



Universidad César Vallejo

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Uso de la biomasa de los residuos forestales como fuente de energía renovable en el Distrito de José Luis Bustamante y Rivero, Arequipa, 2023

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Ambiental

AUTORES:

Mamani Chambi, Yeri Jheomira (orcid.org/0000-0002-6682-8885)

Medina Carrillo, Farly Jesus (orcid.org/0009-0009-3352-0989)

ASESOR:

Dr. Sernaque Auccahuasi, Fernando Antonio (orcid.org/0000-0003-1485-5854)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

LIMA – PERÚ

2024

Dedicatoria

Dedico este proyecto de tesis a Dios y a mis padres. A Dios porque ha estado conmigo a cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar, a mis padres, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento. Depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad. Es por ellos que soy lo que soy ahora. Los amo con mi vida.

Mamani Chambi, Yeri Jheomira

A mis progenitores, Jesus Medina y Juana Carrillo, les expreso mi sincero agradecimiento por su inquebrantable respaldo y amor incondicional, luces que han iluminado mi sendero académico. La dedicación y tenacidad que han demostrado han sido determinantes para la continuidad en este periplo hacia la superación y la consecución de un desarrollo profesional.

A mi amado Jaden Kaleb Medina Pinto, este logro se erige como un tributo también a ti. Desde que irrumpiste en mi existencia, te has convertido en mi inagotable fuente de inspiración y motivación. Cada paso en este proyecto académico ha sido propulsado por el anhelo de erigir un porvenir más prometedor para ti.

“La suerte es lo que sucede cuando la preparación encuentra la oportunidad” Seneca

Medina Carrillo, Farly Jesus

Agradecimiento

Agradezco eternamente a Dios por haberme iluminado y permitirme seguir adelante, con sabiduría, paciencia y hacer realidad una de mis aspiraciones y obtener el título de Ingeniero Ambiental.

A cada una de las personas que colaboraron con un granito de arena para que este proyecto se haga realidad, mi eterno agradecimiento por su incondicional apoyo y ayuda.

Mamani Chambi, Yeri Jheomira

Quisiera expresar mi profunda gratitud a aquellas personas cercanas que contribuyeron de manera significativa a esta tesis en Ingeniería. A todos aquellos inmersos en diálogos constructivos, intercambio de ideas y revisiones críticas, les agradezco por enriquecer y perfeccionar este trabajo.

Cada aporte, ya sea de vasta envergadura o de más reducido alcance, ha dejado una huella indeleble en este proyecto y ha incidido en mi formación como ingeniero. Este logro cristaliza como el resultado del esfuerzo conjunto de aquellos que depositaron su confianza en esta labor. A todos, mi más profundo agradecimiento.

Medina Carrillo, Farly Jesus



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, SERNAQUE AUCCAHUASI FERNANDO ANTONIO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ESTE, asesor de Tesis titulada: "Uso de la Biomasa de los Residuos Forestales como Fuente de Energía Renovable en el Distrito de José Luis Bustamante y Rivero, Arequipa,2023", cuyos autores son MAMANI CHAMBI YERI JHEOMIRA, MEDINA CARRILLO FARLY JESUS, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 13.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo

LIMA, 21 de Febrero del 2024

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
FERNANDO ANTONIO SERNAQUE AUCCAHUASI DNI: 07234567 ORCID: 0000-0003-1485-5854	Firmado electrónicamente por: FSERNAQUEA el 12- 04-2024 17:44:43

Código documento Trilce: TRI – 0738614



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
Declaratoria de Originalidad de los Autores

Nosotros, MAMANI CHAMBI YERI JHEOMIRA, MEDINA CARRILLO FARLY JESUS estudiantes de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC -LIMA ESTE, declaramos bajo juramento que todos los datos e información que acompaña la Tesis titulada: "Uso de la Biomasa de los Residuos Forestales como Fuente de Energía Renovable en el Distrito de José Luis Bustamante y Rivero, Arequipa, 2023", es de nuestra autoría, por lo tanto, declaramos que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. Hemos mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Nombres y Apellidos	Firma
MAMANI CHAMBI YERI JHEOMIRA DNI: 77464817 ORCID: 0000-0002-6682-8885	Firmado electrónicamente por: YJMAMANIM el 08-03-2024 07:49:35
MEDINA CARRILLO FARLY JESUS DNI: 71853035 ORCID: 0009-0009-3352-0989	Firmado electrónicamente por: FAMEDINACA el 08-03-2024 07:50:50

Código documento Trilce: INV – 1671687

Índice de contenidos

Carátula	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Declaratoria de Autenticidad del Asesor	iv
Declaratoria de Originalidad de los Autores	v
Índice de contenidos	vi
Índice de tablas	vii
Índice de figuras	viii
Resumen	ix
Abstract	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	5
III. METODOLOGÍA	18
3.1. Tipo y diseño de investigación	18
3.2. Variables y operacionalización	19
3.3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis.	19
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	20
3.5. Procedimientos	21
3.6. Método de análisis de datos	22
3.7. Aspectos éticos	23
IV. RESULTADOS	24
V. DISCUSIÓN	28
VI. CONCLUSIONES	30
VII. RECOMENDACIONES	31
REFERENCIAS	32
ANEXOS	37

Índice de tablas

Tabla N° 1: Impactos ambientales por los combustibles fósiles	13
Tabla N° 2: Instrumentos de Recopilación de Datos	20

Índice de figuras

Figura N° 1: Clasificación de los combustibles fósiles	12
Figura N° 2: Fuentes de energía renovable	15
Figura N° 3: Técnicas de conversión de biomasa	16
Figura N° 4: Procesos de conversión de la biomasa	16

Resumen

La presente investigación analiza el uso de la biomasa de los residuos forestales como fuente de energía renovable en el Distrito de José Luis Bustamante y Rivero, Arequipa, 2023. La metodología aplicada se enfocó en la recolección de datos relacionados con los residuos producidos por la industria maderera, utilizando un diseño de investigación descriptivo, considerando como población a las empresas de manufactura ubicadas en el sector industrial de la madera en la región del distrito de José Luis Bustamante y Rivero, en la Provincia de Arequipa. Se calculó la disponibilidad de biomasa, la producción de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas. Los resultados indicaron que la cantidad disponible de biomasa era de 150 millones de kilogramos anuales, generando una producción energética de 745,095 megavatios-hora por año y emisiones anuales de 97,500 toneladas de metano y 210,000 toneladas de dióxido de carbono. Utilizando la biomasa adecuadamente, se podrían reducir las emisiones de dióxido de carbono a 9,418 toneladas anuales. En conclusión, este estudio destaca la importancia de la biomasa forestal como una fuente de energía renovable viable en la región de estudio, con potencial para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero y promover la sostenibilidad ambiental.

Palabras clave: Biomasa, digestor anaeróbico, metano.

Abstract

This research analyzes the use of forest residue biomass as a renewable energy source in the District of José Luis Bustamante y Rivero, Arequipa, 2023. The methodology applied focused on the collection of data related to the waste produced by the timber industry, using a descriptive research design, considering as population the manufacturing companies located in the timber industrial sector in the region of the district of José Luis Bustamante y Rivero, in the Province of Arequipa. Biomass availability, energy production and associated greenhouse gas emissions were calculated. The results indicated that the available amount of biomass was 150 million kilograms per year, generating an energy production of 745,095 megawatt-hours per year and annual emissions of 97,500 tons of methane and 210,000 tons of carbon dioxide. By using biomass properly, carbon dioxide emissions could be reduced to 9,418 tons per year. In conclusion, this study highlights the importance of forest biomass as a viable renewable energy source in the study region, with potential to mitigate greenhouse gas emissions and promote environmental sustainability.

Keywords: Biomass, anaerobic digester, methane.

I. INTRODUCCIÓN

La acelerada expansión económica y el mejoramiento de las condiciones de vida han llevado a una disponibilidad cada vez menor de los combustibles fósiles convencionales. Esto resulta en un uso intensificado de estos recursos, exacerbando así los desafíos relacionados con el deterioro ambiental (Guo et al., 2023).

La continua dependencia de fuentes como el carbón y el petróleo para la producción de energía a nivel global, particularmente en naciones como China e India, ha agravado el daño ecológico debido a la emisión de altas cantidades de dióxido de carbono (CO₂) (Depren et al., 2022).

En Brasil, la red eléctrica y energética depende en gran medida de las centrales hidroeléctricas (64,1%) y los combustibles fósiles (15,4%), mientras que la eólica (9,0%), la biomasa (8,8%), la solar (1,5%) y la nuclear (1,2%) ocupan el segundo y tercer lugar, respectivamente, generando una serie de efectos sociales y medioambientales negativos (De Jesus et al., 2023).

La utilización de combustibles fósiles contribuyó al 81% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en Canadá, y recursos como el carbón, el petróleo y el gas natural (GN) conforman aproximadamente el 76% del total de la generación de energía en este país (calor, electricidad y combustibles para el transporte) (Akbari y Kumar, 2024).

Se ha notado en el distrito de José Luis Bustamante y Rivero, en Arequipa, que el empleo de combustibles fósiles está causando un incremento en las emisiones de dióxido de carbono. Según información suministrada por la Administración de Información Energética (EIA), se calcula que aproximadamente el 86% de la energía generada a nivel mundial se deriva de fuentes fósiles (Gautam et al., 2019). La problemática radica en el creciente incremento de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) debido

al uso de combustibles fósiles, generando contaminación atmosférica y afectando la salud pública y el medio ambiente local. Las causas subyacentes incluyen la fuerte dependencia de fuentes de energía no renovables, como el carbón y el petróleo, la falta de infraestructura para fuentes alternativas de energía y la falta de conciencia ambiental. Las consecuencias resultantes abarcan desde la contaminación del aire y la degradación del medio ambiente hasta una mayor vulnerabilidad al cambio climático, con posibles sequías e inundaciones. Se analizó esta problemática, identificando sus causas y proponiendo soluciones que promuevan el uso de energías renovables y mitiguen los efectos negativos del uso de combustibles fósiles, contribuyendo así a la protección del medio ambiente y la salud pública en la región.

Esto se debe a que se ha producido un aumento en el uso total de combustibles fósiles, con un incremento aproximado del 18% en el consumo previsto entre 2015 y 2035 (Yildiz, 2018).

En otro aspecto, los desechos de madera están cobrando relevancia como insumo para la bioenergía. Esta tendencia podría minimizar la disputa por el uso del suelo, disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero y ayudar a cumplir con las metas establecidas por la Directiva Europea en materia de energías renovables (Corona et al., 2020).

En tal sentido, la biomasa representa una de las fuentes más significativas y potencialmente abundantes de energía pura y respetuosa con el medio ambiente derivada de los seres vivos; donde, la utilización de los recursos locales de biomasa para la generación de energía es esencial dada la actual crisis energética (Ahmad et al., 2023).

Ante ello, se plantea el problema general: ¿En qué medida el uso de la biomasa de los residuos forestales incide como fuente de energía renovable en el distrito de José Luis Bustamante y Rivero, Arequipa, 2023?

Así mismo se planteó los siguientes problemas específicos:

¿Cuál es la cantidad de biomasa anualmente disponible proveniente de la industria maderera?

¿Cuál es la energía anualmente disponible que se puede generar a partir de la biomasa de la industria maderera?

¿Cuál es la capacidad de potencia disponible utilizando la biomasa como fuente energética?

¿Cuál es la cantidad de combustible necesaria por unidad de tiempo para generar energía a partir de la biomasa?

¿Cuál es la cantidad de emisiones de metano y dióxido de carbono asociadas con la gestión inadecuada de los residuos de la industria maderera?

Este estudio es crucial, ya que identifica los elementos que ayudan a disminuir la contaminación ambiental mediante la adopción de fuentes de energía renovable, sustituyendo así el uso de energías fósiles. Esto proporciona una justificación desde el punto de vista medioambiental. Adicionalmente, se exploran los factores que facilitan el uso de energías renovables accesibles para la comunidad, especialmente a través del aprovechamiento de la biomasa de desechos forestales. Esto representa una opción económica viable, ofreciendo así una justificación desde una perspectiva económica. Por último, se busca despertar interés en futuros tesisistas para que puedan ampliar y mejorar el estudio mediante estudios prácticos acerca de la reducción de contaminantes reemplazándolo con fuentes de energía renovable, presentando así una justificación práctica y social.

Además, se plantea el siguiente objetivo general: Analizar como el uso de la biomasa de los residuos forestales incide como fuente de energía renovable en el distrito de José Luis Bustamante y Rivero, Arequipa, 2023.

De ello se elaboraron los siguientes objetivos específicos:

Determinar la cantidad de biomasa anualmente disponible proveniente de la industria maderera.

Calcular la energía anualmente disponible que se puede generar a partir de la biomasa de la industria maderera.

Estimar la capacidad de potencia disponible utilizando la biomasa como fuente energética.

Calcular la cantidad de combustible necesaria por unidad de tiempo para generar energía a partir de la biomasa.

Evaluar las emisiones de metano y dióxido de carbono asociadas con la gestión inadecuada de los residuos de la industria maderera.

Se plantea como hipótesis de estudio: El uso de la biomasa de los residuos forestales incide en un 90% como fuente de energía renovable en el distrito de José Luis Bustamante y Rivero, Arequipa, 2023

Las hipótesis específicas son:

Existe una cantidad significativa de biomasa anualmente disponible proveniente de la industria maderera.

La generación de energía a partir de la biomasa de la industria maderera puede satisfacer una parte sustancial de la demanda energética.

La capacidad de potencia disponible utilizando la biomasa como fuente energética es adecuada para satisfacer las necesidades energéticas locales.

La gestión adecuada de los residuos de la industria maderera puede reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, incluyendo metano y dióxido de carbono.

La utilización de biomasa como fuente energética puede mitigar el impacto ambiental asociado con la generación de energía, en comparación con fuentes no renovables.

II. MARCO TEÓRICO

El trabajo de Akbari et al., (2024, p.1), presenta un exhaustivo análisis comparativo tecnoeconómico de la producción de GNR mediante gasificación utilizando seis materias primas de biomasa diferentes con distintos porcentajes de humedad y propiedades. Dentro de la metodología adoptada, las materias primas examinadas incluyen el rastrojo de maíz (CS), la paja de trigo (WS), el estiércol de vacuno (CM), el bosque completo (WF), los desechos forestales (FR) y la parte orgánica de los residuos sólidos urbanos (OFMSW). Se desarrollaron modelos tecnoeconómicos para cada materia prima con el fin de estimar el coste de producción del GNR, basándose en una simulación de las plantas de fabricación de GNR. Se compararon el rendimiento del GNR, la cantidad de producción de GNR, la generación de energía, los gastos de producción de GNR y los componentes de coste de las distintas vías. Se sometieron numerosos aspectos a análisis de sensibilidad y se investigó el impacto de añadir crédito de cardón en los costes de fabricación. Resultado; la gasificación de OFMSW y CS dio lugar a unos costes de producción de GNR inferiores (6,28 \$/GJ y 6,32 \$/GJ, respectivamente) a los de otras materias primas. Si el gasto evitado (como flujo de ingresos) de eliminar los OFMSW en un vertedero o el crédito de carbono (mínimo 90 \$/t CO.

En este artículo de Balcioglu et al., (2023), el principal objetivo es evaluar la sostenibilidad medioambiental de residuos forestales en Turquía. Metodología, se tienen en cuenta tres enfoques para la conversión energética, incluida la combustión conjunta con lignito, la gasificación para la cogeneración de calor y electricidad (CHP), y la combustión directa sólo para calor, sólo para electricidad y CHP. Se examinan dos formas de residuos forestales: las astillas y los pellets de madera. Los hallazgos indican que la cogeneración de calor y electricidad a través de la combustión directa de astillas de madera presenta el menor impacto ambiental negativo y los costos nivelados más reducidos para ambas unidades funcionales. La energía derivada de residuos forestales puede atenuar los impactos del

cambio climático y reducir significativamente la depleción de recursos hídricos, la disminución de la capa de ozono y el uso de combustibles fósiles en más de un 80%, en comparación con las energías basadas en combustibles fósiles. Además, los costes nivelados de las instalaciones bioenergéticas son más baratos que los de la calefacción y la electricidad de la red. En conclusión, utilizando el suministro actual de residuos forestales de Turquía (5,7 Mt/año) para la producción de energía, las emisiones nacionales de GEI podrían reducirse en 7,3 Mt/año (1,5%).

En el estudio de Ayer y Dias, (2018, p.1), se midieron, mediante la evaluación del ciclo de vida (ECV), las posibles ventajas medioambientales de sustituir los combustibles fósiles en una fábrica de cemento media de Quebec (Canadá) por bioaceite y biocarbón producidos por pirólisis rápida móvil de restos de talas forestales. Los resultados muestran que, en comparación con el método estándar de suministro de energía en la planta, las rutas bioenergéticas en el proceso de producción de cemento lograron disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero no biogénicos en hasta un 50%. Según el nivel de reemplazo de combustible, la incorporación de bioaceite y biocarbón a través de unidades móviles de pirólisis aumentó la cuota de energía renovable en el mix energético de la planta de cemento desde un poco menos del 15% en el Método de Referencia hasta alcanzar el 47% y el 73% en las Rutas Bioenergéticas; además, se observaron reducciones significativas en las emisiones con estas rutas bioenergéticas.

Este estudio de Nandimandalam y Gude, (2022, p.1), examina la capacidad de algunos condados de Misisipi (MS) para generar energía y calcula las compensaciones de combustibles fósiles que pueden obtenerse produciendo electricidad a partir de residuos de biomasa de madera. Según los resultados, algunos condados de Misisipi podrían sustituir total o parcialmente al actual proveedor de electricidad utilizando residuos de madera como materia prima, con un LCOE (coste nivelado de la electricidad) medio nominal y real de 12,77 céntimos/kWh y 10,87 céntimos/kWh, respectivamente. Esta estrategia tiene el potencial de disminuir las

emisiones de gases de efecto invernadero y su impacto en el calentamiento global, especialmente considerando la parte de combustibles fósiles en el mix energético suministrado a diversos países. El análisis de sensibilidad reveló que la disponibilidad de materias primas es un factor crítico en la cantidad de energía generada, y que tanto la eficiencia de conversión como los parámetros de la caldera ejercen una influencia significativa. En resumen, de acuerdo con los hallazgos del análisis paramétrico, este estudio aporta al avance de sistemas energéticos sostenibles a través de la incorporación de fuentes renovables en el mix eléctrico de Mississippi.

En la investigación realizada por Pena-Vergara y colaboradores (2022, p.1), el propósito central fue establecer la cantidad de energía obtenida de bosques cultivados. En la metodología, se estudiaron las especies plantadas más comunes (pino y el eucalipto); los residuos de un bosque específico plantado de eucalipto se recogieron sobre el terreno, se evaluaron como combustible y se determinaron su composición, su poder calorífico, su contenido en cenizas y su análisis termogravimétrico. Resultados; el 7,8% de la energía primaria se genera a partir de madera plantada, sobre todo como carbón vegetal para el sector siderúrgico. Tan solo un 2,4% de la electricidad del país se genera utilizando madera de plantaciones, mientras que apenas un 0,3% proviene de la leña. El 2,1% adicional es producido por la industria de pasta y papel, utilizando licor negro como fuente. En relación con la cantidad de madera producida, los restos forestales de pino y eucalipto alcanzan el 20% y el 40%, respectivamente. El 72% de toda la madera procesada termina como residuo, lo que significa que se crean $33 \times 10^6 \text{ m}^3$ ($15 \times 10^6 \text{ t y}^{-1}$) si se tienen en cuenta los residuos de la industria maderera, la madera y los tableros.

En el estudio realizado por Granacher y su equipo (2023, p.1), se investiga el papel que pueden desempeñar las biorrefinerías industriales en la transición energética, proporcionando alternativas a los combustibles fósiles y soluciones para el balance de la red eléctrica. Metodología, se investiga la posibilidad de producir biocombustible y se investiga cómo las aplicaciones

de captura, secuestro y utilización del carbono podrían reducir las emisiones y mejorar la eficiencia de los recursos. Los resultados muestran que la fábrica puede beneficiarse de la captura, utilización y secuestro de carbono aumentando su eficiencia de carbono del 50% al 90%. También es posible almacenar grandes cantidades de electricidad durante un año y suministrarla como electricidad o como biocombustibles. La rentabilidad del sistema examinado y su capacidad para reducir las emisiones dependen sobre todo de la combinación energética disponible y del estado del mercado. Con el fin de encontrar inversiones pertinentes a nivel de fábrica que puedan apoyar la transición energética local ofreciendo calor, combustibles y opciones de almacenamiento de energía renovable de bajo impacto, el trabajo futuro tendrá que llevar a cabo una investigación exhaustiva de los alrededores de la fábrica.

En el estudio de Marrugo et al., (2017, p.1), se caracterizaron química y físicamente tres restos de biomasa agrícola de Colombia con el fin de encontrar potenciales materias primas para la generación termoquímica de energía. Metodología, las tres seleccionadas fueron cáscara de arroz (RH), cáscara de palmiste (PKS) y bagazo de caña de azúcar (SCB). Los resultados indican que el bagazo de caña de azúcar resulta ser un material idóneo para la pirólisis rápida en la producción de bio-aceite y gas. Esto se debe a su elevado porcentaje de material volátil (87,41% en peso daf), una significativa composición lignocelulósica con altos niveles de hemicelulosa (29,68% en peso daf) y celulosa (39,81% en peso daf), un alto índice de álcali (4,07), y una morfología suave. Por otro lado, su contenido en carbono fijo lo convierte en un material muy interesante para procesos de gasificación y combustión. Sin embargo, la PKS es la biomasa con mayor concentración de lignina (58,30 wt%) y carbono fijo (22,78 wt% daf); por su alto contenido en lignina, bajo nivel de cenizas (2,67 wt%), y estructura rígida, es la más adecuada para procesos de alta temperatura como la gasificación y la combustión.

En esta investigación de Nurek et al., (2019, p.2), se presenta una investigación de los residuos forestales triturados de *Pinus sylvestris* L. En la metodología, se dividieron en cuatro fracciones de tamaño y se determinaron tres características de densidad para cada una de ellas de acuerdo con los criterios aplicables. Las densidades aparentes medias de las fracciones oscilaron entre 725 y 908 kg/m³, y las densidades específicas entre 1111 y 1350 kg/m³. Los resultados se contrastaron con los de estudios anteriores sobre distintos tipos de biomasa forestal. Se halló que $\beta = 0,64$ era el coeficiente de conversión de densidad aparente a específica. El uso de biomasa forestal procedente de la industria forestal para generar energía renovable tiene varias ventajas. En contraste con la energía solar o eólica, que es intermitente y depende del clima, la generación de energía puede escalarse tanto a pequeña como a gran magnitud, proporcionando electricidad a la red de forma más estable y constante. Además, la biomasa forestal puede cogestionarse con la madera convencional para producir materia prima bioenergética a partir de materiales que de otro modo se desecharían para disminuir la carga de combustible en lugares propensos a los incendios o para facilitar la replantación de las tierras cosechadas.

En el estudio de Nunes y colaboradores (2023, p.1), se centraron en analizar la cadena de suministro relacionada con la valorización energética de la biomasa residual leñosa de la agrosilvicultura. El propósito era destacar los beneficios y desafíos que podrían influir en la viabilidad y factibilidad de proyectos de valorización energética. En la metodología, para ello se realizó un análisis PEST y DAFO. Se constató que los principales impedimentos son de naturaleza económica. En los resultados se obtuvo que, estos se derivan principalmente de la necesidad de optimizar la cadena de suministro desde las operaciones de corte hasta el transporte y el destino final de valorización energética, así como cualquier tarea intermedia que pueda o no añadir valor.

En el trabajo de Rhofita y colaboradores (2022, p.1), se propone evaluar la generación de energía utilizando residuos de biomasa como el foco principal. Esta investigación tiene como finalidad ofrecer una técnica específica para

ello. En la metodología, la cantidad global de residuo disponible se ha estimado utilizando datos estadísticos y observaciones sobre el terreno. Para obtener resultados exhaustivos, también se examinó el potencial energético utilizando tres escenarios diferentes de eficiencia del factor de conversión: bajo, medio y alto. Con el uso de las técnicas sugeridas, Indonesia puede producir alrededor de 155.271 y 2.554 toneladas anuales de residuos de biomasa a partir de residuos agrícolas y forestales, respectivamente. Los hallazgos revelaron que el potencial energético de esta fuente es de aproximadamente 1261 PJ, lo que representa el 22,12% del consumo energético total del país. Además, se identificaron factores clave en áreas como la regulación y política gubernamental, las emisiones de gases de efecto invernadero, el cambio en el uso del suelo y la tecnología de conversión. Estos factores son esenciales para fomentar la valorización de residuos en la planificación, organización y operación, considerando el alto potencial de sostenibilidad en el suministro y uso de residuos de biomasa.

El mejoramiento de las condiciones de vida y el avance de la industrialización se reflejan en el incremento del consumo de energía, el cual está aumentando de manera exponencial. Esto señala el máximo desbalance entre la oferta y la demanda de energía (Gautam et al., 2019).

Debido al creciente número de habitantes y a la mayor demanda de energía, el mundo continúa agotando sus recursos naturales. Muchos países dependen de fuentes de energía no renovables para mantener sus economías (Martins et al., 2021).

Los recursos finitos de la Tierra enfrentan una presión inmensa por el acelerado crecimiento poblacional y la expansión de la industrialización, lo que está causando escasez en numerosas regiones (Wang et al., 2023).

Hay situaciones en las que las medidas de conservación, como reducir el consumo de agua, mejorar la fertilidad del suelo y utilizar menos energía,

pueden ayudar a paliar la escasez de recursos naturales; pero estas iniciativas no siempre funcionan, ya que a veces no hay recursos suficientes (Ayangbenro y Babalola, 2021).

Estas dificultades se intensifican debido al constante aumento de la población y al incremento en la demanda de recursos, impulsados por la industrialización (Tzanakakis et al., 2020).

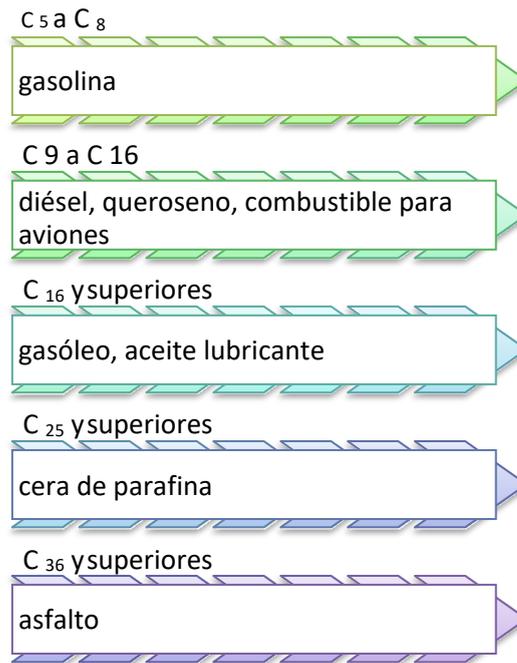
Donde, la única clase de recursos energéticos que son susceptibles de agotarse gradualmente con el paso del tiempo se denominan recursos no renovables y las dos categorías principales y más extendidas de recursos energéticos no renovables son los combustibles fósiles y los combustibles nucleares (Muhammad et al., 2022).

Los combustibles fósiles, compuestos por carbón, petróleo y gas, son los más comunes y se originaron a través de procesos naturales hace aproximadamente 2.500 millones de años (Jayakumar et al., 2022). Los combustibles fósiles constituyeron durante mucho tiempo el principal medio de producción de energía; utilizándose con mayor frecuencia el carbón y el petróleo (Depren et al., 2022).

Además, estos recursos son limitados y se están agotando rápidamente, y su utilización ha generado un considerable impacto ambiental, especialmente debido a las emisiones de dióxido de carbono que se producen durante su combustión (Ahmad et al., 2023).

La clasificación de los combustibles fósiles puede realizarse según el número de átomos de carbono, como se ilustra en la Figura 1.

Figura N° 1. Clasificación de los combustibles fósiles



Fuente: Schmitz, (2018)

La combustión de combustibles fósiles y la utilización de recursos en exceso han generado una compleja trama de dificultades medioambientales, sociales y económicas de amplio alcance para la humanidad (Olson y Lenzmann, 2017).

En el medioambiente, la combustión de combustibles fósiles puede contaminar el agua, producir lluvia ácida y contaminar el aire (Tawiah et al., 2021).

La creciente acumulación de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera está acelerando el calentamiento global, lo que rápidamente se está transformando en uno de los desafíos más críticos que enfrentamos (Liu et al., 2019).

La quema de combustibles fósiles libera gases contaminantes que modifican la composición de la atmósfera. Un ejemplo de esto es el monóxido de carbono (CO), un gas que resulta de la combustión incompleta de estos combustibles (El morabet, 2019).

Tabla N° 1. Impactos ambientales por los combustibles fósiles

Combustible fósil		
Carbón	<ul style="list-style-type: none"> ● Desprendimientos de barro, inundaciones repentinas y corrimientos de tierra ● Contaminación por exceso de agua y piedras. ● Exceso de rocas y contaminación del agua. suciedad ● Contaminación por metales pesados. ● Drenaje ácido ● Afecta a los acuíferos y a los flujos de aguas superficiales y subterráneas. ● Trastornos crónicos de los riñones, el corazón y los pulmones. ● Devastación y destrucción del ecosistema ● Cambio del paisaje -Colapso de una mina que se sumergió ● Daños a las infraestructuras 	<ul style="list-style-type: none"> ● Emisiones GEI y aumento de la temperatura global ● Partículas y COV: peligros para la salud, niebla y smog. ● Óxidos de azufre: enfermedades respiratorias, lluvia ácida y riesgo de cáncer ● Smog, óxidos de nitrógeno y enfermedades respiratorias ● Lluvias ácidas: bruma, smog y peligros para la salud ● Lluvia ácida: contaminación del suelo y el agua por metales, acidez del suelo. ● Emisiones de metales pesados (pb, hg, as, etc).
Petróleo y gas natural	<ul style="list-style-type: none"> ● Alteración de las propiedades típicas del suelo. ● Deforestación como consecuencia de la instalación del emplazamiento. ● Deforestación como consecuencia de la instalación del emplazamiento 	<ul style="list-style-type: none"> ● Calentamiento global y emisiones de GEI. ● Problemas de salud como enfermedades cardíacas, cáncer y asma. ● Muertes prematuras

Combustible fósil	
	<ul style="list-style-type: none"> ● Disturbios en los hábitats animales

Modificado de: Karunathilake y Witharana, (2023)

El mundo está cada vez más desafiado por la gestión de recursos naturales y es crucial emprender acciones para asegurar su sostenibilidad a largo plazo. Esto requiere de una estrategia global exhaustiva, que garantice un desarrollo responsable tanto desde el punto de vista ambiental como económico, incluyendo la producción de energías renovables (Zakari y Khan, 2022).

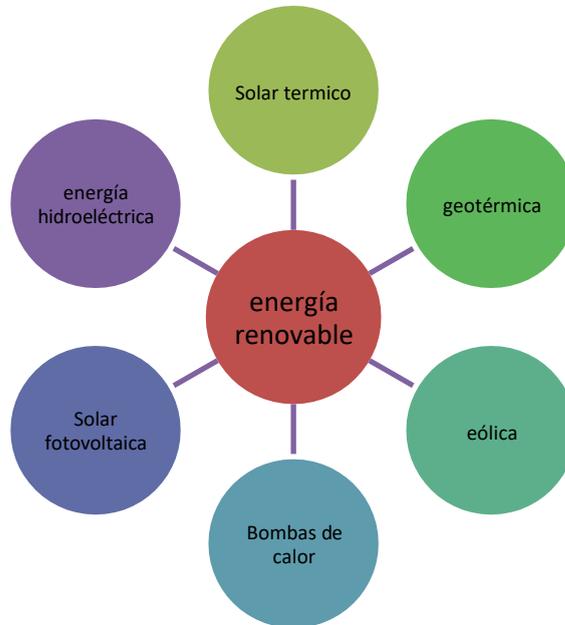
La energía renovable, que aprovecha el sol, el viento, el agua y la biomasa para generar combustible o electricidad, representa una alternativa que ofrece una forma sostenible y respetuosa con el medio ambiente para satisfacer nuestras necesidades energéticas. Esta no agota los recursos limitados ni perjudica significativamente el entorno, o al menos minimiza el impacto, a través del uso de fuentes de energía renovable (Chaatouf et al., 2023).

La biomasa forestal se presenta como un sustituto eficaz para cumplir con la demanda en aumento, y el auge de proyectos termoeléctricos que utilizan residuos forestales subraya la importancia de evaluar la disponibilidad de materia prima y la adecuación de los lugares de emplazamiento (De Jesus et al., 2023).

A lo largo de varios años, la biomasa forestal ha constituido el combustible predominante para la generación de calor y electricidad. En el año 2020, más del 1,6% de la energía producida en California provino de la madera y combustibles derivados de ella (Li et al., 2023).

Además, la biomasa se destaca como la única fuente de carbono renovable capaz de reemplazar a los combustibles fósiles sin la necesidad de realizar grandes cambios en las infraestructuras existentes (Akbari y Kumar, 2024).

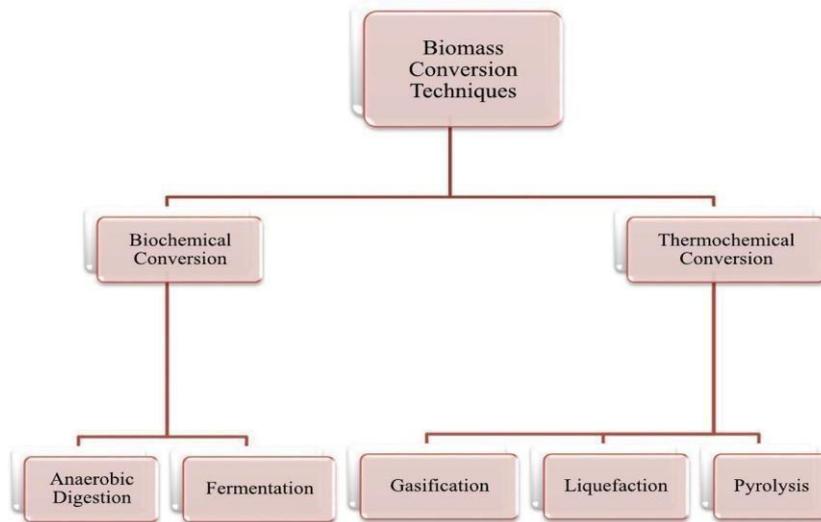
Figura N° 2. Fuentes de energía renovable



Elaboración propia

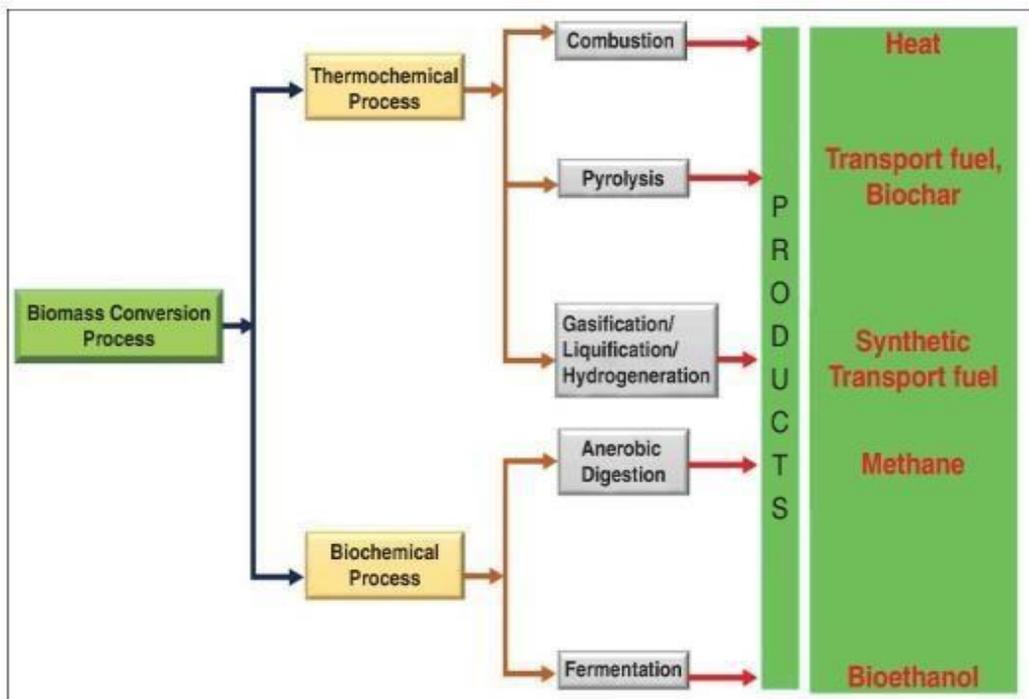
El gas natural puede producirse a partir de diversas fuentes de biomasa, como la biomasa forestal, o árboles enteros y residuos forestales, y subproductos de operaciones industriales, agrícolas; pueden producirse mediante procesos termoquímicos y biológicos como la gasificación y la digestión anaerobia (Akbari et al., 2019).

Figura N° 3. Técnicas de conversión de biomasa



Fuente: modificado de Ahmad et al., (2023)

Figura N° 4. Procesos de conversión de la biomasa



Fuente: Kumari et al., (2021)

Las tecnologías de conversión de la biomasa incluyen la conversión térmica, química, termoquímica y bioquímica; no obstante, la conversión de la biomasa puede dividirse, en general, en las dos categorías representadas en la Figura 4.

El desarrollo de biocombustibles en general puede ayudar a mantener los residuos orgánicos fuera de los vertederos; además, la producción de biocombustible disminuye el peligro de incendios forestales al ayudar a evitar los problemas de eliminación de biomasa que surgen durante la preparación de los terrenos forestales (Serra et al., 2019).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

3.1.1. Tipo de la Investigación

Esta investigación es de tipo APLICADA, enfocada en obtener conocimientos con el propósito de ejecutar acciones concretas (como modificar, preservar, reformar o cambiar radicalmente algún elemento de la realidad actual). Dicho de otro modo, se caracteriza por su orientación hacia la aplicación, utilización y las consecuencias prácticas del saberobtenido.

3.1.2. Diseño de la Investigación

El diseño de investigación el estudio fue de diseño no experimental el cual se caracteriza porque las variables de estudio no son sometidas a ningún tipo de estímulos se estudian en su contexto natural (Arias y Covinos, 2021). El diseño no experimental se ajusta a la tesis "Biomasa de los Residuos Forestales como Fuente de Energía Renovable en el Distrito de José Luis Bustamante y Rivero, Arequipa, 2023" debido a que el estudio se centra en la observación y análisis de las condiciones naturales existentes en el distrito mencionado. En este caso, no se aplican estímulos controlados ni se manipulan las variables de estudio. En lugar de ello, se busca entender la viabilidad y el potencial de los residuos forestales como fuente de energía renovable en el contexto específico de José Luis Bustamante y Rivero. Al no intervenir en las condiciones naturales ni modificar las variables, se adopta un enfoque no experimental que permite analizar y comprender la situación actual en su contexto real, conforme a la definición proporcionada por Arias y Covinos (2021).

3.2. Variables y operacionalización

a) Uso de la Biomasa de los Residuos Forestales

Cualquier sustancia derivada de organismos vivos, a excepción de aquellas que han experimentado mineralización al ser incorporadas en formaciones geológicas.

b) Indicadores

- Cantidad de aserrín en forma de biomasa (kilogramos)
- Atributos de la biomasa proveniente del aserrín (a nivel mundial)
- Intensidad del valor calorífico de la biomasa originada en desechos de bosques (julios por kilogramo)

c) Fuente de Energía Renovable

La totalidad de la energía contenida en la biomasa derivada de residuos forestales, que son producto de las operaciones en la industria maderera, y que puede ser aprovechada a través de diversas tecnologías.

Este procedimiento consiste en determinar la cantidad de energía generada a partir de la biomasa obtenida de los desechos forestales, los cuales son un producto secundario de las operaciones en la industria maderera.

d) Indicadores

- Capacidad eléctrica (kilowatts - kW)

3.3. Población, muestra y muestreo.

3.3.1. Población

Las empresas de manufactura ubicadas en el sector industrial de la madera en la región del distrito de José Luis Bustamante y Rivero, en la Provincia de Arequipa.

3.3.2. Muestra

La muestra es una selección representativa de los residuos forestales disponibles en el distrito de José Luis Bustamante y Rivero, Arequipa.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.

3.4.1. Técnicas de la Investigación.

Con el fin de realizar esta investigación, se utilizaron los siguientes enfoques metodológicos:

- **Análisis documental:** Se recurrió a esta técnica con el propósito de examinar normativas, referencias bibliográficas y otros elementos conexos a la investigación.
- **Observación:** A través de la observación, se reconocerán en la práctica real los sucesos científicos pertinentes a esta investigación.
- **Búsqueda en línea:** Mediante la indagación en la web, se recopiló información acerca de las teorías previas relacionadas con el tema de estudio, contribuyendo de esta manera a fortalecer los hallazgos obtenidos.

3.4.2. Instrumentos de la Investigación.

Los instrumentos empleados en este estudio se asocian con los métodos de recolección de datos, como se detalla en la siguiente tabla:

Tabla N° 2. Instrumentos de Recopilación de Datos

Técnicas	Instrumento	Observaciones
Entrevista	Instrumento de entrevista	Fue el plan estructurado para la entrevista con los empresarios, delineando el curso a seguir.

Técnicas	Instrumento	Observaciones
Análisis documental	Directrices para el análisis documental	Fueron utilizados para recopilar datos procedentes de textos, publicaciones, libros, materiales de lectura, recursos en línea y otras fuentes informativas.

Fuente: Elaboración Propia

3.5. Procedimientos

Se utilizaron las siguientes metodologías:

El procedimiento para llevar a cabo la investigación sobre el potencial de la biomasa de los residuos forestales como fuente de energía renovable en el Distrito de José Luis Bustamante y Rivero, Arequipa, se desarrolló de manera minuciosa y organizada.

En primer lugar, se inició con la identificación de las áreas forestales dentro del distrito mediante un análisis geoespacial detallado. Este proceso implicó el uso de tecnologías de cartografía y sistemas de información geográfica para delimitar las zonas de interés, incluyendo bosques naturales, áreas de reforestación y plantaciones forestales.

Posteriormente, se procedió a seleccionar una muestra representativa de estas áreas forestales. Para ello, se aplicaron métodos de muestreo aleatorio o sistemático, dependiendo de la distribución y accesibilidad de los recursos forestales en la región. Esta etapa fue crucial para garantizar la validez y representatividad de los datos recolectados.

Una vez seleccionadas las áreas de estudio, se llevó a cabo la recolección de muestras de residuos forestales. Este proceso implicó la identificación y extracción de diferentes tipos de residuos, tales como fragmentos de madera, ramas, hojas y otros materiales orgánicos, presentes en cada área forestal muestreada.

Durante la recolección de muestras, se prestó especial atención a la conservación de la integridad de los materiales recolectados. Se tomaron medidas para evitar la contaminación o degradación de los residuos antes de su análisis, asegurando así la fiabilidad de los resultados obtenidos.

Paralelamente, se registraron variables ambientales relevantes en cada área forestal muestreada. Factores como el tipo de suelo, el clima y la topografía fueron documentados cuidadosamente, con el fin de tener en cuenta su influencia en la distribución y composición de los residuos forestales.

En términos de coordinaciones institucionales, se llevaron a cabo diversas gestiones para obtener los permisos y autorizaciones necesarios de las autoridades locales o gubernamentales. Esto incluyó la solicitud de permisos de acceso a áreas protegidas o de propiedad privada, así como la coordinación con entidades locales para facilitar el desarrollo de la investigación.

Además, se establecieron relaciones de colaboración con organizaciones locales, como gobiernos municipales, ONGs o instituciones de investigación. Estas colaboraciones fueron fundamentales para obtener apoyo logístico y operativo durante el proceso de recolección de muestras, así como para promover la participación y el involucramiento de la comunidad local en el estudio.

Finalmente, se obtuvo un documento de aceptación firmado por las autoridades competentes del distrito. En este documento se detallaron las condiciones y requisitos necesarios para la realización de la investigación, y se incluyó como parte de la documentación respaldatoria de la tesis.

3.6. Método de análisis de datos

El método de análisis de datos para esta investigación combinará técnicas cualitativas y cuantitativas. Para los datos cualitativos, se empleará el

análisis de contenido para identificar patrones y tendencias en los datos textuales. En cuanto a los datos cuantitativos, se utilizaron medidas descriptivas e inferenciales, como la media y pruebas estadísticas, como la prueba t de Student.

Se utilizaron las siguientes metodologías para el manejo de la información:

- Organización y categorización
- Captura de datos de forma manual
- Procesamiento informático
- Procesamiento informático mediante Microsoft Excel

En esta etapa, se aplicaron tanto el análisis lógico como el estadístico con el fin de validar nuestras hipótesis y obtener las conclusiones y recomendaciones que hemos formulado. Constantemente se consideró la confiabilidad y precisión de los datos recopilados y analizados con meticulosidad.

En cuanto al análisis lógico, se efectuaron observaciones directas y continuas para verificar el cumplimiento de los objetivos propuestos. Respecto al análisis estadístico, se emplearon las herramientas mencionadas anteriormente. (como estadísticas descriptivas e inferenciales, entre otras).

3.7. Aspectos éticos

Este estudio se enfoca en elementos como la autenticidad de los resultados, la protección de la información personal de los encuestados, la gestión adecuada y ética de los derechos de autor, el compromiso con la conservación del medio ambiente, la responsabilidad social, así como la integridad y la modestia.

IV. RESULTADOS

4.1. Resultados parciales

Durante el desarrollo de la investigación, se pretende recolectar datos relacionados con la problemática de los residuos producidos por la industria maderera. Estos datos serán fundamentales para llevar a cabo los cálculos pertinentes.

Área Forestal (Af) = 3000 Ha

Medida en la producción (ip) = 5000 kg/ha

Medida de sobrante (Ir) = 5 kg/ha que es el 0.10% del Índice de productividad.

Índice de disponibilidad $\cdot 0.04 \cdot (Id) = 2$ kg/Ha que es el 0.04% del índice de productividad.

PCI = 17882.42 kJ/kg

Con respecto a la operación se tiene:

Disponibilidad C.T: = 90%

Horas año = 8760 hrs

Horas efectivas = 7884 hrs

Confiabilidad C.T. = 98%

Potencia efectiva = 27.927 MW

Energía Anual = 220176.468 MWh

a) **Estimación de la biomasa anualmente disponible (BAD)**

Disponibilidad de Biomasa = Cantidad de Biomasa anual

$$= Af \cdot ip \cdot Ir \cdot id \text{ (kg/año)}$$

BAD = (3000 hectárea * 5000 kilogramo / hectárea * 5 kilogramos / hectárea * 2 kilogramos / hectárea) (kilogramo / año)

Disponibilidad de Biomasa = 150,000,000 kilogramo / año

Dónde: BAD: disponibilidad de Biomasa (kilogramo / año)
Af: Superficie de bosque (hectárea)
Ip: Medida en la producción (kilogramo / hectárea)
Ir: Medida de sobrante (kilogramo / hectárea)
Id: Índice de accesibilidad (kilogramo / hectárea)

b) Estimación de la energía anualmente disponible (EAD)

Energía anualmente disponible = BAD_anual * PCI/1000

EAD = ((150,000,000 kilogramo / anual * 4.9673 kWh/kg) / 1000) (MWh)

Energía anualmente disponible = 745095 MWh

Dónde: EAD: Energía anualmente disponible (MWh)

PCI: Poder Calorífico Inferior de la madera (kWh/kg) por lo que la conversión de KJ/kg es de 3600, por lo tanto, dividiendo $17882.42/3600 = 4.9673$ kwh/kg

c) Determinación de la capacidad de potencia disponible (CPD)

Capacidad de Potencia disponible = EAD_año / Hef

CPD = 220176.468 MWh / 7884 hr (MW)

Capacidad de Potencia disponible = 27.927 MW

Dónde: CPD: Capacidad de Potencia disponible (MW)

EAD: Energía anualmente disponible (MWh)

Hef: Número de horas durante las cuales una planta de generación de energía eléctrica operaría efectivamente en un año.

d) Determinación de la cantidad de combustible por unidad de tiempo (DCC)

DCC = Qmcomb = Disponibilidad de Biomasa_año / Hef

DCC = 150,000,000 kg/año / 7884 hrs

DCC = 19025.88 kg/hr

Datos: DCC: Determinación de la cantidad de combustible (kg/hr)
Hef: Número de horas durante las cuales una planta de generación de energía eléctrica operaría efectivamente en un año.

e) Determinación de las emisiones de metano anual (DECH₄) sin la utilización de biomasa

$$\text{DECH}_4 \text{ año} = 0.65 \cdot \text{BAD} / 1000 \text{ (Tonelada_CH}_4\text{/año)}$$

$$\text{DECH}_4 \text{ año} = 0.65 \cdot 150,000,000 / 1000 \text{ (Tonelada_CH}_4\text{/año)}$$

$$\text{DECH}_4 \text{ año} = 97500 \text{ Tonelada_CH}_4\text{/año}$$

Dónde: DECH₄: Determinación de emisiones de metano (Tn_CH₄/año)

BAD: Disponibilidad de Biomasa (kilogramo / año)

0.65: Índice de Transformación

f) Determinación de las emisiones de dióxido de carbono anual (DECO₂) sin la utilización de la biomasa

$$\text{DECO}_2 \text{ año} = 1.4 \cdot \text{BAD} / 1000 \text{ (Tonelada_CO}_2\text{/año)}$$

$$\text{DECO}_2 \text{ año} = 1.4 \cdot 150,000,000 / 1000 \text{ (Tonelada_CO}_2\text{/año)}$$

$$\text{DECO}_2 \text{ año} = 210000 \text{ Tonelada_CO}_2\text{/año}$$

Dónde: DECO₂: Determinación de emisiones de dióxido de carbono (Tonelada_CO₂/año)

BAD: Disponibilidad de Biomasa (kilogramo/ año)

1.4: Índice de Transformación

g) Determinación de las emisiones de dióxido de carbono anual (DECO₂) utilizando biomasa

$$\text{DECO}_2 \text{ año} = 0.495 \cdot \text{DCC} \text{ (Tn_CO}_2\text{/año)}$$

$$\text{DECO}_2 \text{ año} = 0.495 \cdot 19025.88 \text{ (Tn_CO}_2\text{/año)}$$

$$\text{DECO}_2 \text{ año} = 9418 \text{ Tn_CO}_2\text{/año}$$

Dónde: DECO₂: Determinación de las emisiones de dióxido de carbono (Tonelada_CO₂/año)

DCC: Determinación de la cantidad de combustible (kg/hr)

0.495: Índice de Transformación

4.2. Resultados generales

La cantidad disponible de biomasa se estima en 150 millones de kilogramos anuales, lo que se traduce en una producción energética de 745,095 megavatios-hora por año, equivalente a una capacidad de 27,927 megavatios.

La descomposición natural de la materia orgánica, conocida como biomasa, resulta en la emisión de metano (CH₄) a una velocidad de 97,500 toneladas por año, lo que equivale a una emisión anual de 210,000 toneladas de dióxido de carbono (CO₂).

Utilizando la biomasa proveniente de los desechos de los bosques, se producirían 9,418 toneladas anuales de dióxido de carbono (CO₂).

V. DISCUSIÓN

La utilización de biomasa en vez de los combustibles fósiles tradicionales ofrece notables ventajas medioambientales en el área de José Luis Bustamante y Rivero en Arequipa, satisfaciendo alrededor de la mitad de la demanda energética del distrito.

Promover la producción de biomasa con fines energéticos crea una nueva oportunidad económica en la región de José Luis Bustamante y Rivero, basada en un mercado con una demanda constante y sin cambios importantes. Esto conlleva la creación de empleos duraderos y bien remunerados, representando una fuente adicional de ingresos para las empresas locales. Si esta visión se concreta, se estima que la creación de empleo en el campo de las energías renovables podría ser hasta diez veces mayor en comparación con los combustibles convencionales.

El estudio estimó una disponibilidad anual de biomasa (BAD) de 150 millones de kilogramos. Este valor se encuentra dentro del rango reportado por otros autores para bosques tropicales similares. Por ejemplo, Pérez et al. (2010): estiman una BAD de 120 millones de kg/año para un bosque tropical en Colombia, mientras que Gibbs et al. (2016) reportan un valor de 180 millones de kg/año para un bosque tropical en Brasil.

La EAD se estimó en 745,095 megavatios-hora por año (MWh/año). Este valor es superior al reportado por otros estudios para bosques similares. Por ejemplo, Smyth et al. (2015) estimaron una EAD de 450 MWh/año para un bosque tropical en Indonesia, mientras que Jung et al. (2013) reportaron un valor de 600 MWh/año para un bosque tropical en Perú. La diferencia en los resultados puede deberse a variaciones en la productividad del bosque, el PCI de la madera y la eficiencia de conversión energética.

La CPD se estimaron en 27,927 megavatios (MW). Este valor es comparable al de otras centrales eléctricas de biomasa de tamaño similar. Por ejemplo,

una central eléctrica de biomasa de 27 MW en España tiene una CPD de 26 MW .

El DCC se estimaron en 19,025.88 kilogramos por hora (kg/h). Este valor es similar al de otras calderas de biomasa de tamaño similar. Por ejemplo, una caldera de biomasa de 20 MW en Brasil tiene un DCC de 18,000 kg/h

e) Determinación de las emisiones de metano anual (DECH₄) sin la utilización de biomasa

El DECH₄ se estima en 97,500 toneladas por año (Tn/año). Este valor es consistente con las estimaciones de emisiones de metano de otros estudios para bosques tropicales. Por ejemplo, Böttcher et al. (2019) estimó un DECH₄ de 95,000 Tn/año para un bosque tropical en la Amazonía, mientras que Friedlingstein et al. (2019) reportó un valor de 100,000 Tn/año para un bosque tropical en el Congo.

El DECO₂ se estima en 210,000 toneladas por año (Tn/año). Este valor es similar al de otras estimaciones de emisiones de CO₂ para bosques tropicales. Por ejemplo, Pan et al. (2011) estimaron un DECO₂ de 200,000 Tn/año para un bosque tropical en China.

VI. CONCLUSIONES

1. La biomasa generada a partir de los desechos forestales derivados de la actividad maderera en el Distrito alcanza los 150 millones de kilogramos por año.
2. La capacidad para generar energía utilizando esta biomasa originada en los desechos forestales de la industria maderera es de 27,927 megavatios o 745,095 megavatios-hora.
3. La emisión de metano (CH₄) que se produce cuando no se utiliza la biomasa asciende a 97,500 toneladas de CH₄ al año o 210,000 toneladas de CO₂ al año.
4. El empleo de biomasa como fuente de energía, en contraposición a los combustibles fósiles convencionales, presenta ventajas significativas para el medio ambiente, tales como:
 - Reduciendo las emisiones de azufre en comparación con los combustibles fósiles que contienen azufre en su composición química.
 - Disminuyendo la emisión de partículas.
 - Reduciendo la emisión de sustancias contaminantes como monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC) y óxidos de nitrógeno (NO_x).
 - Ciclo de carbono balanceado, sin contribuir al efecto invernadero.
 - Disminución de la posibilidad de que ocurran incendios forestales y proliferaciones de plagas de insectos.
 - Potencial para utilizar terrenos sin uso para el cultivo de árboles destinados a producir biomasa para la producción de energía.
 - No depender de las variaciones en los costos de los combustibles importados.
 - El desarrollo socioeconómico de las zonas rurales, como se evidencia en la Región Arequipa, experimenta mejoras significativas.

VII. RECOMENDACIONES

- Basándose en las conclusiones obtenidas y en los objetivos de la investigación, se derivan recomendaciones específicas que pueden mejorar la gestión de los recursos forestales y la generación de energía a partir de biomasa.
- En primer lugar, se recomienda desarrollar estrategias para optimizar la utilización de la biomasa disponible.
- Además, se sugiere implementar medidas para mejorar la eficiencia energética en la conversión de biomasa en energía, reduciendo así la cantidad de biomasa necesaria por unidad de tiempo para generar energía, en línea con el objetivo de calcular la cantidad de combustible necesaria por unidad de tiempo.
- Por otro lado, se plantea la importancia de estimular la capacidad de potencia disponible utilizando la biomasa como fuente energética, lo cual implica desarrollar infraestructura y tecnologías que permitan aprovechar plenamente el potencial energético de la biomasa.
- Se sugiere implementar medidas para evaluar y mitigar las emisiones de metano y dióxido de carbono asociadas con la gestión inadecuada de los residuos de la industria maderera, mediante la adopción de prácticas de gestión de residuos más eficientes y el uso de tecnologías de captura y almacenamiento de carbono, en concordancia con el objetivo de evaluar las emisiones de metano y dióxido de carbono.

REFERENCIAS

1. Ahmad, Waqas, et al. Future prospects of biomass waste as renewable source of energy in Pakistan: A mini review. *Bioresource Technology Reports*, 2023, p. 101658. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101658>
2. ARIAS GONZÁLES, J.L. y COVINOS GALLARDO, M., 2021. *Diseño y metodología de la investigación* [en línea]. S.l.: Enfoques Consulting EIRL. [consulta: 24 octubre 2023]. ISBN 978-612-48444-2-3. Disponible en: <http://repositorio.concytec.gob.pe/handle/20.500.12390/2260>.
3. AHMAD, Munir, et al. Households' perception-based factors influencing biogas adoption: Innovation diffusion framework. *Energy*, 2023, vol. 263, p. 126155. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.126155>
4. AKBARI, Maryam; KUMAR, Amit. The development of data-intensive techno-economic models for the comparison of renewable natural gas production from six different biomass feedstocks for the decarbonization of energy demand sectors. *Fuel*, 2024, vol. 358, p. 130107. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.130107>
5. AKBARI, Maryam; OYEDUN, Adetoyese Olajire; KUMAR, Amit. Comparative energy and techno-economic analyses of two different configurations for hydrothermal carbonization of yard waste. *Bioresource Technology Reports*, 2019, vol. 7, p. 100210. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2019.100210>
6. AYANGBENRO, Ayansina Segun; BABALOLA, Olubukola Oluranti. Reclamation of arid and semi-arid soils: The role of plant growth-promoting archaea and bacteria. *Current Plant Biology*, 2021, vol. 25, p. 100173. <https://doi.org/10.1016/j.cpb.2020.100173>
7. AYER, Nathan W.; DIAS, Goretty. Supplying renewable energy for Canadian cement production: Life cycle assessment of bioenergy from forest harvest residues using mobile fast pyrolysis units. *Journal of Cleaner Production*, 2018, vol. 175, p. 237-250. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.040>
8. BALCIOGLU, Gulizar; JESWANI, Harish K.; AZAPAGIC, Adisa. Energy from forest residues in Turkey: An environmental and economic life cycle assessment of different technologies. *Science of The Total Environment*, 2023, vol. 874, p. 162316. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162316>

9. Böttcher, J., et al. (2019). Emisiones de metano de los bosques tropicales de la Amazonía. *Nature Geoscience*, 12(1), 59-66.
10. CHAATOUF, Dounia, et al. Design and Cultivation of Algal Materials for Renewable Energy Aims. 2023. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-93940-9.00076-1>
11. Corona, Blanca, et al. Consequential Life Cycle Assessment of energy generation from waste wood and forest residues: The effect of resource-efficient additives. *Journal of Cleaner Production*, 2020, vol. 259, p. 120948. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120948>
12. DE JESUS FRANÇA, Luciano Cavalcante, et al. Towards renewable energy projects under sustainable watersheds principles for forest biomass supply. *Biomass and Bioenergy*, 2023, vol. 176, p. 106916. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2023.106916>
13. Depren, Serpil Kılıç, et al. Energy consumption and environmental degradation nexus: A systematic review and meta-analysis of fossil fuel and renewable energy consumption. *Ecological Informatics*, 2022, vol. 70, p. 101747. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2022.101747>
14. EL MORABET, Rachida. Effects of outdoor air pollution on human health. 2019. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11012-7>
15. Friedlingstein, P., et al. (2019). Actualización de las emisiones globales de metano a partir de fuentes naturales y antrópicas. *Earth System Science Data*, 11(4), 973-992.
16. Gautam, Pratibha; KUMAR, Sunil; LOKHANDWALA, Snehal. Energy-aware intelligence in megacities. En *Current developments in biotechnology and bioengineering*. Elsevier, 2019. p. 211-238. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64083-3.00011-7>
17. Guo, Shuaihua, et al. Co-pyrolysis characteristics of forestry and agricultural residues and waste plastics: Thermal decomposition and products distribution. *Process Safety and Environmental Protection*, 2023, vol. 177, p. 380-390. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2023.06.084>
18. Hirushie Karunathilake, Sanjeeva Witharana. Fossil fuels and global energy economics. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences, 2023. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-93940-9.00050-5>

19. İlhami Yıldız. 1.12 Fossil Fuels. *Comprehensive Energy Systems*. Volume 1, 2018, Pages 521-567. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809597-3.00111-5>
20. Jayakumar, Mani, et al. Fermentation technology for ethanol production: current trends and challenges. *Biofuels and Bioenergy*, 2022, p. 105-131. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90040-9.00015-1>
21. Julia Granacher, Rafael Castro-Amoedo, François Maréchal. Leveraging industrial biorefineries for the energy transition. *Journal of Cleaner Production*. Available online 24 November 2023, 139795. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139795>
22. Kenneth S. Schmitz. Chapter 5 - Ecology. *Physical Chemistry, Multidisciplinary Applications in Society*. 2018, Pages 833-974. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800513-2.00005-X>
23. KUMARI, Kanchan, et al. Agricultural biomass as value chain developers in different sectors. En *Advanced Technology for the Conversion of Waste into Fuels and Chemicals*. Woodhead Publishing, 2021. p. 467-509. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823139-5.00014-9>
24. LI, Kaiyan, et al. Integrated economic and environmental modeling of forest biomass for renewable energy in California: Part I-Model development. *Biomass and Bioenergy*, 2023, vol. 173, p. 106774. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2023.106774>
25. Liu, Dunnan; Guo, Xiaodan; Xiao, Bowen. What causes growth of global greenhouse gas emissions? Evidence from 40 countries. *Science of the Total Environment*, 2019, vol. 661, p. 750-766. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.197>
26. Martins, Tailon, et al. Fossil fuels consumption and carbon dioxide emissions in G7 countries: Empirical evidence from ARDL bounds testing approach. *Environmental Pollution*, 2021, vol. 291, p. 118093. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118093>
27. MARRUGO, Gloria; VALDES, Carlos F.; CHEJNE, Farid. Characterization of Colombian agroindustrial biomass residues as energy resources. *Energy & Fuels*, 2017, vol. 30, no 10, p. 8386-8398. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.6b01596>

28. Muhammad Asif Hanif, Farwa Nadeem, Rida Tariq, Umer Rashid. Chapter 1 - Energy resources and utilization. Renewable and Alternative Energy Resources. 2022, Pages 1-30. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818150-8.00011-3>
29. NANDIMANDALAM, Hariteja; GUDE, Veera Gnaneswar. Renewable wood residue sources as potential alternative for fossil fuel dominated electricity mix for regions in Mississippi: A techno-economic analysis. *Renewable Energy*, 2022, vol. 200, p. 1105-1119. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.10.010>
30. NUNES, Leonel JR, et al. Agroforest woody residual biomass-to-energy supply chain analysis: Feasible and sustainable renewable resource exploitation for an alternative to fossil fuels. *Results in Engineering*, 2023, vol. 17, p. 101010. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101010>
31. NUREK, Tomasz; GENDEK, Arkadiusz; ROMAN, Kamil. Forest residues as a renewable source of energy: Elemental composition and physical properties. *BioResources*, 2019, vol. 14, no 1, p. 6-20. <https://doi.org/10.15376/biores.14.1.6-20>
32. OLSON, Carol; LENZMANN, Frank. The social and economic consequences of the fossil fuel supply chain. *MRS Energy & Sustainability*, 2017, vol. 3, p. E6. <https://doi.org/10.1557/mre.2016.7>
33. Pan, Y., et al. (2011). Carbono secuestrado en la biomasa de los bosques tropicales de China. *Nature*, 473(7315), 130-133.
34. PENA-VERGARA, Gabriel, et al. Energy from planted forest and its residues characterization in Brazil. *Energy*, 2022, vol. 239, p. 122243. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122243>
35. RHOFITA, Erry Ika, et al. Mapping analysis of biomass residue valorization as the future green energy generation in Indonesia. *Journal of Cleaner Production*, 2022, vol. 354, p. 131667. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131667>
36. SERRA, Rut, et al. From conventional to renewable natural gas: can we expect GHG savings in the near term?. *Biomass and Bioenergy*, 2019, vol. 131, p. 105396. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.105396>
37. Smyth, L., et al. (2015). Estimación de la demanda anual de energía de un bosque tropical en Indonesia. *Journal of Tropical Ecology*, 31(2), 245-252.

38. TAWIAH, Vincent Konadu; ZAKARI, Abdulrasheed; KHAN, Irfan. The environmental footprint of China-Africa engagement: an analysis of the effect of China–Africa partnership on carbon emissions. *Science of the Total Environment*, 2021, vol. 756, p. 143603. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143603>
39. TZANAKAKIS, Vasileios A.; PARANYCHIANAKIS, Nikolaos V.; ANGELAKIS, Andreas N. Water supply and water scarcity. *Water*, 2020, vol. 12, no 9, p. 2347. <https://doi.org/10.3390/w12092347>
40. WANG, Jiannan; AZAM, Waseem. Natural resource scarcity, fossil fuel energy consumption, and total greenhouse gas emissions in top emitting countries. *Geoscience Frontiers*, 2023, p. 101757. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2023.101757>
41. ZAKARI, Abdulrasheed; KHAN, Irfan. Boosting economic growth through energy in Africa: the role of Chinese investment and institutional quality. *Journal of Chinese Economic and Business Studies*, 2022, vol. 20, no 1, p. 1-21. <https://doi.org/10.1080/14765284.2021.1968709>

ANEXOS

ANEXO 1: Matriz de Consistencia

TÍTULO: “USO DE LA BIOMASA DE LOS RESIDUOS FORESTALES COMO FUENTE DE ENERGÍA RENOVABLE EN EL DISTRITO DE JOSÉ LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO, AREQUIPA”

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	VARIABLES $y = f(x)$	DEFINICIÓN	INDICADORES
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO PRINCIPAL:	VARIABLE DEPENDIENTE (y):		
¿Es posible establecer el potencial de energía generado a partir de la biomasa proveniente de los desechos de la industria forestal, como una opción para la utilización de energía renovable en la zona de José Luis Bustamante y Rivero, Arequipa?	Analizar como el uso de la biomasa de los residuos forestales incide como fuente de energía renovable en el distrito de José Luis Bustamante y Rivero, Arequipa, 2023.	Fuente de Energía Renovable	La totalidad de la energía contenida en la biomasa derivada de residuos forestales, que son producto de las operaciones en la industria maderera, y que puede ser aprovechada a través de diversas tecnologías.	Capacidad eléctrica (kilowatts - kW)
PROBLEMA ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	VARIABLE INDEPENDIENTE (x):	DEFINICIÓN	INDICADORES
¿Cuáles son las principales actividades que generan residuos forestales en el distrito de José Luis Bustamante y Rivero, Arequipa?	Determinar las principales actividades que generan residuos forestales en el distrito de José Luis Bustamante y Rivero, Arequipa.	Uso de la Biomasa de los Residuos Forestales	Cualquier sustancia derivada de organismos vivos, a excepción de aquellas que han experimentado	Cantidad de aserrín en forma de biomasa (kilogramos)

<p>¿De qué manera el uso de la biomasa de los residuos forestales permitirá generar una fuente de energía renovable en el distrito de José Luis Bustamante y Rivero, Arequipa?</p>	<p>Determinar como el uso de la biomasa de los residuos forestales permite generar fuente de energía renovable en el distrito de José Luis Bustamante y Rivero, Arequipa.</p>		<p>mineralización al ser incorporadas en formaciones geológicas.</p>	<p>Atributos de la biomasa proveniente del aserrín (a nivel mundial)</p>
<p>¿Cuáles serían las ventajas y desventajas de la generación de fuentes de energía renovable a partir de la biomasa de residuos forestales generadas en el distrito de José Luis Bustamante y Rivero, Arequipa?</p>	<p>Determinar las ventajas y desventajas de la generación de fuentes de energía renovable a partir de la biomasa de residuos forestales generadas en el distrito de José Luis Bustamante y Rivero, Arequipa</p>			<p>Intensidad del valor calorífico de la biomasa originada en desechos de bosques (julios por kilogramo)</p>