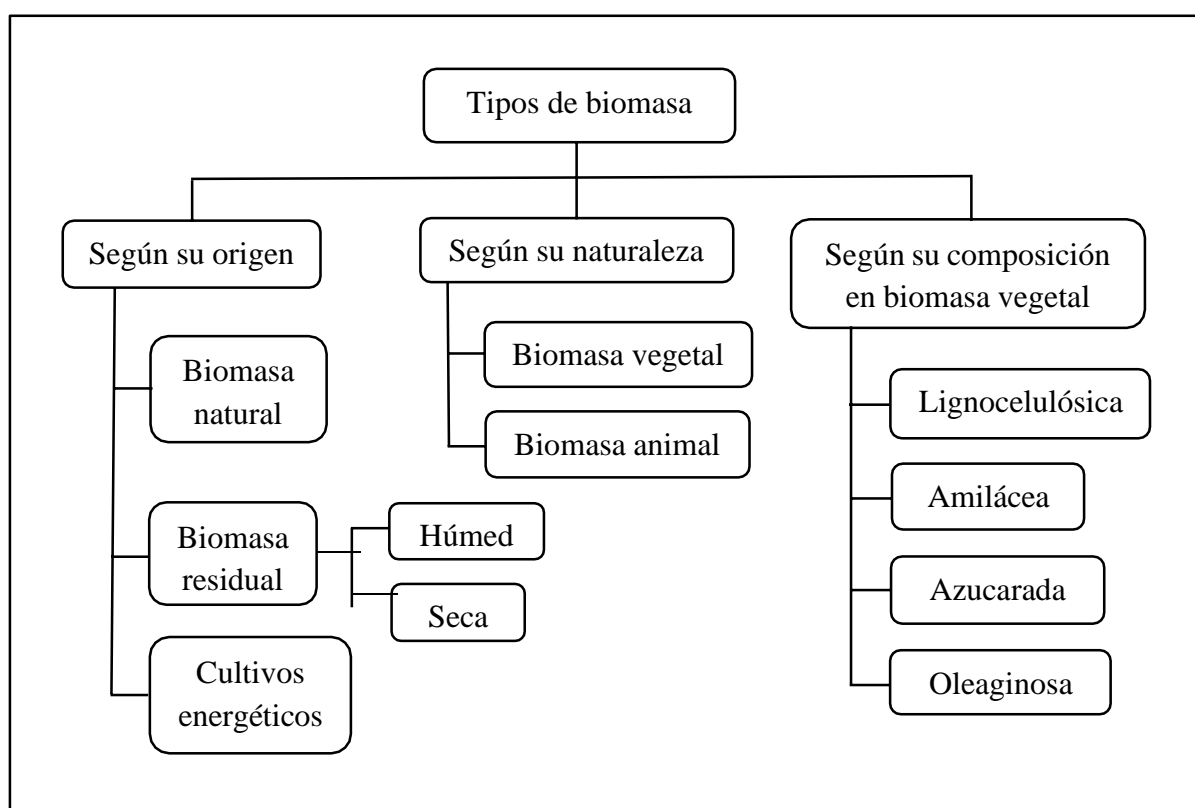


Figura 3: Tipos de biomasa según diferentes clasificaciones

Fuente: Adaptado de Sebastián et al. (2010), De Lucas et al. (2012) y San Miguel & Gutiérrez (2015)

2.2.1. Tipos de biomasa según su origen

Diversos autores clasifican a la biomasa según su origen como biomasa natural, biomasa residual y cultivos energéticos.

a. Biomasa natural

Es la biomasa que se produce de forma espontánea en la naturaleza, en ecosistemas que no hayan sufrido intervención humana. Su explotación, en general, no es interesante por razones económicas ya que la gestión de la adquisición y transporte de las materias primas al lugar de utilización no son rentables. A pesar de ello, hoy en día constituye la principal fuente energética de pequeñas localidades y de países en vías de desarrollo (De Lucas et al., 2012).

b. Biomasa residual

De Lucas et al. (2012), describen que la biomasa residual “consiste en la biomasa que procede de los residuos generados por el desarrollo de diferentes actividades humanas y los vertidos denominados biodegradables. Las biomasas residuales se clasifican en secos y húmedos, o en sólidos y líquidos”. En la figura 4 se presentan las fuentes de biomasa residual.

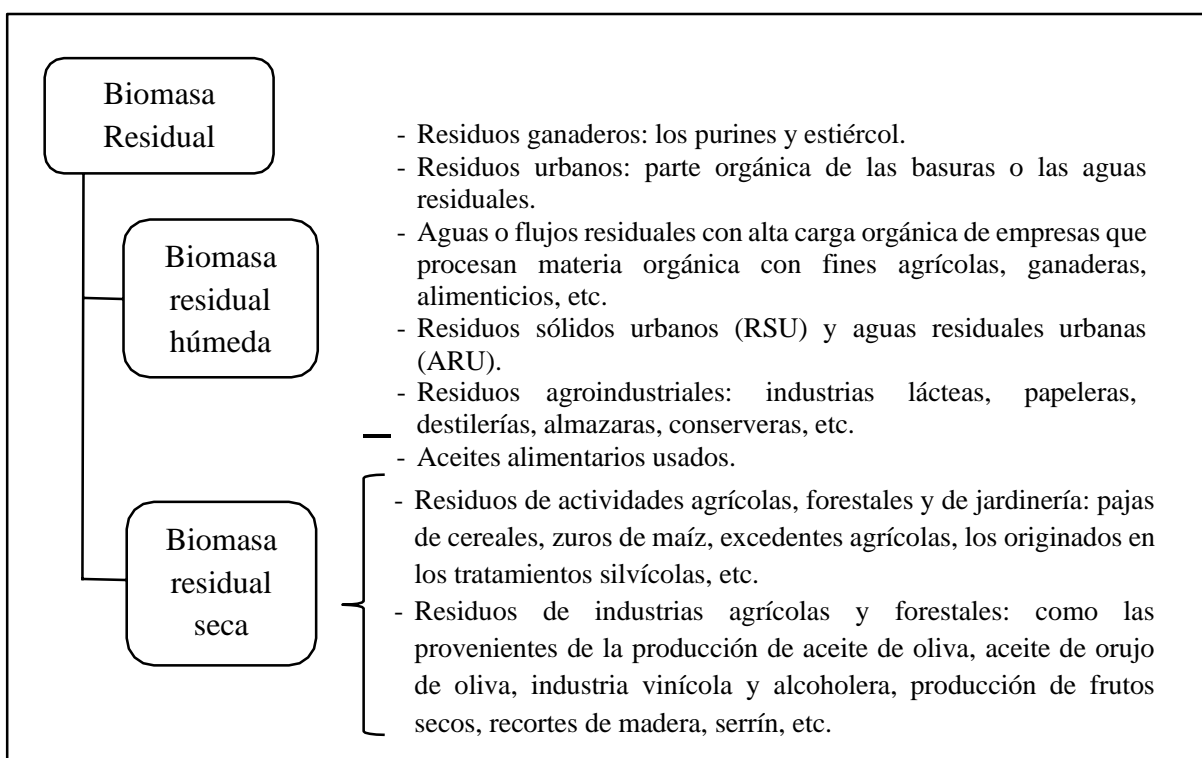


Figura 4: Fuentes de Biomasa residual

Fuente: Adaptado de De Lucas et al. (2012), Sebastián & Royo (2002) y Sebastián et al. (2010).

- Biomasa residual húmeda

Sebastián et al., (2010) describen que la biomasa residual húmeda se define como aquella biomasa que tiene “alto contenido de humedad, y que, por su procedencia y composición, permite que la materia orgánica sea fácilmente degradable mediante procesos bioquímicos. Se trata de flujos generalmente líquidos, aunque es posible que se de en estado semisólido e incluso sólido”.

- Biomasa residual seca

Sebastián & Royo (2002) señalan que en la biomasa residual seca “se incluyen en este grupo los subproductos sólidos no utilizados en las actividades agrícolas, en las forestales y en los procesos de las industrias agroalimentarias y de transformación de la madera y que, por tanto, son considerados residuos”. Asimismo, este grupo en la actualidad presenta un mayor interés desde el punto de vista del aprovechamiento industrial. En la tabla 1 se detalla las características físicas de la biomasa según el tipo de recurso.

Tabla 1: Tipos de biomasa residual y sus características físicas

Biomasa	Tipo de residuo	Características físicas
Residuos forestales	Restos de aserrío: corteza, aserrín, astillas. Restos de ebanistería: aserrín, trozos, astillas. Restos de plantaciones: ramas, corteza, raíces.	Polvo, sólido, HR ¹ > 50% Polvo sólido, HR 30-45% Sólido, HR >55%
Residuos agropecuarios	Cáscara y pulpa de frutas y vegetales. Cáscara y polvo de granos secos (arroz, café). Estiércol. Residuos Agrícolas de Cosecha: tallos y hojas, cáscaras, malezas, pastura.	Sólido, alto contenido humedad Polvo, HR < 25% Sólido, alto contenido humedad Sólido, HR > 55%
Residuos industriales	Pulpa y cáscara de frutas y vegetales. Residuos de procesamiento de carnes. Aguas de lavado y precocido de carnes y vegetales. Grasas y aceites vegetales.	Sólido, humedad moderada. Sólido, alto contenido de humedad. Líquido Líquido, grasoso
Residuos urbanos	Aguas negras. Desechos domésticos orgánicos (cáscara de vegetales). Basura orgánica (madera)	Líquido Sólido, alto contenido de humedad. Sólido, alto contenido de humedad.

Fuente: Biomass Users Network (2002)

Nota: (1) Humedad Relativa.

IDAE (2007) menciona que los residuos agrícolas leñosos (podas de olivos, viñedos y árboles frutales) constituyen una principal fuente de suministro que dependen de la estacionalidad de los cultivos. En cambio, los residuos agrícolas herbáceos son los que se obtienen durante la cosecha de algunos cultivos (paja de cereales o cañote de maíz), la disponibilidad de este recurso depende de la época de recolección y de la variación de la producción agrícola.

Escalante et al. (2011) señalan que “la producción de bienes y servicios para la sociedad requiere de la transformación física y química de la materia e involucra en algunos casos biomasa residual”. Según este criterio, existen dos fuentes de biomasa residual que se utiliza para la producción de energía, primero, los Residuos Agrícolas de Cosecha (RAC) generados en las actividades de la cadena agrícola, los cuales generan diferentes tipos de biomasa residual agrícola del proceso de corte y transformación de la cosecha. Segundo, los Residuos Agrícolas Industriales (RAI), generados en las actividades sociales de la comunidad, siendo las actividades domésticas y las cadenas comerciales o industrias de alimentos o de productos vegetales que originan los grandes volúmenes de residuos orgánicos urbanos.

c. Cultivos energéticos

Son aquellos cultivos con fines no alimentarios destinados a la producción de energía. A diferencia de los cultivos agrícolas alimenticios, los cultivos energéticos o también denominados los agro-energéticos son seleccionados en relación a la producción de cantidad de biomasa, y no de calidad, y suelen ser especies caracterizadas por su robustez a fin de abaratar los costos de cultivo y, por tanto, el precio de la biomasa final. Los cultivos energéticos poseen varias clasificaciones atendiendo a diferentes factores como cultivos oleaginosos, cultivos alcoholígenos, cultivos amiláceos o inulínicos y cultivos lignocelulósicos (Sebastián et al., 2010; De Lucas et al., 2012). A continuación, se describe esta clasificación en cultivos oleaginosos, alcoholígenos, amiláceos y lignocelulósicos.

- Cultivos oleaginosos: Especies herbáceas o leñosas anuales o plurianuales cuya semilla será destinada a la producción de biodiésel. Es el caso del girasol, colza, soja, jatrofa, lino, etc.

- Cultivos alcoholígenos: Especies herbáceas utilizadas para la producción de bioetanol a partir de procesos de fermentación de azúcares simples. Es el caso de la remolacha, caña de azúcar, sorgo dulce, pataca (*Heliantus tuberosus*), etc.
- Cultivos amiláceos y/o inulínicos: Especies herbáceas utilizadas para producir bioetanol a partir de la fermentación de los azúcares, pero mediante una hidrólisis previa de sus azúcares complejos para convertirlos en azúcares más simples. Es el caso de los cereales, como el trigo, cebada y maíz dulce principalmente, y la patata en el caso de cultivos inulínicos.
- Cultivos lignocelulósicos: Especies leñosas cultivadas en densidades altas y rotaciones cortas (sauce, eucalipto, acacia, etc.), y especies herbáceas con alto contenido en celulosa y de alta producción (cardo, sorgo papelero, etc.). Estos cultivos lignocelulósicos se pueden utilizar tanto para producir biocarburantes de segunda generación como para producir energía eléctrica o térmica.

2.2.2. Tipos de biomasa según su naturaleza

La biomasa según su naturaleza se clasifica como biomasa animal y biomasa vegetal, ambos presentan estructuras tan diferentes según el compuesto o grupo de compuestos preponderantes (San Miguel & Gutiérrez, 2015).

a. Biomasa animal

San Miguel & Gutiérrez (2015) describen que “en la biomasa animal la proporción de proteínas, lípidos e hidratos de carbono es muy diferente a la que se da en los vegetales, habiendo una disminución considerable del contenido en hidratos de carbono y un aumento en el contenido proteico y lipídico”.

b. Biomasa vegetal

San Miguel & Gutiérrez (2015) describen que la materia orgánica de la biomasa vegetal está constituida en su mayoría por hidratos de carbono, principalmente en forma de compuestos lignocelulósicos, o amiláceos, y en menor proporción por lípidos y compuestos orgánicos nitrogenados (fundamentalmente proteínas). La biomasa vegetal no es homogénea en todos sus órganos, presentando abundancia en algunos compuestos. En la tabla 2 se detallan las cantidades (porcentaje) de los compuestos que conforman la biomasa vegetal y algunos ejemplos.

Tabla 2: Compuestos que conforman la biomasa vegetal

Compuesto	Cantidad (%)	Ejemplos
Hidratos de Carbono	60	Raíz de remolacha azucarera, granos de cereales o tubérculos de patata.
Proteínas	25	Semillas de leguminosas.
Lípidos	6	Frutos y semillas de especies oleaginosas.
Elementos minerales	9	

Fuente: San Miguel & Gutiérrez (2015)

2.2.3. Tipos de biomasa vegetal según su composición

Las biomásas se pueden clasificar dependiendo de sus componentes estructurales. La biomasa vegetal está constituida según el compuesto o grupo de compuestos preponderantes, siendo los hidratos de carbono los compuestos más abundantes de este tipo de biomasa. Según este criterio la biomasa vegetal se clasifica en biomasa lignocelulósica, amilácea, azucarada y oleaginosa (Sebastián et al, 2010; San Miguel & Gutiérrez, 2015). A continuación, en la tabla 3 se describe los componentes estructurales de la biomasa vegetal:

Tabla 3: Clasificación de la biomasa vegetal según su composición estructural

Tipo de biomasa	Descripción	Componentes estructurales	Ejemplos
Lignocelulósica	Es aquella en la que predominan los principales componentes de la estructura de los vegetales.	<ul style="list-style-type: none"> • Polisacáridos: <ul style="list-style-type: none"> - Celulosa - Hemicelulosa - Lignina 	Paja de cereales, restos de podas de frutales, residuos forestales, corteza o serrín de industrias de transformación de la madera, algunos cultivos energéticos, etc.
Amilácea	Es aquella en la que los hidratos de carbono se encuentran en forma de polisacáridos de reserva.	<ul style="list-style-type: none"> • Polisacáridos: <ul style="list-style-type: none"> - Almidón - Inulina 	Granos de cereal. Tubérculo de patata.
Azucarada	El componente hidrocarbonatado predominante está constituido	<ul style="list-style-type: none"> • Monosacáridos: <ul style="list-style-type: none"> - Glucosa y fructuosa 	Pulpa de fruta

(continuación)

	principalmente azúcares.	por	• Disacáridos: - Sacarosa	La remolacha o el tallo de la caña de azúcar.
Oleaginosa	El componente principal, o al menos más representativo para su uso final, son los lípidos.		• Lípidos: - Aceites - Gomas	Las semillas de girasol, de colza o el fruto del olivo (la aceituna sin hueso).

Fuente: Adaptado de Sebastián et al. (2010) y De Lucas et al. (2012)

2.3 Fuentes de energía

OLADE (2019) señala que las fuentes de energía son: las fuentes de energía primaria y las fuentes de energía secundaria. En la figura 5 se detallan estas fuentes de energía y su uso final.

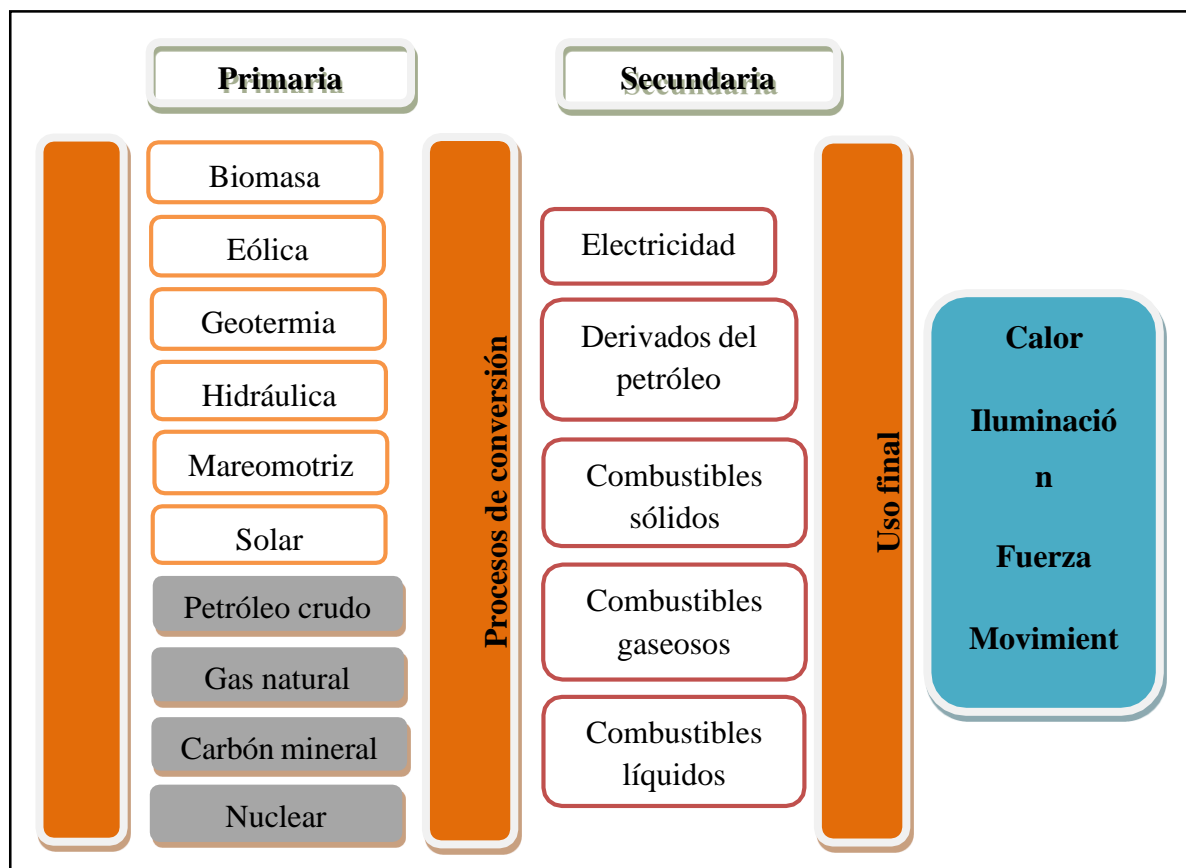


Figura 5: Procesos de conversión de las fuentes de energía primaria.

Fuente: Adaptado de OLADE (2019) y Tamayo et al. (2016)

2.3.1. Fuentes de energía primaria

OLADE (2019) definen que la energía primaria son las fuentes de energía en su estado natural, es decir, que no han sufrido ningún tipo de transformación física o química mediante la intervención humana. Esta energía se “puede obtener de la naturaleza, ya sea: en forma directa como en el caso de la energía hidráulica, solar, la leña y otros combustibles vegetales; o después de un proceso de extracción como el petróleo, carbón mineral, geotermia, etc.”

2.3.2. Fuentes de energía secundaria

OLADE (2019) denomina a la energía secundaria como productos energéticos que se obtienen mediante la transformación de fuentes de origen primario o de otras fuentes secundarias: electricidad, derivados del petróleo (coque, fuel oil, diésel oil, GLP, kerosene, jet fuel, gasolinas, alcohol y otros) y los biocombustibles (madera, metanol, etanol y biogás).

2.4 Matriz energética en el Perú

Orrego (2011) señala que “el Perú es una economía en crecimiento que demanda progresivamente mayores cantidades de energía”. Desde la década del 90 se inició el proceso de diversificación de la matriz energética introduciendo energías renovables y gas en sustitución de combustibles fósiles. En la última década se generó un marco legal que estableció mezclas obligatorias de biocombustibles líquidos a partir del 2003 con la Ley 28054 (Ley de Promoción de Biocombustibles) e introdujo la compra de energía proveniente de fuentes renovables en las subastas de compra de energía eléctrica (Decreto Legislativo N° 1002 del 2008) creando un importante potencial para la generación de energía comercial a partir de biomasa.

OLADE (2019) menciona que la matriz energética del Perú del 2018 tuvo una producción total de energía de 30.52 Mtep generada por las fuentes primarias que se tienen como reserva, principalmente conformada por gas natural y petróleo, seguida de la hidroenergía y en menor proporción por carbón mineral y otras fuentes primarias (solar, eólica y biomasa). En la figura 6 se presenta la matriz energética del Perú correspondiente al año 2018.

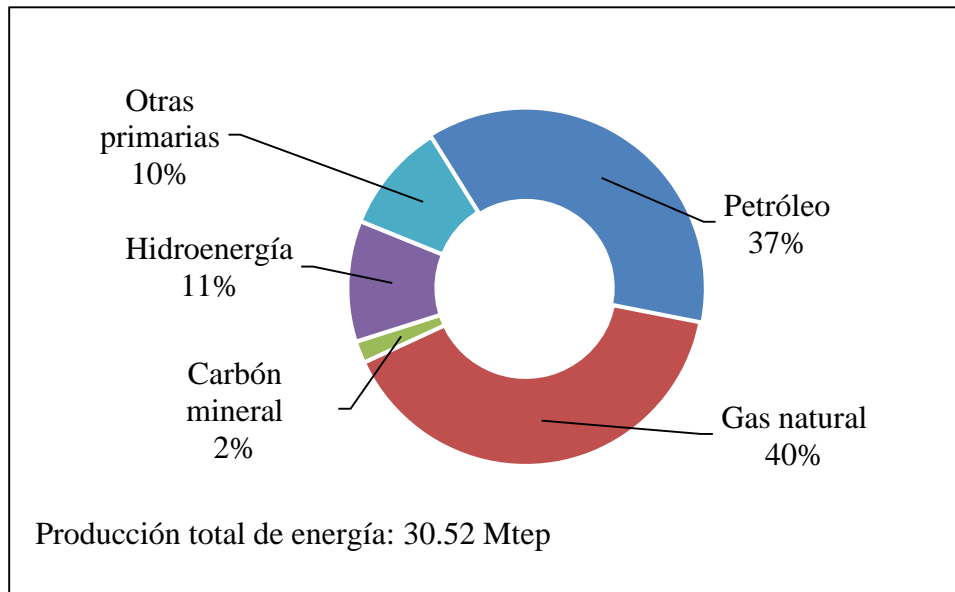


Figura 6: Matriz energética del Perú, 2018 (Mtep, %).

Fuente: Adaptado de la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE, 2019).

Nota: Otras primarias incluyen: solar, eólica y biomasa. 1 tep = 11.63 MWh.

2.4.1. Matriz eléctrica en el Perú

La producción de electricidad en el Perú, creció a una tasa anual de 7.04% en los últimos 21 años: pasó de 12 170 GWh a 50 817 GWh entre 1997 y 2018. Desde 1997 hasta 2003, la participación de la producción hidroeléctrica fue en promedio 89.7%. A partir del inicio del Proyecto Camisea en 2004, la producción eléctrica con gas natural se incrementó, llegando a tener una participación máxima de 48% en 2014. Posteriormente, se redujo por el ingreso de las centrales de recursos energéticos renovables (RER), que han pasado de una participación nula en 2008 a una de 7.2% en 2018 (Schmerler et al., 2019). En la figura 7 se presenta la evolución de la producción de energía eléctrica del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) por tipo de generación desde 1997 hasta 2018, observándose que la producción de electricidad se cuadruplicó con respecto a los niveles registrados en 1997.

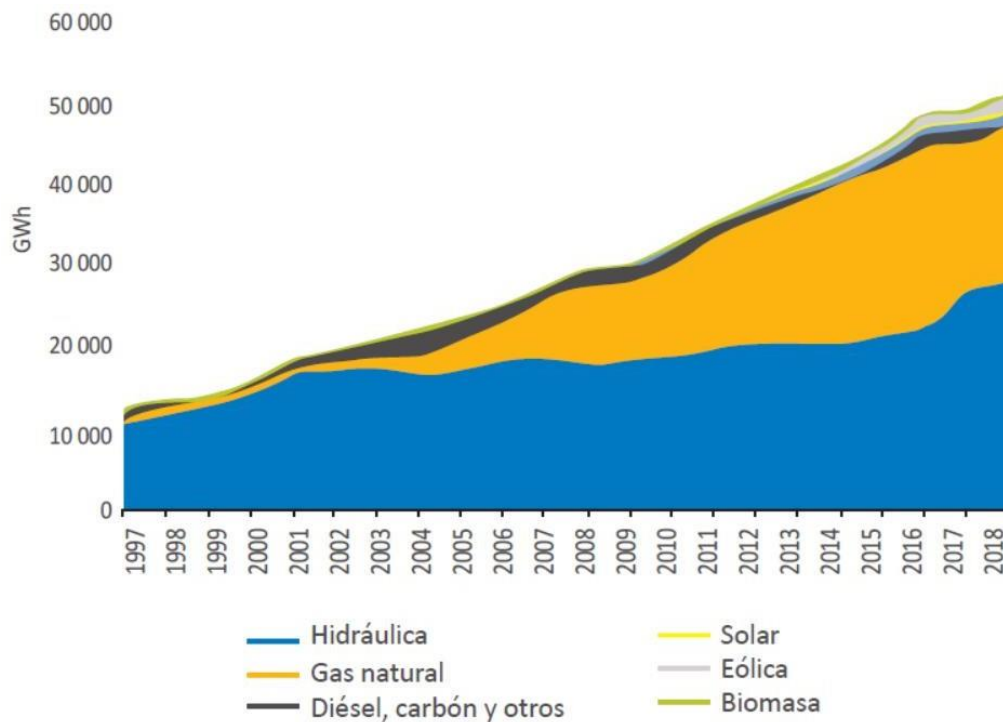


Figura 7: Evolución de la producción de energía eléctrica (SEIN) por tipo de generación 1997 - 2018

Fuente: Schmerler et. al., 2019. Nota: 1 GWh = 10³ MWh.

a. Tecnologías de generación de energía eléctrica en el Perú

Tamayo et al. (2016) mencionan que “de acuerdo con su grado de desarrollo tecnológico y nivel de penetración en los sistemas energéticos, suelen clasificarse en Energías Renovables Convencionales (ERC) y Energías Renovables No Convencionales (ERNC)”. En Perú, dentro de las ERC, la más importante es la fuerza hidráulica a gran escala, en cambio, el marco normativo vigente define como ERNC a las fuentes eólica, solar, geotérmica, mareomotriz, biomasa y pequeñas fuentes hidráulicas con una capacidad instalada menor a 20 MW. Según este marco normativo, las ERNC se denominan Recursos Energéticos Renovables (RER). En la figura 8 se muestran las tecnologías de generación de energía eléctrica en el Perú según las fuentes primarias que utiliza y los procesos de conversión para su transformación en fuentes secundarias y uso final.

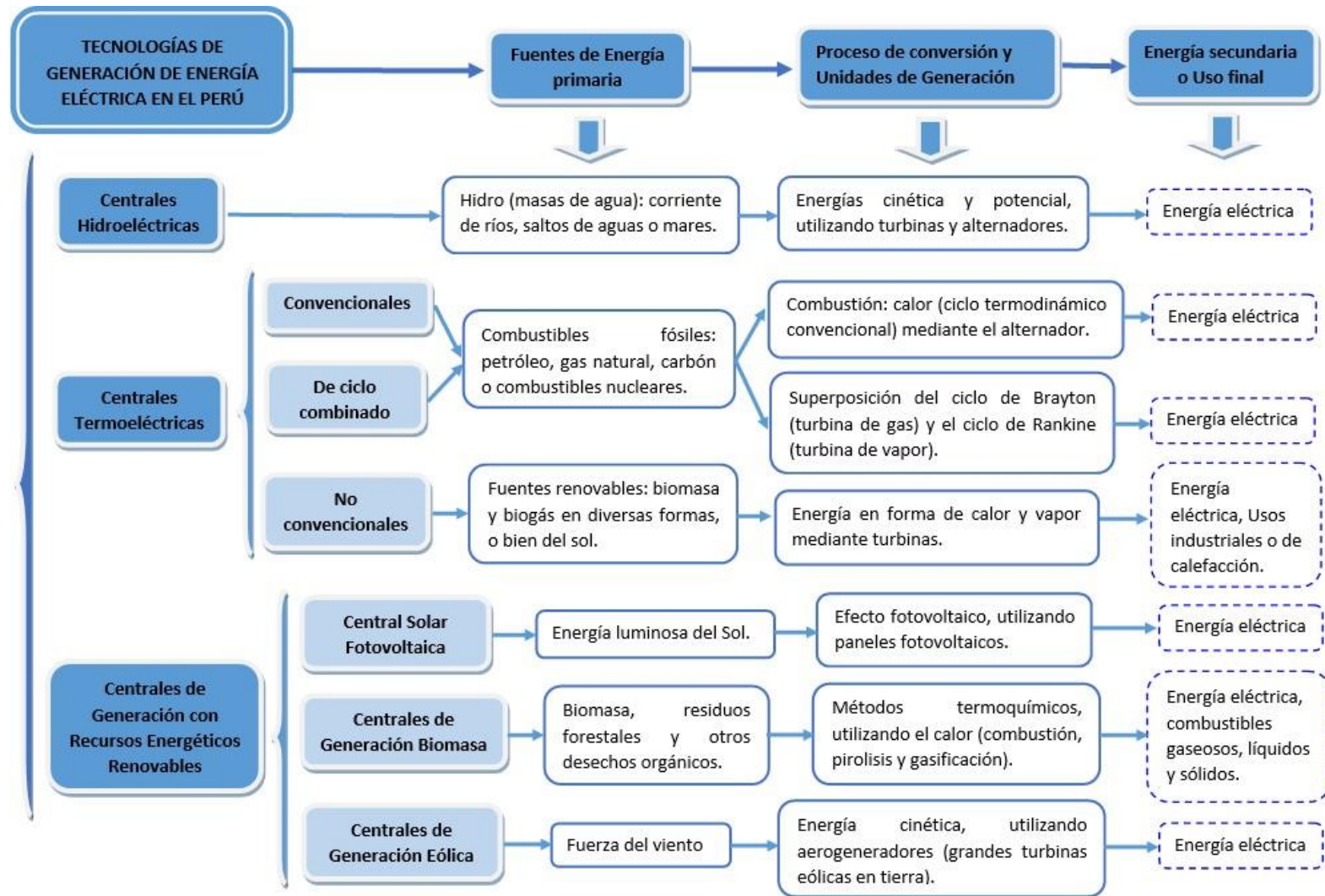


Figura 8: Tecnologías de Generación de Energía Eléctrica en el Perú.

Fuente: Adaptado de Tamayo et. al. (2016)

b. Centrales de generación de energía eléctrica con Recursos Energéticos Renovables (RER)

Mediante las cuatro subastas de RER realizadas desde el 2008, han ingresado en operación comercial un total de 47 centrales de generación RER de diversas tecnologías: Solar fotovoltaica, Eólica, biomasa e Hidroeléctricas (OSINERGMIN, 2020). En la tabla 4 se presentan las centrales de generación de energía eléctrica por tipo de tecnología RER adjudicadas a las cuatro subastas que ingresaron en operación durante el periodo 2008 - 2020.

Tabla 4: Centrales de generación de energía eléctrica con tecnología RER 2008 - 2020

Centrales	Cantidad de proyectos	Potencia Instalada (MW)	Energía Ofertada (MWh/año)	Participación (%)
Solar Fotovoltaica	7	284.48	739,346	26.63
Eólica	5	371.45	1,559,763	34.78
Biomasa	5	34.21	186,311	3.20
Hidroeléctricas	30	378	2,280,894	35.39
Total	47	1,068	4,766,314	100.00

Fuente: Adaptado de OSINERGMIN (2020)

En la Figura 9 se muestra la participación porcentual de la energía RER adjudicada en las cuatro subastas RER según tipo de tecnología que ingresaron en Operación durante el periodo 2008 - 2020. Asimismo, se observa que las centrales hidroeléctricas representan el 35.39% de la potencia que ingresó al SEIN, la central Solar fotovoltaica el 26.63%, la central eólica el 34.78% y la central de biomasa el 3.20%.

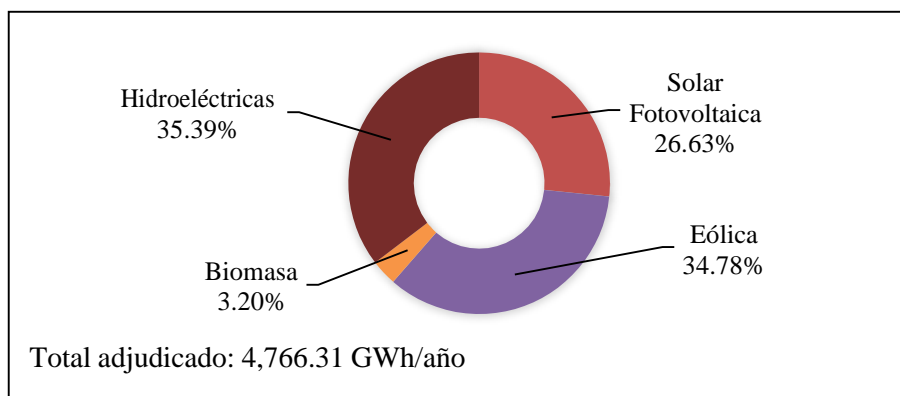


Figura 9: Participación porcentual de la Energía RER en Operación, 2008 - 2020

Fuente: Adaptado de OSINERGMIN (2020)

2.4.2. Bioenergía en el Perú

En el Perú, la oferta total de recursos biomásicos disponibles para la producción de energía es 272 millones de toneladas métricas anuales, mientras que la demanda es 5 millones de toneladas métricas anuales de biomasa con fines energéticos. Asimismo, en “el balance general se incluyen los recursos biomásicos disponibles y accesibles para bioenergía, de los bosques naturales y plantaciones forestales, así como de los residuos agrícolas, agroindustriales y de las industrias forestales” (Felix & Rosell, 2010), No obstante, la combinación de estos residuos con la demanda total de recursos biomásicos se utilizan para la generación de energía.

Orrego (2011) resalta que “el Perú ha dado pasos claros en la introducción de la bioenergía como alternativa energética asociada al desarrollo del agro y a la diversificación de la matriz energética, teniendo diversas oportunidades de ser desarrollada a diversas escalas”. Asimismo, considera tres categorías principales de sistemas bioenergéticos, de los cuales sólo los dos últimos son desarrollados a profundidad en su estudio:

- Biomasa tradicional quemada directamente para cocinar y proporcionar calefacción (leña, bosta, yareta),
- Biomasa para generación de energía eléctrica, y
- Biocombustibles líquidos como el etanol y el biodiésel utilizados en el sector transporte.

García (2013) menciona que, en el Perú se han empleado tradicionalmente la leña y el carbón vegetal desde tiempos milenarios como fuente de energía debido a su disponibilidad y su bajo o nulo costo, inclusive las tecnologías para usarlos son sumamente sencillas. En la actualidad se tiene potencial disponible o aprovechable a nivel nacional de residuos agrícolas y agroindustriales. Siendo el principal potencial el cual proviene de la caña de azúcar a partir del follaje (que en el caso de los ingenios azucareros se quema en los campos luego de la zafra) y del bagazo (material fibroso generado en las plantas de procesamiento). Posteriormente, están la cascarilla del arroz y la pulpa que se obtiene del procesamiento de la palma aceitera, así como del café y el cacao. En la tabla 5 se muestra los principales tipos de bioenergía que se obtienen en el Perú a partir de los combustibles sólidos, líquidos y gaseosos obtenidos del procesamiento de la biomasa.

Tabla 5: Tipos de bioenergía que se utilizan en el Perú

Tipo de Biocombustible	Biomasa	Zona de producción	Uso del biocombustible	
Primera generación	Biodiésel	Palma aceitera principalmente	Amazonía	
		Potencialmente: piñón blanco, higuera, colza	Costa y Amazonía deforestada	
	Aceite vegetal carburante	Colza potencialmente	Sierra	Transporte Generación de electricidad en comunidades aisladas
		Palma aceitera principalmente	Amazonía deforestada	
		Potencialmente: piñón blanco, higuera, colza	Costa	
Etanol anhidro	Colza potencialmente	Amazonía deforestada	Transporte	
	Caña de azúcar principalmente Sorgo dulce potencialmente	Costa Norte, principalmente Costa		
Segunda generación	Etanol hidratado	Caña de azúcar principalmente Sorgo dulce potencialmente	Costa Norte, principalmente Costa	
		Residuos forestales	Aserraderos en todo el país	
	Aceite de pirólisis	Residuos agrícolas de cultivos como caña de azúcar, arroz, u otros	Zonas productoras de estos cultivos, en todo el país	Transporte
		Caña brava, residuos forestales, biomasa vegetal en general	Amazonía, Costa	Generación de electricidad, calor
Sólidos	Leña para uso doméstico	Árboles y arbustos silvestres y plantados	Costa, Sierra y Selva	Uso doméstico: cocina, procesos productivos básicos a nivel de familias y microempresas Panaderías
	Bosta, estiércol	Residuos animales	Sierra	Uso doméstico: cocina, calefacción
	Carbón vegetal	Árboles y arbustos silvestres y plantados	Costa, Sierra y Selva	Uso doméstico: cocina, procesos productivos básicos a nivel de familias y microempresas
	Residuos agrícolas	Residuos agrícolas de cultivos como caña de azúcar, arroz, u otros	Zonas productoras de estos cultivos, en todo el país	Generación de electricidad usando el calor producido por la combustión de los residuos
	Briquetas Pellets	Residuos forestales vegetales o agrícolas	Aserraderos, zonas productoras de estos cultivos todo el país	Combustión para generar calor (hornos de secado de madera)
Gaseoso	Biogás	Residuos orgánicos animales y vegetales	Costa, Sierra y Selva	Energías para uso doméstico Generación de electricidad
	Gasificación	Residuos vegetales	Costa, Sierra y Selva	Energías para uso industrial Generación de electricidad

Fuente: García (2013)

a. Centrales de Generación de energía eléctrica con Biomasa

Tamayo et al. (2016) mencionan que “los proyectos de generación eléctrica solar, los parques eólicos, las centrales hidroeléctricas con una capacidad instalada menor a 20 MW y las centrales térmicas a base de biomasa y biogás constituyen las tecnologías RER en operación en el Perú”. Actualmente, existen diferentes tecnologías conocidas y comercialmente viables para transformar la biomasa en electricidad, mediante combustión directa en calderas, digestión anaeróbica, incineración de residuos sólidos municipales, gas de vertedero, y calor y energía combinados. Asimismo, Vásquez et al. (2017) mencionan que en las turbinas de gas (microturbinas, desde 25 hasta 100 kW y turbinas grandes, >100 kW) se pueden utilizar los sistemas combinados para producir calor y electricidad mediante el uso de biogás, debido a que aumentaría la eficiencia del proceso.

OSINERGMIN (2018) describe que los tipos de centrales de generación eléctrica a partir de biomasa son las centrales termoeléctricas no convencionales con biomasa y las centrales de generación con RER con biomasa.

- Centrales termoeléctricas no convencionales - Biomasa

Este tipo de centrales son, en general, de menor tamaño que las convencionales y, cuando no es posible el aprovechamiento de la energía térmica para usos industriales o de calefacción, tienen bajo rendimiento. La principal ventaja de este tipo de centrales es su no contribución a las emisiones de CO₂ y su naturaleza como fuente de energía renovable (OSINERGMIN, 2018).

- Centrales de generación con RER - Biomasa

La central de biomasa es una instalación industrial diseñada para generar energía eléctrica a partir de recursos biológicos (combustible metano de la descomposición orgánica). Las centrales de biomasa utilizan fuentes renovables para la producción de energía eléctrica mediante métodos termoquímicos (combustión, pirólisis y gasificación) se transforma la energía de la biomasa utilizando el calor (OSINERGMIN, 2018). En la tabla 6 se presentan las Centrales de Generación de energía eléctrica con RER con Biomasa en el Perú.

Tabla 6: Centrales de Generación de energía eléctrica con RER con Biomasa en el Perú

Nombre	Ubicación	Tecnología	Fuente de Energía	Potencia Instalada (MW)	Tipo de contrato	POC
Central de Biomasa Paramonga	Lima, Barranca, Barranca.	Cogeneración	Bagazo de caña	23.00	Suministro RER (Primera Subasta)	31.03.2010
Central Termoeléctrica Huaycoloro	Lima, Huarochirí, Huaycoloro.	Generación Termoeléctrica - Biomasa	Biogás (basura)	3.21	Contrato RER (Primera Subasta)	06.12.2011
Central Termoeléctrica Maple Etanol	Piura, Paita, La Huaca.	Cogeneración	Follaje y bagazo de la caña de azúcar	37.52	Concesión con RER	17.08.2012
Central de Biomasa La Gringa V	Lima, Huarochirí, Huaycoloro.	Generación con Biogás	Residuos Urbanos (Gas de Huaycoloro)	3.20	Contrato RER (Segunda Subasta)	31.08.2015
Central Termoeléctrica de Biomasa Huaycoloro II	Callao, Huarochirí, San Antonio.	Termoeléctrica de Biomasa	Biogás (basura)	2.40	Suministro RER (Cuarta Subasta)	29.08.2018
Central de Biomasa San Jacinto	Ancash, Santa, Nepeña.	Cogeneración	Bagazo de caña	21.71	Concesión Definitiva RER	13.04.2019
Central Termoeléctrica de Biomasa Callao	Callao, Callao, Ventanilla.	Termoeléctrica de Biomasa	Biogás (residuos sólidos urbanos)	2.40	Suministro RER (Cuarta Subasta)	13.07.2020

Fuente: Adaptado de OSINERGMIN (2020).

Nota: POC es Puesta en Operación Comercial.

2.5 Caracterización de la biomasa como biocombustible sólido

Sebastián et al. (2010) describen que la caracterización de la biomasa es necesario cuando la finalidad es su utilización como combustible, es decir, proporciona los datos para entender, predecir y evaluar su comportamiento como combustible ante las diferentes etapas involucradas en su uso como fuente de energía: obtención, transporte, tratamiento y conversión en energía. En la tabla 7 se presentan los parámetros a analizar en la biomasa.

Tabla 7: Parámetros fundamentales de la caracterización de la biomasa

Caracterización	Parámetros	Descripción
Estructural	Celulosa Hemicelulosa Lignina Extractivos Cenizas	Son aprovechadas en un proceso termoquímico.
Física	Densidades real y aparente Humedad Distribución granulométrica Durabilidad mecánica Temperatura de fusión de cenizas	Influyen en la selección y el diseño de los equipos de manejo del material y la necesidad de pretratamiento.
Química	Análisis inmediato Análisis elemental Composición de cenizas Fusibilidad de cenizas	Determinan el comportamiento de la biomasa durante los procesos de transformación química y termoquímica.
Energética	Poder calorífico	Determina la cantidad de energía aprovechable.

Fuente: Adaptado de Sebastián et al. (2010)

Ruales (2015) menciona que “el diseño de un sistema térmico para la obtención de energía a partir de biomasa requiere del conocimiento de propiedades físicas como la densidad y porosidad, y propiedades termodinámicas como la conductividad térmica, calor específico y calor de formación”. Asimismo, existen otras propiedades de la biomasa que se deben conocer para ser utilizada como combustible, como son la composición y el contenido de energía. Estas propiedades se pueden conocer por medio del análisis último, análisis próximo y análisis térmico. En cambio, San Miguel & Gutiérrez (2015) determinaron que la caracterización de la biomasa “puede realizarse en varios niveles, en función del objetivo que se pretenda, siendo los más usuales el análisis elemental, el análisis inmediato y el contenido energético, estos dos últimos utilizados principalmente en el ámbito de la energía”.

2.5.1. Caracterización estructural de la biomasa lignocelulósica

Las biomásas se pueden clasificar dependiendo de sus componentes estructurales, de tal modo que se diferencia entre la biomasa lignocelulósica, la amilácea, la azucarada y la oleaginosa. Todas ellas pueden ser aprovechadas en un proceso termoquímico, sin embargo, la biomasa lignocelulósica es la que se utiliza para producción de biocombustibles sólidos, en cambio el resto de las biomásas mencionadas concierne a la producción de biocombustibles líquidos, o biocarburantes (Sebastián et al., 2010).

La composición estructural de la biomasa lignocelulósica se puede caracterizar por cinco componentes principales: celulosa, hemicelulosa, ligninas agrupadas en componentes mayoritarios; y los extractos o volátiles y cenizas agrupadas en componentes minoritarios (Sebastián et al., 2010; Williams et al., 2017).

a. Componentes mayoritarios

La FAO (1993) describe que la composición de los componentes mayoritarios de la biomasa es muy diversa, en el caso de los residuos de origen vegetal, estos varían según la especie, principalmente se componen de tres elementos básicos: carbono, oxígeno e hidrógeno, que están presentes en las complejas formas poliméricas macroscópicas. Estas formas son la celulosa, hemicelulosa y lignina con porcentajes variables. Mientras Tursi (2019) señala que el estiércol de ganado es rico en proteínas y los cereales se componen principalmente de almidón. Por tanto, las diferentes estructuras químicas obviamente dan como resultado diferentes propiedades químicas.

La biomasa lignocelulósica presenta una estructura compleja compuesta fundamentalmente por tres fracciones: celulosa, hemicelulosa y lignina. La celulosa y hemicelulosa, combinados con el tercer componente principal de la biomasa, la lignina, constituyen más del 90% de la biomasa leñosa y el 80% de la biomasa herbácea (Sebastián et al., 2010; Williams et al., 2017). En la figura 10 se presenta la composición estructural de la biomasa lignocelulósica.

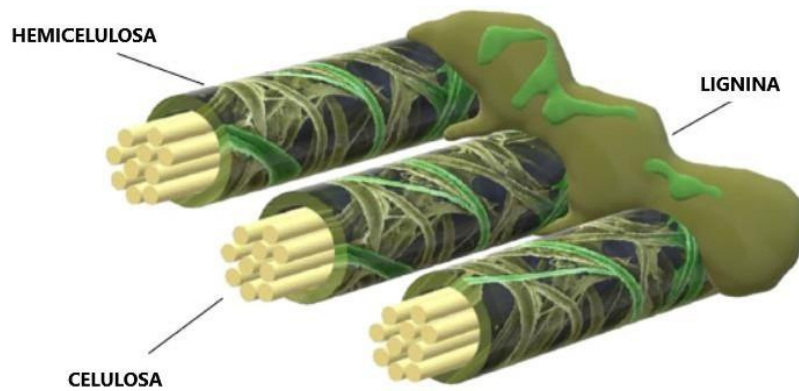


Figura 10: Estructura de la biomasa lignocelulósica

Fuente: Tursi (2019)

- Celulosa: Es el biopolímero más abundante en la tierra y constituye la base estructural de las células vegetales. La celulosa es un polisacárido de monómeros de glucosa que se mantienen unidos por enlaces β (1 \rightarrow 4). Estos enlaces β (1 \rightarrow 4) son los que hacen que la celulosa sea resistente a la hidrólisis debido a que forman cadenas lineales muy estables originando fibras compactas e impenetrantes por el agua y a su vez resistentes al ataque químico (Sebastián et al., 2010; Williams et al., 2017).
- Hemicelulosa: o también llamado poliosa, es el segundo componente principal de la biomasa, la hemicelulosa, es un heteropolímero amorfo compuesto por varios carbohidratos o azúcares diferentes que incluyen xilosa, manosa y glucosa, entre otros. Debido a su estructura amorfa, la hemicelulosa es significativamente más susceptible a la hidrólisis que la celulosa cristalina (Sebastián et al., 2010; Williams et al., 2017).
- Lignina: Es una intrincada matriz de alcoholes aromáticos y está entrelazada con la fracción de celulosa y hemicelulosa de la estructura de la biomasa. Esta naturaleza entretejida de la lignina ayuda a proporcionar rigidez a la pared celular de los materiales lignocelulósicos, como los árboles (Sebastián et al., 2010; Williams et al., 2017).

Sebastián et al. (2010) resaltan que “la composición estructural de la biomasa tiene influencia sobre el poder calórico de la materia, siendo la energía desprendida superior en aquellos recursos con mayor porcentaje de lignina”. La concentración de cada componente estructural en la biomasa lignocelulósica depende de las diferentes especies, el tejido vegetal, el estado de crecimiento y las condiciones de crecimiento. Asimismo, durante el almacenamiento de

este tipo de biomasa, se va a producir un cambio en su calidad debido a fenómenos químicos y biológicos, así como la proporción de los tres componentes (celulosa, hemicelulosa y lignina) serán indicadores de degradación de la materia. En la tabla 8 se muestra los porcentajes para diferentes tipos de biomasa lignocelulósica leñosa y herbácea, donde se observa que los porcentajes de los componentes mayoritarios (celulosa, hemicelulosa y lignina) no siempre suman 100%, debido a que la biomasa lignocelulósica contiene otros compuestos.

Tabla 8: Composición estructural (% en peso) de varios tipos de biomasa lignocelulósica

Biomasa	Celulosa (%)	Hemicelulosa (%)	Lignina (%)
Maderas duras	< 43	< 35	< 22
Maderas blandas	< 43	< 28	< 29
Coníferas	35 - 40	25 - 30	27 - 30
Fronosas	45 - 50	20 - 25	20 - 25
Paja de trigo	33 - 40	20 - 50	15 - 20
Pasto	30 - 50	10 - 40	5 - 20

Fuente: Adaptado de Sebastián et al. (2010) y FAO (1993)

b. Componentes minoritarios

Los otros componentes minoritarios de la biomasa lignocelulósica son extractivos y cenizas. Si bien estos componentes constituyen una menor proporción de la composición de la biomasa lignocelulósica, éstos poseen una gran influencia en las propiedades y en los procesos de conversión óptimo de la biomasa lignocelulósica (Sebastián et al., 2010; Williams et al., 2017).

- Extractivos: Los extractivos son los componentes orgánicos de bajo peso molecular, están presentes en tejidos vegetales o animales que pueden separarse mediante tratamientos sucesivos con disolventes y recuperarse por evaporación de la solución. Estos extractivos incluyen proteínas, aceite, almidón, azúcar, etc. (Sebastián et al., 2010; Basu, 2010). Williams et al. (2017) describen que los extractivos incluyen componentes solubles en agua y etanol. En los tejidos vegetales, los compuestos solubles en agua

incluyen azúcares y proteínas no estructurales, y los componentes solubles en etanol están representados típicamente por clorofila y ceras.

- Cenizas: Sebastián et al. (2010) definen que las cenizas son la fracción inorgánica de la biomasa lignocelulósica cuya composición está principalmente formada por sales inorgánicas de calcio, potasio, sodio, magnesio y sílice. Asimismo, Williams et al. (2017) describen que la ceniza comprende “el contenido inorgánico de la biomasa, puede ser intrínseca a la biomasa o añadirse antropogénicamente. La ceniza intrínseca incluye iones de calcio y potasio similares a materiales, mientras que la ceniza antropogénica es principalmente sílice (suciedad) recolectada durante la cosecha”.

2.5.2. Caracterización física de la biomasa

Sebastián et al. (2010) mencionan que “ las características físicas de la biomasa son muy variables y están relacionadas con la especie a la que pertenecen o bien con su proceso de obtención”. Es importante conocerlas a la hora de evaluar las condiciones de transporte, almacenamiento y los distintos pretratamientos a los que se va a someter este material, desde su recolección hasta la entrada al reactor donde se va a producir su transformación termoquímica. Siendo las propiedades físicas principales: densidad aparente y real, humedad y distribución granulométrica.

- a. Densidad real: La densidad real es aquella propia de la materia y se determina como la cantidad de peso de la materia que se puede acumular en el volumen de la materia.
- b. Densidad aparente: La densidad aparente es la cantidad de peso de la materia que se puede acumular en un volumen dado, es decir, el volumen de la materia más el volumen de aire en los huecos.
- c. Humedad: La humedad es la cantidad total de agua contenida en el total de masa de una muestra de biomasa. El contenido de agua absorbe energía (de la combustión) y se evapora, sin prestar ningún beneficio.
- d. Distribución granulométrica: La distribución granulométrica hace al formato de cómo se presenta la biomasa, por ejemplo, pueden presentarse en fardos, ramas, polvos, etc. La caracterización de la granulometría se realiza por tamizado sucesivo de la biomasa, y estos resultados se pueden presentar como variables estadísticas

(tamaño promedio y dispersión) como por porcentajes en masa de cada uno de los intervalos de tamizado o como frecuencia acumulada.

2.5.3. Caracterización química de la biomasa

La caracterización química de la biomasa es aportada por parámetros que se determinan mediante el análisis inmediato y análisis elemental (Sebastián et al., 2010). En la figura 11 se presentan las variables que componen los análisis inmediato y análisis elemental.

		Análisis inmediato	Análisis elemental
Humedad total	Humedad libre	Humedad total	Humedad total
	Humedad en equilibrio		
Material mineral	Cenizas	Cenizas	Cenizas
	Material mineral volátil	Volátiles	Carbono Hidrógeno Nitrógeno Oxígeno Azufre Cloro
Materia orgánica volátil			
Materia orgánica	Carbono fijo	Carbono fijo	

Figura 11: Composición de la biomasa y fracciones determinada en cada análisis

Fuente: Sebastián et al. (2010)

Basu (2010) señala que “la composición de un combustible a menudo se expresa sobre diferentes bases según la situación. Las siguientes cuatro bases de análisis se utilizan comúnmente: como se recibió, secado al aire, libre de humedad y libre de humedad y cenizas” En cambio, Sebastián et al. (2010) mencionan que los resultados se pueden proporcionar de tres diferentes formas los análisis de biomasa: “en base húmeda (b.h.), con la humedad con que se recibe el combustible; en base libre de humedad o base seca (b.s.); o en base libre de humedad y de cenizas (d.a.f., del inglés dry ash free)”. En la Figura 12 se muestra una comparación de las cuatro formas diferentes para los resultados de análisis de la biomasa.

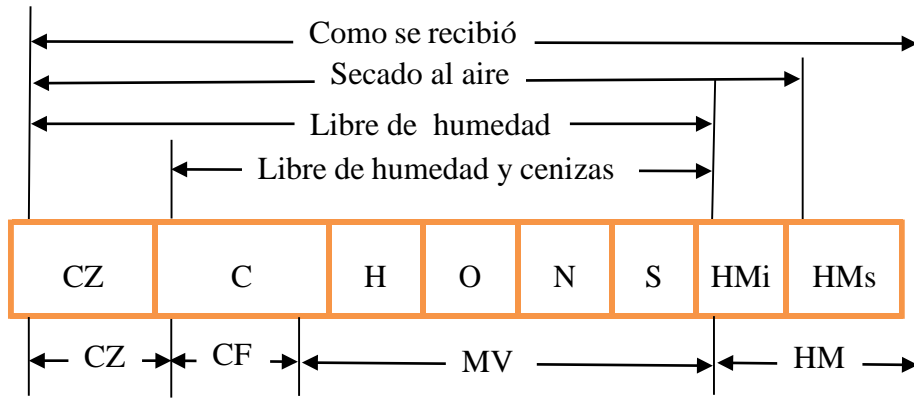


Figura 12: Bases para expresar la composición de la biomasa

Fuente: Basu (2010).

Nota: CZ: cenizas, CF: carbono fijo, MV: material volátil, HM: humedad, HMi: humedad inherente, HMs humedad superficial, C: carbono, H: hidrógeno, O: oxígeno, N: nitrógeno y S: azufre.

Sebastián et al. (2010), resalta que la base de cálculo debe ser señalada en todo momento para establecer comparaciones entre los distintos combustibles de forma correcta. Según este criterio, en la figura 13 se presenta la forma de correlacionar los valores expresados en diferentes bases de cálculo.

		Base buscada		
		$X_{bh} =$	$X_{bs} =$	$X_{daf} =$
Base dada	X_{bh}	—	$X_{bh} \times \left[\frac{100}{100 - W_{bh}} \right]$	$X_{bh} \times \left[\frac{100}{100 - W_{bh} - Z_{bh}} \right]$
	X_{bs}	$X_{bs} \times \left[\frac{100 - W_{bh}}{100} \right]$	—	$X_{bs} \times \left[\frac{100}{100 - Z_{bs}} \right]$
	X_{daf}	$X_{daf} \times \left[\frac{100 - W_{bh} - Z_{bh}}{100} \right]$	$X_{daf} \times \left[\frac{100 - Z_{bs}}{100} \right]$	—

Figura 13: Expresiones utilizadas para el cambio de base de referencia

Fuente: Sebastián et al. (2010).

Nota: W y Z son los porcentajes en peso en las respectivas bases de humedad y cenizas, respectivamente y X es la fracción másica del componente de base dada o base buscada.

a. Análisis inmediato o proximal

El análisis inmediato proporciona los valores de los contenidos de humedad, materiales volátiles, cenizas y carbono fijo de la biomasa expresados como porcentajes en peso.

Sebastián et al. (2010) señalan que “este análisis sirve para identificar la fracción de la biomasa en la que se encuentra almacenada su energía química (compuestos volátiles y carbono fijo) y la fracción inerte (humedad y cenizas)”. Cuando la partícula de biomasa es sometida a un calentamiento progresivo, en primer lugar, el material va a desprender la humedad, posteriormente los materiales volátiles, después se produce la quema del carbono fijo presente y finalmente queda un residuo sólido que se corresponde a las cenizas.

- Humedad:

Sebastián et al. (2010) definen a la humedad como “la cantidad total de agua contenida en el total de la masa de una muestra de biomasa”. En la figura 13 se observa que la humedad de la biomasa puede encontrarse en dos formas: humedad superficial y humedad inherente. La humedad superficial es el agua presente en la superficie de la biomasa y se elimina por secado al aire libre. En cambio, la humedad inherente, es el porcentaje de pérdida de peso que experimenta una muestra de biomasa es secada al aire cuando se calienta a una temperatura de 105°C hasta que alcance un peso constante.

- Material volátil

Sebastián et al. (2010) definen el material volátil como “el conjunto de constituyentes de la biomasa, con la excepción de la humedad, que se desprenden de la partícula cuando se calienta en ausencia de aire”. Estos compuestos volátiles de la biomasa proceden tanto de la parte orgánica como de la parte inorgánica.

- Cenizas

Sebastián et al. (2010) definen a las cenizas como “residuos inorgánicos que quedan tras la combustión del carbono fijo, y varían en su composición y porcentajes de participación según la fuente de biomasa y los métodos de recolección”.

- Carbono fijo

Sebastián et al. (2010) denomina al carbono fijo como “la fracción que permanece después de haberse desprendido todos los compuestos volátiles (orgánicos e inorgánicos) y se estima por diferencia tras determinar el contenido de humedad, material volátil y cenizas”. Según se observa en la figura 12, el análisis inmediato se expresa en base como se recibió (base húmeda). Por lo tanto, a partir de la ecuación (1) se determina el contenido de carbono fijo.

$$\% \text{ Carbono fijo} = 100\% - (\% \text{ Humedad} + \% \text{ Volátiles} + \% \text{ Cenizas}) \quad (1)$$

La determinación de los parámetros del análisis inmediato se realiza mediante los analizadores termogravimétricos, los cuales registran la pérdida de peso que experimenta la muestra mientras se somete a calentamiento en condiciones controladas de temperatura, velocidad de calentamiento y atmósfera (Sebastián et al., 2010). A continuación, la figura 14 presenta la rampa de temperaturas de un ensayo termogravimétrico y la curva típica de la evolución del peso de la muestra de biomasa.

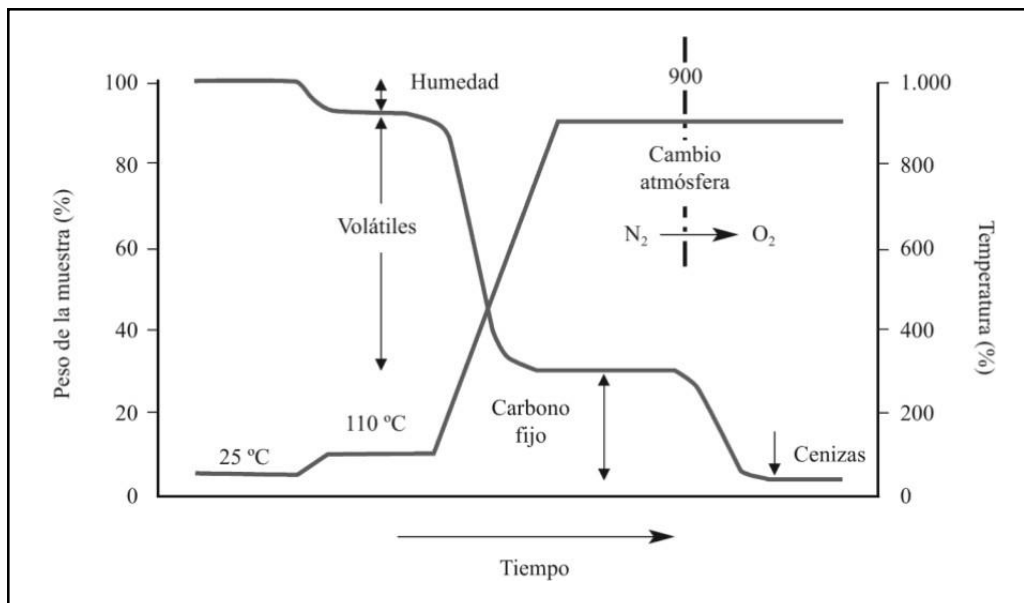


Figura 14: Curva termogravimétrica cualitativa para el análisis de un combustible

Fuente: Sebastián et al. (2010)

b. Análisis elemental o último

El análisis elemental permite establecer los valores del porcentaje en peso de carbono (C), hidrogeno (H), nitrógeno (N), oxígeno (O), azufre (S) y cloro (Cl) principalmente y se determina mediante equipos automáticos denominados analizadores elementales. El análisis elemental de la biomasa para determinar estos elementos químicos permitirá estimar a partir de un balance de materia la cantidad de productos que se generaran en la combustión o gasificación y la cantidad de comburente (oxígeno en la mayoría de los casos) necesaria en cada caso (Sebastián et al., 2010). Según se observa en la figura 12, el análisis elemental se expresa en base libre de humedad (base seca) y se determina a partir de la ecuación (2):

$$100\% = \% C + \%H + \%O + \%N + \%S + \%CZ \quad (2)$$

Williams et. al. (2017) detallan que existe una variación significativa en la composición entre los diferentes tipos de biomasa, pero también hay mucha variación dentro de una sola materia prima. Carrillo (2004) menciona que la biomasa vegetal seca tiene un contenido en carbono bastante estable, que varía entre 45 al 50% según las especies, y que constituye el esqueleto de todas las sustancias orgánicas de las células. A continuación, se presenta en la Tabla 9 la gran diferencia en la composición entre tres categorías amplias de materias primas renovables que incluyen la biomasa leñosa y herbácea.

Tabla 9: Composición de biomasa leñosa y herbácea

Composición de la materia prima	Leñosa	Herbácea
Análisis Estructural		
Celulosa (%)	51.2 ± 8.7 (241)	32.1 ± 4.5 (2425)
Hemicelulosa (%)	21.0 ± 8.7 (241)	18.6 ± 3.4 (2425)
Lignina (%)	26.1 ± 5.3 (241)	16.3 ± 3.3 (2425)
Análisis Proximal		
Volátiles (%)	84.0 ± 2.1 (193)	79.1 ± 5.8 (284)
Cenizas (%)	1.3 ± 0.9 (193)	5.5 ± 3.2 (284)
Carbono Fijo (%)	14.7 ± 1.6 (193)	15.4 ± 4.0 (284)
Análisis Elemental		
Carbono (%)	50.7 ± 4.71 (192)	47.4 ± 1.9 (276)
Hidrógeno (%)	6.0 ± 0.1 (192)	5.8 ± 0.3 (276)
Nitrógeno (%)	0.32 ± 0.01 (192)	0.75 ± 0.49 (276)
Oxígeno (%)	41.9 ± 1.4 (134)	41.0 ± 2.4 (107)
Azufre (%)	0.03 ± 0.01 (135)	0.32 ± 0.1 (107)

Fuente: Williams et al. (2017).

Nota: Valores de porcentaje de varias muestras (número medio de muestras entre paréntesis)

La biomasa residual pecuaria está conformada principalmente por el estiércol generado por las especies pecuarias. En la Tabla 10 se presentan las composiciones del estiércol de diferentes especies pecuarias según diversos autores.

Tabla 10: Composición fisicoquímica del estiércol de diferentes especies

Estiércol	Análisis Proximal (b.h.)			Análisis Elemental (b.s.)					Referencia
	Hd (%)	MV (%)	Cz (%)	C (%)	H (%)	N (%)	S (%)	O (%)	
				49.28		2.19			López et. al., 2018
Ovinos	40.80	25.54	17.88	40.49		1.27			Stronguilo & Chacón, 2015
	64.00					3.81			Añasco & Picado, 2005
Llamas	62.00					3.93			Añasco & Picado, 2005
	49.40	31.17	12.90	40.70	4.50	2.20	0.20	27.00	Meneses-Quelal et. al., 2020
Alpacas	63.00					3.60			Añasco & Picado, 2005
				45.31		1.59			Quiñones Ramírez, 2016
Cerdos	80.00					3.73			Añasco & Picado, 2005
				50.73		2.04			López et. al., 2018
Vacunos	83.20					1.67			Añasco & Picado, 2005
			23.77	38.14		2.18			Del Pino et. al., 2008
	13.30	66.76	19.94	40.90	4.80	1.10	0.40	33.80	García J., 2015
Caballos				50.34		1.21			López et. al., 2018
	74.00					2.31			Añasco & Picado, 2005
Conejos	41.70					1.2-1.5			Blumetto & Torres, 2005
						2.40			Añasco & Picado, 2005
Cuyes	66.10	24.61	4.44	39.50	4.60	2.30	0.40	39.70	Meneses-Quelal et. al., 2020
	53.00					6.11			Añasco & Picado, 2005
Gallinas			36.50	26.10		1.80			Del Pino et. al., 2008

Fuente: Elaboración propia con base en las fuentes citadas en la tabla.

2.5.4. Caracterización energética de la biomasa

Escalante et al. (2011) mencionan que “una de las características más importantes de los combustibles es su contenido energético, el cual puede obtenerse de su transformación y uso. Esta propiedad es fundamental para determinar el tipo de biomasa que puede utilizarse como combustible”. Asimismo, Sebastián et al. (2010) mencionan que “cuando se precisa determinar la cantidad de combustible dado, necesario en una instalación para obtener cierta potencia, se recurre al dato de su capacidad energética por unidad de masa o poder calorífico”. No obstante, el poder calorífico es el principal parámetro de caracterización energética de un combustible, pero existen otros parámetros como la reactividad, la capacidad de autoignición, el calor específico y la conductividad térmica.

a. Poder calorífico

Sebastián et al. (2010) definen al poder calorífico como la energía química del biocombustible sólido que se transforma directamente mediante un proceso termoquímico de oxidación (combustión) en energía térmica, se expresa en unidades de energía por unidad

de masa (kJ/kg, MJ/kg o kcal/kg). El poder calorífico se expresa de dos formas como poder calorífico superior (PCS) cuando el agua formada en los gases de combustión se encuentra en forma líquida y como poder calorífico inferior (PCI) cuando permanece en forma de vapor. El valor del poder calórico se determina experimentalmente mediante el equipo denominado bomba calorimétrica y se pueden expresar por unidad de combustible húmedo a una determinada humedad o por unidad de combustible seco cuando su humedad es cero. En la tabla 11 se muestran los poderes caloríficos de diversas fuentes de biomasa.

Tabla 11: Poderes caloríficos de diversas biomásas y combustibles fósiles.

Tipo de biomasa	PCS (kcal/kg)	PCI (kcal/kg)	Referencia
Maíz	4550 - 4600	4250 - 4300	Elías et al., 2012
Rastrojo de maíz		3429	Serrato & Lesmes 2016
Ramas de algodón	4750	4500	Elías et al., 2012
Bagazo de caña de azúcar	4400	4150	Elías et al., 2012
Cascarilla de arroz	3400 - 4100	3200 - 3850	Elías et al., 2012
Carbón de residuos agrícolas	6400 - 7100	6100 - 6800	Elías et al., 2012
Madera de pino (15% de humedad)	4800 - 5000	4500 - 4700	Elías et al., 2012
Madera de eucalipto	4950	4630	Elías et al., 2012
Astillas de eucalipto	4800	4500	Elías et al., 2012
Carbón vegetal	7500 - 8300	7200 - 8000	Elías et al., 2012
Estiércol de gallinas ponedoras		2248	Serrato & Lesmes 2016
Estiércol de pollos de carne		3645	Serrato & Lesmes 2016
Estiércol de cerdos		4163 - 6049	Serrato & Lesmes 2016
Estiércol de vacunos		2801 - 3783	Serrato & Lesmes 2016
Gasolina	11,200	10,500	Elías et al., 2012
Metano	12,738	11,950	Elías et al., 2012
Propano	12,900	11,080	Elías et al., 2012
Butano (gas)	11,800	10,932	Elías et al., 2012
Etanol de 96 (4% agua en volumen)	6740	6420	Elías et al., 2012

Fuente: Elaboración propia con base en las fuentes citadas en la tabla.

2.6. Pretratamientos de la biomasa como biocombustible sólido

Sebastián et al. (2010) señalan que la biomasa utilizada para fines energéticos presenta heterogeneidad en su composición, lo cual va a generar una serie de limitaciones debido a la elevada humedad, tamaño y granulometría muy variable, así como, la presencia de productos indeseables (arena, piedra, metales, etc.). Por ello, se suelen aplicar tratamientos para

adecuar sus propiedades físicas como el tamaño, granulometría, humedad y densidad aparente, los cuales no son inherentes al material, al contrario, las propiedades químicas sí lo son. Entre los pretratamientos que se realiza a la biomasa están: la reducción de humedad, reducción granulométrica y densificación.

2.6.1. Reducción de humedad

Los biocombustibles sólidos se caracterizan por tener contenidos de humedad relativamente altos, el cual es dependiente del momento de recolección. El principal sistema que se utiliza para disminuir su contenido de humedad es el secado de la biomasa, el cual puede realizarse de manera natural o de manera forzada (Sebastián et al., 2010).

- a. Secado natural: consiste en dejar que el material pierda humedad hacia en ambiente que le rodea (amontonando la materia en pilas). Necesita que las condiciones climáticas sean medianamente favorables (humedad relativa baja, escasez de lluvias y calentamiento solar).
- b. Secado forzado: consiste en la reducción de la humedad del residuo mediante un aporte de energía externa suministrada normalmente en forma de calor (sistemas de secado industriales).

2.6.2. Reducción granulométrica

La reducción granulométrica tiene como objetivo transformar la biomasa inicial en piezas de menor tamaño (astillas, serrín, polvo, etc.) para adaptar su tamaño al utilizado por los sistemas de alimentación y de valorización de una instalación determinada. Pueden diferenciarse entre la disgregación, el triturado, el astillado y la molienda, los cuales se diferencian entre ellas por el tamaño final obtenido, siendo mayor para el triturado y menor para la molienda, así como las tecnologías disponibles para transformarlo (Sebastián et al., 2010).

- a. Disgregación: los sistemas de disgregación permiten desintegrar el material empacado en piezas que lo conforman. Pueden ser utilizados en centrales térmicas alimentadas con pacas de paja de cereal.
- b. Triturado: consiste en transformar las piezas de biomasa de gran tamaño, como troncos, ramas, etc., en pizas más pequeñas.

- c. Astillado: consiste mayormente en sistemas de rotación rápida que transforma la biomasa de tamaño intermedio (ramas o troncos de diámetro pequeño) en astillas (desde pocos a varios centímetros). El astillado suele utilizarse con residuos forestales, residuos de industrias de transformación de la madera y podas de frutales.
- d. Molienda: es la última etapa que se aplica para la reducción granulométrica. Asimismo, se aplica cuando se requiere combustible de menor tamaño que las astillas debido a los requerimientos del uso final, como fabricar productos densificados (pellets y briqueta) o cuando la tecnología de aprovechamiento energético lo requiere.

2.6.3. Densificación

Los procesos de densificación o compactación se utilizan para aumentar su densidad aparente de los combustibles y, por ende, mayor densidad energética (kJ/m^3) a partir de los residuos biomásicos (Sebastián et al., 2010). Los principales sistemas de densificación son: empaquetado de residuos, peletizado y briquetado y torrefacción. A continuación, en la tabla 12 se detallan los sistemas de densificación de la biomasa.

Tabla 12: Sistemas de densificación de la biomasa

Sistema	Producto a obtener	Descripción
Empaquetado de residuos	Material empaquetado de residuos agrícolas o residuos forestales	Compactación mediante empacadoras. Tratamiento posterior: disgregado y triturado. Reduce costos en transporte y almacenamiento.
Peletizado y briquetado	Pellets: pequeños cilindros de 6 a 30 mm. de diámetro y 10 a 70 mm. de longitud, y densidad aparente mayor a 600 kg/m ³ . Briquetas: sólidos cilíndricos o poligonales del tamaño de una botella y densidad real mayor a 900 kg/m ³ .	Tratamiento previo: secado, astillado y/o molienda Proviene de materiales residuales de procesos de transformación de la madera (serrines, virutas, polvo de lija, etc.) o subproductos agrícolas (cáscaras de arroz, girasol, etc.) Mejora la compacidad para el transporte y son utilizados directamente como combustible.
Torrefacción	Material torrefactado	Proceso de calentamiento que genera cambios físicos-químicos diferentes a las iniciales. El material pierde humedad y se convierte en higroscópico (no absorbe humedad). La densidad energética por unidad de volumen aumenta.

Fuente: Sebastián et al. (2010)

2.7. Clasificación de los biocombustibles

Los biocombustibles pueden clasificarse de diferentes formas atendiendo a diversas características, según este criterio los biocombustibles se clasifican según su procedencia, sector y uso final; su estado y su generación (Sebastián et al., 2010; De Lucas et al., 2012).

2.7.1. Biocombustible según su procedencia, sector y uso final

Sebastián et al. (2010) presenta una clasificación de la biomasa basada en las características especiales del material, en su procedencia o en su uso final, clasificándola en biomasa primaria, biomasa secundaria y biomasa terciaria. En la tabla 13 se detalla la clasificación de la biomasa según su procedencia, sector en que la actividad humana obtiene la biomasa y uso final.

Tabla 13: Clasificación de la biomasa para la obtención de biocombustibles

Clasificación	Procedencia	Sector	Biocombustible
Biomasa primaria	Se obtiene directamente de un ecosistema natural para su utilización energética.	Agrícola Forestal	
Biomasa secundaria o residual	Se obtiene como residuo o subproducto de una actividad humana.	Agrícola Forestal Pecuario Industrial	
Biomasa terciaria o Biocombustibles finales	Son obtenidos en plantas que transforman la biomasa de origen primario o secundario, en un producto final.	Agrícola Forestal Pecuario Industrial	Biogás Biodiésel Bioetanol Carbón vegetal Pellets Briquetas

Fuente: Sebastián et al. (2010)

2.7.2. Biocombustibles según su estado

De Lucas et al. (2012) clasifica a los biocombustibles según su estado en forma sólida, líquida o gaseosa y los productos finales obtenidos en cada una de ellas.

a. Biocombustibles sólidos

De Lucas et al. (2012) denomina al biocombustible sólido como aquel combustible sólido, no fósil, el cual está compuesto por materia orgánica de origen vegetal, animal o producido a partir de la misma mediante procesos físicos para ser utilizado en aplicaciones energéticas. Existe también otras formas de uso con fin energético que requieren de algún tipo de acondicionamiento especial, como son las astillas, el serrín, el carbón vegetal, los pellets y las briquetas, los cuales se pueden quemar directamente o previa gasificación o pirólisis, para producir calor y electricidad. En la figura 15 se presentan los diferentes tipos de biocombustibles sólidos y sus materias primas.

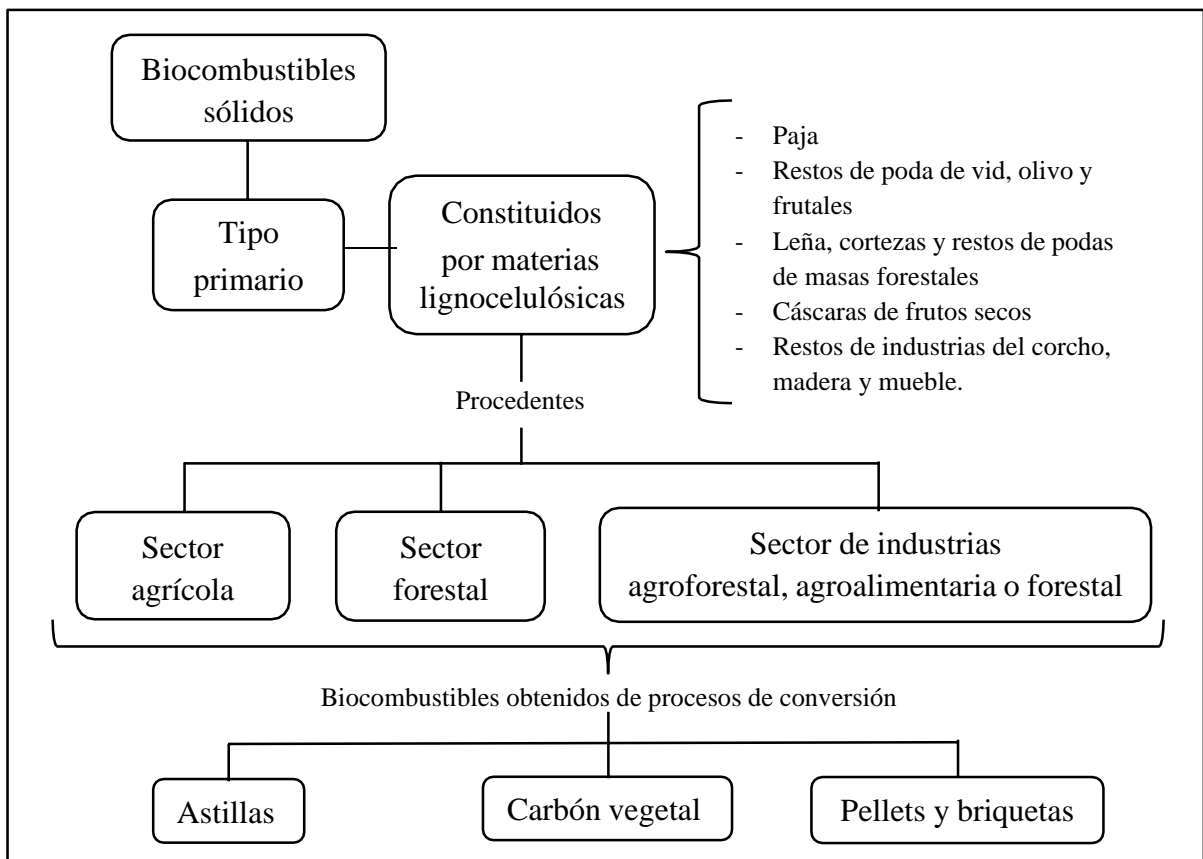


Figura 15: Tipos de biocombustibles sólidos

Fuente: Adaptado de De Lucas et al. (2012)

Los biocombustibles sólidos, se producen a partir de fuentes primarias (las extracciones de ecosistemas naturales directamente orientadas a energía y los cultivos energéticos) y secundarias (residuos de las operaciones silvícolas, los restos generados en la actividad agrícola (podas o paja) y los residuos de industrias de procesamiento de la madera y/o agroalimentarias), estas fuentes en las que la materia orgánica se encuentra en estado sólido y de las que se puede obtener energía a través de procesos termoquímicos como: la pirólisis, la gasificación o la combustión (Sebastián et al, 2010).

b. Biocombustibles líquidos

Los biocombustibles líquidos o también denominados biocarburantes son aquellos que presentan un alto poder calorífico y que pueden ser utilizados en sistemas térmicos como los motores alternativos de combustión interna, quemadores o turbinas. También se podrían denominar biomasa terciaria debido a que no se obtienen directamente de un ecosistema natural y tampoco son subproductos de actividades humanas, sino que es biomasa procesada,

o transformada, a partir de fuentes primaria y/o secundaria (Sebastián et al, 2010). Según este criterio se produce los biocarburantes cuando la biomasa original presenta:

- Alto contenido en aceites, éstos se extraen por procesos físicos (prensado) o físico-químicos (extracción). Tanto estos aceites como su conversión química en biodiésel.
- Alto contenido en azúcar se puede obtener bioetanol mediante una fermentación alcohólica y una posterior destilación.
- A partir de biomasa lignocelulósica a través de procesos de hidrólisis a alta temperatura o por procesos termoquímicos como la pirólisis.

De Lucas et al. (2012) denomina a los biocombustibles líquidos a todos aquellos combustibles que se obtienen a partir de la biomasa, haciendo referencia a los combustibles líquidos que proceden de materias primas producidas en el sector agrícola y que han sido transformadas hasta conseguir unas propiedades similares a las de los combustibles tradicionales. Estos biocarburantes, como el bioetanol y biodiesel son obtenidos de cultivos energéticos como caña de azúcar y oleaginosas o aceite vegetal usado. En la figura 16 se presentan los diferentes tipos de biocombustibles líquidos y sus materias primas.

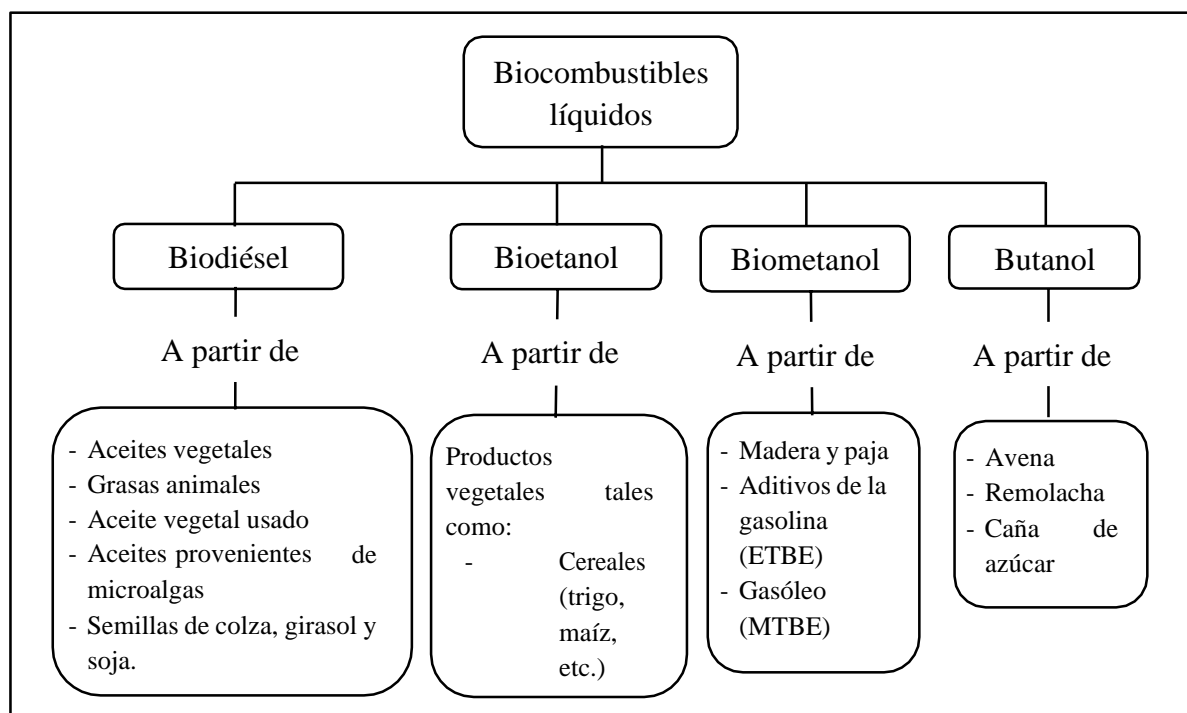


Figura 16: Tipos de biocombustibles líquidos
Fuente: Adaptado de De Lucas et al. (2012)

c. Biocombustibles gaseosos

De Lucas et al., (2012) describe que los biocombustibles gaseosos que se pueden generar a partir de la biomasa mediante diferentes procesos de conversión son principalmente: el biogás, el gas de síntesis y el biohidrógeno.

- El gas de síntesis denominado syngás, se produce al someter a la biomasa a altas temperaturas (entre 800 y 1.500°C) en ausencia de oxígeno. Los productos gaseosos que se obtienen tienen poderes caloríficos bajos (4,2- 5 MJ/m³) compuestos por N₂, CO, H₂, CH₄ y CO₂ en proporciones variables. Este proceso se lleva a cabo en los denominados gasógenos, que se utilizan con fines térmicos o, en combinación con motores, para producir energía mecánica o eléctrica.
- El biogás se genera por las reacciones de biodegradación de residuos vegetales y animales como pueden ser estiércoles, aguas residuales o residuos agrícolas y de industrias agroalimentarias, mediante la acción de microorganismos y en condiciones anaeróbicas. Usualmente, el biogás se produce en biodigestores, los cuales son sistemas que aprovechan las digestiones anaerobias de las bacterias que ya habitan en la materia prima, para transformar ésta en biogás y en fertilizante (digestato). El biogás puede ser utilizado como combustible en cocinas, iluminación y calefacción domésticas, o en grandes instalaciones, alimentando a motores que generen electricidad.
- El biohidrógeno se obtiene a partir de biomasa mediante procesos biológicos como la fermentación y digestión anaeróbica. Este proceso de producción posee un balance de CO₂ neutro, es decir, que la materia orgánica es capaz de retener durante su crecimiento el mismo CO₂ que se libera durante la producción. Asimismo, posee un alto poder calorífico inferior (120 MJ/kg).

2.7.3. Biocombustibles según generación

Los biocombustibles o también llamados bioenergéticos se clasifican de acuerdo a la materia prima de la que provengan estos biocombustibles, así como de los procesos y tecnologías empleadas en su obtención que se han utilizado, según ello, se ha establecido otra clasificación que atiende a la generación a la que pertenecen, llegando a la cuarta generación (Masera et. al., 2011; De Lucas et al., 2012 y Agencia Andaluza de la Energía, 2014). En la

Tabla 14 se resume la clasificación de los biocombustibles según su generación de acuerdo con el tipo de biocombustible.

Tabla 14: Clasificación de los biocombustibles según su generación

Biocombustibles	Sólidos	Líquidos	Gaseosos
Primera Generación	Leña Carbón vegetal Bagazo Pellets	Bioetanol (cereales y azúcares) Biodiésel Licor negro Aceites vegetales Bio-etil-tercbutil éter (ETBE) Mezclas de combustibles anteriores y derivados del petróleo	Biogás Gas de Síntesis
Segunda Generación	Biochar Torrefactos Torpellets	Bioetanol a partir de lignocelulosas (Etanol celulósico) Syndiésel Bioaceites (Aceite de pirólisis o aceites vegetales hidroisomerizados) Biometanol Biobutanol Diésel sintético (obtenido de reacción de Fischer-Tropsch)	Biohidrógeno Syngás
Tercera Generación		Diésel de algas Etanol de algas	Biometanol
Cuarta Generación		Bioalcoholes superiores (> C2) Biogasolina y bio gas oil (hidrocraqueo de bioaceites producidos por pirólisis de biomasa) Biocombustibles a partir de gas de bio síntesis Bioparafinas de carbohidratos Éter biodimetílico	Corriente bioeléctrica (indirectamente para celdas de combustible)

Fuente: Adaptado de Masera (2011), Lakó (2008) y Agencia Andaluza de la Energía (2014)

a. Biocombustibles de primera generación

Los combustibles de primera generación, consisten en combustibles obtenidos a partir de cultivos agrícolas alimentarios. En el caso de la producción y el uso de los biocarburantes (o combustibles líquidos) están ya en fase de aplicación avanzada. Siendo algunos combustibles que pertenecen a esta categoría: el biodiésel procedente de transesterificación, los aceites vegetales, el bioetanol obtenido a partir de los cereales y los azúcares, entre otros.

b. Biocombustibles de segunda generación

Los biocombustibles de segunda generación no se basan en la elaboración de éstos a partir de cultivos comestibles, sino en sus residuos o en los residuos de las industrias agroalimentarias. También se consideran biocombustibles de segunda generación aquellos que se obtienen a partir de cultivos agroforestales no destinados a la alimentación. Su producción no se desarrolla aún a escala industrial y se limita a plantas experimentales, innovadoras y de pequeña capacidad en comparación con los proyectos de primera generación. Estos biocarburantes de segunda generación tienen en común el hecho de estar producidos a partir de materias primas con coste nulo o muy reducido: biomasa lignocelulósicas.

c. Biocombustibles de tercera generación

Los biocombustibles de tercera generación empezaron a desarrollarse en la actualidad debido a los problemas que presentan los biocombustibles de segunda generación. Estos combustibles utilizan metodologías de producción similares a los de segunda generación, pero empleando como materia prima cultivos bioenergéticos especialmente diseñados o adaptados (a menudo por medio de técnicas de biología molecular) para mejorar la conversión de la biomasa a biocombustibles.

d. Biocombustibles de cuarta generación

Los biocombustibles de cuarta generación llevan la tercera generación a un paso más allá, por lo que, buscan la adaptación tanto a nivel de la materia prima como de la tecnología de proceso a mejorar la eficiencia en la captación y almacenamiento de carbono (CAC). En el caso de la materia prima no sólo se adapta para mejorar la eficiencia de proceso, sino que se diseña para captar más dióxido de carbono, a medida que el cultivo crece. Mientras que los métodos de proceso (principalmente termoquímicos) también se combinan con tecnologías de captación y almacenamiento de carbono que encauzan el dióxido de carbono generado a las formaciones geológicas (almacenamiento geológico, por ejemplo, en yacimientos petrolíferos agotados) o a través del almacenamiento en minerales (en forma de carbonatos).

2.8. Procesos y tecnologías de conversión energética de la biomasa

Existen diferentes procesos y tecnologías de conversión de biomasa utilizados para la obtención de energía, los cuales dependen del origen y características de la materia prima, que permiten obtener productos sólidos, líquidos y gases mediante procesos de conversión termoquímicos, bioquímicos, físicos, fisicoquímicos, químicos y biológicos (Sebastián et al, 2010; San Miguel & Gutiérrez, 2015). En la tabla 15 se muestran los procesos de conversión y tecnologías de transformación utilizados en la biomasa para la obtención de biocombustibles para ser usados en diferentes formas de energía.

Tabla 15: Procesos de conversión y tecnologías de transformación de la biomasa

Tipo de biomasa	Proceso de conversión	Tecnología	Producto final: Biocombustible
Biomasa sólida: Extracciones de ecosistemas naturales y cultivos energéticos.	Termoquímicos	Combustión	Carbón vegetal, bio-oil y gas de pirólisis Gas de gasificación
		Pirólisis	
		Gasificación	
Biomasa residual húmeda	Bioquímicos	Digestión anaeróbica	Biogás
Biocarburantes: Biomasa con alto contenido en aceites.	Físicos Físico- químicos Química	Prensado	Aceite
		Extracción	Biodiésel
		Esterificación Transesterificación	
Biomasa con alto contenido en azúcar.	Biológicos	Fermentación alcohólica y destilación	Bioetanol

Fuente: Sebastián et al. (2010)

Carrillo (2004), explica que, debido a la baja densidad física y energética de gran parte de la biomasa, tal como se recolecta directamente desde el terreno o se recupera de los desechos, así como su contenido en agua, determinan que sea necesario una transformación previa de la biomasa. Para ello, se basa en su contenido de agua, si la biomasa presenta bajo contenido de agua (biomasa seca) o alto contenido de agua (biomasa húmeda) se va a determinar el tipo de proceso de conversión y la tecnología de transformación de la biomasa, los cuales se generará una gran variedad de productos. Asimismo, Núñez (2012) señala que en un proceso de conversión de energía cuando la temperatura es alta el contenido de azufre puede formar

óxidos muy contaminantes así como el nitrógeno no aporta energía pero puede generar gases del tipo NO_x si la cantidad es importante.

Escalante et al. (2011) mencionan que “la biomasa es la única fuente renovable que puede ser transformada en combustibles gaseosos, líquidos o sólidos, mediante procesos de conversión térmicos o biológicos” los cuales dependen del contenido de humedad de la biomasa residual. para generar principalmente biocombustibles y biogás, a partir de los cuales se puede obtener productos para uso final como calor, electricidad o fuerza motriz.

El aprovechamiento energético de la biomasa seca por medio de procesos termoquímicos depende del contenido de humedad (menor al 50%), poder calorífico, concentración de carbono fijo y del material volátil, contenido de cenizas y de los metales alcalinos presentes. En cambio, el aprovechamiento de la biomasa húmeda por medio de procesos bioquímicos depende del contenido de humedad (mayor al 50%) y la relación celulosa y lignina. En la figura 17 se presentan los procesos de conversión de la biomasa a partir de la biomasa vegetal o animal los cuales serán utilizados para uso final como calor y/o electricidad.

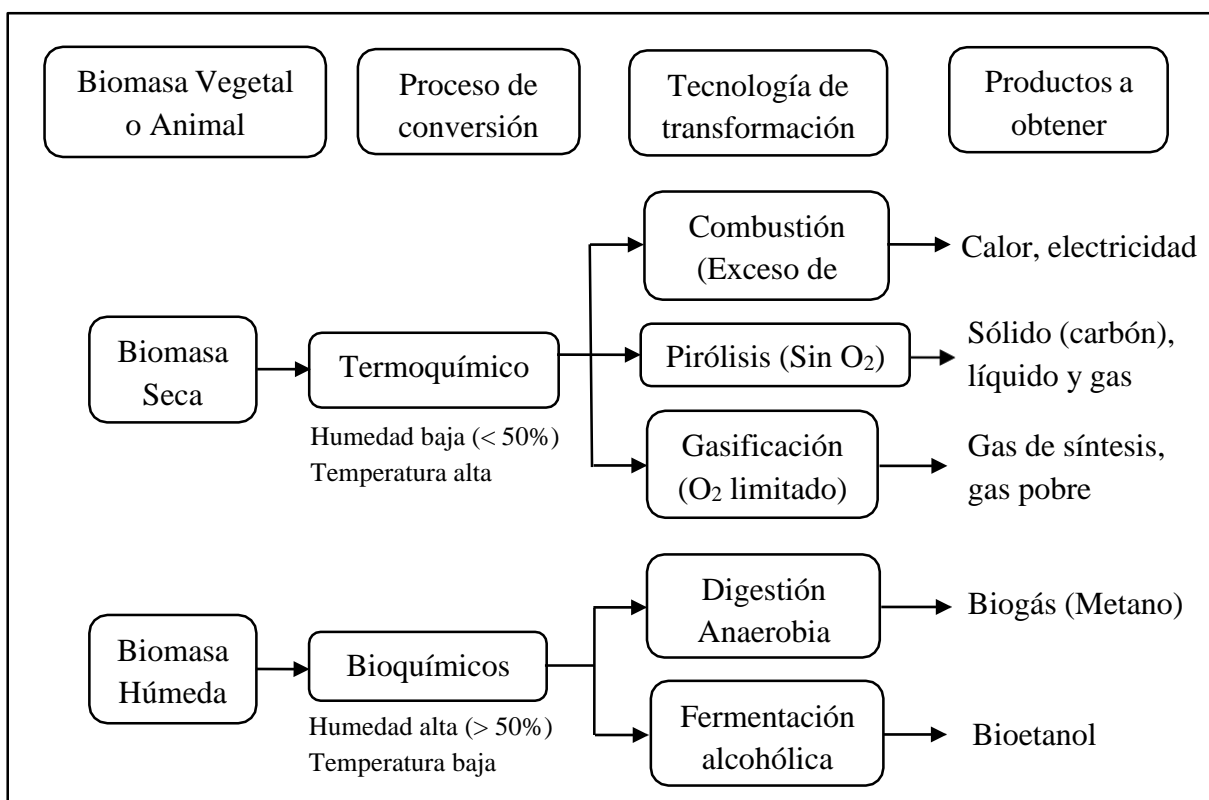


Figura 17: Procesos de conversión de la biomasa en biocombustibles

Fuente: Adaptado de Carrillo (2004); Secretaría de Energía (2008); Escalante et al. (2011) y De Lucas et al. (2012)

2.8.1. Procesos termoquímicos

Sebastián et al. (2010) definen a la termoquímica como “la disciplina que dentro de la fisicoquímica estudia los cambios de calor en procesos de cambio químico”. En el campo de la energía de los biocombustibles, el término proceso termoquímico hace referencia a aquellos procesos que involucran las transformaciones de materia y las conversiones de entre materia y energía, los cuales van a permitir obtener un aprovechamiento energético del combustible. Estos procesos principalmente son la pirólisis, gasificación y combustión, los cuales son de la misma naturaleza y están relacionados, donde la principal diferencia es la atmósfera en la que se realizan. En cambio, Cáceres et al. (2016) mencionan que en los procesos de transformación termoquímicos como la pirólisis, la combustión, la gasificación y la licuefacción, se observa que las reacciones químicas son irreversibles, presentan a altas temperaturas, altas tasas de conversión y condiciones de oxidación.

a. Combustión directa

Sebastián et al. (2010) describen que el proceso de combustión se define como “la reacción química por la cual un material, el combustible, a partir de una temperatura determinada, se combina con oxígeno, el comburente, para dar lugar a dos tipos de productos”. Los productos gaseosos, llamados humos o gases de combustión, y los productos sólidos, siendo éstos las cenizas, los cuales están formadas por componentes no combustibles y por otra parte los inquemados del combustible, es decir, que no fueron totalmente quemados en el proceso. Asimismo, Cáceres et al. (2016) mencionan que “la combustión es utilizada para la producción de calor y la generación de electricidad y consiste en la oxidación completa de la biomasa a temperaturas estimadas entre 800 °C y 1000 °C”.

b. Pirólisis

Sebastián et al. (2010) definen a la pirólisis como “la descomposición de la materia orgánica por medio de aportación de energía en forma de calor en una atmósfera inerte o en el vacío. Esta reacción lleva a la producción de un residuo carbonoso, gases condensables y productos gaseosos”. Asimismo, Cáceres et al. (2016) mencionan que “la pirólisis es la degradación térmica de la biomasa, en ausencia de oxígeno, a temperaturas cercanas a 500°C, a productos líquidos, sólidos y gaseosos con algún valor energético”. El calentamiento se lleva a cabo en ausencia de aire y los productos que se obtienen de la pirólisis son una mezcla de

combustibles sólidos, líquidos y gaseosos en proporciones variables, dependiendo de las temperaturas y presiones empleadas en el proceso (Carrillo, 2004).

c. Gasificación

De Lucas et al. (2012) definen a la gasificación como un proceso termoquímico en el que un sustrato carbonoso (residuo orgánico) se transforma en un gas combustible de bajo poder calorífico, mediante una serie de reacciones que ocurren a una temperatura la cual se determina en presencia de un agente gasificante como puede ser aire, oxígeno y/o vapor de agua. En cambio, Carrillo (2004) describe que en el proceso de gasificación el calentamiento se lleva a cabo en presencia de cantidades limitadas de oxígeno. Siendo el producto principal que se obtiene un gas pobre, compuesto de cantidades variables de CO, CO₂, H₂ y CH₄. Este gas puede enriquecerse en metano, dando lugar así a un sustituto del gas natural, o reformarse a gas de síntesis, con proporciones adecuadas de CO e H₂, fácilmente convertible en metanol. Asimismo, Cáceres et al. (2016) mencionan que “la gasificación se fundamenta en la oxidación parcial de la biomasa a temperaturas entre 800°C y 900°C y tiene como objetivo la producción de una mezcla de gas combustible denominada gas de síntesis”.

2.8.2. Procesos bioquímicos

El proceso de conversión bioquímico permite la descomposición de la biomasa para aprovechar los carbohidratos, los cuales podrían ser convertidos en combustibles líquidos y biogás, así como diferentes tipos de bio-productos, utilizando agentes biológicos como bacterias, enzimas y otros. Las tecnologías más usadas son digestión anaerobia y la fermentación (Tursi, 2019).

a. Digestión anaerobia

Carrillo (2004) y Varnero (2011) definen a la digestión anaeróbica como un proceso bioquímico o biológico complejo y degradativo en el que participan sucesivamente tres categorías de bacterias cuyas funciones son: hidrólisis de polímeros (celulosa, lípidos, proteínas); producción de ácidos volátiles (principalmente acético), dióxido de carbono (CO₂) e hidrógeno (H₂); y la generación de metano (CH₄). Este proceso parte de los materiales orgánicos de la biomasa con alto contenido en celulosa (basura, plantas acuáticas y residuos agrícolas, ganaderos e industriales) para obtener los principales productos, en

sistemas de alta carga orgánica y en mezcla completa, son el biogás (mezcla de dióxido de carbono y metano con trazas de otros elementos) y un bioabono (efluente estabilizado).

b. Fermentación alcohólica

Carrillo (2004) señala que “el rendimiento teórico en peso, con glucosa como sustrato, es superior al 50%, recuperándose aproximadamente el 93% de la energía contenida en el sustrato. En la práctica, el rendimiento puede estar entre el 85 y 90% del valor teórico”. En el proceso de fermentación alcohólica intervienen levaduras que convierten directamente las hexosas (glucosa, etc.) en etanol. La fermentación de materiales azucarados o amiláceos se utilizan para la producción de bioetanol.

2.9. Formas de energía a partir de la biomasa

FAO (2004) señala que los biocombustibles resultantes en los procesos de conversión se podrán utilizar en motores del sector transporte, turbinas, hornos o calderas para proporcionar energía térmica y/o mecánica que puede ser convertida a su vez en energía eléctrica. Asimismo, algunos combustibles líquidos y gaseosos (eventualmente) pueden servir directamente, o después de tratarlos, como biocarburantes. Elías (2012) menciona que “la biomasa se encuentra disponible localmente como fuente de energía que puede proveer electricidad y calor”.

Fundación Energía sin Fronteras (2012) describe que “dependiendo del origen de la materia prima y del proceso de valorización energética, se pueden obtener biocombustibles en forma sólida, líquida o gaseosa que pueden proporcionar energía térmica, eléctrica o mecánica”. Mediante la aplicación de los diferentes procesos de conversión y tecnologías de transformación aplicadas a la biomasa, se puede generar energía térmica (agua o aire caliente, vapor, etc.), energía eléctrica e incluso energía mecánica mediante el uso de biocarburantes en motores de combustión interna. Por ende, la biomasa se puede transformar en diferentes formas de energía: térmica, eléctrica y cogeneración (Biomass Users Network, 2002; De Lucas et al., 2012; Sebastián & Royo, 2002). En la figura 18 se muestran los procesos de conversión de la biomasa y las formas de energía que se obtienen a partir de los biocombustibles.

Debido a que los dispositivos de combustión directa son los que más abundan por su capacidad térmica en la utilización, que va con unos pocos kilowatts (kW) en las cocinas domésticas hasta varias decenas de megawatts (MW) en las instalaciones de calefacción, los cuales tienen rendimientos de la conversión que oscilan entre 8 a 18 por ciento en cocinas simples de uso corriente en países en desarrollo, hasta 90 por ciento o más en los sistemas de calefacción modernos (FAO, 2004).

2.9.2. Energía eléctrica

Tamayo et al. (2016) considera a la energía eléctrica o también electricidad como una fuente de energía secundaria, debido a que se genera a partir del consumo de fuentes de energía primaria como carbón, petróleo, energía nuclear o energía cinética y potencial gravitatorio del agua, o también, a partir de fuentes de energías renovables, siendo éstas, fuentes naturales e inagotables en una escala humana de tiempo, como el sol, el viento, el calor de la tierra, el mar, los ríos y la materia orgánica o biomasa. Biomass Users Network (2002) señala que la energía eléctrica generada a partir de los recursos biomásicos puede ser comercializada como energía verde, debido a que no contribuye al efecto invernadero por estar libre de emisiones de dióxido de carbono (CO₂).

De Lucas et al (2011) mencionan que la energía eléctrica se obtiene “minoritariamente a partir de biomasa residual (restos de cosecha y poda, orujillo y el alperujo) y principalmente a partir de cultivos energéticos leñosos, de crecimiento rápido y herbáceos”. Asimismo, se utiliza el biogás resultante de la fermentación de ciertos residuos como los lodos de depuradora o residuos sólidos urbanos (RSU) para generar electricidad. La producción de electricidad precisa de sistemas aún más complejos debido al bajo poder calorífico de la biomasa, su alto porcentaje de humedad y su gran contenido en volátiles.

El calor de combustión puede ser empleado directamente, o para producir vapor que genera electricidad por medio de máquinas a pistón o turbinas (Carrillo, 2004). No obstante, la producción de electricidad se basa principalmente en el ciclo tradicional del vapor, teniendo un rendimiento aproximado de 30 por ciento y una capacidad mayor a los 300 kilowatts (FAO, 2004). No obstante, Sebastián & Royo (2002) mencionan que la tecnología más adecuada que se emplea para la generación de energía eléctrica está en función del tipo y cantidad de biomasa disponible. Siendo éstas: ciclo de vapor, turbina de gas, ciclo

combinado y motor alternativo. En la tabla 16 se presentan los sistemas de generación de energía a partir de biomasa.

- Ciclo de vapor: está basado en la combustión de biomasa, a partir de la cual se genera vapor que es posteriormente expandido en una turbina de vapor.
- Turbina de gas: utiliza gas de síntesis procedente de la gasificación de un recurso sólido. Si los gases de escape de la turbina se aprovechan en un ciclo de vapor se habla de un ciclo combinado.
- Motor alternativo: utiliza gas de síntesis procedente de la gasificación de un recurso sólido o biogás procedente de una digestión anaeróbica.

Tabla 16: Sistemas de generación de energía a partir de biomasa

Tecnología	Biomasa	Tamaño	Comentarios
Ciclo de vapor	Sólida	> 4 MW eléctricos	
Turbina de gas	Gas de síntesis	> 1 MW eléctricos	Sobre todo, para cogeneración
Ciclo combinado	Gas de síntesis	> 10 MW eléctricos	
Motor alternativo	Gas de síntesis o biogás	> 50 MW eléctricos	Sobre todo, para cogeneración

Fuente: Sebastián & Royo (2002)

2.9.3. Cogeneración (calor y electricidad)

Biomass Users Network (2002) menciona que “la co-generación se refiere a la producción simultánea de vapor y electricidad, la cual se aplicaría en muchos procesos industriales que requirieran ambas formas de energía”. Esta forma de energía es muy común en los ingenios de azúcar de América Central, donde se aprovecha los desechos del proceso, siendo principalmente el bagazo. Asimismo, Sebastián & Royo (2002) señalan que la co-generación tiene como principio de funcionamiento el aprovechamiento de los calores residuales de los sistemas de producción de electricidad. Además, esta tecnología presenta rendimientos superiores con respecto a los sistemas de producción de energía térmica o eléctrica por separado.

2.10. Potencial energético de la biomasa

Escalante et. al. (2011) mencionan que “para estimar la energía contenida en la biomasa, es necesario evaluar su potencial energético, el cual se define como la energía química de la biomasa que puede ser transformada para su aprovechamiento energético”. Esta energía se mide en unidades de energía por unidad de tiempo y se obtiene del producto entre la masa del residuo y su contenido energético.

2.10.1. Potencial energético de la biomasa residual agrícola y forestal

La Picirelli et. al. (2021) mencionan con respecto a la biomasa residual agrícola y forestal que “el potencial de biomasa es una función de la disponibilidad de biomasa, que a menudo depende de factores físicos, técnicos, económicos y ambientales. Se identifican tres tipos de potenciales en teórico, técnico y económico”. Según este criterio, en la Figura 19 se presenta la definición y contexto de los recursos potenciales de los cultivos agrícolas y forestales para la obtención de energía.

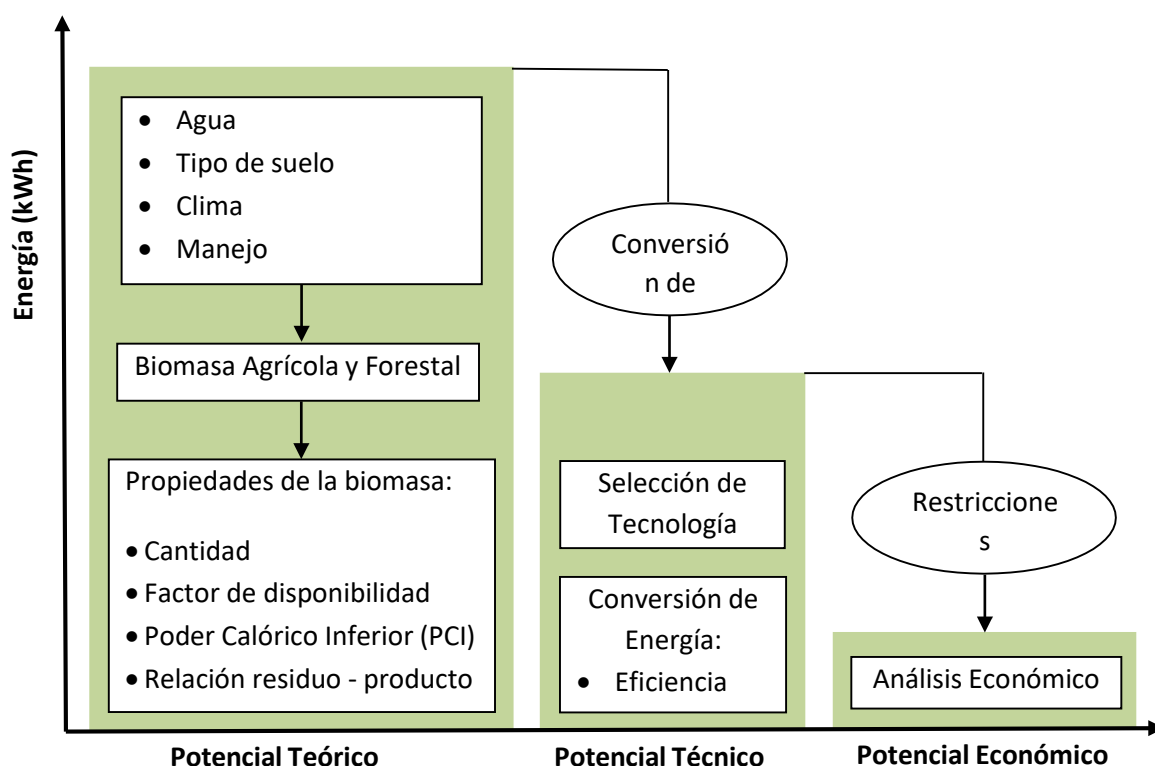


Figura 19: Definición y contexto de los recursos potenciales de los cultivos agrícolas y forestales
Fuente: La Picirelli et al. (2021)

a. Potencial energético teórico

La Picirelli et. al. (2021) mencionan que el potencial teórico se define como la cantidad máxima de biomasa teóricamente disponible para fines energéticos, sin considerar la biomasa para alimentos y material industrial, es expresado en julios (J) o también en kilovatios hora (kWh). Este potencial teórico considera los límites fundamentales de la biomasa en una región específica con respecto al área cultivada y el rendimiento de biomasa del cultivo. Asimismo, para estimar los rendimientos de biomasa de los cultivos energéticos se pueden utilizar parámetros como las características del suelo, las condiciones climáticas y las características del cultivo. El potencial energético teórico de la biomasa identifica la producción anual total de energía de biomasa a partir de residuos agrícolas y forestales. Este potencial es una función de la productividad anual de cultivos y bosques, la relación de residuos a producto y los residuos disponibles. En línea con la preservación del carbono orgánico y los nutrientes en el suelo, el factor de disponibilidad representa la fracción permisible de recolección de residuos. A partir de la ecuación (3) se determina el potencial de biomasa teórico:

$$E_{\text{Teórico}} = \sum_1^n P * AF * PCI * RRP \quad (3)$$

Donde P es la cantidad de productos forestales y cultivos producidos por año en toneladas; AF es el factor de disponibilidad que indica la fracción de residuo disponible para ser recolectado para uso energético en términos porcentuales; PCI es el poder calorífico inferior de los residuos de biomasa en MJ / kg y RRP es una relación de residuo a producto.

Cáceres et al. (2016) menciona que “el potencial energético teórico se entenderá como el máximo contenido energético posible a obtener de la combustión de toda la biomasa seca generada”.

b. Potencial energético técnico

Según La Picirelli et. al. (2021) mencionan que “el potencial técnico representa la fracción del potencial teórico disponible para la producción de energía en las condiciones y limitaciones actuales”. El potencial técnico en Joule (o kWh) describe la contribución práctica al potencial energético teórico, el cual considera las tecnologías de conversión de energía, eficiencia, restricción ecológica y legal. Es decir, solo se puede explotar una parte del potencial energético teórico. Asimismo, señalan que el potencial técnico anual es la

fracción del potencial teórico afectado por las selecciones tecnológicas en el plazo considerado y, en consecuencia, la eficiencia de conversión energética de las tecnologías. Finalmente, después de seleccionar las tecnologías de conversión de biomasa e identificar las características regionales para instalar nuevas centrales eléctricas. A partir de la ecuación (4) se determina el potencial de biomasa técnico:

$$E_{\text{Técnico}} = \sum_1^n E_{\text{Teórico}} * \eta \quad (4)$$

Donde $E_{\text{Teórico}}$ es el potencial teórico por año en J y η es la eficiencia de conversión de energía de las tecnologías en términos porcentuales.

Cáceres et al. (2016) definen al potencial energético técnico como “la energía máxima que se puede obtener de la combustión de la biomasa realmente disponible para este fin”.

c. Potencial energético económico

El potencial económico es parte del potencial energético técnico debido a que cumple con los criterios de rentabilidad económica dentro de un marco dado. Por ello, para evaluar el potencial económico se considerará los aspectos financieros como el costo-beneficio y el precio de la energía (La Picirelli et. al., 2021). Según esta definición el potencial económico considerando el radio económico se determina a partir de la ecuación (5):

$$E_{\text{Tecno-económico}} = \sum_1^n E_{\text{Técnico}} * r \quad (5)$$

Donde: $E_{\text{Técnico}}$ es el potencial técnico anual de los residuos agroforestales en J y r es el radio económico en términos porcentuales.

Según Budí (2016), la viabilidad económica para el aprovechamiento de la biomasa residual agrícola va a depender de dos criterios. En primer lugar, el marco de plantación de cada especie varía en función de la zona de cultivo y se determina la densidad del arbolado, de modo que la cantidad de la biomasa disponible puede variar de unos campos a otros. En segundo lugar, la intensidad de las podas varía en relación a la edad de los árboles e incluso de las prácticas agronómicas de cada región, dependientes del objetivo de productividad, de la especie o del clima. No obstante, estos criterios van a dificultar la realización de estudios detallados y exhaustivos de la cantidad de biomasa disponible.

III. METODOLOGÍA

3.1. Área de estudio

3.1.1. Ubicación geográfica

El área de estudio está ubicada en el Campus Principal o Campus 1 de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), teniendo como coordenadas geográficas 12° 04' 54.92'' de latitud Sur, 76° 56' 53'' de longitud Oeste y una altitud que varía de 350 m.s.n.m. a 900 m.s.n.m. Políticamente el campus de la UNALM se ubica en el distrito de La Molina, provincia de Lima, departamento de Lima.

El Campus 1 de la Universidad Nacional Agraria La Molina tiene un área total de 160.03 hectáreas, donde se encuentran las unidades de producción: Programa de Investigación y Proyección Social El Fundo, Programa de Hortalizas El Huerto, Programa de Investigación y Proyección Social en Frutales pertenecientes a la Facultad de Agronomía y los Programas de Investigación y Proyección Social de la Facultad de Zootecnia. Asimismo, se encuentran las áreas verdes donde están las principales especies forestales. En la figura 20 se presenta el Campus 1 de la UNALM donde se indica la ubicación de los sitios de muestreo de la biomasa residual de las unidades de producción del presente estudio.



Figura 20: Ubicación de las unidades de producción en el área de estudio
Fuente: Google Earth.

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Fase de campo

Para la recolección de muestras de biomasa residual se requirió de los siguientes materiales y equipos que se detallan a continuación:

- a. Materiales:
 - Guantes de nitrilo
 - Mascarilla
 - Bolsas Ziploc de polietileno
 - Caja térmica de Tecnopor
 - Balde de plástico
 - Espátulas
 - Lapiceros
 - Libreta de apuntes.
- b. Equipos
 - Mandil de laboratorio
 - Botas caña alta
 - Cámara fotográfica

3.2.2. Fase de laboratorio

Para los análisis de las muestras de biomasa residual en laboratorio se utilizaron los siguientes materiales y equipos que se detallan a continuación:

- a. Materiales:
 - Vasos de precipitado de 100 mL.
 - Espátulas
 - Escofinas para madera
 - Crisoles cerámicos con tapas cerámicas
 - Crisoles metálicos
 - Crisoles cerámicos (barco)
 - Cápsulas de estaño
 - Cucharas de muestra
 - Pinzas

- Hilos de algodón
- Alambres de ignición
- Agua destilada.

b. Equipos:

- Horno de estufa ($105 \pm 3^{\circ}\text{C}$)
- Campana de desecación provista de silicagel
- Tamiz No. 60 ($250 \mu\text{m}$) ASTM
- Mortero de porcelana con pilón de 100 MI
- Balanza analítica de 100 gr de capacidad con precisión de 0.1 mg.
- Estación de carga y descarga de oxígeno.
- Analizador termogravimétrico TGA701
- Analizador elemental CHN628, O628 y S628.
- Calorímetro AC600 de la marca LECO.
- Bomba calorimétrica
- Computadoras de control Windows 7 profesional 864 bits con Software de los analizadores de la marca LECO.
- Laptop para la redacción de la investigación y el procesamiento de datos con servicio de internet.

3.3.Método

En el presente trabajo de investigación se determinó las fuentes de biomasa residual agrícola, forestal y pecuaria que se generan en las unidades de producción y áreas verdes de la UNALM que presentan un alto contenido energético como potencial para el aprovechamiento de las necesidades energéticas de las Unidades de Producción de la UNALM. Por consiguiente, en la figura 21 se presenta la metodología que se desarrolló en la presente investigación:

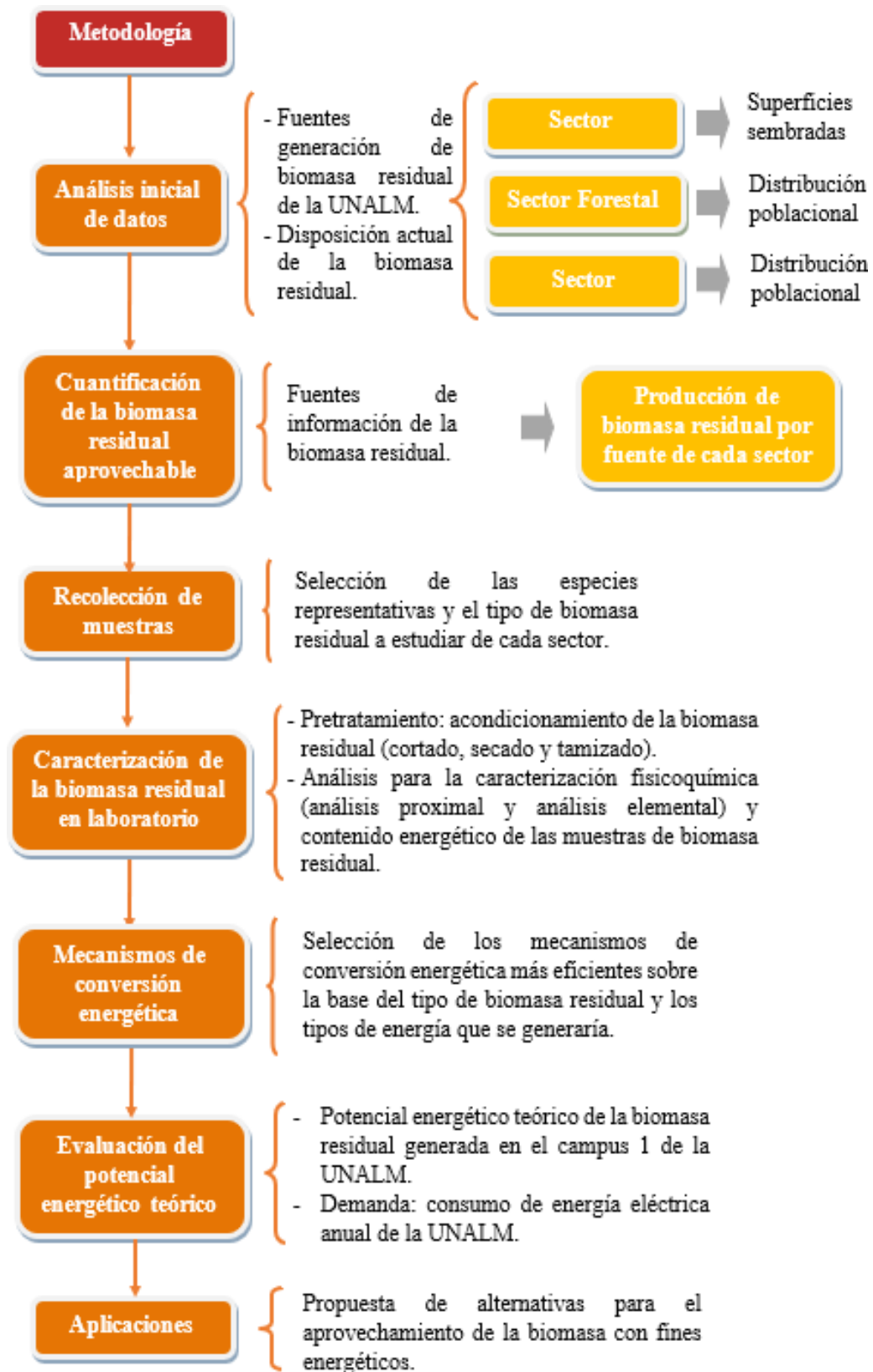


Figura 21: Diagrama de Flujo para determinar potencial energético a partir de la biomasa residual a escala anual.

3.3.1. Análisis inicial de datos

a. Fuentes de generación de biomasa residual

En la primera fase de la investigación se identificaron las superficies sembradas de los cultivos y la distribución poblacional de las fuentes generadoras de biomasa residual del sector agrícola (cultivos agrícolas temporales y perennes), sector forestal (población de especies forestales) y sector pecuario (población de animales) de las unidades de producción y áreas verdes del Campus 1 de la UNALM. En la figura 22, se esquematiza las fuentes generadoras de biomasa residual y sus respectivos residuos obtenidos en cada unidad de producción y áreas verdes.

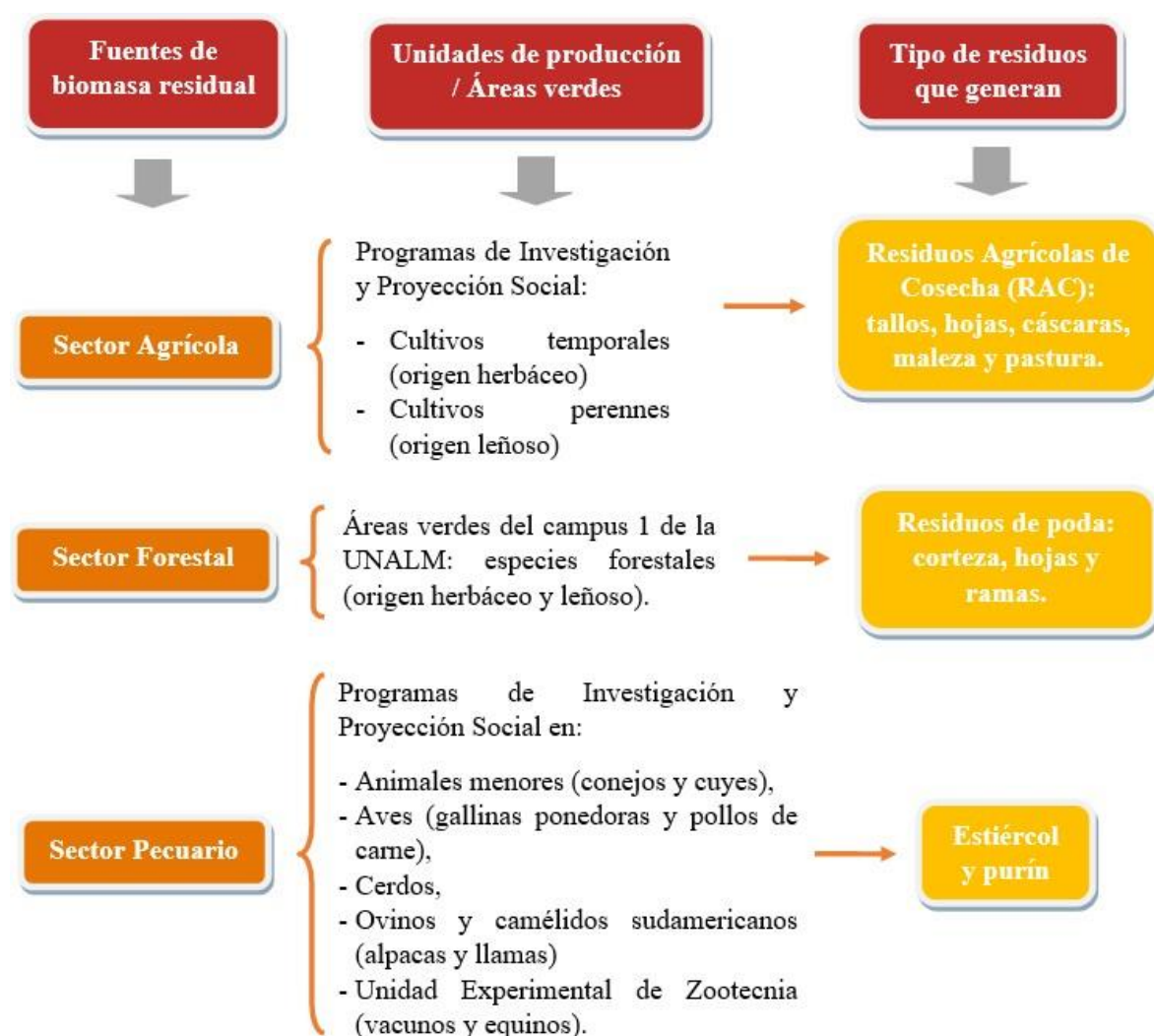


Figura 22: Fuentes de biomasa residual obtenidas en las unidades de producción y áreas verdes de la UNALM

- Descripción del sector agrícola

Las unidades de producción del sector agrícola en el campus de la UNALM pertenecen a la Facultad de Agronomía. En la tabla 17 se detalla las principales unidades de producción y los cultivos agrícolas que se producen en cada una de ellas.

Tabla 17: Unidades de producción de cultivos agrícolas de la UNALM

Nombre de la Unidad de Producción	Cultivos
Programa de Algodón	Algodón
Programa de Cereales y Granos Nativos	<ul style="list-style-type: none"> - Cereales: avena, arroz, cebada, trigo y triticale. - Granos nativos: cañihua, kiwicha y quinua.
Programa de Frutales	<ul style="list-style-type: none"> - Cítricos: mandarina (Satsuma), naranja (Valencia, Washington y Navel, toronjas (Marsh y Red Blush) - Palto (Hass, Nabal y Fuerte) y - Lúcumo (selecciones de Seda, Beltrán, San Hilarión y Palo). - Otros: bananeros, chirimoyo, durazno, fresa, manzano y pecano.
Programa de Hortalizas El Huerto ¹	<ul style="list-style-type: none"> - Hierbas aromáticas (40 especies): chincho, hinojo, romero, entre otros. - Hortalizas (30 especies): apio, beterraga, brócoli, col, coliflor, lechuga, poro, rabanito, tomate, zapallo italiano, entre otras. - Especies forestales: Bugarvilla, Huaranhuay, Laurel, Molle Serrano, Neem, Ombú, Palmera, Sauce, Tipa entre otras.
Programa de Leguminosas de grano	Frijol de Castilla, garbanzo, habas y lentejas.
Programa Maíz	Maíz
Programa de Investigación y Proyección Social en Raíces y Tuberosas (PIPS - RT)	Arracacha, camote, maca, mashua, oca, olluco, papa, yacón y yuca.

Nota: (1) la información de los cultivos y cantidad de especies fue obtenida de personal responsable del programa de Hortalizas El Huerto.

En base a la información obtenida en la tabla 17, se procedió en la identificación de los cultivos agrícolas perennes y temporales de las unidades de producción de la UNALM generadores de biomasa residual. Esta clasificación se detalla en la figura 23.

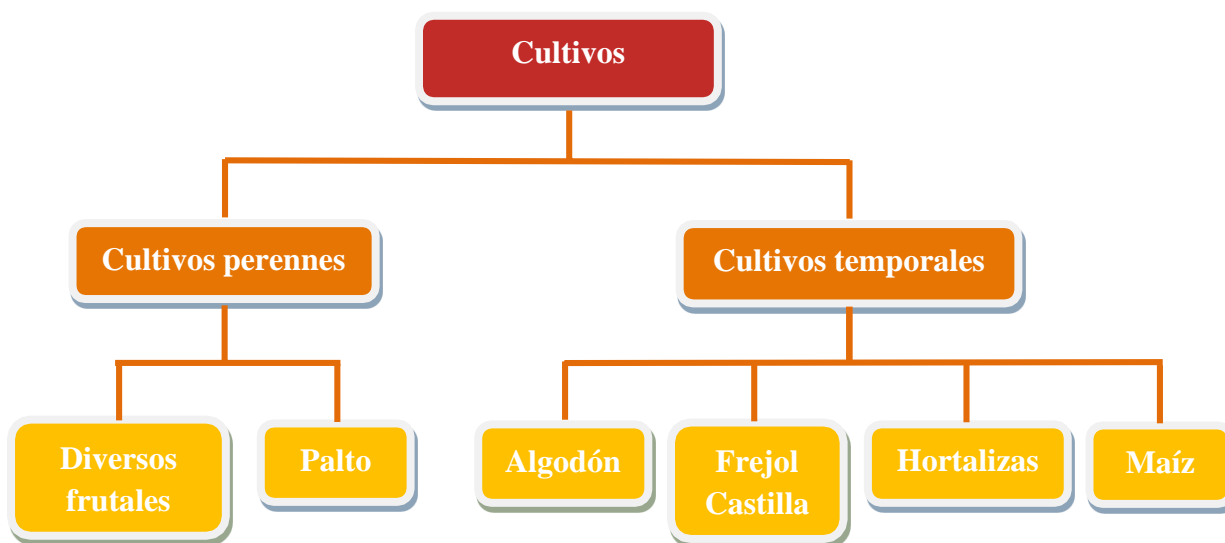


Figura 23: Principales cultivos agrícolas generadores de biomasa residual

En la tabla 18 se presenta la superficie sembrada de los cultivos lignocelulósicos herbáceos y leñosos en estudio del sector agrícola de la UNALM, los datos fueron obtenidos a partir de la referencia bibliográfica de la zona de estudio por Meza (2014) y proporcionados por el programa de Hortalizas El Huerto.

Tabla 18: Superficie sembrada de principales cultivos agrícolas de la UNALM

Cultivos	Fuente	Superficie sembrada (Ha)
Herbáceos	Algodón ²	2.96
	Maíz ²	4.81
	Hortalizas ¹	8
	Leguminosas (frejol Castilla) ²	1.89
Leñosos	Palto ²	15.01
	Diversos frutales ²	1.77

Nota: (1) la información de los cultivos y cantidad de especies fue obtenida del personal responsable del programa de Hortalizas El Huerto. (2) información tomada de la referencia de estudio de Meza (2014).

- Descripción del sector forestal

Las fuentes generadoras de biomasa residual forestal del campus de la UNALM, fueron obtenidos a partir de la referencia bibliográfica de la zona de estudio por Orellana (2014), quien en su estudio elaboró el inventario forestal y llegó a identificar un total 46 especies de importancia forestal de las cuales 42 son especies de árboles y 4 especies de palmeras, con un total de 1838 individuos. En la figura 24 se indican las principales especies forestales del campus UNALM de este inventario, que presentan cantidad de individuos mayores a 50.

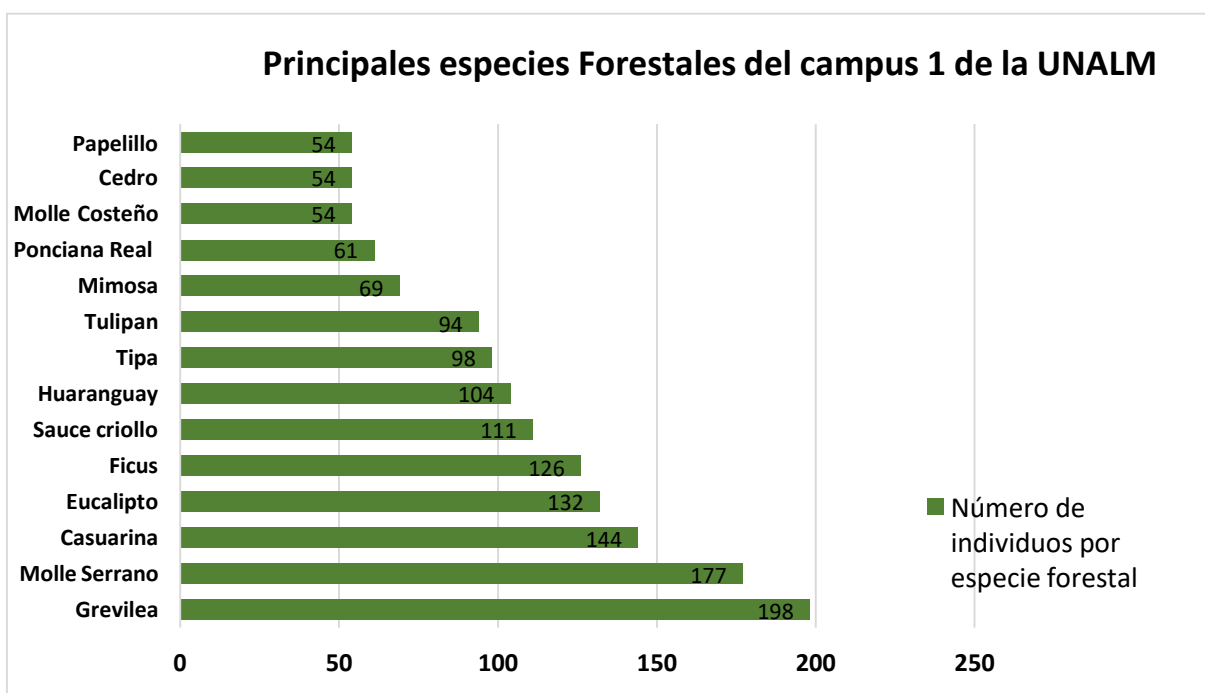


Figura 24: Principales especies forestales del campus 1 de la UNALM.
Fuente: Adaptado de G. Orellana (2014).

- Descripción del sector pecuario

Los programas de investigación del sector pecuario en el campus de la UNALM pertenecen a la Facultad de Zootecnia. Para determinar la distribución poblacional por especie pecuaria se elaboró las plantillas descriptivas las cuales fueron proporcionadas a cada programa de investigación para el registro de información de las especies del sector pecuario de la UNALM, estas planillas se adjuntan en el Anexo 4 del presente estudio. Parte de esta información fue el número de cabezas por especie, el cual se detalla en la tabla 19, donde se describe el número de cabezas por especie pecuaria correspondiente al año 2020.

Tabla 19: Distribución poblacional de las especies pecuarias del campus 1 de la UNALM

Programa de Investigación	Fuente de biomasa	N° de cabezas (Año 2020)
En ovinos y camélidos americanos	Ovinos	120
	Llamas	13
	Alpacas	16
	Crecimiento + acabado	136
En cerdos	Hembras gestantes	48
	Hembras lactantes	8
	Machos (reproducción)	8
Unidad Experimental de Zootecnia	Vacunos	103
	Caballo	27
	Terneros	103
En animales menores	Cuyes	202
	Conejos	91
En aves	Gallinas ponedoras	1500
	Pollos de carne	1800

Nota: El número de cabezas se obtuvo de las plantillas descriptivas de cada programa correspondiente al año 2020.

b. Disposición actual de la biomasa residual

Actualmente, de acuerdo al Plan de Gestión Integral de Residuos Agroforestales de la UNALM, la disposición de la biomasa residual generada en las unidades de producción y áreas verdes está a cargo del Centro Modelo de Tratamiento de Residuos (CEMTRAR) donde realiza su valorización, ello debido a que está prohibido la quema de estos residuos. Por ello, los residuos agrícolas durante la cosecha o poda de cultivos, residuos forestales generadas en las actividades de limpieza y mantenimiento de las áreas verdes, tanto de especies leñosas como herbáceas, incluido las malezas que se originan en los campos agrícolas y áreas verdes son transportados a los puntos de acopio temporales ubicados dentro del Campus 1 para ser trasladados a CEMTRAR para su posterior valorización como compostaje (residuos herbáceos) y para la producción de biochar (residuos leñosos). En la figura 25 se presenta la actividad de mantenimiento de áreas verdes y recojo de residuos a cargo de la Oficina de Servicios Generales y posterior traslado a CEMTRAR.



Figura 25: Mantenimiento de áreas verdes y recojo de residuos agroforestales del campus 1 de la UNALM.

En el caso de los residuos pecuarios generados en las unidades de producción de la Facultad de Zootecnia, éstos son dispuestos una parte como abono de los campos agrícolas de la UNALM y otra parte es transportado al Centro Modelo de Tratamiento de Residuos (CEMTRAR) para su posterior valorización como compostaje. A continuación, en la figura 26 se presenta la valorización mediante compostaje de los residuos agroforestales y pecuarios, y malezas generadas en el campus 1 de la UNALM.



Figura 26: Pilas de compostaje a partir de residuos agroforestales y pecuarios; y malezas en la UNALM.

En la tabla 20 se presenta el tipo de tratamiento para su valorización de la biomasa residual generado en cada sector según la clasificación de residuos generados por la UNALM (Anexo 1) y las plantillas descriptivas de biomasa residual pecuaria (Anexo 4).

Tabla 20: Tipo de tratamientos para la valorización de la biomasa residual

Sector	Fuente	Tratamiento (Valorización)		
		<u>Abono</u>	<u>Compostaje</u>	<u>Biochar</u>
	Cultivos agrícolas herbáceos ¹		X	
Agrícola	Cultivos agrícolas leñosos			X
Forestal	Arbustos (origen herbáceo) ¹		X	
	Árboles (origen leñoso)			X
Pecuario	Varias especies de animales	X	X	

Nota: (1) se incluye las malezas.

3.3.2. Cuantificación de la biomasa residual aprovechable

La segunda fase de la investigación consistió en buscar fuentes de información disponible para cuantificar el potencial de biomasa residual agrícola, forestal y pecuaria aprovechable procedentes de las áreas de producción de las facultades de Agronomía y Zootecnia, así como de las áreas verdes de la Universidad Nacional Agraria La Molina, según las especies agrícolas, forestales y pecuarias representativas y el tipo de biomasa residual. Para la cuantificación de biomasa residual se calculó con los datos reportados y estimados para el año 2020.

a. Cuantificación de biomasa residual agrícola

La cuantificación de la biomasa residual agrícola se determinó utilizando las expresiones propuestas por la Secretaría General de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (2008), según las superficies de los distintos cultivos, el potencial de biomasa residual asociado a la superficie sembrada se estima utilizando un índice de producción de residuo específico de cada cultivo. El índice de residuo (IR) relaciona la producción de residuos con el rendimiento productivo del cultivo (kg de residuo/ kg de producto) o con la superficie (kg de residuo/Ha*año). La biomasa residual se calcula mediante la ecuación (6) o ecuación (7), según se utilice un IR basado en el rendimiento o en la superficie:

- Biomasa residual basado en el rendimiento:

$$\text{BRA (kg/año)} = S \text{ (Ha)} * \eta \text{ (kg producto/Ha*año)} * \text{IR (kg residuo/kg producto)} \text{ (6)}$$

- Biomasa residual basado en la superficie:

$$\text{BRA (kg/año)} = S \text{ (Ha)} * \text{IR (kg residuo/Ha*año)} \text{ (7)}$$

Donde: BRA es la cantidad de biomasa residual agrícola, S es la superficie del cultivo determinado, η es el rendimiento de cosecha del cultivo e IR es el índice de residuo específico de cada cultivo.

Para cuantificar la biomasa residual agrícola que genera en el sector agrícola de la UNALM se buscó información de los rendimientos de cosecha (kg producto/Ha*año) de los cultivos agrícolas en estudio de acuerdo con la información de las entidades nacionales y los índices de residuos basado en la superficie sembrada (kg residuos/hectárea sembrada por año) o en

el rendimiento (kg residuos/kg producto), de acuerdo con la información de datos de literatura. Se logró disponer de información de los cultivos a partir de diversas referencias bibliográficas de zonas similares en el presente estudio respecto a los cultivos de algodón, maíz y palto, debido a que presentan mayor superficie (Ha) sembrada. En la tabla 21 se presentan los rendimientos de cosecha e índices de residuo de los cultivos agrícolas.

Tabla 21: Rendimientos de cosecha e índices de residuo de los cultivos agrícolas

Cultivo	Tipo de biomasa residual	Rendimiento de cosecha (kg producto/ Ha*año)	Índice de residuo (kg residuo/Ha*año)	Índice de residuos (kg residuo/kg producto)
Algodón	Broza	3752.74 ^a	---	1.8 ^d
Maíz	Rastrojo	7500 ^b	---	2.0 ^d
Palto	Poda	11048 ^c	2000 ^d	---

Nota: (a) la producción de algodón se obtuvo del Instituto Nacional de Innovación Agraria INIA (2012). (b) la producción de maíz se obtuvo del Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (2015). (c) la producción de palta se obtuvo de León (2013). (d) Los índices de residuo fueron obtenidos de la Secretaría General de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (2008).

b. Cuantificación de biomasa residual forestal

Actualmente, la Unidad de Servicios Generales está a cargo de la Sección de Parques y Jardines, encargada de las operaciones de mantenimiento de parques y jardines, donde la actividad de poda de las especies forestales se realiza de manera general, es decir, no se mide la cantidad de biomasa residual de cada especie forestal. Por ello, para determinar la producción de biomasa residual forestal que se genera en las áreas verdes del Campus 1 de la UNALM se buscó información de la cantidad de biomasa residual de las especies forestales en estudio a partir de referencias bibliográficas que describen los modelos matemáticos para determinar la biomasa aérea forestal, según Fernández & Oliver (2014) consideran que el conjunto de su biomasa aérea ahora se considera como la biomasa residual forestal.

Sebastián et. al. (2010), distinguen dos métodos para la elaboración de índices o ecuaciones de biomasa forestal, siendo estas estimaciones directa e indirecta. La estimación directa consiste en pesar la biomasa residual obtenidas en parcelas de muestreo tras un tratamiento selvícola y genera índices medios por hectárea por especie. En cambio, la estimación indirecta se realiza en base a ecuaciones de biomasa obtenidas de una muestra de árboles

tipo para obtener el índice de biomasa, siendo los modelos de regresión que mejor resultado han dado para el peso de biomasa son los tipo alométricos y los polinómicos.

Begazo & Jave (2018) estimaron la biomasa aérea total de especies arbóreas del Bosque simulado y Plantación forestal del Vivero Forestal de la Facultad de Ciencias Forestales (FCF) de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Estas especies arbóreas fueron: Grevilea (*Grevillea robusta*), Huaranguay (*Tecoma stans*) y Molle peruano (*Schinus molle*), siendo las especies forestales seleccionadas para el presente estudio. Ensayaron varios modelos alométricos para las tres especies estudiadas para determinar la biomasa aérea a partir de variables dasométricas como el DAP (diámetro a la altura del pecho del árbol a 1.30 m), la altura comercial (hc) y la altura total (ht). Posteriormente, seleccionaron el modelo linealizado: $\ln(B) = \beta_0 + \beta_1 \ln(\text{dap})$, el cual utiliza una variable (DAP) y valores de coeficiente de determinación (R^2) mayores a 0.8. En la tabla 22 se presentan los modelos alométricos y estadísticos utilizados para determinar la biomasa residual forestal (kg/árbol) total de las especies de estudio generados en la UNALM.

Tabla 22: Modelos alométricos para determinar la biomasa residual forestal

Especie forestal	β_0	β_1	R^2	Ecuación
Grevilea (<i>Grevillea robusta</i>)	-2.0082	2.3293	0.99	$\ln(BT) = -2.0082 + 2.3293 \times \ln(\text{dap})$
Huaranguay (<i>Tecoma stans</i>)	-2.9409	2.6935	0.93	$\ln(BT) = -2.9409 + 2.6925 \times \ln(\text{dap})$
Molle peruano (<i>Schinus molle</i>)	-3.3201	1.4834	0.99	$\ln(BT) = -3.3201 + 1.4834 \times \ln(\text{dap})$

Fuente: Adaptado de Begazo & Jave (2018).

Nota: β_0 y β_1 parámetros del modelo; R^2 : Coeficiente de Determinación; BT: biomasa aérea total y dap: diámetro a la altura del pecho del árbol a 1.30 m.

Asimismo, Begazo & Jave (2018) determinaron la biomasa aérea por componente estructural en las especies arbóreas: Grevilea (*Grevillea robusta*), Molle peruano (*Schinus molle*) y Huaranguay (*Tecoma stans*). Para ello, realizaron el trabajo de campo mediante el ensayo destructivo de cada árbol seleccionado y midieron las variables dasométricas de la muestra de cada especie. Finalmente, cada árbol fue dividido en secciones (tronco, hojas y ramas) para su registro del peso húmedo de cada componente. En la tabla 23 se presentan los valores de la biomasa residual forestal (kg/árbol) de las especies de estudio.

Tabla 23: Valores de la biomasa (kg/árbol) por especie de estudio de la UNALM

Especie forestal	N	Variables dasométricas ^a			Biomasa total (kg)	Biomasa fuste (kg)	Biomasa ramas (kg)	Biomasa hojas (kg)
		DAP (cm)	Altura total (m)	Altura comercial (m)				
Grevilea (Grevillea robusta)	15	12.40	14.50	7.40	68.49	54.03	11.90	2.57
Huaranguay (Tecoma stans)	15	10.50	7.80	2.76	43.18	19.54	22.03	1.60
Molle peruano (Schinus molle)	14	10.70	6.90	2.40	32.94	15.31	16.19	1.44

Fuente: Adaptado de Begazo & Jave (2018).

Nota: a) valores promedios de las variables dasométricas; N: cantidad de muestra para el ensayo destructivo; y DAP: diámetro a la altura del pecho del árbol a 1.30 m

Para la cuantificación de la biomasa residual forestal se consideró que el tratamiento de mantenimiento de áreas verdes (residuos de poda: ramas y hojas) se realiza anualmente. Por ello, se determinó a partir de la biomasa residual de ramas y hojas (kg /árbol*año) de acuerdo con los datos de literatura y del número total actual de árboles por especie que se encuentran hasta el 2020, según se detalla en la tabla 24.

Tabla 24: Valores de la biomasa residual conformado por ramas y hojas (BRr-h)

Especie forestal	Número de árboles de la UNALM			BRr-h ^c (kg/árbol*año)
	Campus 2014 ^a	Vivero Forestal 2018 ^b	Campus 2020	
Grevilea (Grevillea robusta)	198	15	183	14.47
Huaranguay (Tecoma stans)	104	15	89	23.63
Molle peruano (Schinus molle)	177	14	163	17.63

Nota: a) datos obtenidos de Orellana (2014); b) datos obtenidos de Begazo & Jave (2018); y c) valores obtenidos de la suma de biomasa ramas y biomasa hojas de la tabla 23.

Por tanto, a partir de la ecuación **(8)** se determina la cuantificación de la biomasa residual forestal:

$$BRF \text{ (kg/año)} = NF \text{ (árboles)} * BRr-h \text{ (kg/árbol*año)} \text{ (8)}$$

Donde: BRF es la cantidad de biomasa residual forestal, NF es el número de árboles por especie forestal y BRr-h es la biomasa residual de ramas y hojas por especie forestal.

c. Cuantificación de biomasa residual pecuaria

La cuantificación de la biomasa residual pecuaria se determinó a partir de la ecuación (9) mediante la producción de estiércol por animal (kg estiércol/cabeza) de acuerdo con los datos de la tabla 25 y las plantillas descriptivas (Anexo 4) y por el número de cabezas por especie:

$$\text{BRP (kg/año)} = \text{NA (cabezas)} * \text{Te (kg estiércol/cabeza* día)} * 365 \text{ (día/año)} \text{ (9)}$$

Donde: BRP es la cantidad de biomasa residual pecuaria, NA es el número de animales (cabezas) y Te es la tasa de producción de estiércol.

Para determinar la producción de biomasa residual pecuaria que genera en el sector pecuario de la UNALM se buscó información de la cantidad de estiércol que producen por día las especies pecuarias en estudio. En la tabla 25 se presenta la producción de estiércol según especie pecuaria según edad.

Tabla 25: Tasa de producción de estiércol según especie pecuaria

Especie pecuaria	Categoría	Tasa de Producción de estiércol (kg/cabeza*día)		Referencia
		Mín.	Máx.	
Cerdo	Cerdas, verracos	5.12	8.90	Agencia Andaluza de la Energía, 2011
	Reproductor		5.62	Serrato & Lesmes 2016
	Hembra lactante		7.37	Serrato & Lesmes 2016
	Hembra gestante		5.40	Serrato & Lesmes 2016
	Recría, transición	2.60	4.08	Agencia Andaluza de la Energía, 2011
	Lechones	0.27	0.47	Agencia Andaluza de la Energía, 2011
Vacuno	Grande	27.40	33.48	Agencia Andaluza de la Energía, 2011
	Ternero	8.63	17.95	Agencia Andaluza de la Energía, 2011
Ovino	Hembras y machos	1.73	2.88	Agencia Andaluza de la Energía, 2011
	Corderos	0.96	1.62	Agencia Andaluza de la Energía, 2011
Aves	Gallinas ponedoras	0.07	0.14	Agencia Andaluza de la Energía, 2011
	Pollos de carne	0.02	0.04	Agencia Andaluza de la Energía, 2011
Equino	Caballos	6.66	11.10	Agencia Andaluza de la Energía, 2011
Animales menores	Conejos	0.15	0.2	Blumetto & Torres, 2005
	Cuyes		0.18	Lopez, 2019

Fuente: Elaboración propia con base en las fuentes citadas en la tabla.

3.3.3. Recolección de muestras

En la tercera fase de la investigación se identificaron los tipos de residuos que se obtienen del sector agrícola (residuos agrícolas de cosecha), sector forestal (restos de plantaciones) y

del sector pecuario (Estiércol). La recolección de muestras se realizó mediante los procedimientos para la toma de muestras de biomasa residual de los sectores agrícola y pecuaria establecidos por Escalante et al. (2011). Según las recomendaciones para realizar la debida toma de muestras y transporte, se garantizó la representatividad de la muestra.

a. Muestreo de biomasa residual agrícola

A partir de la información de la superficie sembrada e índices de residuo, se seleccionaron tres cultivos agrícolas: algodón, maíz y palto. Se recolectó las muestras utilizando el método de muestreo en zig-zag, el cual consistió en trazar una línea imaginaria en forma de zig-zag y se procedió a recolectar la muestra hasta completar la calidad necesaria de 0.250 kg aproximadamente. Las muestras recolectadas se guardaron en bolsas Ziploc de polietileno y debidamente rotuladas (Registro de toma de muestras: fecha, hora, lugar de muestreo, código, tipo de muestra y análisis) para su traslado al laboratorio.

- Muestreo de biomasa residual agrícola de algodón

En la figura 27 se presentan la superficie cultivada de algodón y recolección de muestra de la biomasa generada en el Programa en Algodón ubicado en El Fundo de la UNALM.



Figura 27: Superficie cultivada de algodón y recolección de muestra de restos de cosecha generada en la UNALM.

- Muestreo de biomasa residual agrícola de maíz

En la figura 28 se presentan la superficie cultivada de maíz y recolección de muestra de la biomasa generada en el Programa en Maíz ubicado en El Fundo de la UNALM.



Figura 28: Superficie cultivada de maíz y recolección de muestra de rastrojo generada en la UNALM.

- Muestreo de biomasa residual agrícola de palto

En la figura 29 se presentan la superficie cultivada de palto y recolección de muestra de la biomasa generada en el Programa en Frutales de la UNALM.



Figura 29: Superficie cultivada de palto y recolección de muestra de poda generada en la UNALM.

b. Muestreo de biomasa residual forestal

La biomasa residual que se obtiene del sector forestal está conformada por los residuos de poda dependiendo del tipo de especie forestal. Como resultado de la información del inventario de especies forestales y biomasa residual que generan, se seleccionaron tres especies forestales: Grevilea, Huaranguay y Molle serrano (Molle peruano). Las muestras recolectadas se guardaron en bolsas Ziploc de polietileno y debidamente rotuladas (Registro de toma de muestras: fecha, hora, lugar de muestreo, código, tipo de muestra y análisis).

- Muestreo de biomasa residual forestal de Grevilea

En la figura 30 se presentan la especie forestal Grevilea y la recolección de muestra de biomasa generada en las áreas verdes de la UNALM.



Figura 30: Especie forestal Grevilea y recolección de muestra de poda generada en las áreas verdes de la UNALM.

- Muestreo de biomasa residual forestal de Huaranguay

En la figura 31 se presentan la especie forestal Huaranguay y recolección de muestra de la biomasa generada en las áreas verdes de la UNALM.



Figura 31: Especie forestal Huaranguay y recolección de muestra de poda generada en las áreas verdes de la UNALM.

- Muestreo de biomasa residual forestal de Molle serrano (Molle peruano)

En la figura 32 se presentan la especie forestal Molle serrano (Molle peruano) y recolección de muestra de la biomasa generada en las áreas verdes de la UNALM.



Figura 32: Especie forestal Molle serrano y recolección de muestra de poda generada en las áreas verdes de la UNALM.

c. Muestreo de biomasa residual pecuaria

Las muestras de biomasa residual pecuaria obtenidas en las unidades experimentales de la facultad de Zootecnia - UNALM se realizaron mediante el método de muestreo del zig-zag, el cual consistió en trazar en la zona a ser muestreada (establo, porqueriza, granja o galpón de aves) una línea imaginaria en forma de zig-zag y se recolectó cierta cantidad de submuestras en un balde según el tamaño de la zona de muestreo para luego tomar una muestra homogénea y representativa para los análisis en el laboratorio. Se siguió el siguiente procedimiento para cada tipo de especies de animales:

- Muestreo de biomasa residual de vacunos, terneros y equinos

Se dividió la zona de muestreo (potrero) en un cuadrado que contenía la muestra de estiércol fresco o que estuviera como máximo 72 horas de permanencia en la zona para aplicar el método de muestreo del zig-zag. Luego, se utilizó guantes de nitrilo y con la espátula se recolectó la sub-muestra de estiércol tomada cada 15 pasos por la zona de muestreo y depositadas en un balde. Posteriormente, se obtuvo las sub-muestras (6 a 8 paladas por potrero) que fueron mezcladas homogéneamente en un balde y se tomó una muestra compuesta de 0.250 kg aproximadamente. En la figura 33 se presenta la recolección de la muestra de estiércol de las especies de vacunos, terneros y equinos generadas en la UNALM



Figura 33: Recolección de la muestra de estiércol a) vacunos y b) equinos (caballos) generados en la UNALM.

- Muestreo de biomasa residual de cerdos

El muestreo se realizó de la recolección de estiércol en carretilla que realiza el personal de la granja de cerdos diariamente, debido a que no está permitido el ingreso de personas ajenas a las salas (crecimiento y acabado, gestación, maternidad y reproducción) del programa en Cerdos. Seleccionándose el estiércol procedente de la sala de crecimiento y acabado debido a que el número de cabezas es superior respecto a otras categorías, a muestrear que contenía la muestra de estiércol. Posteriormente, se depositó el estiércol de aproximadamente 3 kg (dos paladas) en el balde. Luego, se utilizaron guantes de nitrilo y con la espátula se removió el estiércol del balde hasta que fuera homogénea y se tomó una muestra compuesta de 0.250 kg aproximadamente. En la figura 34 se muestra la recolección de la muestra de estiércol de la categoría de cerdos crecimiento y acabado generados en la UNALM.



Figura 34: Recolección de la muestra de purín de la categoría de cerdos crecimiento y acabado de la UNALM.

- Muestreo de biomasa residual de aves (gallinas ponedoras y pollos de carne)

Se identificó y seleccionó dos o tres galpones de aves que contenían excretas frescas. Luego, se utilizó guantes de nitrilo y con la espátula se recolectó de cada galpón una submuestra de 0.250 kg (dos paladas) aproximadamente tomada de diferentes puntos del galpón y se depositaron en el balde. Posteriormente, las dos o tres sub-muestras fueron mezcladas hasta que sea homogénea y se tomó una muestra compuesta de 0.250 kg aproximadamente. En la figura 35 se presenta la recolección de las muestras de estiércol de gallinas ponedoras y pollos de carne generadas en la UNALM.



Figura 35: Recolección de las muestras de estiércol de a) gallinas ponedoras y b) pollos de carne generados en la UNALM.

- Muestreo de biomasa residual de ovinos y camélidos americanos:

Se dividió la zona de muestreo (corral) en un cuadrado que contenía la muestra de estiércol fresco o que estuviera como máximo 72 horas de permanencia en la zona para aplicar el método de muestreo del zig-zag. Luego, se utilizó guantes de nitrilo y con la espátula se recolectó la sub-muestra de estiércol tomada cada 05 pasos por la zona de muestreo y depositadas en un balde. Posteriormente, se obtuvo las sub-muestras (03 a 06 paladas por corral) que fueron mezcladas homogéneamente en un balde y se tomó una muestra compuesta de 0.250 kg aproximadamente. En la figura 36 se presenta la recolección de las muestras de estiércol de ovinos, alpacas y llamas generadas en la UNALM.



Figura 36: Recolección de las muestras de estiércol de a) ovinos, b) llamas y c) alpacas generadas en la UNALM.

- Muestreo de biomasa residual de cuyes y conejos:

Se dividió la zona de muestreo (corral) en un cuadrado que contenía la muestra de estiércol fresco o que estuviera como máximo 72 horas de permanencia en la zona para aplicar el método de muestreo del zig-zag. Luego, se utilizó guantes de nitrilo y con la espátula se recolectó la sub-muestra de estiércol tomada cada 01 paso por la zona de muestreo y depositadas en un balde. Posteriormente, se obtuvo las sub-muestras (03 a 04 paladas por corral) que fueron mezcladas homogéneamente en un balde y se tomó una muestra compuesta de 0.250 kg aproximadamente. En la figura 37 se presenta la recolección de las muestras de estiércol de ovinos, alpacas y llamas generadas en la UNALM.



Figura 37: Recolección de las muestras de estiércol de a) cuyes y b) conejos generados en la UNALM

Finalmente, las muestras compuestas se guardaron en una bolsa Ziploc de polietileno, sin presencia de aire y debidamente rotuladas (Registro de toma de muestras: fecha, hora, lugar de muestreo, código, tipo de muestra y análisis) y fueron llenadas en una caja térmica de

tecnopor para ser transportada al laboratorio. En la figura 38 se presentan las muestras de estiércol de las especies pecuarias generadas en la UNALM trasladadas al Laboratorio de Energías Renovables.



Figura 38: Muestras de estiércol de las especies pecuarias generadas en la UNALM

3.3.4. Caracterización de la biomasa residual en laboratorio

Los análisis experimentales se realizaron en el Laboratorio de Energías Renovables perteneciente a la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional Agraria La Molina para realizar la caracterización fisicoquímica y de contenido energético de las muestras de biomasa residual mediante los métodos de la norma ASTM según el análisis. Primero, las muestras fueron previamente tratadas antes de su análisis en los equipos.

a. Pretratamiento de las muestras

Los pretratamientos realizados a las muestras dependieron del tipo de análisis, es decir, las muestras fueron previamente tratadas para obtener muestras en base húmeda y base seca. El procedimiento que se desarrolló se describe a continuación:

Las muestras obtenidas en la recolección (muestra de 0.250 kg.) fueron acondicionadas y homogeneizadas según el tipo de especie para obtener partículas de tamaño pequeño para su análisis. Las muestras de especies agrícolas y forestales fueron procesadas con una escofina para madera y las muestras de especies pecuarias fueron molidas en el mortero de porcelana. En la figura 39 se presenta el pretratamiento acondicionamiento y homogenización de las muestras de biomasa residual.

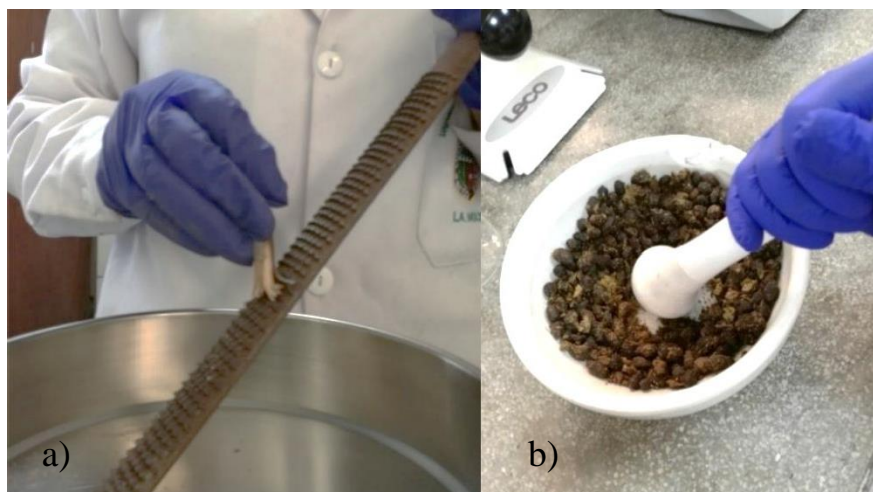


Figura 39: Acondicionamiento y homogenización de las muestras de biomasa residual de especies a) agrícolas y forestales y b) pecuarias

Luego de obtener la muestra acondicionada y homogénea, se tomó una submuestra y se pesó aproximadamente 0.150 kg. en un vaso de precipitado correspondientemente identificado. Las muestras fueron llevadas a la estufa a 105 °C durante 24 horas, después pasadas las 24 horas las muestras fueron colocadas en la campana de desecación provista de silicagel para que no adquieran humedad del ambiente hasta su molido, tamizado y análisis en base seca. Posteriormente, el restante de la muestra se colocó en el vaso de precipitados identificado para su análisis en base húmeda. En la figura 40 se presenta el procedimiento de pesado y secado en estufa de la muestra de biomasa residual.



Figura 40: Procedimiento de a) pesado y b) secado en estufa de la muestra de biomasa residual

Las muestras secas fueron molidas en el mortero de porcelana y luego fueron tamizadas en el tamiz No. 60 según la Norma Europea UNE-EN ISO 17827 2-2016. El material que pasó y quedó retenido por el tamiz fueron llenados en crisoles identificados y fueron colocadas en la campana de desecación para su análisis. En la figura 41 se detalla el procedimiento de molido y tamizado y las muestras obtenidas.



Figura 41: Procedimiento de a) molido, b) tamizado y c) muestras en base seca para su análisis

b. Análisis fisicoquímico

El análisis fisicoquímico consistió en cuantificar en la muestra el porcentaje en peso del análisis elemental (carbono, hidrógeno, nitrógeno, oxígeno y azufre) y análisis proximal (contenido de humedad, cenizas, materia volátil y carbono fijo).

- Análisis proximal o termogravimétrico

El análisis inmediato consistió en analizar las muestras de biomasa residual seleccionadas para determinar los parámetros de contenido de humedad, cenizas, materia volátil y carbono fijo en porcentaje en peso. Los análisis se realizaron en las muestras en base húmeda (tal como se recibe y pretratamiento) en el equipo analizador termogravimétrico TGA-701 LECO, de acuerdo con la norma norteamericana ASTM D7582. En la tabla 26 se presentan los requerimientos de análisis según la ASTM D7582.

Tabla 26: Requerimientos de la norma ASTM D7582 para el analizador termogravimétrico TGA701 LECO

Parámetro	Humedad	Material volátil	Cenizas
Rango de temperatura (°C)	25 – 107	107 - 950	600 - 750
Velocidad de calentamiento (°C/min.)	6	46	3
Atmósfera	Nitrógeno	Nitrógeno	Oxígeno
Velocidad de flujo (L/min.)	Alto (10)	Alto (10)	Bajo (3.5)
Unidades	% peso	% peso	% peso

El análisis se realizó por triplicado por muestra, para ello, se colocaron los crisoles cerámicos en el interior del equipo analizador TGA701 y se llenaron con la muestra hasta tener un peso que se encuentre en un rango de 0.9 g. a 1.2 g. Después de pesar las muestras, se procedió con el análisis según la norma ASTM D7582. En la figura 42 se presenta el procedimiento de análisis de las muestras en el equipo TGA-701 LECO.

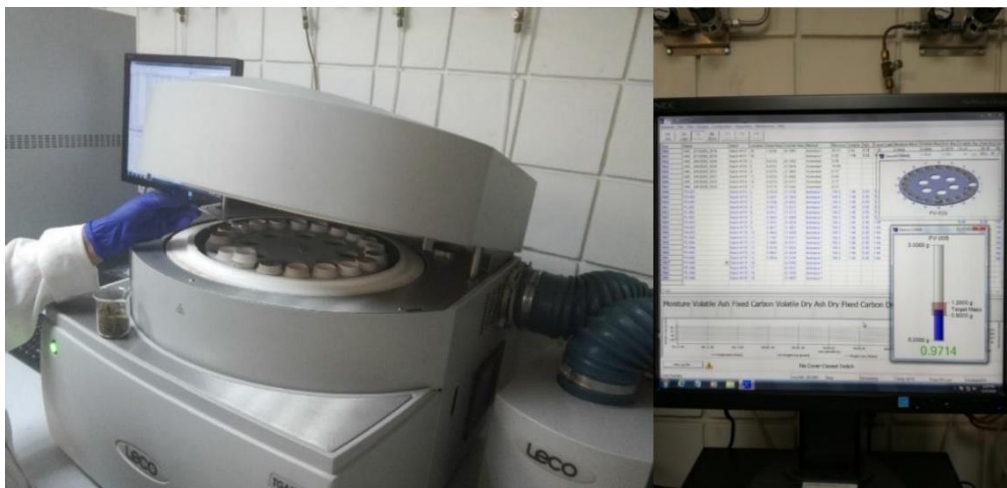


Figura 42: Análisis de muestras en el equipo analizador termogravimétrico TGA-701 LECO

Finalmente, se obtuvieron los resultados en porcentajes respecto al peso de la muestra analizada en base húmeda. El carbono fijo se determinó por cálculo, restando al 100% los porcentajes de humedad, material volátil y cenizas. Para determinar los valores de los parámetros del análisis proximal de las muestras en base seca se utilizó la ecuación (10) propuesta por Sebastián et al. (2010) en la figura 13 para obtener el parámetro en la base seca (base buscada) según el parámetro en la base húmeda (base dada) y su contenido de humedad.

$$X_{b.s.} = X_{b.h.} * \left(\frac{100\%}{100\% - Hd\%} \right) \quad (10)$$

Donde: $X_{b.s.}$ es el parámetro en la base seca (base buscada), $X_{b.h.}$ es el parámetro en la base húmeda (base dada) y Hd es el contenido de humedad de la muestra.

- Análisis Elemental o último

El análisis elemental consistió en analizar las muestras de biomasa residual seleccionadas para determinar el contenido porcentual de carbono (C), hidrógeno (H), nitrógeno (N), oxígeno (O) y azufre (S). Los análisis se realizaron en muestras en base seca (secado y pretratamiento) con los analizadores elemental CHN628, O628 y S628 LECO según las normas norteamericanas ASTM D5373 para C, H, N y O y ASTM D4239 para S, estos requerimientos se detallan en la tabla 27.

Tabla 27: Requerimientos de las normas ASTM D5373 y ASTM D4239 para los analizadores CHN628, O628 y S628 LECO

Parámetro	CHN	O	S
Norma / método	ASTM D5373	ASTM D5373	ASTM D4239
Masa de la muestra (g.)	0.08 - 0.10	0.002	0.25
Temperatura (°C)	950	1300	1350
Atmósfera	Helio, Oxígeno y Aire	Helio y Aire	Oxígeno
Tiempo de análisis (seg.)	100 - 240	80	60 - 120
Unidades	% peso	% peso	% peso

- Análisis elemental de Carbono, Hidrógeno y Nitrógeno

Los análisis se realizaron por triplicado por muestra, para ello se utilizó la muestra en base seca que pasó por el tamiz N°60, y se cargó la masa en una cápsula de estaño previamente pesada y se llenó con la muestra hasta tener un peso que se encuentre en un rango de 0.08 a 0.10 g. Después de pesar las muestras fueron cargadas en el analizador elemental CHN628 LECO según la norma ASTM D5373. Finalmente, los resultados se obtuvieron en porcentajes respecto al peso de la muestra analizada en base seca. En la figura 43 se presenta el procedimiento de análisis de las muestras en el equipo CHN628 LECO.



Figura 43: Análisis de muestras en el equipo analizador elemental CHN628 LECO.

- Análisis elemental de Oxígeno

Los análisis se realizaron por triplicado por muestra, para ello se utilizó la muestra en base seca que pasó por el tamiz N°60, y se cargó con la muestra en las cápsulas de estaño hasta tener un peso de aproximadamente 0.002 g. Después de pesar las muestras fueron cargadas en el analizador elemental O628 adaptada al equipo CHN628 LECO según la norma ASTM D5373. Finalmente, los resultados se obtuvieron en porcentajes respecto al peso de la muestra analizada en base seca. En la figura 44 se presenta el procedimiento de análisis de las muestras en el equipo O628 LECO.



Figura 44: Análisis de muestras en el equipo analizador elemental O628 LECO.

- Análisis elemental de Azufre

Los análisis se realizaron por triplicado por muestra, para ello se utilizó la muestra en base seca que quedó retenida por el tamiz N°60, y se cargó con la muestra en los crisoles de circonio previamente pesada y se llenó con la muestra hasta tener un peso de aproximadamente 0.25 g. Después de pesar las muestras fueron cargadas en el analizador elemental S628 según la norma ASTM D4239. Finalmente, los resultados se obtuvieron en porcentajes respecto al peso de la muestra analizada en base seca. En la figura 45 se presenta el procedimiento de análisis de las muestras en el equipo S628 LECO.

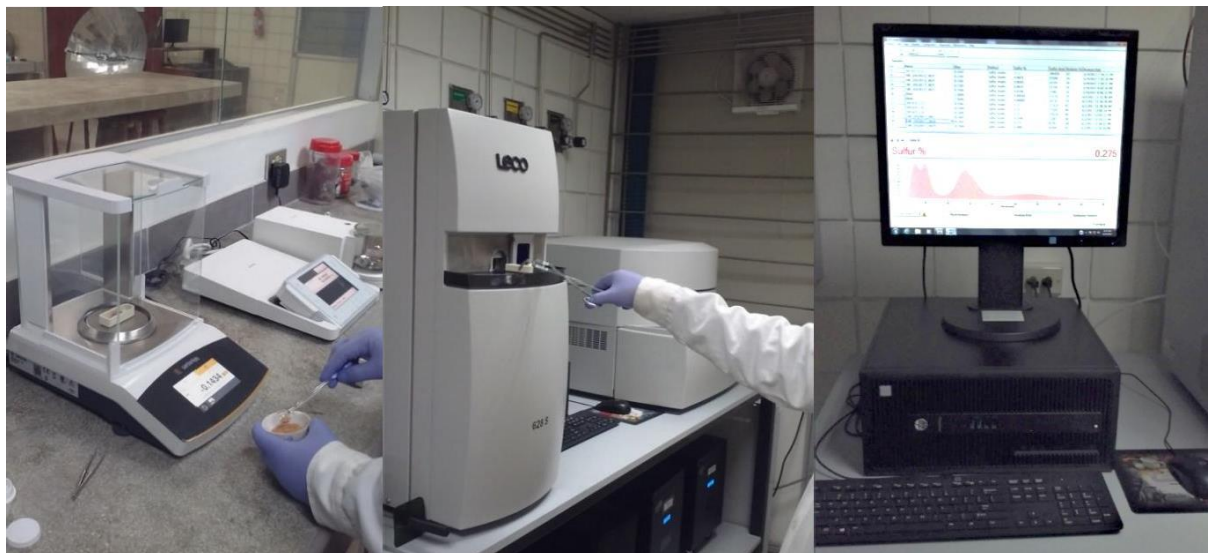


Figura 45: Análisis de muestras en el equipo analizador elemental S628 LECO.

c. Análisis de Contenido energético

El análisis de contenido energético consistió en determinar el poder calórico superior (PCS) de la muestra en base seca y el poder calórico inferior (PCI) de la muestra en base húmeda. Este análisis se realizó en el equipo Calorímetro AC600 LECO según la norma ASTM D5865 - 13, estos requerimientos se detallan en la tabla 28.

Tabla 28: Requerimientos del protocolo ASTM D5865 - 13 para el calorímetro AC600 LECO

Parámetro	PCI	PCS
Norma / método	ASTM D5865 - 13	ASTM D5865 - 13
Masa de la muestra (g.)	0.20 - 0.40	0.20 - 0.40
Temperatura del agua (°C)	25	25
Atmósfera	Oxígeno y Aire	Oxígeno y Aire
Tiempo de análisis (min.)	3 - 5	3 - 5
Unidades	kcal/kg	kcal/kg

El análisis de las muestras se realizó por triplicado, para ello, se utilizó la muestra en base húmeda previamente homogenizada para determinar el PCI y la muestra en base seca que quedó retenida por el tamiz N°60 para determinar el PCS. Se cargó las muestras en los crisoles metálicos y se pesó en un rango de 0.20 g. a 0.40 g. Luego se colocó la tapa de la bomba calorimétrica sobre la estación de carga y descarga de oxígeno para cargar el crisol con la muestra y el hilo de algodón para la ignición, este procedimiento se detalla en la figura 46.



Figura 46: Procedimiento de pesado de la muestra por triplicado y colocación del hilo de algodón.

La tapa de la bomba calorimétrica es colocada en la bomba calorimétrica y es cerrada correctamente. Luego se llevó a la estación de llenado de oxígeno para ser cargado en el equipo calorímetro AC600 y ser analizada. Después de terminar el análisis, se colocó la bomba calorimétrica en la estación para la descarga de oxígeno. Finalmente, los resultados se obtuvieron en unidades de kcal/kg, este procedimiento descrito se detalla en la figura 47.



Figura 47: Llenado y descarga de oxígeno en la bomba calorimétrica para análisis en el equipo calorímetro AC600.

3.3.5. Mecanismos de conversión energética

Los mecanismos de conversión energética de la biomasa residual para el aprovechamiento energético serán indicados a partir del tipo de biomasa residual que se obtiene en cada sector según Biomass Users Network (2002). Asimismo, se seleccionaron los mecanismos de conversión energética más eficientes en base al tipo de biomasa a partir de los resultados de la caracterización fisicoquímica (análisis proximal y análisis elemental) y contenido energético (poder calórico) para la generación de energía en forma de calor y/o electricidad.

3.3.6. Evaluación del potencial energético

La potencial energético a partir de la biomasa residual con mayor potencial generados en los sectores agrícola, forestal y pecuario durante el año 2020 que se han considerado en el presente estudio fue el potencial energético teórico, debido a que se asumió que toda la biomasa residual por subsector (cultivos agrícolas, especies forestales y pecuarias) será

utilizada para el aprovechamiento energético. Este fue obtenido a partir de la cuantificación de la biomasa residual por sector basada en la distribución de las superficies sembradas por cada cultivo, número de árboles por especie forestal y número de cabezas de cada especie pecuaria.

a. Cálculo del potencial energético de la biomasa residual agrícola

El potencial energético teórico de la biomasa residual agrícola que genera cada cultivo se determinó mediante la expresión matemática propuesta por La Picirelli et. al. (2021) a partir de la cuantificación de la biomasa residual agrícola (kg/año) y el poder calorífico según el tipo de residuo y en función de su contenido en humedad. Donde la humedad a la que se expresa el poder calorífico es la que contiene la biomasa producida según el índice de residuo considerado. A partir de la ecuación (11) se determinó el potencial energético teórico expresado en kWh por año de la biomasa residual agrícola:

$$PE_A \text{ (kWh/año)} = BRA \text{ (kg/año)} * PCI \text{ (kcal/kg)} * 0.001163 \text{ (kWh/kcal)} \quad (11)$$

Donde: PE_A es el potencial energético agrícola, BRA es la cantidad de biomasa residual agrícola, PCI es el poder calorífico inferior en kcal/kg de residuo y 0.001163 es el factor de conversión de kcal/kg a kWh/kg.

b. Cálculo del potencial energético de la biomasa residual forestal

El potencial energético teórico de la biomasa residual forestal que genera cada especie forestal se determinó mediante la ecuación (12) propuesta por La Picirelli et. al. (2021) donde el potencial energético teórico expresado en kWh por año de la biomasa residual forestal:

$$PE_F \text{ (kWh/año)} = BRF \text{ (kg/año)} * PCI \text{ (kcal/kg)} * 0.001163 \text{ (kWh/kcal)} \quad (12)$$

Donde: PE_F es el potencial energético forestal, BRF es la cantidad de biomasa residual forestal, PCI es el poder calorífico inferior en kcal/kg de residuo y 0.001163 es el factor de conversión de kcal/kg a kWh/kg.

c. Cálculo del potencial energético de la biomasa residual pecuaria

El potencial energético teórico de la biomasa residual pecuaria se determinó a partir de la ecuación (13) en base al mayor número de animales y producción de estiércol por especie

mediante el potencial de producción de metano del estiércol por especie, el cual fue obtenido de la información de la referencia bibliográfica de la Secretaría General de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (2008):

$$PE_P(\text{kWh/año}) = NA * SV * 365 * Bo * PCI_{CH_4} * 0.67 * 0.001163 \quad (13)$$

Donde: PE_P es el potencial energético de la especie pecuaria, NA es el número de animales (cabezas), SV es excreción diaria de sólidos volátiles (kg $SV/día$) de un animal de una población definida, Bo es el potencial de producción de metano del estiércol ($m^3 CH_4/kg SV$), PCI_{CH_4} = poder calorífico inferior del metano (13,187 kcal/kg), 365 son los días del año (día/año), 0.67 es la densidad del metano (kg/m^3) y 0.001163 es el factor de conversión de kcal/kg a kWh/kg.

Para determinar el potencial energético teórico de la biomasa residual pecuaria se determinó a partir de la ecuación (14) mediante la cantidad de sólidos volátiles de la especie pecuaria:

$$SV(\text{kg/día}) = Te(\text{kg estiércol/cabeza} * \text{ día}) * (1 - HD\%) * MV_{b.s.}(\%) \quad (14)$$

Donde: SV es la excreción diaria de sólidos volátiles de un animal de una población definida, Te es la tasa de producción de estiércol, HD es el porcentaje del contenido de humedad del estiércol y $MV_{b.s.}$ es el porcentaje del material volátil en base seca del estiércol.

d. Demanda de energía anual de la UNALM

La demanda de energía eléctrica anual de la UNALM que se ha considerado en el presente estudio está en base al consumo de energía anual correspondiente al año 2018, debido a que no se cuenta con la información disponible al año 2020. Por ello, se ha considerado como fuente de información lo propuesto por Cáceres (2019), donde obtuvo el consumo de energía anual comprendido desde el año 2009 al 2018 (Anexo 6), siendo la demanda de energía eléctrica anual de la UNALM de 4,293.32 MWh al año correspondiente al año 2018.

3.3.7. Aplicaciones de la biomasa con fines energéticos

Se planteó una propuesta de alternativas para el aprovechamiento de la biomasa residual con fines energéticos según la caracterización fisicoquímica y energética para determinar los

mecanismos de conversión energética más eficientes que puedan cubrir las necesidades energéticas del campus 1 de la UNALM según las áreas de mayor consumo de energía eléctrica, siendo las áreas de alto consumo de energía eléctrica corresponden a los centros de producción, el cual representa el 20% (858.66 MWh/año) del consumo total del campus 1 de la UNALM propuesto por Cáceres (2019).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Cuantificación de la biomasa residual

La cuantificación de la biomasa residual de las fuentes de generación de la UNALM (cultivos agrícolas, especies forestales y pecuaria) se obtuvo a partir de la distribución de las superficies sembradas por cada cultivo (Sector agrícola), número de árboles por especie (sector forestal) y número de cabezas por especie (Sector pecuaria), la información estas tres variables se recogieron o se estimaron a partir de distintas fuentes.

4.1.1. Cuantificación de la biomasa residual agrícola

Para cuantificar la biomasa residual agrícola se utilizó la información de los rendimientos de cosecha e índices de residuos obtenidas de las entidades nacionales y referencias bibliográficas, respectivamente. A partir del análisis inicial de datos del sector agrícola, se determinó que los cultivos de algodón, maíz y palto son los que presentan la mayor cantidad de superficie sembrada en la UNALM. Por ello, en la tabla 29 se presentan los resultados del potencial de biomasa residual agrícola (kg/año) y la superficie sembrada por cada cultivo donde se observa que el potencial de biomasa residual agrícola total que se genera en el campus 1 de la UNALM alcanza cerca de 122,164.62 kg al año.

Tabla 29: Potencial de la biomasa residual agrícola (kg/año) según tipo de cultivo, tipo de residuo y área sembrada (Ha)

Especie	Tipo de biomasa residual	Superficie (Ha)	Rendimiento de cosecha (kg producto/Ha* año)	Índice de residuos (kg residuo/Ha* año)	Índice de residuos (kg residuo/kg producto)	Biomasa residual (kg/año)
Algodón	RAC	2.96	3752.74	---	1.8	19,994.62
Maíz	Rastrojo	4.81	7500	---	2.0	72,150.00
Palto	Poda	15.01	11048	2000	---	30,020.00

En la figura 48 se presenta la cantidad de biomasa residual agrícola (kg/año) de cada cultivo, donde se observa que la mayor cantidad proviene del cultivo de maíz con 72,150 kg al año, luego le sigue el cultivo de palto con 30,020 kg al año y en menor cantidad el cultivo de algodón con 19,994.62 kg al año.

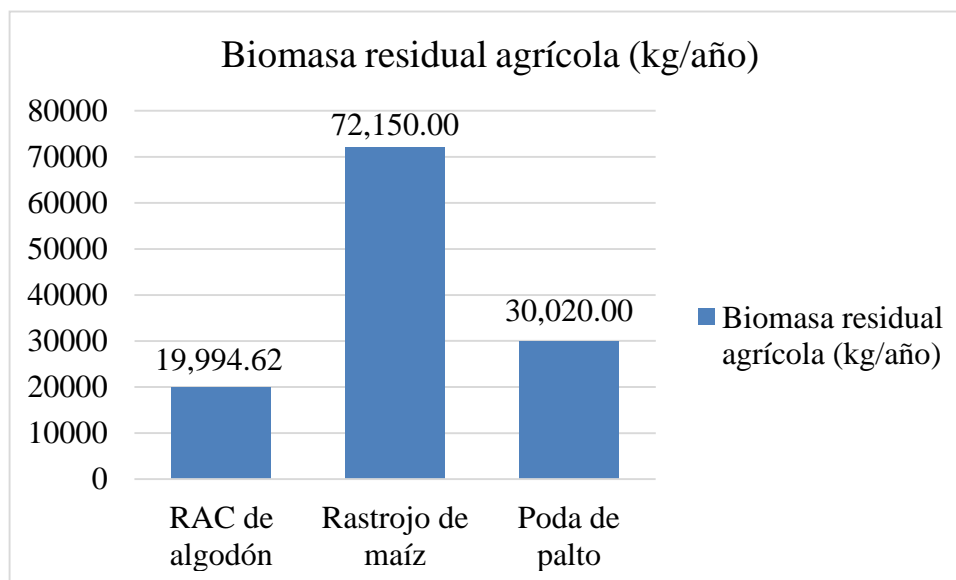


Figura 48: Potencial de la biomasa residual agrícola (kg/año) por tipo de residuo.

4.1.2. Cuantificación de la biomasa residual forestal

Para cuantificar la biomasa residual forestal se utilizó la información de la cantidad de árboles por especie y la cantidad de biomasa residual que generaría, en este caso se tomó como biomasa residual la poda (ramas y hojas) de cada especie, obtenidas de las referencias bibliográficas. A partir del análisis inicial de datos del sector forestal, se determinó que la Grevilea, Huaranguay y Molle serrano son las especies forestales de mayor cantidad de árboles en las áreas verdes del campus 1 de la UNALM. Por ello, en la tabla 30 se presentan los resultados del potencial de la biomasa residual forestal (kg/año) de las especies forestales donde se observa que el potencial de biomasa residual forestal total que se genera en el campus 1 de la UNALM alcanza cerca de 7,624.77 kg al año.

Tabla 30: Potencial de la biomasa residual forestal (kg/año) según la cantidad de números de árboles

Especie	Tipo de biomasa residual	Nº árboles	Biomasa residual forestal (kg/árbol)	Biomasa residual forestal (kg/año)
Grevilea	Poda	183	14.47	2,648.01
Huaranguay	Poda	89	23.63	2,103.07
Molle Serrano	Poda	163	17.63	2,873.69

En la figura 49 se presenta la cantidad de biomasa residual forestal (kg/año) de cada especie forestal, donde se observa que la mayor cantidad proviene de la poda de Molle serrano con 2,873.69 kg al año, luego le sigue la poda de Grevilea con 2,648.01 kg al año y en menor cantidad la poda de Huaranguay con 2,103.07 kg al año.

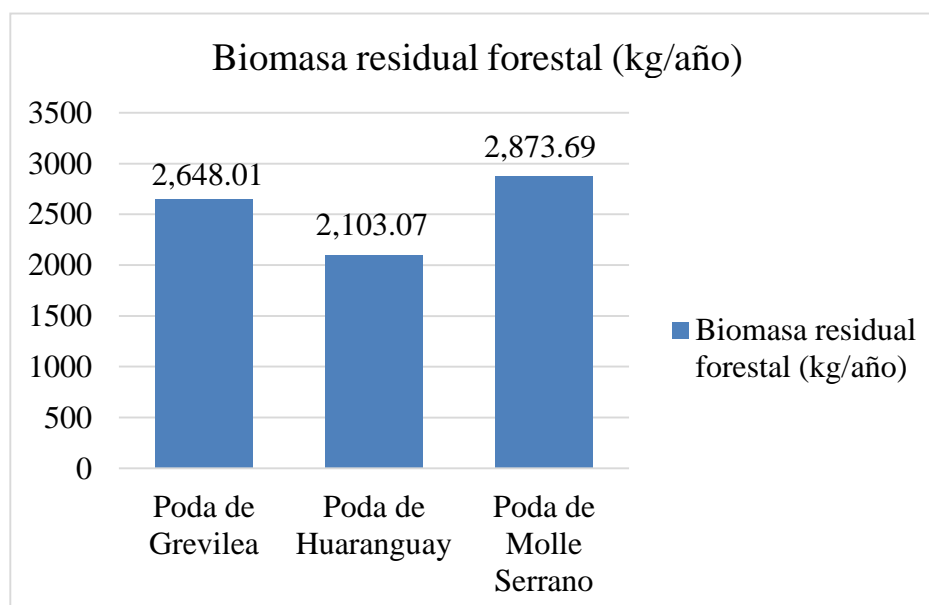


Figura 49: Potencial de la biomasa residual forestal (kg/año) por tipo de residuo.

4.1.3. Cuantificación de la biomasa residual pecuaria

La Secretaría General de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (2008) menciona que “la producción de estiércol de cada animal es muy variable y este depende de la especie, raza, edad, alimentación, estación climática, etc. lo que le confiere una elevada heterogeneidad”. Por ello, la cuantificación de la biomasa residual del sector pecuario se determinó a partir de la producción de estiércol que genera por cabeza al día obtenidas de las referencias bibliográficas (tabla 25), y el número de cabezas por especie obtenidas de las plantillas descriptivas correspondiente al año 2020 (Anexo 4). A partir de ello, en la tabla 31, se presenta los resultados del potencial de la biomasa residual pecuaria (kg/año) de las

especies pecuarias que se generan en los programas de investigación de la UNALM, donde se observa que la producción potencial de biomasa residual pecuaria total alcanza 1,916,615.0 kg al año.

Tabla 31: Potencial de la biomasa residual pecuaria (kg/año)

Programa de Investigación	Especie	N° de cabezas (Año 2020)	Producción de estiércol (kg/cabeza*día)	Producción de estiércol (kg/año)
En ovinos y camélidos americanos	Ovinos	120	1.50	65,700.0
	Llamas	13	1.80	8,541.0
	Alpacas	16	1.80	10,512.0
En cerdos Unidad	Cerdos (Crec. + acab.)	136	3.34	165,797.6
	Vacunos	103	28.16	1,058,500.0
Experimental de Zootecnia	Caballo	27	11.11	109,500.0
	Terneros	103	10.68	401,500.0
En animales menores	Cuyes	202	0.18	13,271.4
	Conejos	91	0.20	6,643.0
En aves	Pollos de carne	1800	0.03	21,900.0
	Gallinas ponedoras	1500	0.10	54,750.0

En la figura 50 se presenta el porcentaje de la producción de estiércol total por especie pecuaria correspondiente al año 2020 que se generó en la UNALM, donde se observa que la mayor producción de estiércol procede de los vacunos con el 55.23%, le sigue en orden de importancia los terneros con 20.95%, cerdos (crecimiento y acabado) con 8.65%, caballos con 5.71%, ovinos con 3.43%, gallinas ponedoras con 2.86%, pollos de carne con 1.14%, cuyes con 0.69%, alpacas con 0.55%, llamas con 0.45% y conejos con 0.35%.

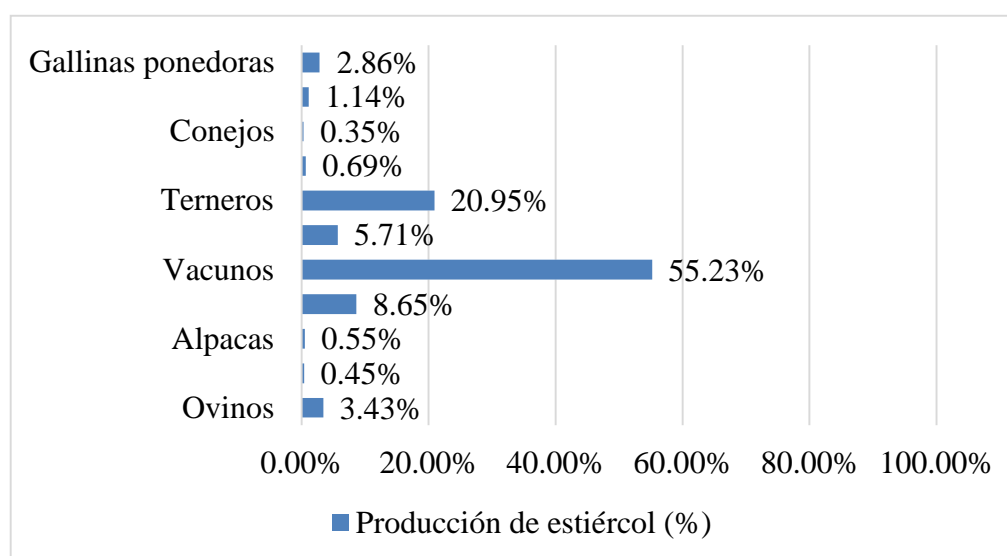


Figura 50: Potencial de la biomasa residual pecuaria (%) por especie pecuaria del año 2020.

4.2. Caracterización de la biomasa residual

Escalante et al. (2011) señalan que “los recursos de biomasa comprenden diversos tipos de residuos, con diferentes características físicas y químicas; las cuales influyen en el proceso de conversión energética que se desee utilizar”, así como, de su contenido energético de cada residuo. A continuación, se presentan los resultados obtenidos en los análisis proximal, elemental y contenido energético de la biomasa residual agrícola, forestal y pecuaria.

4.2.1. Análisis proximal

Los resultados obtenidos del análisis proximal en base húmeda de la biomasa residual generada en el campus 1 de la UNALM se presentan en la tabla 32, donde se observa que el contenido de humedad de la biomasa residual agrícola y forestal presentan valores que se encuentran entre 12.46% y 28.85% los cuales pueden ser aprovechados en procesos termoquímicos, en cambio, la biomasa residual pecuaria presenta contenidos de humedad entre 50.20% y 81.65%, los cuales pueden ser aprovechados en procesos bioquímicos.

Tabla 32: Análisis proximal de la biomasa residual generada en el campus 1 de la UNALM

Sector	Especie	Tipo de biomasa residual	Análisis Proximal (b.h.)			
			HM (%)	MV (%)	CZ (%)	CF (%)
Agrícola	Algodón	RAC	16.89	69.28	7.53	6.31
	Maíz	Rastrojo	17.65	57.03	20.42	4.91
	Palto	Poda	13.51	72.36	4.16	9.97
Forestal	Grevilea	Poda	15.79	71.78	4.48	7.96
	Huaranguay	Poda	12.46	74.90	4.16	8.49
	Molle serrano	Poda	28.85	64.82	1.36	4.98
	Ovinos	Estiércol	50.20	35.35	11.66	2.79
	Llamas	Estiércol	55.82	31.46	10.99	1.74
Pecuario	Alpacas	Estiércol	56.49	31.83	10.85	0.83
	Cerdos (Crec.+acab.)	Purín	69.26	24.62	6.12	0.00
	Vacunos	Estiércol	77.95	15.74	6.31	0.00
	Caballos	Estiércol	77.60	19.36	2.98	0.06
	Terneros	Estiércol	78.07	18.03	2.98	0.92
	Conejos	Estiércol	53.37	36.23	8.41	2.00
	Cuyes	Estiércol	55.23	36.03	7.59	1.15
	Pollos de carne	Estiércol	81.65	15.41	2.94	0.00
	Gallinas ponedoras	Estiércol	76.83	16.51	6.66	0.00

Nota: RAC: residuos agrícolas de cosecha. (b.h): análisis realizado en base húmeda.

En la tabla 33 se presentan los parámetros de material volátil, cenizas y carbono fijo en base seca a partir del análisis proximal en base húmeda. La biomasa residual agrícola y forestal de origen herbáceo (algodón y maíz) y las especies de origen leñoso (palto, Grevilea, Huaranguay y Molle serrano) presentan valores de material volátil comprendidos entre 69.25% y 91.10%, cenizas entre 1.91% y 24.79% y carbono fijo entre 5.96% y 11.53%, estos valores fueron comparados con lo reportado por Williams et al. (2017) en la tabla 9 para residuos de origen vegetal herbáceos y leñosos. Se observa que algunos resultados presentan diferencias significativas, siendo el mayor contenido de cenizas en la biomasa residual agrícola procedente del maíz con un 24.79%. Por ello, señalan que si existe un alto contenido de cenizas puede ser debido a la presencia de iones de calcio y potasio o sílice (suciedad) recolectada durante la cosecha. No obstante, Sebastián et al. (2010) señalan que cuando se generan cenizas “a partir de la valorización energética de los combustibles sólidos éstos pueden depositarse causando la obstrucción de los pasos de gases, o sintetizar en forma de fundidos en paredes y sistemas de evacuación de cenizas”. Por lo tanto, el rastrojo de maíz no podría utilizarse en un proceso termoquímico debido a su alto contenido de cenizas (24.79%).

En el análisis proximal en base seca de la biomasa residual pecuaria (tabla 33) se observa que los valores de materia volátil están comprendidos entre 70.99% y 86.43%, cenizas entre 13.29% y 28.74%, y carbono fijo entre 0% y 5.60%. Escalante et al (2011) señalan que los valores del análisis proximal pueden estar influenciados por factores intrínsecos al animal como la fisiología digestiva, la composición de la dieta, la etapa de crecimiento y el sistema de manejo. Asimismo, los parámetros de material volátil y carbono fijo son influyentes en la transformación energética de la biomasa, así como, el contenido de sólidos volátiles orgánicos (grasa, carbohidratos y proteínas) representa el material disponible para el desarrollo y reproducción de bacterias anaeróbicas. No obstante, el contenido de materia volátil en base seca permitirá determinar la cantidad de sólidos volátiles que puede producir el estiércol de las diferentes especies pecuarias del presente estudio para la producción de biogás.

Tabla 33: Análisis proximal de la biomasa residual del campus 1 de la UNALM

Sector	Especie	Tipo de biomasa residual	Análisis Proximal (b.s.)		
			MV (%)	CZ (%)	CF (%)
	Algodón	RAC	83.36	9.05	7.59
Agrícola	Maíz	Rastrojo	69.25	24.79	5.96
	Palto	Poda	83.66	4.81	11.53
	Grevilea	Poda	85.24	5.32	9.45
Forestal	Huaranguay	Poda	85.56	4.75	9.69
	Molle serrano	Poda	91.10	1.91	7.00
	Ovinos	Estiércol	70.99	23.41	5.60
	Llamas	Estiércol	71.20	24.87	3.93
	Alpacas	Estiércol	73.15	24.94	1.91
	Cerdos (Crec.+acab.)	Purín	80.08	19.92	0.00
	Vacunos	Estiércol	71.38	28.62	0.00
Pecuario	Caballos	Estiércol	86.43	13.29	0.28
	Terneros	Estiércol	82.22	13.59	4.20
	Conejos	Estiércol	77.70	18.02	4.28
	Cuyes	Estiércol	80.48	16.95	2.57
	Pollos de carne	Estiércol	84.01	16.01	0.00
	Gallinas ponedoras	Estiércol	71.26	28.74	0.00

Nota: RAC: residuos agrícolas de cosecha. (b.s.): análisis realizado en base seca.

4.2.2. Análisis Elemental

En la tabla 34 se presentan los resultados del análisis elemental de las muestras de biomasa residual agrícola y forestal en base seca los cuales fueron comparados con la caracterización elemental reportada por Williams et al. (2017) en la tabla 9 para residuos de origen vegetal herbáceos y leñosos, donde se observa que algunos resultados presentan diferencias significativas, como es el caso de las especies de origen herbáceo (algodón y maíz) y las especies de origen leñoso (palto, Grevilea, Huaranguay y Molle serrano). Según Escalante et al. (2011), señalan que la diferencia de los valores del análisis elemental “pueden asociarse a las variedades de las especies vegetales, las condiciones edafoclimáticas en las cuales se desarrolla el cultivo y el manejo agronómico dado al residuo”. Asimismo, IDAE (2008) señala que la biomasa agrícola y forestal se caracteriza, en general, por poseer

un bajo contenido en carbono (menores al 50%) y un alto contenido en oxígeno (menores al 40%), así como por su bajo contenido en azufre y cenizas. No obstante, estos factores son favorables para su aprovechamiento energético.

En el análisis proximal de las muestras de la biomasa residual pecuaria en base seca (tabla 34) se observa que los valores de carbono están comprendidos entre 30.35% y 41.28%, hidrógeno entre 4.68% y 5.94%, nitrógeno entre 1.23% y 4.17%, azufre entre 0.35% y 1.22%; y oxígeno entre 29.96% y 46.75%. Escalante et al. (2011) señalan que este tipo de biomasa puede aprovecharse para la producción de biogás (digestión anaerobia) mediante los valores mínimos de relación C/N de 16 y para un excelente desempeño la relación C/N debe estar entre 25 y 30.

Tabla 34: Análisis elemental de la biomasa residual del campus 1 de la UNALM

Sector	Especie	Tipo de biomasa residual	Análisis Elemental (b.s.)				
			C (%)	H (%)	N (%)	S (%)	O (%)
	Algodón	RAC	41.25	6.11	0.99	0.29	42.30
Agrícola	Maíz	Rastrojo	34.88	5.28	2.23	0.31	32.51
	Palto	Poda	45.96	5.94	0.21	0.18	42.90
	Grevilea	Poda	47.44	6.11	0.45	0.28	40.39
Forestal	Huaranguay	Poda	44.10	6.19	0.54	0.08	44.34
	Molle serrano	Poda	43.85	6.21	0.11	0.17	47.76
	Ovinos	Estiércol	35.39	5.07	1.54	0.54	34.05
	Llamas	Estiércol	33.94	4.82	1.23	0.40	34.74
	Alpacas	Estiércol	33.74	4.82	1.35	0.42	34.73
	Cerdos (Crec.+acab.)	Purín	39.66	5.94	4.17	0.35	29.96
	Vacunos	Estiércol	33.63	4.62	1.97	0.51	30.66
Pecuario	Caballos	Estiércol	32.85	5.03	1.64	0.44	46.75
	Terneros	Estiércol	41.28	5.83	2.59	0.47	36.24
	Conejos	Estiércol	38.26	5.65	1.76	0.61	35.70
	Cuyes	Estiércol	37.52	5.44	2.20	0.57	37.32
	Pollos de carne	Estiércol	36.20	5.52	3.66	0.82	37.80
	Gallinas ponedoras	Estiércol	30.35	4.68	3.23	1.22	31.76

Nota: RAC: residuos agrícolas de cosecha. (b.s): Análisis realizado en base seca.

4.2.3. Análisis de contenido energético

En la tabla 35 se presentan los valores obtenidos del análisis de contenido energético, donde se observa que los valores del PCI de la biomasa residual agrícola se encuentran entre 3,041.68 kcal/kg y 3,623.32 kcal/kg, en cambio, de la biomasa residual forestal se encuentran entre 3,126.86 kcal/kg y 3,830.53 kcal/kg. No obstante, esta diferencia de valores según Sebastián et al., (2010) se debe a la composición estructural de la biomasa principalmente del porcentaje de lignina, el cual tiene influencia sobre el poder calórico de la materia, es decir, a mayor porcentaje de lignina su energía desprendida será mayor. En cambio, la biomasa residual pecuaria presenta valores de PCI muy bajos que se encuentran entre 573.32 kcal/kg y 2,189.81 kcal/kg debido al alto contenido de humedad. Según Escalante et al. (2011), la biomasa residual pecuaria con bajos contenidos de PCI puede tener un aprovechamiento energético mediante el proceso bioquímico (digestión anaerobia) debido a que sus características fisicoquímicas reúnen las condiciones necesarias para el crecimiento y desarrollo de consorcios microbianos capaces de degradar la materia orgánica y producir biogás.

Tabla 35: Análisis de contenido energético de la biomasa residual de la UNALM

Sector	Especie	Tipo de biomasa residual	Poder calórico	
			PCI (kcal/kg)	PCS (kcal/kg)
Agrícola	Algodón	RAC	3247.85	3907.90
	Maíz	Rastrojo	3041.68	3693.60
	Palto	Poda	3623.32	4189.29
Forestal	Grevilea	Poda	3622.73	4302.00
	Huaranguay	Poda	3830.53	4375.75
	Molle serrano	Poda	3126.86	4394.75
	Ovinos	Estiércol	2189.81	4397.20
	Llamas	Estiércol	1528.44	3459.57
	Alpacas	Estiércol	1409.62	3239.77
Pecuario	Cerdos	Purín	1250.12	4066.32
	Vacunos	Estiércol	719.89	3264.80
	Caballos	Estiércol	995.56	4443.80
	Terneros	Estiércol	870.58	3969.80
	Conejos	Estiércol	1723.68	3696.50
	Cuyes	Estiércol	1694.90	3785.80
	Pollos de carne	Estiércol	687.13	3745.24
	Gallinas ponedoras	Estiércol	573.32	2474.40

Nota: RAC: residuos agrícolas de cosecha. Análisis realizado en (b.h): base húmeda y (b.s): base seca.

4.3. Pretratamiento para la biomasa residual para fines energéticos

Biomass Users Network (2002) resalta que uno de los aspectos técnicos que se debe realizar a la biomasa antes de su transformación a energía es el pretratamiento que se realiza según el tipo de biomasa residual que se obtiene en cada sector. Asimismo, Sebastián et al. (2010) señalan que el pretratamiento para los residuos de origen leñoso es necesario el secado (reducción de la humedad), recolección y clasificación (distribución granulométrica). De acuerdo a este criterio, en la tabla 36 se presenta los pretratamientos para la biomasa residual como fuente de energía según el sector y especie del campus 1 de la UNALM, donde se observa, que en el caso de la biomasa residual agrícola de origen herbáceo (algodón), es necesario realizar la densificación para aumentar su densidad aparente. En cambio, para los residuos de origen leñoso, es necesario realizar el secado, recolección, clasificación y corte; y para los residuos de origen pecuario es necesario la recolección y clasificación.

Tabla 36: Pretratamientos para la biomasa residual para fines energéticos

Sector	Especie	Biomasa residual	Pretratamiento		
			Secado	Recolección y clasificación	Corte Densificación
Agrícola	Algodón	RAC			Aplicable
	Palto	Poda	X	X	X
	Grevilea	Poda	X	X	X
Forestal	Huaranguay	Poda	X	X	X
	Molle Serrano	Poda	X	X	X
Pecuario	Cerdos (Crec.+acabado)	Purín		X	
	Vacunos	Estiércol		X	
	Terneros	Estiércol		X	

4.4. Mecanismos de conversión energética

Basu (2013) señala que según sea el tipo de biomasa, éste presenta propiedades específicas que determinan su rendimiento como combustible para la generación de energía, siendo las propiedades más importantes están el contenido de humedad, contenido de ceniza, contenido de materia volátil, composición elemental, poder calorífico y densidad de masa. Por ello, los mecanismos de conversión energética más eficientes en base al tipo de biomasa residual de los sectores agrícola, forestal y pecuario se basaron en la información literaria, así como resultados obtenidos en la caracterización fisicoquímica y energética.

En la figura 51 se presenta los mecanismos de conversión energética más eficientes de la biomasa residual de cada sector a partir de los valores obtenidos del contenido de humedad (%) en el análisis proximal (tabla 32), donde se observa que la biomasa residual agrícola y forestal debido a su contenido de humedad varía de 12.46% a 28.85%, estos se pueden utilizar en procesos físicos (peletizado) o en procesos termoquímicos (combustión directa, pirólisis y gasificación). En el caso de la biomasa residual pecuaria presentan contenidos de humedad que varía de 50.20% a 81.65%, los cuales se pueden utilizar en proceso bioquímico a través de la digestión anaerobia para la producción de biogás debido a que su composición presenta altos contenidos de metano. Asimismo, para la obtención de electricidad es necesario que los biocombustibles obtenidos en cada proceso (gas de pirólisis, gas de gasificación y biogás) sean utilizados en las celdas de combustible para su transformación en energía eléctrica.

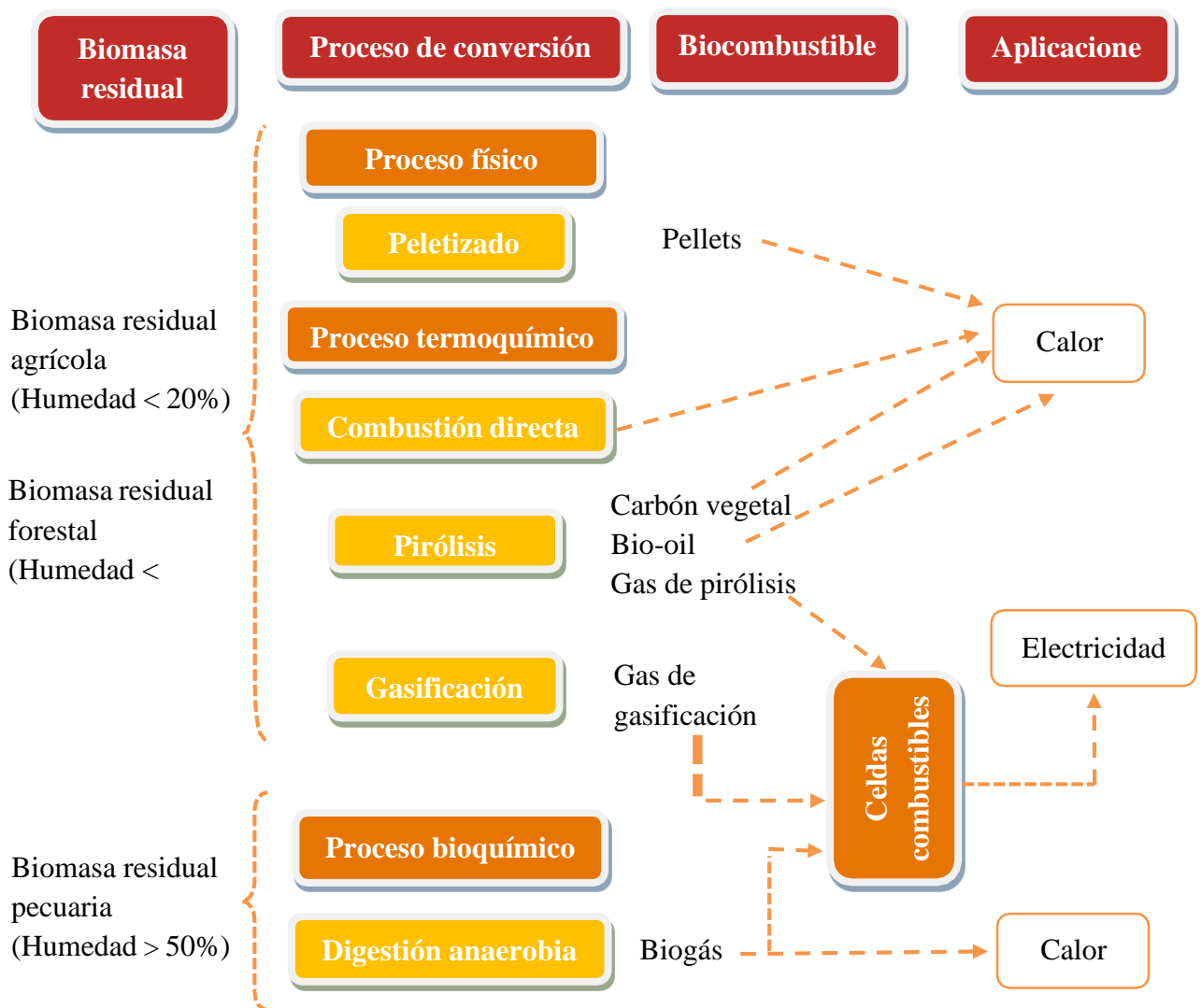


Figura 51: Mecanismos de conversión energética más eficientes según tipo de biomasa residual

4.5.Potencial Energético teórico total de la biomasa residual

El potencial energético teórico de la biomasa residual agrícola, forestal y pecuario, se determinó a partir de los resultados obtenidos en la cuantificación de la biomasa residual que se genera en cada sector, seleccionándose las fuentes de mayor producción de biomasa residual y su caracterización fisicoquímica y energética, siendo seleccionadas las biomasa residuales que presentan valores bajos de cenizas, nitrógeno, azufre y presenten valores altos de Poder Calórico Superior en el caso de las biomasa residual agrícolas y forestales, con la finalidad de ser aprovechadas en procesos de conversión en energía.

Escalante et al. (2011) mencionan que el potencial energético de la biomasa residual agrícola y forestal está en función a la producción de biomasa residual del cultivo o especie forestal y su PCI debido a que su contenido de humedad es menor al 50%, los cuales pueden ser aprovechados mediante los procesos termoquímicos para la obtención de energía en forma de calor o electricidad. En cambio, el potencial energético de la biomasa residual pecuaria está en fusión directa al número del número de animales que producen estiércol con altos contenidos de humedad y sólidos volátiles, y según su composición de carbono presente en el residuo puede llegar a formar metano. Asimismo, la Secretaría General de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (2008) menciona que es importante determinar la cantidad de metano estimado y su poder calorífico de metano generado por el estiércol.

4.5.1. Potencial Energético de la biomasa residual del Sector Agrícola

Según la caracterización fisicoquímica y de contenido energético se determinó que los residuos de mayor potencial energético son los residuos de algodón y palto. A partir de la superficie sembrada de cada cultivo, producción de biomasa residual y su PCI se calculó la producción potencial energético teórico total de biomasa residual agrícola de la UNALM. En la tabla 37 se observa que la mayor producción de biomasa residual proviene del palto (cultivo leñoso) con 30,020.00 kg al año, el cual genera un potencial energético teórico de 126.50 MWh al año, en cambio, el algodón (cultivo herbáceo) con 19,994.62 kg al año genera un potencial energético teórico de 75.52 MWh al año.

Tabla 37: Potencial energético teórico de la biomasa residual agrícola

Tipo de cultivo	Cultivo	Tipo de biomasa residual	Superficie (Ha)	Biomasa residual agrícola (kg/año)	PCI (kcal/kg)	Potencial energético teórico (MWh/año)
Herbáceo	Algodón	RAC	2.96	19,994.62	3,247.85	75.52
Leñoso	Palto	Poda	15.01	30,020.00	3,623.32	126.50

Nota: 1 kcal = 1.163 * 10⁻⁶ MWh.

4.5.2. Potencial Energético de la biomasa residual del Sector Forestal

Según la caracterización fisicoquímica y de contenido energético se determinó que las tres especies forestales (Grevilea, Huaranguay y molle serrano) del presente estudio generan residuos de mayor potencial energético. A partir del número de árboles por especie forestal, producción de biomasa residual y su PCI se calculó la producción potencial energético teórico total de biomasa residual forestal de la UNALM. En la tabla 38 se observa que la mayor producción potencial energética teórica forestal proviene de la poda de grevilea con 11.16 MWh al año, luego le sigue la poda de molle serrano con 10.45 MWh al año, y finalmente la poda de huaranguay con 9.37 MWh al año.

Tabla 38: Potencial energético teórico de la biomasa residual forestal

Especie Forestal	Tipo de biomasa residual	Nº árboles	Biomasa residual (kg/árbol)	Biomasa residual (kg/año)	PCI (kcal/kg)	Potencial energético teórico (MWh/año)
Grevilea	Poda	183	14.47	2,648.01	3622.73	11.16
Huaranguay	Poda	89	23.63	2,103.07	3830.53	9.37
Molle Serrano	Poda	163	17.63	2,873.69	3126.86	10.45

Nota: 1 kcal = 1.163 * 10⁻⁶ MWh.

4.5.3. Potencial Energético de la biomasa residual del Sector Pecuario

El potencial energético de la biomasa residual del sector pecuario se obtuvo a partir de la selección de las especies de mayor potencial residual del presente estudio, siendo los cerdos (crecimiento y acabado) vacunos y terneros y los que tienen mayor número de animales y producción de estiércol por especie. En la tabla 39 se observa que el mayor potencial energético teórico procedente de la biomasa residual pecuaria proviene de los vacunos con

410.87 MWh al año, luego le sigue cerdos (crecimiento y acabado) con 188.75 MWh al año y finalmente terneros con 178.52 MWh al año.

Tabla 39: Potencial energético teórico de la biomasa residual pecuaria

Espece pecuaria	N° de cabezas (Año 2020)	Producción de estiércol (kg/cabeza*día)	Sólido Volátil ¹ (kg SV/cabeza*día)	Bo ² (m ³ CH ₄ / kg SV)	Potencial energético teórico (MWh/año)
Cerdos (Crec.+acab.)	136	3.34	0.82	0.45	188.75
Vacunos	103	28.16	4.43	0.24	410.87
Terneros	103	10.68	1.93	0.24	178.52

Nota: 1) el sólido volátil se obtuvo a partir del contenido de materia volátil (%) en base seca y la humedad de la muestra de estiércol; 2) el potencial de producción de metano (Bo) del estiércol se obtuvo a partir de la referencia bibliográfica de la Secretaría General de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (2008).

Por lo tanto, en la tabla 40 se presenta el potencial energético teórico total de la biomasa residual generada en el campus 1 de la UNALM, siendo el potencial energético teórico total de 1,011.14 MWh al año, siendo la mayor contribución del sector pecuario con 778.14 MWh al año, luego le sigue el sector agrícola con 202.03 MWh al año y finalmente, el sector forestal con 30.98 MWh al año.

Tabla 40: Potencial energético teórico total (MWh/año) a partir de la biomasa residual generada en el campus 1 de la UNALM

Sector	Espece	Tipo de biomasa residual	Biomasa residual (kg/año)	Potencial energético teórico (kWh/año)	Potencial energético teórico por sector (MWh/año)
Agrícola	Algodón	RAC	19,994.62	75,524.76	202.03
	Palto	Poda	30,020.00	126,501.92	
	Grevilea	Poda	2,648.01	11,156.69	
Forestal	Huaranguay	Poda	2,103.07	9,368.98	30.98
	Molle Serrano	Poda	2,873.69	10,450.30	
	Cerdos (Crec. + acab.)	Estiércol	165,797.6	188,746.68	
Pecuario	Vacunos	Estiércol	1,058,500.0	410,872.77	778.14
	Terneros	Estiércol	401,500.0	178,522.53	
				1,011,144.63	1,011.14

En la figura 52 se observa que la mayor contribución del potencial energético teórico total procede de la biomasa residual pecuaria conformada por cerdos (crecimiento y acabado), vacunos y terneros con 778.00 MWh al año, luego le sigue los cultivos agrícolas (algodón y palto) con 202.03 MWh al año, y finalmente las especies forestales (Grevilea, Huaranguay y molle serrano) con 30.98 MWh al año.

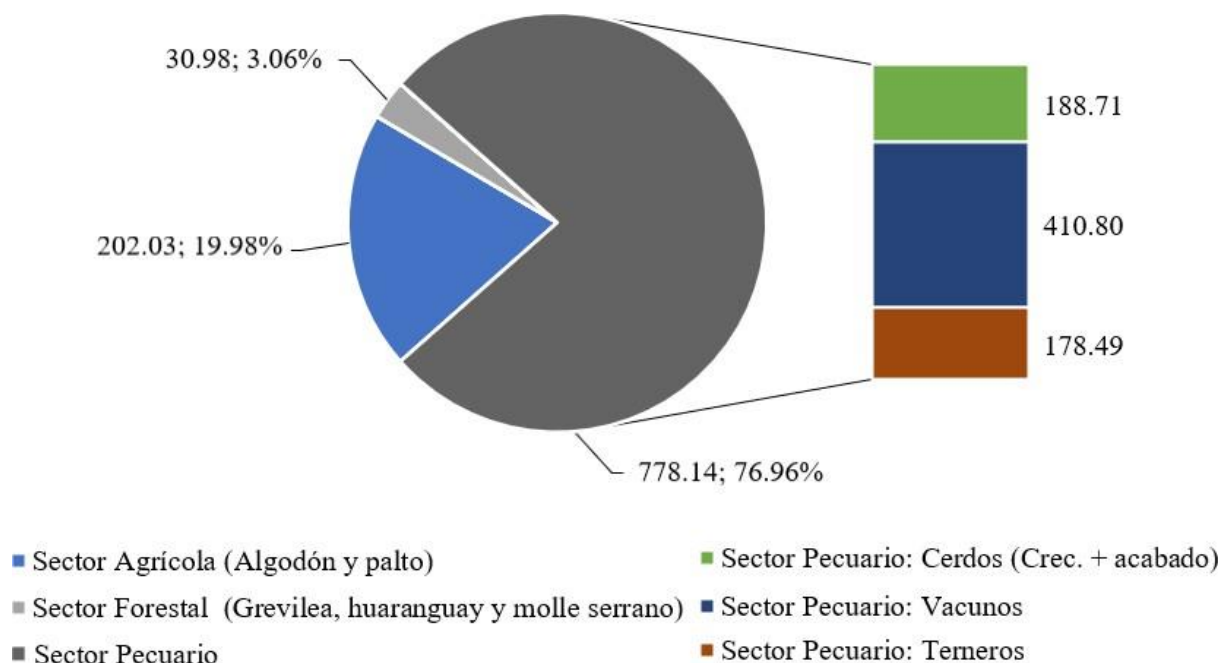


Figura 52: Potencial energético teórico total (MWh/año) de la biomasa residual generada en el campus 1 de la UNALM, 2020

4.6. Aplicaciones de la biomasa con fines energéticos

Para el aprovechamiento energético de la biomasa residual generada en el campus 1 de la UNALM, se propone el uso de tecnologías para la producción de biocombustibles, como la producción de pellets obtenidos a partir de la biomasa residual agrícola y forestal y la producción de biogás a partir de la biomasa residual pecuaria para obtener energía en forma de electricidad y/o calor y ser aprovechados en los centros de producción. A continuación, se describen las aplicaciones de esta energía a partir de la biomasa residual de acuerdo a las necesidades de los centros de producción de la UNALM.

4.6.1. Aplicaciones de pellets a partir de la biomasa residual agrícola y forestal

La biomasa residual agrícola y forestal se aprovechará mediante el proceso físico de trituración para obtener el tamaño adecuado en el residuo para su posterior peletizado y obtener pellets. De esta manera se convierte la biomasa residual en materiales más compactos, con alto poder calorífico, cómodo suministro y almacenamiento para su empleo como biocombustible en calderas u hornos para calefacción para crías de aves y cerdos. La instalación de una caldera de biomasa será alimentada desde un silo mediante un tornillo sinfín, el cual proporcionará el servicio de calefacción para las campanas de las granjas de aves y cerdos de la UNALM. Por ello, en el Anexo 7 se presenta una propuesta de las tecnologías para este fin. En la figura 53 se presenta la producción de pellets a partir de la biomasa residual hasta su uso final.

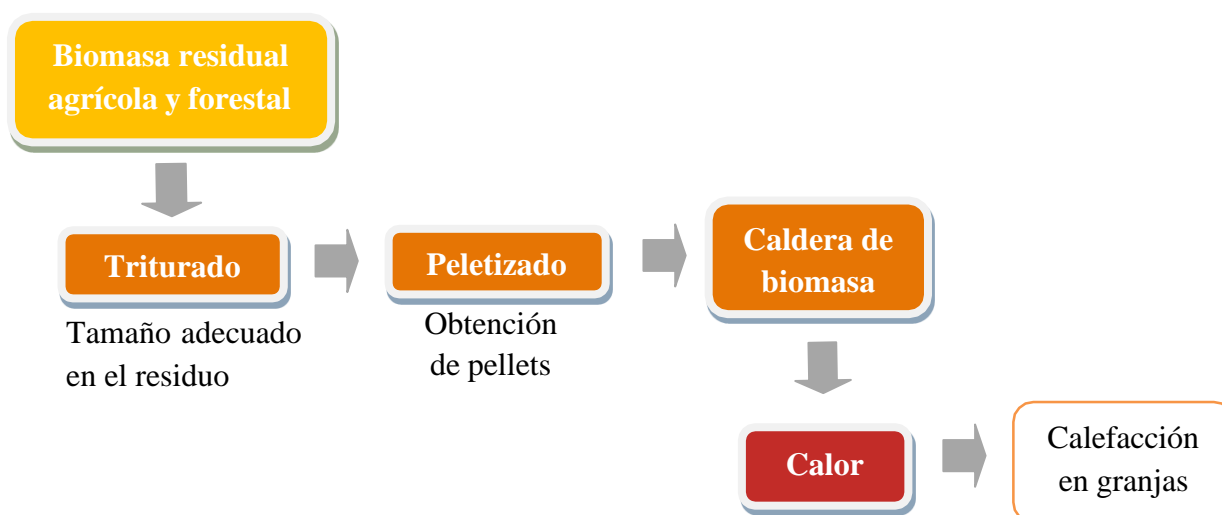


Figura 53: Aplicación de la energía a partir de la biomasa residual agrícola y forestal a las necesidades de la UNALM

4.6.2. Aplicaciones del biogás a partir de la biomasa residual pecuaria

La biomasa residual pecuaria se aprovechará mediante el proceso bioquímico (digestión anaerobia) a través de un biodigestor tubular para la producción de biogás. Esta tecnología es bastante simple ya que consta de una cámara donde se incorporará la biomasa residual pecuaria, al cual se agregan bacterias anaeróbicas para degradar la materia que después de un tiempo se transforma en metano. La producción de biogás por descomposición anaeróbica es un modo considerado útil para tratar residuos biodegradables ya que produce un combustible de valor, además de generar un efluente que puede aplicarse como acondicionador de suelo o abono genérico. Este gas se podrá utilizar para producir energía

eléctrica mediante turbinas o plantas generadoras a gas, o para generar calor en calderas, debidamente adaptadas para tal efecto con la finalidad de ser utilizadas en los centros de producción de la UNALM. Por ello, en el Anexo 7 se presenta una propuesta de las tecnologías para este fin. En la figura 54 se presenta la producción de biogás a partir de la biomasa residual hasta su uso final.

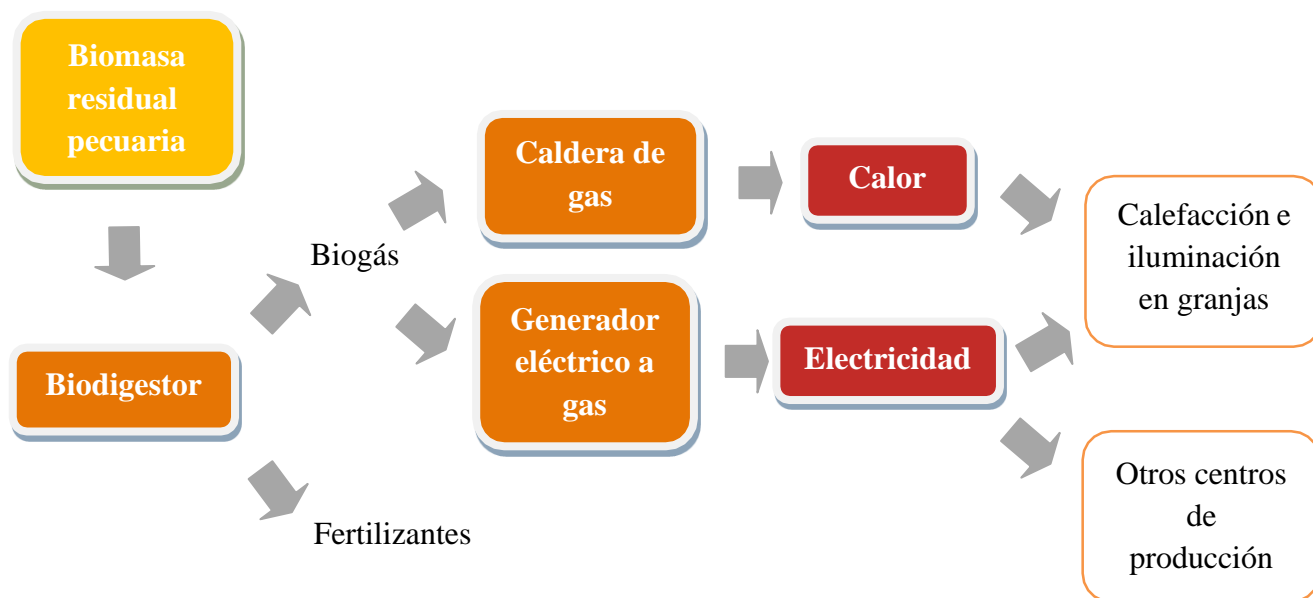


Figura 54: Aplicación de la energía a partir de la biomasa residual pecuaria a las necesidades de la UNALM

V. CONCLUSIONES

1. La biomasa residual aprovechable que se genera en el campus 1 de la UNALM procede mayormente del sector pecuario los cuales alcanzan 1,916,615.0 kg de estiércol al año. Luego le sigue el sector agrícola a partir de cultivos herbáceos (algodón y maíz) y cultivo leñoso (palto) los cuales producen 122,164.62 kg de residuos al año. Finalmente, el sector forestal conformado por los cultivos leñosos (grevilea, huaranguay y molle serrano) los cuales producen 7,624.77 kg de residuos al año.
2. De acuerdo a los resultados obtenidos en la caracterización fisicoquímica y de contenido energético de la biomasa residual generada en cada sector, se concluye que los mecanismos de conversión energética más eficientes para la biomasa residual agrícola (algodón y palto) y forestal (grevilea, huaranguay y molle serrano) son mediante procesos de conversión termoquímicos (combustión directa, pirólisis o gasificación) debido a su bajo contenido de humedad y menor contenido de cenizas para la generación de energía eléctrica y/o calor. En cambio, para la biomasa residual pecuaria se puede aprovechar mediante el proceso de conversión bioquímico (digestión anaerobia) para la obtención de biogás debido a la mayor cantidad de producción de estiércol, alto contenido de humedad y metano que producen cada especie al año.
3. La biomasa residual de mayor potencial energético teórico proviene del sector pecuario, seguido por el sector agrícola, y finalmente, por el sector forestal. En el caso de la biomasa residual pecuaria, la mayor contribución procede de los vacunos con 40.63% del potencial energético teórico estimado (obtenido a partir de 1,058,500 kg de biomasa), seguido de cerdos (crecimiento y acabado) con 18.67% (obtenido a partir de 165,797.6 kg de biomasa) y terneros con el 17.66% (obtenido a partir de 401,500 kg de biomasa). Luego le sigue el 12.51% proviene de los cultivos de palto (obtenido a partir de 30,020 kg de biomasa) y 7.47% de los

4. cultivos de algodón (obtenido a partir de cerca de 19,994.62 kg de biomasa) procedentes del sector agrícola, y finalmente el 1.10% proviene de la grevilea (obtenido a partir de 2,648.01 kg de biomasa), el 1.03% del huaranguay (obtenido a partir de 2,873.69 kg de biomasa) y el 0.93% del potencial energético total del molle serrano (obtenido a partir de 2,103.07 kg de biomasa). Por la tanto, el sector pecuario es el que contribuye con la mayor cantidad de energía eléctrica siendo el 76.96% del potencial energético teórico total.

5. El potencial energético teórico total a partir de la biomasa residual agrícola, forestal y pecuaria generada en el campus 1 de la UNALM podría cubrir de forma teórica el 23.55% (1,011.14 MWh/año) de la demanda total de energía eléctrica (4,293.32 MWh/año) del campus 1, el cual podría cubrir las necesidades energéticas de las principales unidades de producción del campus 1 que consumen la mayor cantidad de energía eléctrica. Sin embargo, para hacer viable la generación de energía eléctrica y/o térmica a partir de la biomasa residual aprovechable será necesario seleccionar la tecnología más adecuada a emplear para este fin, el cual dependerá de su eficiencia de conversión en energía relacionada a la tecnología, así como el tipo y disponibilidad de biomasa residual.

VI. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que se sugiere como complemento a la presente investigación se detallan a continuación:

- Durante la recolección de muestras de la biomasa residual agrícola y forestal es importante utilizar plantillas descriptivas, que lleven información de interés que puedan incidir tanto en la caracterización fisicoquímica como del contenido energético. Esta información de interés puede ser el tipo de abono, condiciones físicas del lugar de muestreo, clima del día que se recolectó la muestra y posibles fuentes de contaminación.
- Como complemento al presente estudio se deben realizar los análisis de celulosa, hemicelulosa y lignina para la biomasa residual agrícola y forestal debido a que influyen en su poder calórico. Asimismo, los análisis microbiológicos para la biomasa residual pecuaria cuando se evalúa la tecnología (proceso bioquímico: digestión anaerobia) para su aprovechamiento energético.
- Se pretende incentivar a la realización de tesis futuras y/o proyectos de investigación para el aprovechamiento energético de estas biomásas residuales para la obtención de biocombustibles a través de procesos de conversión termoquímicos y procesos bioquímicos. Asimismo, determinar el costo de la conversión de la biomasa en energía por el monto de gasto en energía eléctrica que demanda anualmente la universidad.
- Las biomásas residuales agrícola y forestal que se generan en el campus 1 de la UNALM deben de estar en los puntos de acopio temporal hasta ser transportados para su acondicionamiento (adecuar la biomasa a las condiciones de granulometría, humedad o composición) y posterior proceso de conversión termoquímica. En el caso de la biomasa residual pecuaria se debe recolectar muestras frescas o que tengan como máximo 72 horas de permanencia en la fuente de generación y ser transportadas para su proceso de conversión bioquímica.
- Proponer que la UNALM incorpore una estrategia en su plan de sostenibilidad sobre la conversión de las biomásas residuales estudiadas para generación de

- energía en forma de calor y/o electricidad con la finalidad de promover el desarrollo de la bioenergía y de esta manera reducir las emisiones de gases de efecto invernadero para mitigar los efectos del cambio climático.

VII. BIBLIOGRAFÍA

Añasco, A., & Picado, J. (2005). PREPARACIÓN Y USO DE ABONOS ORGÁNICOS SÓLIDOS Y LÍQUIDOS. 66. San José, Costa Rica: Corporación Educativa para el Desarrollo Costarricense. Obtenido de [https://www.ciaorganico.net/documypublic/641_Abonos_organicos_\(1\).pdf](https://www.ciaorganico.net/documypublic/641_Abonos_organicos_(1).pdf)

Agencia Andaluza de la Energía - CONSEJERÍA DE ECONOMÍA, INNOVACIÓN Y CIENCIA. (2011). POTENCIAL DE BIOMASA EN ANDALUCÍA. METODOLOGÍA. Andalucía, España.

Agencia Andaluza de la Energía - CONSEJERÍA DE ECONOMÍA, INNOVACIÓN, CIENCIA Y EMPLEO. (2014). LOS BIOCARBURANTES EN ANDALUCÍA. Andalucía.

Basu, P. (2010). *Biomass Gasification and Pyrolysis* (Primera ed.). Burlington, USA: Elsevier.

Basu, P. (2013). *Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction* (Segunda ed.). Amsterdam: Elsevier.

Begazo, K., & Jave Nakayo, J. L. (Junio de 2018). Estimación de la biomasa aérea total y por componente estructural en especies arbóreas de Lima, Perú. *Revista Forestal del Perú*, 33(1), 76-90. doi:10.21704 / rfp.v33i1.1167

Blumetto, O., & Torres, A. (2005). Instalaciones para la gestión del estiércol en granjas cunícolas industriales. *Boletín de Cunicultura N°139, I, 7*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2869833.pdf>

Budí Orduña, A. (Septiembre de 2016). *ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA BIOMASA RESIDUAL AGRÍCOLA Y ANÁLISIS DE APROVECHAMIENTO EN LOS MUNICIPIOS DE LA COMARCA DEL ALTO PALANCIA*. Trabajo final de Master en Eficiencia Energética y Sostenibilidad, Universidad Jaume I, Jaume.

Cáceres Cáceres, R. (2019). *Diagnóstico del consumo de servicios básicos en la UNALM*. Universidad Nacional Agraria La Molina, Dirección General de Administración, Lima.

Cáceres Martínez, L. E., Guío-Pérez, D. C., & Rincón Prat, S. L. (2016). Potencial energético teórico y técnico de biomasa residual disponible en Colombia para el aprovechamiento en procesos de transformación termoquímica. *3er Congreso de Energía sostenible*, (págs. 106 - 111). Bogotá. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/327232550>

- Carrillo, L. (2004). *Energía de Biomasa* (Primera ed.). Jujuy, Argentina: S.s. Jujuy.
- De Lucas Herguedas, A. I., Del Peso Taranco, C., Rodríguez García, E., & Prieto Paniagua, P. (2012). *Biomasa, Biocombustibles y Sostenibilidad*. 216. Madrid, España: Centro Tecnológico y Agroalimentario.
- Del Pino, A., Repetto, C., Mori, C., & Perdomo, C. (Enero-marzo de 2008). PATRONES DE DESCOMPOSICIÓN DE ESTIÉRCOLES EN EL SUELO. *Terra Latinoamericana*, 26(1), 43-52. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792008000100006
- Elías Castells, X. (2012). Biomasa y Bioenergía. En X. Elías Castells, & S. Bordas Alsina, *Energía, agua, medioambiente, territorialidad y sostenibilidad* (Primera ed., págs. 741-878). Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos.
- Elías Castells, X., Marcelo Canales, Á., & Herrero, M. (2012). Aprovechamiento de los residuos agrícolas y forestales. En X. Elías Castells, *RECICLAJE DE RESIDUOS INDUSTRIALES* (págs. 703-708). Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos.
- Escalante Hernández, H., Orduz Prada, J., Zapata Lesmes, H. J., Cardona Ruiz, M. C., & Duarte Ortega, M. (2011). *Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia*. Santander, Colombia: Bucaramanga (Colombia): Universidad Industrial de Santander.
- Felix , E., & Rosell, C. (2010). El análisis de BEFS para el Perú. *Bioenergía y Seguridad Alimentaria (BEFS)*, I(39), 315. Roma.
- Fernández-Puratich, H., & Oliver-Villanueva, J. V. (2014). Cuantificación de biomasa y valor energético de renovales de *Quercus ilex* en condiciones mediterráneas. *BOSQUE*, 35(1), 65-74. doi:10.4067/S0717-92002014000100007
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (1993). *IMPROVED SOLID BIOMASS BURNING COOKSTOVES: A DEVELOPMENT MANUAL*. Bangkok, Thailand: FAO Regional Wood Energy Development Programme in Asia.
- Fundación Energía sin Fronteras. (2012). BIOMASA Y DESARROLLO. En F. E. Fronteras, *GUÍA DE SENSIBILIZACIÓN PARA LA UTILIZACIÓN DE LA BIOMASA COMO FUENTE DE ENERGÍA LOCAL EN AMÉRICA LATINA* (págs. 23-25). Madrid, España: Gráficas Áncora, S.A. Obtenido de <http://energiasinfronteras.org/es/estudios/nuestros-estudios>
- García Bustamante, H. (2013). VIII. Barreras para el Desarrollo de la Bioenergía. *Matriz Energética en el Perú y Energías Renovables, I*. Lima, Perú: Tarea Asociación Gráfica Educativa. Obtenido de <https://library.fes.de/pdf-files/bueros/peru/10183.pdf>
- García Jordán, M. (2015). Recuperación de fósforo y producción de sólidos adsorbentes a partir de purín mediante la combinación de tratamiento con ácido y pirólisis. Zaragoza.

Graziani, P. (2018). *Economía circular e innovación tecnológica en residuos sólidos: Oportunidades en América Latina*. Buenos Aires: CAF.

Instituto Nacional de Innovación Agraria INIA. (Junio de 2012). *ALGODÓN INIA 803 - VISTA FLORIDA*. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. Lima: INIA. Obtenido de https://www.inia.gob.pe/wp-content/uploads/investigacion/programa/sistProductivo/variedad/algodon/INIA_803.pdf

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). (2007). *Energía de la biomasa. Manuales de Energías Renovables 2*. Madrid, España: Fondo Editorial IDAE.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). (2008). *Biomasa: Experiencias con biomasa agrícola y forestal para uso energético*. Madrid.

La Picirelli de Souza, L., Rajabi Hamedani, S., Silva Lora, E. E., Escobar Palacio, J. C., Comodi, G., Villarini, M., & Colantoni, A. (2021). Theoretical and technical assessment of agroforestry residue potential for electricity generation in Brazil towards 2050. *Energy Reports*, 7, 2574-2587. doi:10.1016/j.egyr.2021.04.026

Lakó, J., Hancsók, J., Yuzhakova, T., Marton, G., Utasi, A., & Rédey, Á. (2008). BIOMASS – A SOURCE OF CHEMICALS AND ENERGY FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. *Environmental Engineering and Management Journal*, 7(5), 499-509. Obtenido de <http://omicron.ch.tuiasi.ro/EEMJ/>

León Carrasco, J. C. (4 de Julio de 2013). *RENDIMIENTO PROMEDIO DE PALTA HASS EN LA SIERRA ES DE 33% MAYOR AL DE LA COSTA*. Obtenido de Agencia agraria de noticias: <https://agraria.pe/noticias/rendimiento-promedio-de-palta-hass-en-la-sierra-es-de-33-ma-4746>

López Fernández, S., Serrato Cuevas, R., Castelán Ortega, O. A., & Avilés Nova, F. (Mayo de 2018). COMPARACIÓN ENTRE DOS MÉTODOS DE VENTILACIÓN EN LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE COMPOST DE ESTIÉRCOLES PECUARIOS. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 34(2), 263-271. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992018000200263

Lopez Nieve, G. F. (2019). *EMISIONES DE METANO A PARTIR DE ESTIÉRCOL DE VACUNO, CUY Y PORCINO EN LA GRANJA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA*. Práctica preprofesional, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María. Obtenido de <https://portal.unas.edu.pe/sites/default/files/epirnr/EMISIONES%20DE%20METANO%20A%20PARTIR%20DE%20ESTIERCOL%20DE%20VACUNO%2C%20CUY%20Y%20PORCINO%20EN%20LA%20GRANJA%20DE%20LA%20UNIVERSIDAD%20NACIONAL%20AGRARIA%20DE%20LA%20SELVA.pdf>

Masera Cerutti, O., Coralli, F., García Bustamante, C., Riegelhaupt, E., Arias Chalico, T., Vega Gregg, J., . . . Cecotti, L. (Agosto de 2011). *LA BIOENERGÍA EN MÉXICO:*

Situación actual y perspectivas. (*Cuaderno Temático No. 4*). México: RED MEXICANA DE BIOENERGÍA, A.C. Obtenido de <http://www.rembio.org.mx>

Meneses-Quelal, W. O., Velázquez-Martí, B., Gaibor-Chávez, J., & Niño-Ruiz, Z. (2020). Biochemical potential of methane (BMP) of camelid waste and the Andean region agricultural crops. *Renewable Energy*, 406-415. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.12.071>

Meza Capcha, K. B. (2014). *Planeamiento, diseño y evaluación técnico económico del sistema de riego del programa de frutales - fundo en la Universidad Nacional Agraria La Molina*. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2015). *Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego*. Obtenido de <https://www.midagri.gob.pe/portal/30-sector-agrario/maiz/253-costos-de-produccion>

Núñez Camargo, D. W. (2012). Uso de residuos agrícolas para la producción de biocombustibles en el departamento del Meta. *Tecnura*, 16(34), 142-156. Obtenido de <https://www.redalyc.org/comocitar.oi?id=257024712012>

Oficina Regional para Centroamérica Biomass Users Network (BUN-CA). (2002). *Manuales sobre energía renovable: Biomasa* (Primera ed.). San José, Costa Rica: BUN-CA.

Orellana Asenjo, G. J. (2014). *Prospección y evaluación de síntomas y signos de enfermedades en especies forestales del campus de la Universidad Nacional Agraria La Molina*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2004). *Terminología Unificada sobre Bioenergía (TUB)*. Roma.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2008). *El Estado mundial de la Agricultura y de la Alimentación*. Roma: División de Comunicación - FAO.

Organización Latinoamericana de Energía (OLADE). (2019). *Panorama Energético de América Latina y el Caribe*. Quito, Ecuador. Obtenido de <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/old0433a.pdf>

Orrego Moya, R. (2011). *Estado del Arte y Novedades de la Bioenergía en el Perú*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Lima. Obtenido de <http://extranet.olade.org/sites/default/files/CIDA/Biocomustibles/FAO/Estado%20del%20Arte%20y%20Novedades%20de%20la%20Bioenerg%C3%ADa%20en%20Per%C3%B3.pdf>

OSINERGMIN - División de Supervisión de Electricidad. (marzo de 2018). SUPERVISIÓN DE CONTRATOS DE CENTRALES DE GENERACIÓN Y LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE ENERGÍA. Lima, Perú.

OSINERGMIN - División de Supervisión de Electricidad. (Julio de 2020). Centrales de generación eléctrica con Recursos Energéticos Renovables. Lima, Perú.

OSINERGMIN - División de Supervisión de Electricidad. (Septiembre de 2020). Supervisión de contratos de proyectos de generación y transmisión de energía eléctrica en operación. Lima, Perú.

Quiñones Ramirez, H. R. (2016). PRODUCCIÓN DE ABONO LÍQUIDO ACELERADO CON HECES DE ALPACA, LACTOSUERO BOVINO Y MELAZA DE CAÑA MEDIANTE FERMENTACIÓN HOMOLÁCTICA. Lima, Perú. Obtenido de <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2219/F04-Q855-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Rectorado de la Universidad Nacional Agraria La Molina. (16 de Mayo de 2017). RESOLUCIÓN N°0259-2017-R-UNALM. *Aprueba la Directiva para la Gestión de Residuos Agroforestales y Prevención de Incendios*. La Molina, Lima, Perú: Prensa UNALM.

Rectorado de la Universidad Nacional Agraria La Molina. (2 de Septiembre de 2020). RESOLUCIÓN N° 0318-2020-R-UNALM . *Aprueba Protocolo para el Manejo de Residuos Sólidos Peligrosos generados en laboratorios, centros de producción, centro médico y áreas diversas de la Universidad Nacional Agraria la Molina*. La Molina, Lima, Perú.

Ruales Salcedo, A. V. (2015). Evaluación del Potencial Energético y Bioactivo de los Residuos Generados por la Producción y Transformación de la Uva. Colombia.

San Miguel, G., & Gutiérrez Martín, F. (2015). *Tecnologías para el uso y transformación de biomasa energética* (Tercera ed.). Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa.

Schmerler Vainstein, D., Velarde Sacio, J. C., Rodríguez González, A., & Solís Sosa, B. (2019). *Energías renovables: experiencia y perspectivas en la ruta del Perú hacia la transición energética*. OSINERGMIN. Lima: GRÁFICA BIBLOS S.A.

Sebastián Nogués , F., & Royo Herrero, J. (Abril de 2002). La Biomasa como fuente de Energía Renovable. *CICLO ENERGÍAS RENOVABLES JORNADAS DE BIOMASA - GENERALIDADES*, 17. Obtenido de http://www.agenergia.org/wp-content/uploads/2018/05/1234281334_Gralidades_biomasa.pdf

Sebastián Nogués, F., García-Galindo, D., & Rezeau, A. (2010). *Energía de la biomasa* (Primera ed., Vol. I). Zaragoza, España: Prensas Universitarias de Zaragoza.

Secretaría de Energía. (2008). *Energías Renovables 2008 - Energía Biomasa*. Argentina: Tecnología de la Información.

Secretaría General de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural - Consejería de Agricultura y Pesca. (2008). Potencial energético de la biomasa residual agrícola y ganadera en Andalucía. Andalucía, España: JUNTA DE ANDALUCÍA.

Serrato Monroy, C. C., & Lesmes Cepeda, V. (2016). METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE ENERGÍA EXTRAÍDA A PARTIR DE LA BIOMASA EN EL DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA. Bogotá, Colombia.

Stronguiló Leturia, M. L., & Chacón Febres, L. M. (2015). Caracterización de biomasa residual de la región Arequipa para la producción de biocombustibles. *Enfoque UTE*, 6(4), 42-54. doi:10.29019 / enfoqueute.v6n4.77

Tamayo Pacheco, J. F., Salvador Jácome,, J., Vásquez Cordano,, A. L., & Vilches Cevallos, C. M. (2016). *La industria de la electricidad en el Perú: 25 años de aportes al crecimiento económico del país*. Osinergmin, Lima.

Tursi, A. (2019). A review on biomass: importance, chemistry, classification, and conversion. *Biofuel Research Journal* 22, 962-979. doi:10.18331/BRJ2019.6.2.3

Varnero Moreno, T. M. (2011). *Manual de Biogás*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Santiago de Chile.

Vásquez Cordano, A. L., Tamayo Pacheco, J. F., & Salvador Jácome,, J. (2017). *La industria de la energía renovable en el Perú: 10 años de contribuciones a la mitigación del cambio climático*. Osinergmin. Lima: GRÁFICA BIBLIOS S.A.

Williams, C., Emerson, R., & Tumuluru, J. S. (22 de Febrero de 2017). Biomass Compositional Analysis for Conversion to Renewable Fuels and Chemicals. 251-270. Idaho Falls, USA: US Department of Energy. doi:10.5772 / 65777

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Clasificación de residuos generados por la UNALM

Tabla 1. Clasificación de residuos generados por la Universidad Nacional Agraria la Molina

N°	Tipo de Residuo	Categoría	Subcategoría	Tipo de Tratamiento
1	Residuos No Peligrosos	Residuos Aprovechables	Papel y Cartón	Valorización - EORS
			Envases de Plásticos	Valorización - EORS
			Envases de Vidrio	Valorización - EORS
			Madera	Valorización - EORS
			Aceite vegetal	Valorización - EORS
			Metálicos (Hierro)	Valorización - EORS
			Agroforestales Herbáceos	Valorización - Compostaje ⁽¹⁾
			Agroforestales Leñosos	Valorización - Biochar
			Heces de animales, orina y estiércol tratados	Valorización - Compostaje, abono
		Residuos No Aprovechables	Restos de comida	Recolección Municipal
			Envases de poliestireno expandido	Recolección Municipal
			Cristales	Recolección Municipal
			Serrín, virutas, recortes, madera sin sustancias peligrosas	Recolección Municipal
			Residuos de aseo e higiene personal	Recolección Municipal
			Mezcla de residuos sin sustancias peligrosas	Recolección Municipal
			Heces de animales, orina y estiércol no tratados	Empresa Operadora de Residuos Sólidos (EORS)
			Residuos de construcción y demolición	Empresa Operadora de Residuos Sólidos (EORS)
			Residuos de procesos industriales sin sustancias peligrosas	Empresa Operadora de Residuos Sólidos (EORS)
2	Residuos Peligrosos	Residuos Peligrosos	Residuos de procesos y prácticas químicas (inorgánicos y orgánicos)	Disposición Final - Relleno Sanitario de seguridad
			Aceites minerales	Disposición Final - Relleno Sanitario de seguridad
			Combustibles líquidos	Disposición Final - Relleno Sanitario de seguridad
			Disolventes, refrigerantes	Disposición Final - Relleno Sanitario de seguridad
			Residuos de Aparatos Eléctricos y electrónicos - RAEE	Sistema Colectivo de RAEE - EORS ⁽²⁾
			Sustancias infecciosas de Servicio Médico	Disposición Final - Relleno Sanitario de seguridad
			Agroquímicos	Disposición Final - Relleno Sanitario de seguridad
			Mezcla de residuos con sustancias peligrosas	Disposición Final - Relleno Sanitario de seguridad

EORS: Empresa Operadora de Residuos Sólidos autorizada por el Ministerio del Ambiente – Perú

(1): Son valorizados en el Centro Modelo de Tratamiento de Residuos (CEMTRAR) de la UNALM, se incluye los residuos de poda.

(2): Los RAEE, se dividen en inventariados y no inventariados.

Fuente: RESOLUCIÓN N° 0318-2020-R-UNALM por Rectorado de la Universidad Nacional Agraria La Molina (2 de septiembre de 2020).

Anexo 2: Cronograma de recolección y codificación de las muestras de biomasa residual generada en la UNALM

Fecha de muestreo	Tipo de biomasa residual	Código de campo
10/10/2020	RAC de algodón	A-AI-001
10/10/2020	Rastrojo de maíz	A-Ma-002
10/10/2020	Palto poda	A-Pa-003
11/10/2020	Poda de Grevilea	F-Gr-002
11/10/2020	Poda de Huaranguay	F-Hu-003
11/10/2020	Poda de Molle serrano	F-Ms-004
4/11/2020	Estiércol de Ovinos	PO-001
4/11/2020	Estiércol de Llamas	PL-002
4/11/2020	Estiércol de Alpacas	PA-003
5/11/2020	Purín de Cerdos	PC-004
5/11/2020	Estiércol de Vacunos	PV-005
5/11/2020	Estiércol de Caballos	PE-006
5/11/2020	Estiércol de Terneros	PT-007
6/11/2020	Estiércol de Conejos	PCo-008
6/11/2020	Estiércol de Cuyes	PCu-009
6/11/2020	Estiércol de Pollos de carne	PPI-010
6/11/2020	Estiércol de Gallinas ponedoras	PGa-011

Anexo 3: Reportes de resultados de las muestras de biomasa residual analizadas en el Laboratorio de Energías Renovables de la UNALM



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
LABORATORIO DE ENERGÍAS RENOVABLES
Unidad de Biomasa Energética

REPORTE DE ANÁLISIS ELEMENTAL (C, H, N, O, S)
LER – BIOMASA 015 - 2020

Solicitante : Srta. Angela Castillo Híjar
 Tipo de muestra : Biomasa residual agrícola, forestal y pecuaria
 Procedente de : UNALM, la Molina - Lima.
 Fecha Recepción : 10 / 10 / 2020 al 06 / 11 / 2020
 Norma : ASTM D5373 - ASTM D4239

N. LABORATORIO	CÓDIGO DE CAMPO	BASE SECA				
		C (%)	H (%)	N (%)	S (%)	O (%)
UBE-(10/2020)-0035	A-AI-001	41.25	6.11	0.99	0.29	42.30
UBE-(10/2020)-0036	A-Ma-002	34.88	5.28	2.23	0.31	32.51
UBE-(10/2020)-0037	A-Pa-003	45.96	5.94	0.21	0.18	42.90
UBE-(10/2020)-0038	F-Gr-002	47.44	6.11	0.45	0.28	40.39
UBE-(10/2020)-0039	F-Hu-003	44.10	6.19	0.54	0.08	44.34
UBE-(10/2020)-0040	F-Ms-004	43.85	6.21	0.11	0.17	47.76
UBE-(11/2020)-0041	PO-001	35.39	5.07	1.54	0.54	37.06
UBE-(11/2020)-0042	PL-002	33.94	4.82	1.23	0.40	34.74
UBE-(11/2020)-0043	PA-003	33.74	4.82	1.35	0.42	34.56
UBE-(11/2020)-0044	PC-004	39.66	5.94	4.17	0.35	29.82
UBE-(11/2020)-0045	PV-005	33.63	4.62	1.97	0.51	23.13
UBE-(11/2020)-0046	PE-006	32.85	5.03	1.64	0.44	40.87
UBE-(11/2020)-0047	PT-007	41.28	5.83	2.59	0.47	27.17
UBE-(11/2020)-0048	PCo-008	38.26	5.65	1.76	0.61	40.97
UBE-(11/2020)-0049	PCu-009	37.52	5.44	2.20	0.57	38.65
UBE-(11/2020)-0050	PPI-010	36.20	5.52	3.66	0.82	36.55
UBE-(11/2020)-0051	PGa-011	30.35	4.68	3.23	1.22	35.87

NOTA:

- El análisis se realizó con la muestra en base seca (la muestra tal como se recibió fue secada en estufa durante 24 horas a 105 °C), con humedad entre 0% a 05%.
- Se realizó el análisis por triplicado de cada muestra y se reportó el promedio de los resultados.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
LABORATORIO DE ENERGÍAS RENOVABLES
Unidad de Biomasa Energética

REPORTE DE ANÁLISIS TERMOGRAVIMÉTRICO - TGA (PROXIMAL)
LER – BIOMASA 016 - 2020

Solicitante : Srta. Angela Castillo Híjar
Tipo de muestra : Biomasa residual agrícola, forestal y pecuaria
Procedente de : UNALM, la Molina - Lima.
Fecha Recepción : 10 / 10 / 2020 al 06 / 11 / 2020
Norma : ASTM D7582

N. LABORATORIO	CÓDIGO DE CAMPO	BASE HÚMEDA			
		CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	MATERIA VOLÁTIL (%)	CENIZAS (%)	CARBONO FIJO (%)
UBE-(10/2020)-0035	A-AI-001	16.89	69.28	7.53	6.31
UBE-(10/2020)-0036	A-Ma-002	17.65	57.03	20.42	4.91
UBE-(10/2020)-0037	A-Pa-003	13.51	72.36	4.16	9.97
UBE-(10/2020)-0038	F-Gr-002	15.79	71.78	4.48	7.96
UBE-(10/2020)-0039	F-Hu-003	12.46	74.90	4.16	8.49
UBE-(10/2020)-0040	F-Ms-004	28.85	64.82	1.36	4.98
UBE-(11/2020)-0041	PO-001	50.20	35.35	11.66	2.79
UBE-(11/2020)-0042	PL-002	55.82	31.46	10.99	1.74
UBE-(11/2020)-0043	PA-003	56.49	31.83	10.85	0.83
UBE-(11/2020)-0044	PC-004	69.26	24.62	6.12	0
UBE-(11/2020)-0045	PV-005	77.95	15.74	6.31	0
UBE-(11/2020)-0046	PE-006	77.60	19.36	2.98	0.06
UBE-(11/2020)-0047	PT-007	78.07	18.03	2.98	0.92
UBE-(11/2020)-0048	PCo-008	53.37	36.23	8.41	2.00
UBE-(11/2020)-0049	PCu-009	55.23	36.03	7.59	1.15
UBE-(11/2020)-0050	PPI-010	81.65	15.41	2.94	0
UBE-(11/2020)-0051	PGa-011	76.83	16.51	6.66	0

NOTA:

- El análisis se realizó con la muestra en base húmeda (La base húmeda se refiere al análisis de la muestra sin tratamiento previo de secado).
- Se realizó el análisis por triplicado de cada muestra y se reportó el promedio de los resultados.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
LABORATORIO DE ENERGÍAS RENOVABLES
Unidad de Biomasa Energética

REPORTE DE ANÁLISIS DE PODER CALÓRICO
(CALORÍMETRO)
LER – BIOMASA 017 – 2020

Solicitante : Srta. Angela Castillo Híjar
Tipo de muestra : Biomasa residual agrícola, forestal y pecuaria
Procedente de : UNALM, la Molina - Lima.
Fecha Recepción : 10 / 10 / 2020 al 06 / 11 / 2020
Norma : ASTM D5865 - 13

N. LABORATORIO	CÓDIGO DE CAMPO	BASE SECA	BASE HÚMEDA
		PCS (kcal/kg)	PCI (kcal/kg)
UBE-(10/2020)-0035	A-AI-001	3907.90	3247.85
UBE-(10/2020)-0036	A-Ma-002	3693.60	3041.68
UBE-(10/2020)-0037	A-Pa-003	4189.29	3623.32
UBE-(10/2020)-0038	F-Gr-002	4302.00	3622.73
UBE-(10/2020)-0039	F-Hu-003	4375.75	3830.53
UBE-(10/2020)-0040	F-Ms-004	4394.75	3126.86
UBE-(11/2020)-0041	PO-001	4397.20	2189.81
UBE-(11/2020)-0042	PL-002	3459.57	1528.44
UBE-(11/2020)-0043	PA-003	3239.77	1409.62
UBE-(11/2020)-0044	PC-004	4066.32	1250.12
UBE-(11/2020)-0045	PV-005	3264.80	719.89
UBE-(11/2020)-0046	PE-006	4443.80	995.56
UBE-(11/2020)-0047	PT-007	3969.80	870.58
UBE-(11/2020)-0048	PCo-008	3696.50	1723.68
UBE-(11/2020)-0049	PCu-009	3785.80	1694.90
UBE-(11/2020)-0050	PPI-010	3745.24	687.13
UBE-(11/2020)-0051	PGa-011	2474.40	573.32

NOTA:


- El PCS se obtiene de la muestra analizada en base seca (la muestra tal como se recibió fue secada en estufa durante 24 horas a 105 °C), con humedad entre 0% a 05%.
- El PCI se obtiene de la muestra analizada en base húmeda (La base húmeda se refiere al análisis de las muestras sin tratamiento previo de secado).
- Se realizó el análisis por triplicado de cada muestra y se reportó el promedio de los resultados.

Anexo 4: Plantillas descriptivas de las unidades de producción de la facultad de Zootecnia de la UNALM

PLANTILLA DESCRIPTIVA DEL SITIO A MUESTREAR BIOMASA RESIDUAL PECUARIA DE LA UNALM

TIPO DE BIOMASA RESIDUAL PECUARIA -2020 Código muestra: PO-001

Fecha: 08/09/21 Programa de Investigación: de Ovinos y Camélidos Americanos
 Evaluador Responsable: Angela T. Castillo Híjar
 Responsable del área: Carmen R. Silva Villavicencio



FIRMA/ SELLO DEL PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN O UNIDAD EXPERIMENTAL

1. CLASIFICACIÓN DE GANADO:

AVES: Gallinas ponedoras Pollos de carne
 N° de cabezas: _____

CERDOS: Gestación Lactación/Maternidad Reproducción
 N° de cabezas: _____ Crecimiento + Acabado

ANIMALES MENORES: CUYES CONEJOS
 N° de cabezas: _____ Carne Reproductores

OVINOS: Carne Leche
 N° de cabezas: 120

CAMÉLIDOS AMERICANOS: ALPACAS LLAMAS
 N° de cabezas: _____ Carne Lana/Fibra Reproductores

VACUNO: Leche Carne Doble propósito
 N° de cabezas: _____

EQUINOS: N° de cabezas: _____ **TERNEROS:** N° de cabezas: _____

2. CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO: Húmedo: Seco:

Observaciones: Aprisco con elevación, piso slats, uso

3. TIPO DE ALIMENTACIÓN: Concentrado Pastoreo Pasto de corte
 Suplementación Otros

Observaciones: Pasto picado con sal carbonato Ca⁺ y panca molida.

4. PRODUCCIÓN DE ESTIÉRCOL (kg/día): 1.5 kg/día

5. USO ACTUAL DEL ESTIÉRCOL: Compostaje Abono Biodigestión
 Alimentación Ninguna

Conoce proyectos donde utilicen este tipo de biomasa: _____
 Observaciones: _____

6. TIPO DE CAMA: Paja Cama cascarilla Cama viruta
 Jaula Otros


Observaciones Generales: Ninguno

Nota: La producción de estiércol (kg/día) es por animal.

PLANTILLA DESCRIPTIVA DEL SITIO A MUESTREAR BIOMASA RESIDUAL PECUARIA DE LA UNALM

TIPO DE BIOMASA RESIDUAL PECUARIA - 2020 Código muestra: PL-002

Fecha: 08/09/21 Programa de Investigación: de Ovinas y Camélidos Americanos
 Evaluador Responsable: Angela T. Castillo Hija
 Responsable del área: Carmen R. Silva Vilavicencio


 FIRMA/ SELLO DEL PROGRAMA DE INVESTIGACION O UNIDAD EXPERIMENTAL

1. CLASIFICACIÓN DE GANADO:

AVES: Gallinas ponedoras Pollos de carne
 N° de cabezas: _____

CERDOS: Gestación Lactación/Maternidad Reproducción
 N° de cabezas: _____ Crecimiento + Acabado

ANIMALES MENORES: CUYES CONEJOS
 N° de cabezas: _____ Carne Reproductores

OVINOS: Carne Leche
 N° de cabezas: _____

CAMÉLIDOS AMERICANOS: ALPACAS LLAMAS
 N° de cabezas: 13 Carne Lana/Fibra Reproductores

VACUNO: Leche Carne Doble propósito
 N° de cabezas: _____

EQUINOS: **TERNEROS:**
 N° de cabezas: _____ N° de cabezas: _____

2. CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO: Húmedo: Seco:

Observaciones: Corrales con piso concreto rugoso y tierra

3. TIPO DE ALIMENTACIÓN: Concentrado Pastoreo Pasto de corte
Suplementación Otros

Observaciones: Pasto picado con sal carbonato cálc y Panca Molida

4. PRODUCCIÓN DE ESTIÉRCOL (kg/día): 1.8 kg/día

5. USO ACTUAL DEL ESTIÉRCOL: Compostaje Abono Alimentación Biodigestión
Ninguna
 Conoce proyectos donde utilicen este tipo de biomasa: _____
 Observaciones: _____

6. TIPO DE CAMA: Paja Cama cascarilla Cama viruta
Jaula Otros
 Observaciones Generales: Ninguno

Nota: La producción de estiércol (kg/día) es por animal.

PLANTILLA DESCRIPTIVA DEL SITIO A MUESTREAR BIOMASA RESIDUAL PECUARIA DE LA UNALM

TIPO DE BIOMASA RESIDUAL PECUARIA - 2020 Código muestra: PA-003

Fecha: 08/09/21 Programa de Investigación: de Ovinos y Camélidos Americanos
 Evaluador Responsable: Angela T. Castillo Híjar
 Responsable del área: Carmen R. Silva Villovicencio


FIRMA/SELLO DEL PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN O UNIDAD EXPERIMENTAL

1. CLASIFICACIÓN DE GANADO:

AVES: Gallinas ponedoras Pollos de carne
 N° de cabezas: _____

CERDOS: Gestación Lactación/Maternidad Reproducción
 N° de cabezas: _____ Crecimiento + Acabado

ANIMALES MENORES: CUYES CONEJOS
 N° de cabezas: _____ Carne Reproductores

OVINOS: Carne Leche
 N° de cabezas: _____

CAMÉLIDOS AMERICANOS: ALPACAS LLAMAS
 N° de cabezas: 16 Carne Lana/Fibra Reproductores

VACUNO: Leche Carne Doble propósito
 N° de cabezas: _____

EQUINOS: _____ **TERNEROS:** N° de cabezas: _____

2. CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO: Húmedo: Seco:
 Observaciones: Corrales con piso concreto rugoso y tierra.

3. TIPO DE ALIMENTACIÓN: Concentrado Pastoreo Pasto de corte
 Suplementación Otros
 Observaciones: Pasto picado con sal carbonato Ca⁺ y panca molida.

4. PRODUCCIÓN DE ESTIÉRCOL (kg/día): 1.8 Kg/día

5. USO ACTUAL DEL ESTIÉRCOL: Compostaje Abono Biodigestión
 Alimentación Ninguna
 Conoce proyectos donde utilicen este tipo de biomasa: _____
 Observaciones: _____

6. TIPO DE CAMA: Paja Cama cascarilla Cama viruta
 Jaula Otros
 Observaciones Generales: Ninguno

Nota: La producción de estiércol (kg/día) es por animal.

PLANTILLA DESCRIPTIVA DEL SITIO A MUESTREAR BIOMASA RESIDUAL PECUARIA DE LA UNALM

TIPO DE BIOMASA RESIDUAL PECUARIA - 2020 Código muestra: PC-004

Fecha: 10/09/21 Programa de Investigación: en Cerdos UNIVERSIDAD NACIONAL

Evaluador Responsable: Angela T. Castillo Híjan

Responsable del área: Ing. Julio Concha

1. CLASIFICACIÓN DE GANADO:

AVES: Gallinas ponedoras Pollos de carne
 N° de cabezas: _____

CERDOS: Gestación Lactación/Maternidad Reproducción
 N° de cabezas: 136 Crecimiento + Acabado

ANIMALES MENORES: CUYES CONEJOS
 N° de cabezas: _____ Carne Reproductores

OVINOS: Carne Leche
 N° de cabezas: _____

CAMÉLIDOS AMERICANOS: ALPACAS LLAMAS
 N° de cabezas: _____ Carne Lana/Fibra Reproductores

VACUNO: Leche Carne Doble propósito
 N° de cabezas: _____

EQUINOS: N° de cabezas: _____ **TERNEROS:** N° de cabezas: _____

2. CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO: Húmedo: Seco:

Observaciones: Concreto

3. TIPO DE ALIMENTACIÓN: Concentrado Pastoreo Pasto de corte
 Suplementación Otros

Observaciones: _____

4. PRODUCCIÓN DE ESTIÉRCOL (kg/día): _____

5. USO ACTUAL DEL ESTIÉRCOL: Compostaje Abono Biodigestión
 Alimentación Ninguna

Conoce proyectos donde utilicen este tipo de biomasa: _____

Observaciones: _____

6. TIPO DE CAMA: Paja Cama cascarilla Cama viruta
 Jaula Otros

Observaciones Generales: Ninguno

Nota: No se obtuvo información de la producción de estiércol (kg/día).

PLANTILLA DESCRIPTIVA DEL SITIO A MUESTREAR BIOMASA RESIDUAL PECUARIA DE LA UNALM

TIPO DE BIOMASA RESIDUAL PECUARIA - 2020 Código muestra: —

Fecha: 10/09/21 Programa de Investigación: en Cerdos
 Evaluador Responsable: Angela T. Castillo Hija
 Responsable del área: Ing. Julio Concha

1. CLASIFICACIÓN DE GANADO:

AVES: Gallinas ponedoras Pollos de carne
 N° de cabezas: _____

CERDOS: Gestación Lactación/Maternidad Reproducción
 N° de cabezas: 48 Crecimiento + Acabado

ANIMALES MENORES: CUYES CONEJOS
 N° de cabezas: _____ Carne Reproductores

OVINOS: Carne Leche
 N° de cabezas: _____

CAMÉLIDOS AMERICANOS: ALPACAS LLAMAS
 N° de cabezas: _____ Carne Lana/Fibra Reproductores

VACUNO: Leche Carne Doble propósito
 N° de cabezas: _____

EQUINOS: N° de cabezas: _____ **TERNEROS:** N° de cabezas: _____

2. CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO: Húmedo: Seco:
 Observaciones: Concreto

3. TIPO DE ALIMENTACIÓN: Concentrado Pastoreo Pasto de corte
 Suplementación Otros
 Observaciones: _____

4. PRODUCCIÓN DE ESTIÉRCOL (kg/día): _____

5. USO ACTUAL DEL ESTIÉRCOL: Compostaje Abono Biodigestión
 Alimentación Ninguna
 Conoce proyectos donde utilicen este tipo de biomasa: _____
 Observaciones: _____

6. TIPO DE CAMA: Paja Cama cascarilla Cama viruta
 Jaula Otros
 Observaciones Generales: Ninguno

Nota: No se obtuvo información de la producción de estiércol (kg/día).

PLANTILLA DESCRIPTIVA DEL SITIO A MUESTREAR BIOMASA RESIDUAL PECUARIA DE LA UNALM

TIPO DE BIOMASA RESIDUAL PECUARIA - 2020 Código muestra:

Fecha: 10/09/21 Programa de Investigación: en Cerdos

Evaluador Responsable: Angela T. Castillo Híjar

Responsable del área: Ing. Julio Cancha

1. CLASIFICACIÓN DE GANADO:

AVES: Gallinas ponedoras Pollos de carne
 N° de cabezas:

CERDOS: Gestación Lactación/Maternidad Reproducción
 N° de cabezas: 8 Crecimiento + Acabado

FIRMA/ SELLO DEL PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN O UNIDAD EXPERIMENTAL

ANIMALES MENORES: CUYES CONEJOS
 N° de cabezas: Carne Reproductores

OVINOS: Carne Leche
 N° de cabezas:

CAMÉLIDOS AMERICANOS: ALPACAS LLAMAS
 N° de cabezas: Carne Lana/Fibra Reproductores

VACUNO: Leche Carne Doble propósito
 N° de cabezas:

EQUINOS: N° de cabezas: **TERNEROS:** N° de cabezas:

2. CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO: Húmedo: Seco:

Observaciones: Concreto

3. TIPO DE ALIMENTACIÓN: Concentrado Pastoreo Pasto de corte
 Suplementación Otros

Observaciones:

4. PRODUCCIÓN DE ESTIÉRCOL (kg/día):

5. USO ACTUAL DEL ESTIÉRCOL: Compostaje Abono Biodigestión
 Alimentación Ninguna

Conoce proyectos donde utilicen este tipo de biomasa:

Observaciones:

6. TIPO DE CAMA: Paja Cama cascarilla Cama viruta
 Jaula Otros

Observaciones Generales: Ninguna

Nota: No se obtuvo información de la producción de estiércol (kg/día).

PLANTILLA DESCRIPTIVA DEL SITIO A MUESTREAR BIOMASA RESIDUAL PECUARIA DE LA UNALM

TIPO DE BIOMASA RESIDUAL PECUARIA -2020 Código muestra:

Fecha: 10/09/21 Programa de Investigación: en Cerdos

Evaluador Responsable: Angela T. Castillo Híjar

Responsable del área: Ing. Julio Concha

1. CLASIFICACIÓN DE GANADO:

AVES: Gallinas ponedoras Pollos de carne
 N° de cabezas:

CERDOS: Gestación Lactación/Maternidad Reproducción
 N° de cabezas: 8 Crecimiento + Acabado

ANIMALES MENORES: CUYES CONEJOS
 N° de cabezas: Carne Reproductores

OVINOS: Carne Leche
 N° de cabezas:

CAMÉLIDOS AMERICANOS: ALPACAS LLAMAS
 N° de cabezas: Carne Lana/Fibra Reproductores

VACUNO: Leche Carne Doble propósito
 N° de cabezas:

EQUINOS: N° de cabezas: **TERNEROS:** N° de cabezas:

2. CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO: Húmedo: Seco:

Observaciones: Concreto

3. TIPO DE ALIMENTACIÓN: Concentrado Pastoreo Pasto de corte
 Suplementación Otros

Observaciones:

4. PRODUCCIÓN DE ESTIÉRCOL (kg/día):

5. USO ACTUAL DEL ESTIÉRCOL: Compostaje Abono Biodigestión
 Alimentación Ninguna

Conoce proyectos donde utilicen este tipo de biomasa:

Observaciones:


6. TIPO DE CAMA: Paja Cama cascarilla Cama viruta
 Jaula Otros

Observaciones Generales: Ninguna

Nota: No se obtuvo información de la producción de estiércol (kg/día).

PLANTILLA DESCRIPTIVA DEL SITIO A MUESTREAR BIOMASA RESIDUAL PECUARIA DE LA UNALM

TIPO DE BIOMASA RESIDUAL PECUARIA - 2020 Código muestra: **PV-005**

Fecha: **10/09/21** Programa de Investigación: **Unidad Experimental de** 

Evaluador Responsable: **Angela T. Castillo Hija**

Responsable del área: **Ing. Esteban Mixán Vargas**

1. CLASIFICACIÓN DE GANADO:

AVES: Gallinas ponedoras Pollos de carne
 N° de cabezas: _____

CERDOS: Gestación Lactación/Maternidad Reproducción
 N° de cabezas: _____ Crecimiento + Acabado

ANIMALES MENORES: CUYES CONEJOS
 N° de cabezas: _____ Carne Reproductores

OVINOS: Carne Leche
 N° de cabezas: _____

CAMÉLIDOS AMERICANOS: ALPACAS LLAMAS
 N° de cabezas: _____ Carne Lana/Fibra Reproductores

VACUNO: Leche Carne Doble propósito
 N° de cabezas: **103**

EQUINOS: N° de cabezas: _____ **TERNEROS:** N° de cabezas: _____

2. CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO: Húmedo: Seco:

Observaciones: _____

3. TIPO DE ALIMENTACIÓN: Concentrado Pastoreo Pasto de corte
 Suplementación Otros

Observaciones: _____

4. PRODUCCIÓN DE ESTIÉRCOL (kg/día): **2900 kg / día húmedo**

5. USO ACTUAL DEL ESTIÉRCOL: Compostaje Abono Biodigestión
 Alimentación Ninguna

Conoce proyectos donde utilicen este tipo de biomasa: _____

Observaciones: _____

6. TIPO DE CAMA: Paja Cama cascarilla Cama viruta
 Jaula Otros

Observaciones Generales: _____

Nota: La producción de estiércol (kg/día) es del total de animales (103).

PLANTILLA DESCRIPTIVA DEL SITIO A MUESTREAR BIOMASA RESIDUAL PECUARIA DE LA UNALM

TIPO DE BIOMASA RESIDUAL PECUARIA -2020 Código muestra: **PE-006**

Fecha: 10/09/21 Programa de Investigación: Unidad Experimental de Zootecnia
 Evaluador Responsable: Angela T. Castillo Hija
 Responsable del área: Ing. Esteban Mixán Vargas

1. CLASIFICACIÓN DE GANADO:

AVES: Gallinas ponedoras Pollos de carne
 N° de cabezas: _____

CERDOS: Gestación Lactación/Maternidad Reproducción
 N° de cabezas: _____ Crecimiento + Acabado

ANIMALES MENORES: CUYES CONEJOS
 N° de cabezas: _____ Carne Reproductores

OVINOS: Carne Leche
 N° de cabezas: _____

CAMÉLIDOS AMERICANOS: ALPACAS LLAMAS
 N° de cabezas: _____ Carne Lana/Fibra Reproductores

VACUNO: Leche Carne Doble propósito
 N° de cabezas: _____

EQUINOS: N° de cabezas: 27 **TERNEROS:** N° de cabezas: _____

2. CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO: Húmedo: Seco:

Observaciones: _____

3. TIPO DE ALIMENTACIÓN: Concentrado Pastoreo Pasto de corte
 Suplementación Otros

Observaciones: _____

4. PRODUCCIÓN DE ESTIÉRCOL (kg/día): 300 kg/día húmedo

5. USO ACTUAL DEL ESTIÉRCOL: Compostaje Abono Biodigestión
 Alimentación Ninguna

Conoce proyectos donde utilicen este tipo de biomasa: _____
 Observaciones: _____

6. TIPO DE CAMA: Paja Cama cascarilla Cama viruta
 Jaula Otros

Observaciones Generales: _____

Nota: La producción de estiércol (kg/día) es del total de animales (27).

PLANTILLA DESCRIPTIVA DEL SITIO A MUESTREAR BIOMASA RESIDUAL PECUARIA DE LA UNALM

TIPO DE BIOMASA RESIDUAL PECUARIA - 2020

Código muestra: PT-007

Fecha: 10/09/21 Programa de Investigación: Unidad Experimental de Zootecnia
 Evaluador Responsable: Angela T. Castillo Hija
 Responsable del área: Ing. Esteban Mixán Vargas

1. CLASIFICACIÓN DE GANADO:

AVES: Gallinas ponedoras Pollos de carne
 N° de cabezas: _____

CERDOS: Gestación Lactación/Maternidad Reproducción
 N° de cabezas: _____ Crecimiento + Acabado

ANIMALES MENORES: CUYES CONEJOS
 N° de cabezas: _____ Carne Reproductores

OVINOS: Carne Leche
 N° de cabezas: _____

CAMÉLIDOS AMERICANOS: ALPACAS LLAMAS
 N° de cabezas: _____ Carne Lana/Fibra Reproductores

VACUNO: Leche Carne Doble propósito
 N° de cabezas: _____

EQUINOS: N° de cabezas: _____
 TERNEROS: N° de cabezas: 103

2. CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO: Húmedo: Seco:

Observaciones: _____

3. TIPO DE ALIMENTACIÓN: Concentrado Pastoreo Pasto de corte
 Suplementación Otros

Observaciones: _____

4. PRODUCCIÓN DE ESTIÉRCOL (kg/día): 1100 kg/día húmedo

5. USO ACTUAL DEL ESTIÉRCOL: Compostaje Abono Biodigestión
 Alimentación Ninguna

Conoce proyectos donde utilicen este tipo de biomasa: _____

Observaciones: _____

6. TIPO DE CAMA: Paja Cama cascarilla Cama viruta
 Jaula Otros

Observaciones Generales: _____

Nota: La producción de estiércol (kg/día) es del total de animales (103).

PLANTILLA DESCRIPTIVA DEL SITIO A MUESTREAR BIOMASA RESIDUAL PECUARIA DE LA UNALM

TIPO DE BIOMASA RESIDUAL PECUARIA - 2020 Código muestra: Pco-008 y Pcu-009

Fecha: 23/09/2021 GRANJA DE ANIMALES MENORES / PIPS EN ANIMALES MENORES 2020

Evaluador Responsable: Angela T. Castillo Híjar

Responsable del área: Teresa Montes Andía

1. CLASIFICACIÓN DE GANADO:

AVES: Gallinas ponedoras Pollos de carne
 N° de cabezas: _____

FIRMA/ SELLO DEL PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN O UNIDAD EXPERIMENTAL

CERDOS: Gestación Lactación/Maternidad Reproducción
 N° de cabezas: _____ Crecimiento + Acabado

ANIMALES MENORES: CUYES 202 CONEJOS 91
 N° de cabezas: _____ Carne Reproductores

OVINOS: Carne Leche
 N° de cabezas: _____

CAMÉLIDOS AMERICANOS: ALPACAS LLAMAS
 N° de cabezas: _____ Carne Lana/Fibra Reproductores

VACUNO: Leche Carne Doble propósito
 N° de cabezas: _____

EQUINOS: N° de cabezas: _____

TERNEROS: N° de cabezas: _____

2. CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO: Húmedo: Seco:

Observación: _____

3. TIPO DE ALIMENTACIÓN: Concentrado Pastoreo Pasto de corte
 Suplementación Otros

Observación: _____

4. PRODUCCIÓN DE ESTIÉRCOL (kg/día): _____

5. USO ACTUAL DEL ESTIÉRCOL: Compostaje Abono Biodigestión
 Alimentación Ninguna

Conoce proyectos donde utilicen este tipo de biomasa: UEZ- CEMTRAR- HUERTO

Observación: a diferentes áreas de UNALM (Huerto, Leguminosas, CEMTRAR, Fundo, Lab. Suelos), intercambio con fo

6. TIPO DE CAMA: Paja Cama cascarilla Cama viruta
 Jaula Otros Coronta molida

Observaciones Generales: Conejos en jaulas/ Cuyes en jaulas y pozas. Cama sólo se usa en pozas,

Ing. Teresa Montes Andía
 Jefa GAM

Nota: No se obtuvo información de la producción de estiércol (kg/día).

TIPO DE BIOMASA RESIDUAL PECUARIA - 2020

Código muestra: PPI-010

Fecha: 13/09/21 Programa de Investigación: y Proyección Social en Aves
 Evaluador Responsable: Angela T. Castillo Híjar
 Responsable del área: Ing. Pedro Ciriaco Castañeda

1. CLASIFICACIÓN DE GANADO:

AVES:

N° de cabezas: 1800

Gallinas ponedoras Pollos de carne

FIRMA/ SELLO DEL PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN O UNIDAD EXPERIMENTAL

CERDOS:

N° de cabezas: _____

Gestación Lactación/Maternidad Reproducción
 Crecimiento + Acabado

ANIMALES MENORES:

N° de cabezas: _____

CUYES CONEJOS
 Carne Reproductores

OVINOS:

N° de cabezas: _____

Carne Leche

CAMÉLIDOS AMERICANOS:

N° de cabezas: _____

Carne ALPACAS LLAMAS
 Lana/Fibra Reproductores

VACUNO:

N° de cabezas: _____

Leche Carne Doble propósito

EQUINOS:

N° de cabezas: _____

TERNEROS:

N° de cabezas: _____

2. CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO:

Húmedo: Seco:

Observaciones: _____

3. TIPO DE ALIMENTACIÓN:

Concentrado Pastoreo Pasto de corte
 Suplementación Otros

Observaciones: _____

4. PRODUCCIÓN DE ESTIÉRCOL (kg/día):

60 kg/día

5. USO ACTUAL DEL ESTIÉRCOL:

Compostaje Abono Alimentación Biodigestión
 Ninguna

Conoce proyectos donde utilicen este tipo de biomasa: _____

Observaciones: Se acopia y deshidrata para abono

6. TIPO DE CAMA:

Paja Cama cascarilla Cama viruta
 Jaula Otros

Observaciones Generales: _____

Nota: La producción de estiércol (kg/día) es del total de animales (1800).

PLANTILLA DESCRIPTIVA DEL SITIO A MUESTREAR BIOMASA RESIDUAL PECUARIA DE LA UNALM

TIPO DE BIOMASA RESIDUAL PECUARIA -2020 Código muestra: PGa-011
 Fecha: 13/09/21 Programa de Investigación: y Proyección Social en Aves
 Evaluador Responsable: Angela T. Castillo Híjar
 Responsable del área: Ing. Pedro Ciriaco Castañeda

1. CLASIFICACIÓN DE GANADO:

AVES: Gallinas ponedoras Pollos de carne
 N° de cabezas: 1500 FIRMA/ SELLO DEL PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN O UNIDAD EXPERIMENTAL

CERDOS: Gestación Lactación/Maternidad Reproducción
 N° de cabezas: _____ Crecimiento + Acabado

ANIMALES MENORES: CUYES CONEJOS
 N° de cabezas: _____ Carne Reproductores

OVINOS: Carne Leche
 N° de cabezas: _____

CAMÉLIDOS AMERICANOS: ALPACAS LLAMAS
 N° de cabezas: _____ Carne Lana/Fibra Reproductores

VACUNO: Leche Carne Doble propósito
 N° de cabezas: _____

EQUINOS: _____ TERNEROS: N° de cabezas: _____
 N° de cabezas: _____

2. CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO:

Húmedo: Seco:
 Observaciones: _____

3. TIPO DE ALIMENTACIÓN:

Concentrado Pastoreo Pasto de corte
 Suplementación Otros
 Observaciones: _____

4. PRODUCCIÓN DE ESTIÉRCOL (kg/día):

150 kg/día
 5. USO ACTUAL DEL ESTIÉRCOL: Compostaje Abono Biodigestión
 Alimentación Ninguna
 Conoce proyectos donde utilicen este tipo de biomasa: _____
 Observaciones: se acopia y deshidrata para abono

6. TIPO DE CAMA:

Paja Cama cascarilla Cama viruta
 Jaula Otros
 Observaciones Generales: _____

Nota: La producción de estiércol (kg/día) es del total de animales (1500).

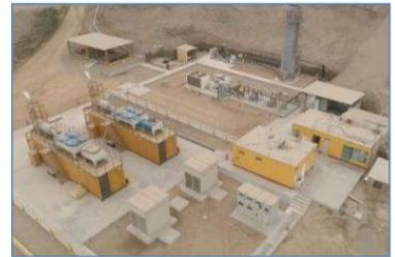
Anexo 5: Fichas Técnicas de Centrales de Generación de energía eléctrica con RER - Biomasa en el Perú

CENTRAL TERMOELÉCTRICA DE BIOMASA CALLAO (2,4 MW)

EMPRESA CONCESIONARIA	PETRAMAS S.A.C.		
DESCRIPCIÓN	La C.T. de Biomasa Callao utiliza el biogás proveniente del tratamiento de los residuos sólidos urbanos, tiene una potencia de 2,4 MW y producirá 14 500 MWh de energía media anual.		
UBICACIÓN	Región Callao Provincia Callao Distrito Ventanilla Altitud 27 msnm		
DATOS DE LA CENTRAL	Potencia Instalada 2,4 MW Tipo de Central Termoeléctrica de Biomasa N° de Unidades de Generación 2 Fuente de Energía Biogás		
DATOS DEL MOTOR	Motor 1	Motor 2	
Potencia Nominal	1,2 MW	1,2 MW	
Velocidad Angular	1500 rpm	1500 rpm	
Marca	Caterpillar (Modelo CG170-12)	Caterpillar (Modelo CG170-12)	
Año de Fabricación	2016	2016	
DATOS DEL GENERADOR	G1	G2	
Potencia Nominal	1,2 MW	1,2 MW	
Tensión de Generación	0,48 kV	0,48 kV	
Factor de Potencia	0,8	0,8	
Marca	Marelli (MJB 450L B4)	Marelli (MJL 450L B4)	
Año de Fabricación	2016	2016	
DATOS DEL TRANSFORMADOR	T1	T2	
Potencia Nominal	1,5 MVA	1,5 MVA	
Relación de Transformación	0,48/10/20 kV	0,48/10/20 kV	
Marca	Delcrosa	Delcrosa	
Año de Fabricación	2017	2017	
DATOS DE CONTRATO	HITOS		
Tipo de Contrato	Suministro RER (4ta Subasta)	Cierre Financiero	22.12.2016 (si)
Firma de Contrato	17.05.2016	Llegada de Equipos	06.02.2018 (si)
Energía Ofertada	14,50 GWh/año	Inicio de Obras	01.11.2017 (si)
Precio de la Energía Ofertada	77,00 US\$/MWh	Inicio de Montaje	27.12.2018 (si)
Puesta en Operación Comercial	31.12.2017	POC	13.07.2020 (si)



Ubicación



Vista de la C.T.B. Callao

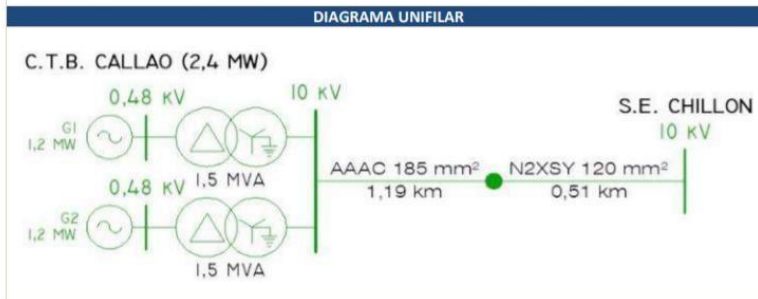


Vista del grupo de generación




Panel de control del Grupo N° 1

- INFORMACIÓN RELEVANTE**
- El 16.02.2016 se adjudicó a EMPRESA CONCESIONARIA ENERGÍA LIMPIA S.A.C. el proyecto C.T. de Biomasa Callao, como parte de la Cuarta Subasta de Suministro de Electricidad con Recursos Energéticos Renovables.
 - Mediante R.G.R.N. N° 023-2017-GRC-GRRNG del 04.09.2017, el Gobierno Regional del Callao aprobó el DIA del proyecto.
 - El 08.05.2019, el COES con carta N° COES/D/DP-438-2019 aprobó el Estudio de Operatividad.
 - El 31.01.2020, el Gobierno Regional del Callao otorgó la Concesión Definitiva N° 004-2020-GRC-GRDE.
 - Las obras civiles y electromecánicas en la central están concluidas.
 - El 05.02.2020 Enel Distribución Perú S.A.A. dio conformidad a las obras ejecutadas por Petramás S.A.C. en el tramo para conexión a las barras de la S.E. Chillón 10 KV.
 - El 10.02.2020, el COES autorizó la conexión para las pruebas de puesta en servicio de la C.T.B. Callao.
 - El 22 y 24.06.2020 se realizaron las Pruebas de Puesta en Servicio de los grupos hasta 1 MW de carga c/u.
 - El 25.06.2020 se verificó que la potencia generada por los grupos llegó hasta 1,2 MW c/u.
 - El 19.06.2020, se aprobó el "Plan para la Vigilancia, Prevención y Control de COVID-19 en el trabajo" en el Sistema Integrado para COVID-19 (SICOVID-19) del Ministerio de Salud.
 - El 10.07.2020, mediante Carta N° COES/D/DP-609-2020, el COES otorgó la Puesta en Operación Comercial de la C.T.B. Callao, a partir de las 00:00 horas del 13.07.2020.
 - El monto de inversión aproximado fue de 2,5 MM US\$, según lo indicado por la Concesionaria.



Fuente: OSINERGMIN - División de Supervisión de Electricidad (2020).

CENTRAL DE BIOMASA SAN JACINTO (21,71 MW)

EMPRESA CONCESIONARIA		AGROINDUSTRIAS SAN JACINTO S.A.A.	
DESCRIPCIÓN			
Instalación de una Central de Cogeneración de electricidad y vapor, cuenta con una turbina de vapor en ciclo ranking simple en dos calderas bagaceras de vapor.			
UBICACIÓN			
Departamento	Ancash		
Provincia	Santa		
Distrito	Nepeña		
Altitud	144 msnm		
DATOS DE LA CENTRAL			
Potencia Instalada	21,71 MW		
Tipo de Central	Cogeneración		
N° de Unidades de Generación	1		
Fuente de Energía	Bagazo de caña		
DATOS DE TURBINAS			
TG1			
Potencia Nominal	21,71 MW		
Velocidad Angular	-		
Marca	TGM (Modelo BT-40)		
Año de Fabricación	2012		
DATOS DEL GENERADOR			
G1			
Potencia Nominal	27,13 MVA		
Tensión de Generación	13,8 kV		
Factor de Potencia	0,8		
Marca	WEG (Modelo SPW 1120)		
Año de Fabricación	2012		
DATOS DEL TRANSFORMADOR			
T1		T2	
Potencia Nominal	10 MVA	Potencia Nominal	10 MVA
Relación de Transformación	13,8/4,16 kV	Relación de Transformación	13,8/4,16 kV
Marca	EPLI SAC	Marca	EPLI SAC
Año de Fabricación	2013	Año de Fabricación	2013
DATOS DE CONTRATO			
Tipo de Contrato		HITOS	
Tipo de Contrato	Concesión Definitiva RER	Inicio de Obras Civiles	-
Firma de Contrato	23.06.2017	POC	13.04.2019 (si)
Número de Contrato	501-2017		
Puesta en Operación Comercial	30.06.2017		
INFORMACIÓN RELEVANTE			
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mediante oficio N° 912-2017-MEM/SGE del 13.06.2017 el MINEM envía a la empresa Agroindustrias San Jacinto S.A.A. la Resolución Ministerial N° 256-2017-MEM/DM, en la cual otorga la Concesión Definitiva de Generación de Recursos Energéticos Renovables ▪ Mediante R.D. N° 350-2016-PRODUCE/DVMYPE-I/DIGGAM de fecha 16.08.2016 la Dirección General de Asuntos Ambientales de Industria del Ministerio de la Producción, otorga a Agro Industrias San Jacinto S.A.A. la aprobación del Informe Técnico Sustentatorio para el proyecto de implementación del nuevo turbo generador de 21,71 MW. ▪ El 04.01.2017, mediante carta COES/D/DP-010-2017, se otorgó la conformidad al Estudio de Pre Operatividad para la conexión al SEIN de la Central de Cogeneración San Jacinto de 21.7MW ▪ El proyecto comprende la instalación de una Central de Cogeneración de electricidad y vapor, cuenta con una turbina de vapor en ciclo ranking simple en dos calderas bagaceras de vapor ▪ El objetivo es abastecer de energía el área fabril de Agro Industrias San Jacinto S.A.A. y los excedentes al Sistema Eléctrico Interconectado (SEIN). ▪ La conexión al SEIN se realizó en 13,8 kV a la Subestación San Jacinto (propiedad de Hidrandina S.A.). ▪ Las obras civiles fueron iniciadas el 10 de febrero 2017, concluidas y entregadas en marzo del 2017. ▪ Las obras electromecánicas fueron concluidas en junio 2017. Las Pruebas se realizaron del 05 al 28 de junio del 2017. La puesta en servicio se realizó el 28.06.2017, la cual viene funcionando con resultados satisfactorios siendo su producción actual de 4 a 5 MW. ▪ Con carta COES/D/DP-354-2019 del 11.04.2019, aprueban la operación comercial a la Central Térmica San Jacinto con una potencia efectiva de 7.48 MW a partir de la 00:00 horas del 13.04.2019. ▪ El monto de inversión a la fecha es de US\$ 9 millones aproximadamente. 			
DIAGRAMA UNIFILAR			
			



Vista panorámica de la planta industrial



Bagazo triturado para uso de combustible



Equipo Turbogenerador



Sala de Tableros de Control y Mando

Fuente: OSINERGMIN - División de Supervisión de Electricidad (2020).

CENTRAL DE BIOMASA LA GRINGA V (3,2 MW)

DENOMINACIÓN	CENTRAL DE BIOMASA LA GRINGA V
EMPRESA CONCESIONARIA	PETRAMAS S.A.C.
TECNOLOGÍA	Generación con Biogás
UBICACIÓN	Departamento Lima Provincia Huarochirí Distrito Huaycoloro Altitud 60 msnm
DATOS TÉCNICOS DE CENTRAL	Potencia Instalada 3,2 MW Número de Unidades de Generación 2 Grupos Electrógenos Fuente de Energía Residuos Urbanos (Gas de Huaycoloro)
DATOS DEL GRUPO	Potencia Nominal 2x1,6 MW (Caterpillar G3520C) Velocidad 1 200 RPM Tensión de Generación 0,48 kV
DATOS DEL TRANSFORMADOR	Potencia Nominal 3 MVA Relación de Transformación 0,48/22,9 kV
DATOS DE CONTRATO	Tipo de contrato Contrato RER (Segunda Subasta) Firma de Contrato 30.09.2011 Puesta en Operación Comercial (POC) 31.08.2015 Energía Anual Ofertada 14 016 MWh Precio de energía Ofertado 9,999 Cts.US\$ / kW.h Barra de Conexión Subestación Huachipa 22,9 kV/60 kV (LDS)



Ubicación



Pozos de extracción de gas

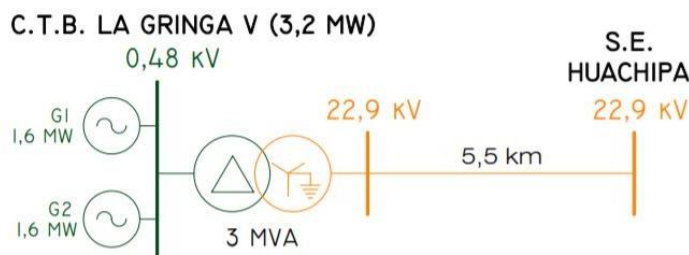


Planta de tratamiento de biogás



Grupo de Generación N° 2

- INFORMACIÓN RELEVANTE**
- La C.T.B. La Gringa V se encuentra ubicada en las proximidades de Cajamarquilla, provincia de Huarochirí, departamento de Lima. Contempla la instalación de dos grupos electrógenos de 1,6 MW (c/u) que utilizarán el excedente de biogás de la C.T.B. Huaycoloro.
 - La Empresa "Petramás S.A.C." está asumiendo las acciones del Concesionario "Energía Limpia" propietaria del Proyecto Central Biomasa "La Gringa", asumiendo las obligaciones de la inversión del costo total del proyecto.
 - El proyecto sufrió retrasos por el cambio de motores Jenbacher 420 (1,4 MW) por Caterpillar G3520C (1,6 MW); por lo cual solicitó la modificación de la fecha de POC.
 - Con carta COES/D/DP-412-2015 del 10.03.2015 el COES aprobó el Estudio de Operatividad de la C.T. La Gringa V.
 - Con R.D. N° 063-2015-GRL-GRDE-DREM del 25.06.2015, el Gobierno Regional de Lima otorgó la concesión definitiva de generación con Recursos Energéticos Renovables.
 - Con carta COES/D/DP-1411-2015 del 31.08.2015, el COES aprobó la Operación Comercial de la C.T.B. La Gringa V, con una potencia efectiva de 3,2 MW, a partir de las 24:00 horas del 31.08.2015.
 - El monto de Inversión aproximado fue de 5,1 MM US\$.

DIAGRAMA UNIFILAR DE LA CENTRAL


Fuente: OSINERGMIN - División de Supervisión de Electricidad (2020).

CENTRAL TERMOELÉCTRICA MAPLE ETANOL

DENOMINACIÓN	CENTRAL TERMOELÉCTRICA MAPLE ETANOL
EMPRESA CONCESIONARIA	MAPLE ETANOL S.R.L.
TECNOLOGÍA	Cogeneración
UBICACIÓN	Departamento: Piura Provincia: Paíta Distrito: La Huaca Altitud: 5 msnm
DATOS TÉCNICOS DE CENTRAL	Potencia Instalada: 37,52 MW Número de Unidades de Generación: 1 Turbogenerador Fuente de Energía: El "Follaje" y el "Bagazo" de la caña de azúcar
DATOS DE LA TURBINA	Turbina1: 37,5 MW Marca: Siemens Tipo: SST-300, álabes de reacción
DATOS DEL GENERADOR	Potencia Nominal: 46,9 MVA Tensión de Generación: 13,8 kV Velocidad: 1800 RPM
DATOS DE TRANSFORMADOR	Potencia: 40/50-20/25-40/50 MVA Nivel de Tensión: 60/22,9/13,8KV
LÍNEA DE TRANSMISIÓN	Nivel de Tensión: 60 kV Capacidad de Transmisión: 40 MW Longitud: 36,686 km
DATOS DE CONTRATO	Tipo de contrato: Concesión Definitiva de Generación con RER N° 399-2012 Firma de Contrato: 08.06.2012 Puesta en Operación Comercial (POC): 17.08.2012
INFORMACIÓN RELEVANTE	<ul style="list-style-type: none"> La Central Termoelectrónica Maple Etanol genera energía eléctrica usando el bagazo, que es un subproducto del proceso de producción del etanol usando como materia prima la caña de azúcar. La Central se ubica dentro de la Planta de Producción de Etanol localizada en el Departamento de Piura. Para efectos de la inyección de energía al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN), la Central de Generación se conecta a la Sub Estación Piura Oeste (SEPO), componente del SEIN ya existente, utilizando un transformador de potencia de 40/50 MVA que elevará la tensión de generación (13,8 kV) a 60 kV y una línea de transmisión en 60 kV. Maple Etanol señala que el 23.04.2008, se aprobó el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) del proyecto de Producción de Etanol Anhidro, donde está incluida la Central Termoelectrónica Maple Etanol. Mediante R.S. N° 043-20 12-EM, el 22.05.2012 el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) otorgó a la empresa Maple Etanol la concesión definitiva para desarrollar la actividad de generación de energía eléctrica con recursos energéticos renovables (biomasa). El monto aproximado de la Inversión es de 25 MM US\$ La Central Termoelectrónica Maple ingresó en operación comercial el 17.08.2012 (Carta COES/D-749-2012), con una potencia efectiva de 37,5 MW.
ESQUEMA UNIFILAR DE LA CENTRAL DE GENERACIÓN	
	



Ubicación



L.T. 60 kV S.E. Piura Oeste (SEPO)- S.E. Planta Etanol (SEPE)



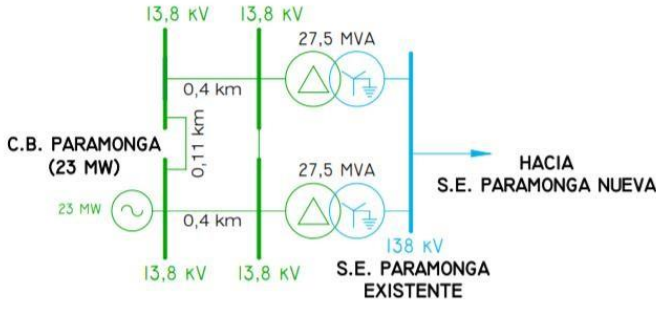
L.T. 60 kV S.E. Piura Oeste (SEPO)-S.E. Planta Etanol (SEPE)

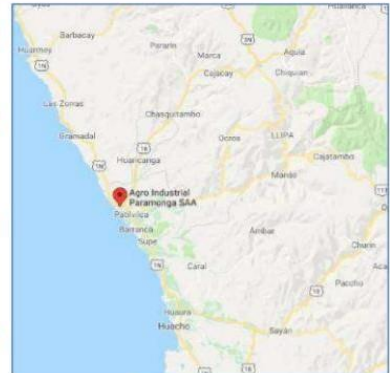


S.E. C.T. Maple - Etanol (SEPE)

Fuente: OSINERGMIN - División de Supervisión de Electricidad (2020).

CENTRAL DE BIOMASA PARAMONGA (23 MW)

EMPRESA CONCESIONARIA		AIPSA	
DESCRIPCIÓN			
La C.T. de Biomasa Paramonga es una central de cogeneración, que utiliza como combustible el bagazo de caña que se origina como residuo del proceso de fabricación de azúcar de la empresa Agroindustrial Paramonga, tiene una potencia de 23 MW.			
UBICACIÓN			
Departamento	Lima		
Provincia	Barranca		
Distrito	Barranca		
Altitud	49 msnm		
DATOS DE LA CENTRAL			
Potencia Instalada	23 MW		
Tipo de Central	Cogeneración		
N° de Unidades de Generación	1		
Fuente de Energía	Bagazo de caña		
DATOS DE TURBINAS			
TV1			
Potencia Nominal	23 MW		
Velocidad Angular	1800 rpm		
Marca	Siemens		
Año de Fabricación	2008		
DATOS DEL GENERADOR			
G1			
Potencia Nominal	23 MW		
Tensión de Generación	13,8 kV		
Factor de Potencia	0,8		
Marca	Siemens (SGEN 6 – 100A4P)		
Año de Fabricación	2008		
DATOS DEL TRANSFORMADOR			
T1			
Potencia Nominal	10 MVA		
Relación de Transformación	13,8/4,16 kV		
Marca	EPLI SAC		
Año de Fabricación	-		
DATOS DE CONTRATO		HITOS	
Tipo de Contrato	Suministro RER (1ra Subasta)		
Firma de Contrato	31.03.2010		
Energía Ofertada	115 GWh/año	POC	31.03.2010 (si)
Precio de la Energía Ofertada	52,00 US\$/MWh		
Puesta en Operación Comercial	31.03.2010		
INFORMACIÓN RELEVANTE			
<ul style="list-style-type: none"> El 31.03.2010 se adjudicó a Agro Industrial Paramonga con el proyecto C.B. Cogeneración Paramonga, como parte de la Primera Subasta de Suministro de Electricidad con Recursos Energéticos Renovables al SEIN. Es una central de cogeneración, que utiliza como combustible el bagazo de caña que se origina como residuo del proceso de fabricación de azúcar de la empresa Agroindustrial Paramonga. El bagazo es quemado con la finalidad de producir calor para generar vapor, el cual es empleado para generar energía eléctrica mediante una unidad de generación con turbina de vapor. Esta central estuvo en operación antes de la adjudicación de la primera subasta RER. El COES autorizó la Operación Comercial de la Central Cogeneración Paramonga a partir del 31.03.2010, con una potencia efectiva de 23 MW. 			
DIAGRAMA UNIFILAR			
			



Mapa de ubicación



Grupo Generador TV1



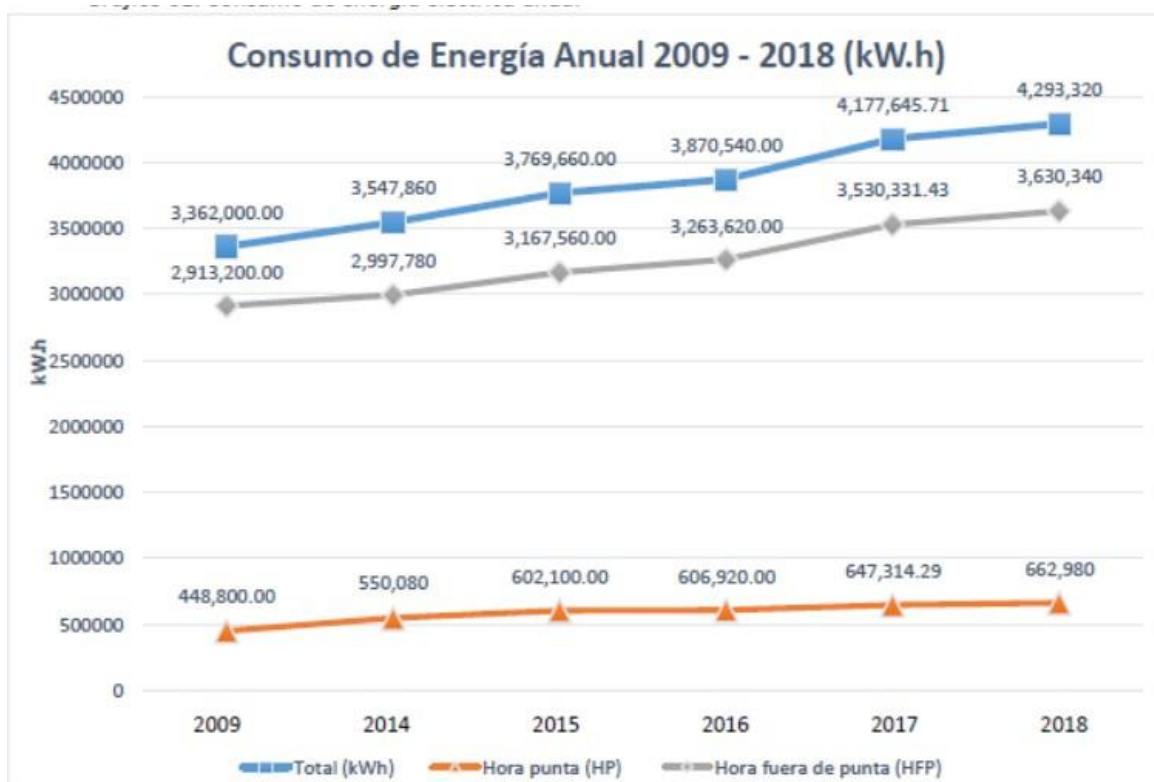
Radiadores del sistema de refrigeración de TV1



Sala de Tableros de Control de la unidad TV1

Fuente: OSINERGMIN - División de Supervisión de Electricidad (2020).

Anexo 6: Consumo de energía eléctrica anual 2009 - 2018 de la UNALM



Fuente: Cáceres (2019).

Anexo 7: Catálogo de tecnologías para la conversión en energía a partir de biomasa residual agrícola y forestal

Equipos domésticos de peletizado

Trituradores Serie WOODSTOCK



La gama WOODSTOCK está diseñada para obtener el tamaño adecuado a partir de ramas <5cm para su posterior peletizado.

Dadas sus características técnicas, es ideal para complementar las peletizadoras domésticas. Incluye un disco de cuchilla, contracuchillas y martillos previa salida para la obtención de un formato adecuado y homogéneo.

Al igual que las peletizadoras domésticas, la gama WOODSTOCK está disponible en tres formatos de alimentación: trifásico, toma de fuerza para tractor y motor de gasolina.

WOODSTOCK 3PH

CARACTERÍSTICAS:

- Alimentación: Eléctrica trifásica 400 V - 3 kW
- Diámetro máx. ramas: 50 mm.
- Mecanismo: 2 cuchillos, 2 contra-cuchillos, 8 cuchillos desmenuzadores
- Dimensiones (LxWxH): 134 x 83 x 106 cm
- Tolva de entrada: 35 x 40 cm
- Peso: 60 kg



WOODSTOCK PTO

CARACTERÍSTICAS

- Alimentación: Toma de fuerza (Min. 18HP)
- Diámetro máx. ramas: 50 mm
- Mecanismo: 2 cuchillos, 2 contra-cuchillos, 8 cuchillos desmenuzadores
- Dimensiones (LxWxH): 134 x 83 x 106 cm
- Tolva de entrada: 35 x 40 cm
- Peso: 92 kg



WOODSTOCK ENGINE

CARACTERÍSTICAS:

- Alimentación: motor gasolina 6,5 Cv
- Diámetro máx. ramas: 50 mm
- Mecanismo: 2 cuchillos, 2 contra-cuchillos, 8 cuchillos desmenuzadores
- Dimensiones (LxWxH): 134 x 83 x 106 cm
- Tolva de entrada: 35 x 40 cm
- Peso: 92 kg



Equipos domésticos de peletizado

Peletizadoras domésticas



Las Peletizadoras Serie PLT100 de matriz plana son equipos fiables, robustos y de fácil uso. Incorporan una entrada para el engrasado del rodamiento central y otra para en caso de necesidad inyectar aire comprimido al cuerpo de peletizado a partir de un compresor de pequeño caudal.

Especialmente indicadas para particulares y empresas que deseen realizar un aprovechamiento a pequeña escala de sus residuos, para autoconsumo o investigación de materiales con fines variados.

Para adecuarnos a la situación de cada cliente, la serie PLT100 está disponible en cuatro formatos de alimentación: monofásico, trifásico, toma de fuerza para tractor y motor de gasolina.

PLT 50

CARACTERISTICAS

- Alimentación: Eléctrica monofásica 220V - 50 Hz
- Potencia: 3kW
- Producción horaria: 15 - 30 kg/h aprox (dependiendo de material)
- Diámetro pélet: 6 mm
- Diámetro matriz: 119 mm
- Diámetro rodillos: 2 rodillos diámetro 78 mm. Superficie útil de trabajo 39mm.
- Medidas: (LxWxH) 87 x 39 x 106 cm
- Peso: 110 kg



PLT 100

CARACTERISTICAS

- Alimentación: Eléctrica trifásica 380V - 50 Hz
- Potencia: 4kW
- Producción horaria: 40 - 70 kg/h aprox (dependiendo de material)
- Diámetro pélet: 6 mm
- Diámetro matriz: 119 mm
- Diámetro rodillos: 2 rodillos diámetro 78 mm.
- Medidas: (LxWxH) 87 x 39 x 106 cm
- Peso: 110 kg





KWB MultiFire

MULTI-COMBUSTIBLE
con
amplio rango de
potencias



ASTILLAS DE MADERA



HUESO DE ACEITUNA



PELLET

Versiones
(20, 30, 40, 45, 50,
60, 65, 69.5, 80, 100,
105 y 120 kW)



1 Gran flexibilidad de combustibles

El quemador de parrilla móvil KWB permite quemar combustibles de distintas calidades, como astillas de madera y pellets.



2 Quemador de oruga

con elementos de parrilla de fundición de alta aleación y autolimpiantes de velocidad lenta que proporciona un lecho de combustible uniforme



3 Válvula alveolar (rueda celular).

Carcasa de fundición robusta con barras de corte templadas y reemplazables. De serie astillas G30, opcionales: G50 y depósito intermedio (200 litros).



4 Anillo de post-combustión secundario

Combustión total de los gases gracias a una turbulencia perfecta y de larga duración.



5 Cámara de combustión optimizada:

Emisiones reducidas gracias a una conducción óptima de los gases de escape. Fabricada en carburo de silicio para resistir las altas temperaturas de combustión.



6 Descarga de cenizas automática

(según el tamaño de la caldera), operación que, además, resulta muy cómoda y sencilla.

7 Opcionales:

- Dos tornillos sinfin transportan la ceniza de manera totalmente automática al contenedor de ceniza anexo (sinfin de volátiles opcional).
- Grupo de mantenimiento de temperatura de retorno integrado, incluyendo válvula de tres vías y bomba de recirculación y distribución.
- Sonda de detección de combustible plus. Recomendable para cuando se utilicen diferentes combustibles.
- Útil de transporte del cajón de cenizas para un fácil manejo.



Biodigestor Laguna Cubierta
Huarmey

DELTABIOGÁS

Desarrollados para el sector agropecuario. Los biodigestores productivos **DeltabioGás** son contenedores herméticos donde se realiza el tratamiento de residuos de granjas y establos, convirtiéndolos en recursos como la energía renovable (Biogás) y fertilizantes orgánicos (Biol y Biosol). El Biogás se utiliza como combustible para generar energía eléctrica, luminosa y calorífica.

¿POR QUÉ UTILIZAR UN BIODIGESTOR?

- Principalmente por sus ventajas medio ambientales y la salud pública de las granjas, pues controla muy bien la emisión de malos olores, las moscas y la emisión de gases de efecto invernadero (GEI).
- Evita la contaminación de las fuentes de agua por las aguas residuales no tratadas, ya que las aguas de limpieza de los corrales son vertidas dentro del biodigestor para convertirse en fertilizantes líquidos de alta calidad.
- Mejora la salud de las familias ya que al cocinar con biogás evita el humo de la leña dentro de la casa, evitando así grandes enfermedades respiratorias y digestivas.
- El productor agropecuario se apropia de una tecnología sencilla que le produce ingresos extras al transformar residuos orgánicos en energía renovable. Y la fermentación anaeróbica transforma el estiércol de animales en un fertilizante orgánico de mejor calidad que el estiércol mismo; el Biol, rico en fitohormonas.
- El biofertilizante que se genera con la biodigestión anaeróbica produce mejoras en las tierras agrícolas elevando la productividad de las mismas, y genera utilidades extras a quienes tienen Biol disponible para su venta.
- La inversión en la compra e instalación de un biodigestor, retorna rápidamente por el ahorro en combustibles derivados del petróleo, y el ahorro en la adquisición de fertilizantes químicos.

CARACTERÍSTICAS DEL BIODIGESTOR

- Fabricados en geomembrana de PVC / PVC Reforzado de fabricación específica para biodigestores.
- Con alta protección UV.
- Fabricados en diferentes volúmenes, según las necesidades de cada establecimiento ganadero o avícola.
- Es posible instalarlos tanto en climas calurosos, templados o fríos (4,000 msnm).

ACCESORIOS

■ SEPARADOR DE SÓLIDOS

Separadores de sólidos para granjas y establos.

Extrusores y de cascada fabricadas de acero inoxidable.



■ BOMBAS DE BIOGÁS ELECTRICA Y SOLARES

Para levantar la presión y flujo de Biogás con capacidad de bombeo desde 1,5 m³/hr, 240 mbar de presión de salida, 20W, 220 V.

Consulte otras potencias



■ TERMA DE AGUA CALIENTE

Ideal para uso en pequeño establo. Con rendimiento de 7L/min, presión de agua para encendido: 10PSI y 16 mbar de presión de biogás requerido.



■ GENERADOR A BIOGÁS DE 5Kw - 500Kw

Sistema de control automático.



■ ANTORCHA A BIOGÁS

Fabricadas en acero inoxidable, encendido automático y sistema de seguridad.



■ CRIADORA INFRAROJA

Esta es una criadora para calefacción de terneros, cerdos o aves, que utiliza biogás como combustible y tiene alta eficiencia de combustión. Está fabricada de acero inoxidable para larga duración. Es ideal para reemplazar criadoras eléctricas, dado que es de fácil mantenimiento sin partes que se dañen con frecuencia.



■ COCINAS

Utiliza el biogás para cocinar, es una cocina adaptada. Con su uso se elimina totalmente el humo dentro de las viviendas evitando el empleo de leña o la tala indiscriminada de los árboles.

Dispositivo de Seguridad: Termocupla y válvula solenoide (Dispositivos de seguridad que detienen el paso del biogás en caso que la criadora se apague.

MODELOS DE BIODIGESTORES

■ MODELO LAGUNA CUBIERTA

Desarrollado para la industria agropecuaria. Son biodigestores de gran volumen, donde se realiza la digestión anaeróbica de todos los residuos orgánicos de una granja o establo y de sus purines, convirtiéndolos en energía renovable y en abono orgánico. Es utilizado en medianas y grandes instalaciones pecuarias. Su instalación permite tratar aguas residuales agropecuarias. El Biogás que produce diariamente es un combustible que reemplaza al diesel, gasolina y al GLP.



■ MODELO TUBULAR PRE FABRICADO

Modelo desarrollado para pequeñas unidades rurales. Este biodigestor es pre-fabricado en nuestra planta que cuenta con una tecnología de punta, utilizamos geomembranas de PVC y el sellado se realiza por alta frecuencia (HF), el cual es controlado por nuestro departamento de Aseguramiento de la Calidad. Los biodigestores los entregamos listos para instalar, es hermético y tiene tapas en ambos extremos donde se instalan tuberías, una para la carga, una para salida de Biol y otra para purga o salida de los sólidos que sedimentan, evitando que se colmate el biodigestor.



DIAGRAMA DEL BIODIGESTOR MODELO TUBULAR PRE - FABRICADO

