



**UNIVERSIDAD NACIONAL**  
**“PEDRO RUIZ GALLO”**  
**ESCUELA DE POSGRADO**



**DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA MECANICA  
Y ELECTRICA CON MENCIÓN EN ENERGIA**

---

**“Modelo matemático de un valle eficiente para la  
estimación de la contribución de biomasa a la generación  
eléctrica”**

# **TESIS**

**Presentada para obtener el Grado Académico de  
Doctor en Ciencias de la Ingeniería Mecánica y Eléctrica  
con mención en Energía**

**AUTORES:**

**M.Sc. Horna Torres, Segundo Abelardo**

**Dr. Carranza Montenegro, Daniel**

**ASESOR:**

**Dr. Mirez Tarrillo, Jorge Luis**

**LAMBAYEQUE – PERÚ**

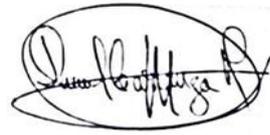
**2021**

“Modelo matemático de un valle eficiente para la estimación de la contribución de biomasa a la generación eléctrica”



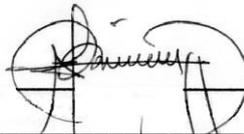
M.Sc. Horna Torres, Segundo Abelardo

Autor



Dr. Carranza Montenegro, Daniel

Autor

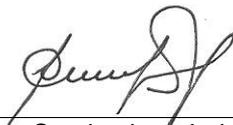


Dr. Mirez Tarrillo, Jorge Luis

Asesor

Tesis presentada a la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo para optar el Grado Académico de: **DOCTOR EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA MECÁNICA y ELÉCTRICA CON MENCIÓN EN ENERGÍA.**

Aprobado por:



Dr. Collantes Santisteban, Luis Jaime

Presidente



Dr. Luis Farfan Neyra  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA  
C.I.P. N° 51840

Dr. Farfán Neyra, José Luis

Secretario



Dr. Quispe Rojas, Julio Ernesto

Vocal

 <b>UNPRG</b> <small>UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO</small>	ESCUELA DE POSGRADO <i>M. Sc. Francis Villena Rodriguez</i>	Versión:	01
		Fecha de Aprobación	29-8-2020
UNIDAD DE INVESTIGACION	<u>FORMATO DE ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL DE TESIS</u>	Pág. 1 de 3	

### ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL DE TESIS

Siendo las 12:00 m. del día lunes 05 de abril de 2021, se dio inicio a la Sustentación Virtual de Tesis soportado por el sistema Google Meet, preparado y controlado por la Unidad de Tele Educación de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo de Lambayeque, con la participación en la Video Conferencia de los miembros del Jurado, nombrados con Resolución N°1893-2019-EPG, de fecha 27 de diciembre de 2019, conformado por:

Dr. LUIS JAIME COLLANTES SANTISTEBAN	Presidente
Dr. JOSE LUIS FARFAN NEYRA	Secretario
Dr. JULIO ERNESTO QUISPE ROJAS	Vocal
Dr. JORGE LUIS MIREZ TARRILLO	Asesor

Para evaluar el informe de tesis de los tesisistas DANIEL CARRANZA MONTENEGRO y SEGUNDO ABELARDO HORNA TORRES, candidatos a optar el grado de DOCTOR EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA CON MENCION EN ENERGIA con la tesis titulada "MODELO MATEMATICO DE UN VALLE EFICIENTE PARA LA ESTIMACION DE LA CONTRIBUCION DE BIOMASA A LA GENERACION ELECTRICA".

El Sr. Presidente, después de transmitir el saludo a todos los participantes en la Video Conferencia de la Sustentación Virtual ordenó la lectura de la Resolución N°188-2021-EPG de fecha 31 de marzo de 2021 que autoriza la Sustentación Virtual del Informe de Tesis correspondiente, luego de lo cual autorizó a los candidatos a efectuar la Sustentación Virtual, otorgándole cuarenta (40) minutos de tiempo y autorizando también compartir su pantalla.

Culminada la exposición de los candidatos, se procedió a la intervención de los miembros del jurado, exponiendo sus opiniones y observaciones correspondientes, posteriormente se realizaron las preguntas a los candidatos.

Culminadas las preguntas y respuestas, el Sr. Presidente, autorizó el pase de los miembros del Jurado a la sala de video conferencia reservada para el debate sobre la Sustentación Virtual del Informe de tesis realizada por los

Formato : Físico/Digital	Ubicación : UI- EPG - UNPRG	Actualización:
--------------------------	-----------------------------	----------------

 <b>UNPRG</b> <small>UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO</small>	<b>ESCUELA DE POSGRADO</b> <i>M. Sc. Francis Villena Rodríguez</i>	Versión:	01
		Fecha de Aprobación	29-8-2020
UNIDAD DE INVESTIGACION	<u>FORMATO DE ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL DE TESIS</u>	Pág. 2 de 3	

candidatos, evaluando en base a la rúbrica de sustentación y determinando el resultado total de la tesis con 16,8 puntos, equivalente a BUENO, quedando los candidatos aptos para optar el Grado de DOCTOR EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA CON MENCIÓN EN ENERGIA.

Se retornó a la Video Conferencia de Sustentación Virtual, se dio a conocer el resultado, dando lectura del acta y se culminó con los actos finales en la Video Conferencia de Sustentación Virtual.

Siendo las 13:35 p.m. se dio por concluido el acto de Sustentación Virtual.



**PRESIDENTE**



**SECRETARIO**



**VOCAL**



**ASESOR**

Formato : Físico/Digital	Ubicación : UI- EPG - UNPRG	Actualización:
--------------------------	-----------------------------	----------------

## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Nosotros, **M.Sc. Horna Torres, Segundo Abelardo y Dr. Carranza Montenegro, Daniel**; investigadores principales, y **Dr. Mirez Tarrillo, Jorge Luis**, asesor del trabajo de investigación “**Modelo matemático de un valle eficiente para la estimación de la contribución de biomasa a la generación eléctrica**” declaramos bajo juramento que este trabajo no ha sido plagiado, ni contiene datos falsos. En caso se demostrará lo contrario, asumo responsablemente la anulación de este informe y por ende el proceso administrativo a que hubiera lugar. Que pueda conducir a la anulación del título o grado emitido como consecuencia de este informe.

Lambayeque, mayo del 2021

M.Sc. Horna Torres, Segundo Abelardo

Dr. Carranza Montenegro, Daniel

Investigadores Principales

Dr. Mirez Tarrillo, Jorge Luis

Asesor

## ***DEDICATORIA***

*A nuestros Docentes y compañeros doctorandos, que durante el desarrollo del presente estudio colaboraron con sus inquietudes, sugerencias y aportes bibliográficos.*

## ***AGRADECIMIENTO***

*A nuestros familiares, colegas y amigos que con su apoyo incondicional hicieron posible concretar este trabajo de investigación para beneficio de toda la REGIÓN LAMBAYEQUE PERÚ.*

## INDICE

Índice de Tablas .....	11
Índice de Figuras .....	12
Resumen .....	13
Abstract.....	14
Introducción .....	15
Capítulo I	
Planteamiento Metodológico.....	16
1.1. Identificación del Problema. ....	16
1.1.1. Antecedentes del Problema. ....	16
1.1.2. Realidad Problemática. ....	17
1.1.3. Planteamiento del Problema.....	20
1.1.3.1. Enunciado del Problema. ....	20
1.1.3.2. Preguntas Específicas del Problema.....	21
1.1.4. Justificación de la Investigación. ....	21
1.2. Objetivos de la Investigación.....	22
1.2.1. Objetivo General. ....	22
1.2.1. Objetivos Específicos. ....	23
1.3. Hipótesis.....	23
1.4. Variables. ....	24
1.4.1. Identificación de Variables. ....	24
1.4.2. Variable Independiente. ....	24
1.4.3. Variable Dependiente. ....	24
1.5. Modalidad Básica de Investigación. ....	24
1.6. Bibliográfica.....	25
1.7. Modelamiento.....	25
1.8. Nivel o Tipo de Investigación.....	25
1.8.1. Exploratorio.....	25
1.8.2. Explicativo. ....	25
1.9. Población y Muestra. ....	26
1.9.1. Población.....	26

1.9.2. Muestra.....	26
Capítulo II	
Fundamento Teórico.....	27
2.1. Consideraciones Generales sobre Energía, Sociedad y Medio Ambiente.....	27
2.1.1. Proyección de la Cuestión Energética.....	27
2.1.2. Bioenergía.....	31
2.2. Biomasa.....	32
2.2.1. Poder Calorífico.....	35
2.2.2. Densidad.....	36
2.2.3. Humedad.....	36
2.2.4. Cáscara de Arroz.....	36
2.2.5. Biocombustible.....	37
2.3. Energía y Biomasa.....	37
2.3.1. La Producción de Energía a partir de la Biomasa	
Visión General de la Biomasa.....	37
2.3.2. La Producción de Energía a partir de Biomasa	
Tecnología de Conversión.....	38
2.3.3. Actualizaciones Ambientales y Económicas de diferentes Tecnologías para la Generación de Energía a partir de la Cascarilla de Arroz.....	39
2.3.4. Comparaciones de Escenarios de la Tecnología de Gasificación de Ciclo de Vida utilizando la Energía	
Evaluación para la Recuperación de Bioenergía a partir de la Paja de Arroz.....	39
2.3.5. Análisis de la Turbina de Gas de la Planta de Cogeneración Integrada	
Proceso Enfoque de Integración.....	40
2.4. Consideraciones Generales sobre un Valle.....	41
2.5. Consideraciones Generales sobre el Cambio Climático.....	42
Capítulo III	
Biomasa en Área de Estudio.....	44
3.1. Descripción del Área de Estudio	
Región Lambayeque.....	44

3.2. Indicadores de Producción de Biomasa. ....	47
3.3. Descripción de Uso y Disposición Final de Biomasa. ....	48
3.4. Potenciales Usos Complementarios a la Biomasa. ....	52
 Capítulo IV	
Modelos Matemáticos y Simulaciones Numéricas.....	56
4.1. Consideraciones Generales. ....	56
4.2. Producción de Biomasa. ....	56
4.3. Conversión de Biomasa en Energía Eléctrica.....	59
4.4. Demanda Eléctrica de Valle. ....	60
4.5. Suministro (Oferta) Eléctrica en el Valle. ....	63
4.6. Operación Eficiente del Valle. ....	75
4.7. Análisis Financiero y Rentabilidad del Proyecto.....	76
 Capítulo V	
Conclusiones y Recomendaciones.....	78
5.1. Conclusiones. ....	78
5.2. Recomendaciones.....	79
Bibliografía. ....	81

## INDICE DE TABLAS

Tabla N° 1.01. Variable Independiente.....	24
Tabla N° 1.02. Variable Dependiente.....	24
Tabla N° 3.01. Volumen de Producción en Perú, 2008-2017.....	48
Tabla N° 3.02. Volumen de Producción en Región Lambayeque, 2008-2017.....	48
Tabla N° 3.03. Demanda Máxima de Potencia, meses y años. ENSA.....	52
Tabla N° 3.04. Energía Producida durante años 2017 y 2018. ENSA.....	53
Tabla N° 3.05. Energía Suministrada por COES (MW-h).....	54
Tabla N° 4.01. Factor y Fracción de Residuo de acuerdo al tipo de cultivo.....	57
Tabla N° 4.02. Longitud Alimentadores de Sistema I.....	61
Tabla N° 4.03. Cargas del Sistema I.....	61
Tabla N° 4.04. Longitud Alimentadores de Sistema II.....	63
Tabla N° 4.05. Cargas del Sistema II.....	63

## INDICE DE FIGURAS

Figura 2.01. Estadística de Energía China 2018.....	27
Figura 2.02. Suministro Energía Primaria por Fuente, China 1990-2017.....	28
Figura 2.03. Generación de Electricidad por Fuente, China 1990-2017.....	28
Figura 2.04. Estadística Principal de Energía, India 2018.....	28
Figura 2.05. Suministro Energía Primaria por Fuente, India 1990-2017.....	29
Figura 2.06. Generación de Electricidad por Fuente, India 1990-2017.....	29
Figura 2.07. Suministro de Energía Primaria por Fuente, Mundo 1990-2017.....	31
Figura 2.08. Generación de Electricidad Biocombustibles, Mundo 1990-2017....	31
Figura 2.09. Clasificación de Biomasa.....	34
Figura 2.10. Tipos de extracción de Energía de la Biomasa .....	35
Figura 3.01. Promedios Temperaturas Máxima y Mínima, Período 1950-1991...	45
Figura 3.02. Promedios Precipitación acumulada mensual, Período 1950-1991....	46
Figura 3.03. Porcentajes de Participación Energías Renovables, Mercado Perú...	50
Figura 3.04. Matriz Energética de Largo Plazo.....	50
Figura 3.05. Matriz Energética, Perú con 80% de Hidrocarburos.....	50
Figura 3.06. Matriz Energética, Evolución consumo Energía y su participación...	51
Figura 3.07. Suministro Energía Primaria por Fuente, Perú 1990-2017.....	51
Figura 3.08. Generación de Electricidad Biocombustibles, Perú 1990-2017.....	51
Figura 3.09. Sistema de Potencia. ENSA.....	54
Figura 3.10. Matriz Energética Propuesta.....	55
Figura 3.11. Actual Matriz Energética Regional.....	55
Figura 4.01. Esquema General de contribución de Biomasa.....	59
Figura 4.02. Esquema Eléctrico General.....	59
Figura 4.03. Diagrama Unifilar Sistema I.....	60
Figura 4.04. Diagrama Unifilar Sistema II.....	62
Figura 4.05. Diagrama de Secuencia de Tránsito, Modelo Agrícola Energético...	67
Figura 4.06. Diagrama de Secuencia de Tránsito, Modelo Agrícola Energético...	68
Figura 4.07. Diagrama de Secuencia de Tránsito, Modelo Agrícola Energético...	69
Figura 4.08. Diagrama Demanda Eléctrica Vs. Energía producto de Biomasa.....	71
Figura 4.09. Biomasa que se produce cada día Planta Generadora Electricidad....	72
Figura 4.10. Evaluación Biomasa almacenada por día, Planta Generadora.....	73
Figura 4.11. Días con Déficit permanente de Biomasa en Generadora.....	74
Figura 4.12. Acumulado de Biomasa en período Estudio Producción Extra.....	74
Figura 4.13. Evaluación Biomasa y Generadora Electricidad Valle Eficiente.....	75
Figura 4.14. Diagrama General del Modelo.....	76
Figura 4.15. Análisis Financiero y Rentabilidad del Proyecto.....	76
Figura 4.16. VAN y TIR, Resultados de la Inversión.....	77
Figura 4.16. Gráfico del VAN y TIR, Resultados de la Inversión.....	77
Figura 4.16. Continuación Análisis Financiero y Rentabilidad del Proyecto.....	77

## RESUMEN

Se presenta un modelo matemático para la estimación de la contribución de biomasa para generación de electricidad en un valle considerado eficiente como ámbito geográfico de aplicación. Este modelo considera que un valle tiene varias especies que se cultivan durante el año y que en el proceso para obtener el producto final principal se obtienen subproductos derivados que nosotros hemos considerado como biomasa que puede usarse para la producción de vapor y de electricidad que beneficiaría a los habitantes y al sector industrial del valle eficiente de la comunidad. Llamamos a esta integración entre población, cultivos y procesos agroindustriales, Valle Eficiente, lo que lleva al monitoreo, control, gestión y planificación entre los diferentes productos agrícolas como tipos de combustibles para la generación de energía eléctrica. El cultivo y la producción de plantas muestran variaciones de producción durante el año y a lo largo de los años. Para esto, el modelo matemático tiene como parte esencial los datos de producción de biomasa utilizable, a partir de los cuales se realiza la estimación de producción de vapor y electricidad. El valle de Lambayeque ha sido considerado para el presente estudio: un valle típico en la norte costa del Perú, donde los cultivos de arroz y caña de azúcar son bastante comunes, y; ellos tienen subproductos como la pajilla de arroz y el bagazo que constituyen potenciales combustibles para ser usados en la generación de vapor y de energía eléctrica. Un modelo matemático de Valle Eficiente, estima la potencial contribución de biomasa a la generación de vapor y energía eléctrica.

***Palabras claves: Biomasa, Poder Calorífico Valle Eficiente, producto seco, humedad, producto húmedo, Cascarilla de Arroz, Bagazo de caña de Azúcar.***

## ABSTRACT

A mathematical model for estimating the contribution of biomass for electricity generation in a valley considered efficient as a geographic scope of application is presented. This model considers that a valley has several species that are cultivated during the year and that in the process to obtain the main final product derived by-products are obtained that we have considered as biomass that can be used for the production of steam and electricity that would benefit the inhabitants and the industrial sector of the efficient valley of the community. We call this integration between population, crops and agro-industrial processes, Smart Valley, which leads to monitoring, control, management and planning between the different agricultural products as types of fuels for the generation of electrical energy. The cultivation and production of plants show production variations during the year and throughout the years. For this, the mathematical model has as an essential part the usable biomass production data, from which the estimation of steam and electricity production is made. The Lambayeque valley has been considered for the present study: a typical valley on the northern coast of Peru, where rice and sugar cane crops are quite common, and; they have by-products such as rice straw and bagasse that constitute potential fuels to be used in the generation of steam and electrical energy. A mathematical model of Efficient Valley, estimates the contribution of biomass to the generation of steam and electrical energy.

***Keywords: Biomass, Calorific Value, Efficient Valley, Dry Product, Humidity, Wet Product , Rice Husk, Sugarcane Bagasse.***

## **INTRODUCCION.**

El presente trabajo de investigación aborda el uso eficiente de la biomasa que se procesa anualmente en el valle de Lambayeque, además de confirmarla como una nueva fuente alternativa y segura de generación de energía, basada en el aprovechamiento de la biomasa proveniente de los diferentes procesos agroindustriales; ya que el uso de la biomasa como fuente de energía ha sido fundamental para el desarrollo de la civilización. En los últimos tiempos en que la presión sobre el cuidado del medio ambiente en el mundo ha dado lugar a la necesidad de desarrollar fuentes de energía renovables, en lugar de usar combustibles fósiles.

Hoy en día los recursos energéticos naturales y no renovables y los niveles de contaminación por el uso de combustibles fósiles en el planeta tienen proyecciones de agotamiento a corto plazo, debido a la tendencia de crecimiento del consumo de energía debida principalmente al desarrollo económico de países Latinoamericanos como el nuestro. Sin embargo, todas las políticas energéticas actuales tienen ya en cuenta las fuentes renovables de energía eólica y solar o mixta como aporte indispensable a la matriz energética Regional, y para la seguridad y protección del medio ambiente.

La creciente demanda de energía, provoca que se busquen nuevas maneras de aprovechar los subproductos en procesos productivos, que mediante algunos acondicionamientos se puede optimizar su potencial energético. Son de gran importancia ya que se podrá contar con alternativas energéticas ecológicas que puedan ayudar a disminuir la contaminación ambiental y ayudar a cubrir las necesidades de la demanda de energía.

El presente estudio tiene la finalidad de presentar una alternativa para mejorar la calidad energética de la biomasa y se podrán aprovechar los desechos de procesos productivos, como es la cáscara de arroz, el polvillo como subproductos de Arroz; y el Bagazo, la Melaza como subproductos de la caña de Azúcar. Productos bandera de la Región Lambayeque.

# **CAPÍTULO I**

## **“PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO”**

### **1.1. Identificación del Problema.**

#### **1.1.1. Antecedentes del Problema.**

La creciente demanda de energía, provoca que se busquen nuevas maneras de aprovechar materiales desechados en procesos productivos, que mediante algunos procesos se puede mejorar su calidad. Son de gran importancia ya que se podrá contar con alternativas energéticas ecológicas que puedan ayudar a disminuir la contaminación ambiental y ayudar a cubrir las necesidades energéticas.

Con el presente estudio se podrá contar con una alternativa para mejorar el uso energético de la biomasa y de ésta manera se podrán aprovechar los desechos de procesos productivos, como es la cáscara de arroz y el bagazo; entre otros.

Las reservas energéticas naturales y no renovables del planeta tienen proyecciones de agotamiento a corto plazo, debido a la tendencia de crecimiento del consumo debida principalmente al desarrollo económico de países emergentes como China e India.

Sin embargo, todas las políticas energéticas actuales tienen ya en cuenta las fuentes renovables de energía como aportación indispensable a la seguridad energética y a la protección del medio ambiente.

El tema de esta investigación se centra, principalmente, en la planificación y experimentación de diversos procesos de uso de la pajilla de arroz y el bagazo para optimizar la cantidad de producto y la calidad de la

combustión y mejorar la eficiencia de las diversas aplicaciones como producción de vapor, energía eléctrica en un sistema de cogeneración.

### **1.1.2. Realidad Problemática.**

La vida, tal como la conocemos, en nuestro planeta se debe a una cantidad de energía recibida de nuestro Sol en forma de fotones una energía de Irradiación solar de  $1,361 \text{ W/m}^2$ . De esto, una pequeña fracción se convierte en ciclos biológicos y temporalmente almacenados en biomasa y solo una proporción extremadamente pequeña de esta fracción de biomasa podría finalmente almacenarse como depósitos fósiles, como el carbón, el gas y el petróleo. [25]

Biomasa es un término utilizado en el contexto de energía para un rango de productos derivados de la fotosíntesis. El proceso químico que tiene lugar en las plantas con clorofila (pigmento verde de hojas y tallos de vegetales responsables de la fotosíntesis) y que permite gracias a la energía solar, transformar un sustrato inorgánico en materia orgánica rica en energía (combustible).

Estos pueden ser reconocidos como basura de áreas urbanas y de procesos agrícolas y forestales [23]. Es decir, cualquier material de origen biológico reciente e incluye materiales vegetales tales como árboles, pastos y cultivos agrícolas [26]. El término biomasa era introducido en 1975 para describir los materiales naturales utilizados como fuentes de energía [27]. La biomasa ha recibido considerable atención como recurso de generación de energía renovable después de la crisis del petróleo [21] que ocurrió alrededor de 1975. Sin embargo, el 70% del mundo ya usaba biomasa como fuente de energía en el siglo XIX [27].

El potencial que ofrece la biomasa y los residuos sólidos para resolver algunos de los problemas ambientales y energéticos del mundo son

ampliamente reconocidos [21]. La salud de nuestra biosfera y nuestra atmósfera depende totalmente de los procesos de fotosíntesis. Cada 300 años, todo el CO<sub>2</sub> en la atmósfera se recicla a través de las plantas, cada 200 años todo el oxígeno y cada 2 millones de años toda el agua [23].

La biomasa tiene múltiples formas de ser procesada para liberar parte de la energía contenida. Hay cuatro métodos termoquímicos de conversión de biomasa: Pirólisis, Gasificación, Licuefacción y Combustión Directa [21]. Pirolisis de biomasa representa una tecnología importante para la conversión directa de biomasa en combustibles líquidos [26]. La gasificación es el paso inicial para la producción de gas natural sintético (SNG) a partir de carbón y biomasa seca; Es el paso de mayor conversión que genera un producto gaseoso que contiene una mezcla de condensado y gases permanentes, así como desechos sólidos, y; Puede ser realizado en diferentes atmósferas y usando diferentes reacciones agentes [22]. Los principios básicos de la gasificación de biomasa tienen conocido desde finales del siglo XVIII y las primeras solicitudes comerciales están registradas en 1850 [24].

El potencial de biomasa es significativo: Europa, América Latina y África tienen el potencial de producir respectivamente 8.9; 10,9 y 21.4 EJ de biomasa por año, con un equivalente correspondiente de energía contenida en  $1.4 \times 10^9$ ,  $3.2 \times 10^9$  y  $3.5 \times 10^9$  barriles de petróleo [26].

La biomasa ha estado suministrando tradicionalmente una gran fracción de necesidades energéticas en muchos países desarrollados, por ejemplo: en países como Finlandia (donde suministra el 20% de la energía necesidades), Suecia (16%), Austria (13%) y Brasil (23%). Esta es a pesar del hecho de que la densidad de energía de biomasa es baja en comparación a los combustibles fósiles. Sin embargo, existen tecnologías tradicionales para aumentar los biomas de densidad aparente incluyen empacado, cubicación y politizado [26].

Actualmente, el cambio climático y la creciente fuerza demográfica para usar los recursos energéticos y todos los materiales posibles de manera eficiente para satisfacer nuestra creciente necesidad de energía. Por lo tanto, la necesidad de nuevos sistemas de energía que utilizan biomasa conduce a:

- a. Desarrollar sistemas para producir económicamente combustibles y químicos de la biomasa, que ayudarán a generar energía, es decir, empresas en crear sus propias fuentes, mientras que simultáneamente ayudando al desarrollo económico rural.
- b. Dar valor agregado a productos agrícolas que pueden mejorar económicamente muchas industrias locales.
- c. La producción de biomasa a gran escala, sistemas de conversión para promover el crecimiento en la adopción de éstas estrategias.
- d. Materiales de biomasa para la producción de energía para estimular el desarrollo de nuevos productos y tecnologías, así como crear nuevos mercados (con nuevos empleos) con el potencial para ser exportado;
- e. Desarrollo de nueva biomasa combustibles; [27], entre otros.

La energía de biomasa puede aprovecharse mediante el uso directo (como en la combustión por calor) o por conversión en una más útil y combustible más valioso como un gas combustible o líquido combustible o productos de alto valor para el químico industria [21]

Hay valles alrededor del mundo, aquellos que han sido creados por ríos y donde los cultivos se hacen tanto para consumo humano y para manufactura, industria y comercio.

También son poblaciones asentadas que dependiendo de su ubicación puede contener de cientos a cientos de miles de la gente. Por lo tanto, es interesante proponer un concepto de gestión adecuada de los recursos de biomasa disponibles para que puedan utilizarse mejor en la producción de energía eléctrica para las poblaciones que viven en el valle. Llamaremos a esto concepto *Valle Eficiente* y lo describiremos en la presente tesis con un estudio de caso de monocultivos (que viene a ser cultivos predominantes en la costa norte del Perú - como en otros lugares cálidos – la caña de azúcar y el arroz).

### **1.1.3. Planteamiento del Problema.**

#### **1.1.3.1. Enunciado del Problema.**

El problema surge de la necesidad de usar la cantidad de Biomasa que produce el valle eficiente de la Región Lambayeque, y del aprovechamiento del potencial energético que tienen la cáscara de arroz, el polvillo; el bagazo y la melaza entre otros subproductos como fuente de generación de vapor y de energía eléctrica en un sistema de cogeneración y sus aplicaciones en el sector Industrial y en la matriz energética de la Región Lambayeque en general.

¿Mediante la siembra, el monitoreo, el control adecuado, la cosecha; los procesos productivos, el uso adecuado de los subproductos de la biomasa del valle eficiente, se podrá generar vapor y energía eléctrica de calidad para los diferentes usos de la Región Lambayeque?

¿Cuál será el modelo matemático óptimo que establezca la mejor alternativa de generación de electricidad y su contribución a la matriz energética de la Región Lambayeque?

### **1.1.3.2. Preguntas Específicas del Problema.**

- a. ¿Cuáles son los tipos de biomasa que contribuyen de manera relevante a la generación de vapor y electricidad en la región?
- b. ¿Cuáles serán las cantidades anuales de los subproductos de biomasa con características energéticas?
- c. ¿Cuál será la cantidad de energía que se puede suministrar con cada tipo de biomasa en el valle eficiente?
- d. ¿Cuál es el poder calorífico de cada tipo de biomasa para establecer su capacidad energética?

### **1.1.4. Justificación de la Investigación.**

En la actualidad la poca investigación acerca de cómo transformar los subproductos agroindustriales para usarlos como fuente de energía constituyen un problema serio.

Es necesario desarrollar alternativas tecnológicas que permitan mejorar la calidad de la biomasa sólida, y así aprovechar en mayor medida el gran potencial que tienen los desechos agroindustriales, que permitan innovar en el área de energías, campo en el cual la cáscara de arroz se perfila como un combustible sólido de alto poder energético y de fácil obtención, lo cual contribuye al reemplazo de productos derivados del petróleo.

Es necesario desarrollar alternativas tecnológicas que permitan mejorar la calidad de la biomasa sólida, y así aprovechar en mayor medida el gran potencial que tienen los desechos agroindustriales, que permitan innovar en el área de energías, campo en el cual la cáscara de arroz se perfila como

un combustible sólido de alto poder energético y de fácil obtención, lo cual contribuye al remplazo de productos derivados del petróleo.

Por todo lo expuesto anteriormente queda justificado el estudio de la cáscara de arroz, el polvillo; el bagazo y la melaza para mejorar el uso de biomasa, en la generación de vapor y de energía eléctrica.

Se hace necesario recalcar, que si el crecimiento de la demanda no se atiende adecuadamente se presentan problemas como: sobrecargas en alimentadores, sobrecargas en transformadores, regulación y caída de tensión fuera de rango permitido, incremento de pérdidas en transformadores y alimentadores y se puede obligar a cambiar topología de red. Lo cual constituye las restricciones cuyo cumplimiento debe garantizar la operación adecuada de la red.

## **1.2. Objetivos de la Investigación.**

### **1.2.1. Objetivo General.**

Establecer un modelo matemático para la Estimación de la contribución de biomasa para generación de vapor y electricidad en un valle considerado eficiente como ámbito geográfico de aplicación. Este modelo considera que un valle tiene varias especies que se cultivan durante el año y que en el proceso para obtener el producto final principal se obtienen subproductos derivados que nosotros hemos considerado como biomasa que puede usarse para la producción de vapor y de electricidad que beneficiaría a los habitantes y al sector industrial del valle eficiente de la comunidad. Llamamos a esta integración entre población, cultivos y procesos agroindustriales, Valle Eficiente, lo que lleva al monitoreo, control, gestión y planificación entre los diferentes productos agrícolas como tipos de combustibles para la generación de energía eléctrica y contribución a la matriz energética de la Región Lambayeque.

### **1.2.1. Objetivos Específicos.**

- a) Determinar las características físicas, químicas, energéticas de la cascarilla de arroz y el bagazo para generación de vapor y de electricidad en un sistema de cogeneración.
- b) Determinar las cantidades de biomasa de interés que se dispone en la Región Lambayeque.
- c) Establecer el modelo matemático que establezca las condiciones para la generación de vapor y electricidad a partir del uso de la biomasa del valle eficiente de la Región Lambayeque.
- d) Incorporar en el presente estudio, sistemas de distribución de energía eléctrica existentes en el área de estudio, con la finalidad de analizar la inserción de la energía producida desde la biomasa a la Matriz Energética Regional.
- e) Establecer las Centrales de Generación y Conversión en cada uno de los centros de acopio de la Biomasa.
- f) Establecer las Subestaciones de Distribución y los Tramos de Red necesarios para su inserción en el sistema de distribución del Concesionario Regional.
- g) Establecer el Análisis Financiero y la Rentabilidad de la Inversión.

### **1.3. Hipótesis.**

El Modelamiento Matemático de un valle eficiente permite establecer simulaciones y análisis de resultados usando los indicadores de cantidad de biomasa, poder calorífico de los mismos, características físicas, químicas de la cascarilla de arroz y el bagazo de caña de azúcar que permitan establecer la cantidad de vapor y energía eléctrica que se pueda usar para

suministro de los productores de la biomasa y el exceso poder entregarlo al Sistema y contribuir con la Matriz Energética Regional.

#### 1.4. Variables.

##### 1.4.1. Identificación de las Variables.

###### A. Variables dependientes:

- a. Generación de vapor y electricidad.

###### B. Variable Independiente:

- a. Tipos de biomasa.
- b. Cantidad de biomasa.

##### 1.4.2. Variable Independiente.

Concepto	Categoría	Indicador	Unidad	Técnicas Instrumentos
Características físicas químicas y energéticas de los tipos de Biomasa	Cantidad de biomasa	Poder calorífico	KJ/kg.	Análisis y Simulaciones del Modelo

Tabla N°1.01. Elaboración Propia

##### 1.4.3. Variable Dependiente.

Concepto	Categoría	Indicador	Unidad	Técnicas Instrumentos
Generación de Vapor y Electricidad	Energía	Energía	MW, MWh	Mediciones

Tabla N°1.02 .Elaboración Propia

#### 1.5. Modalidad básica de investigación.

Serán las modalidades bibliográficas y modelamiento matemático.

## **1.6. Bibliográfica.**

El presente estudio será de tipo bibliográfico, ya que explorará lo que se ha escrito en la comunidad científica sobre el problema planteado, esta información es muy necesaria para desarrollar el estudio y será obtenida de libros, tesis e información de la web.

## **1.7. Modelamiento.**

El presente estudio será de tipo de análisis matemático y modelamiento, el modelo matemático considera y emula la producción de biomasa destinada al consumo humano para un año y considera aquellas especies en las cuales, como prioridad para consumo humano, se cultiva en grandes cantidades y se consiguen cosechas en unos pocos meses después de sembrar, (ejemplo: arroz y caña de azúcar), es decir, varios cultivos por año.

Para el procesamiento y análisis de resultados el plan es el siguiente:

- a. Organizar la información obtenida de manera que sea más fácil su interpretación.
- b. Procesar los datos usando las diferentes técnicas gráficas y estadísticas.
- c. Relacionar los datos con los objetivos y la hipótesis.
- d. Comprobar la hipótesis.
- e. Establecer conclusiones y recomendaciones.

## **1.8. Nivel o tipo de investigación.**

### **1.8.1. Exploratorio.**

El nivel fue exploratorio ya que el presente estudio se encarga de investigar los parámetros de los diferentes tipos de biomasa del valle eficiente.

### **1.8.2. Explicativo.**

Resulta vital ya que se trata de un problema, que da lugar a que la teoría se correlacione con la práctica, y por lo tanto se verifique todos aquellos datos obtenidos por medio de cálculos matemáticos.

## **1.9. Población y muestra.**

### **1.9.1. Población.**

Abarca todos los diferentes tipos de biomasa, que se producen en la Región y tienen relación con la investigación.

### **1.9.2. Muestra.**

Para la muestra se considera específicamente la cáscara de arroz y el bagazo de caña de azúcar como biomasa, para modelar, simular y obtener los resultados propuestos.

## CAPÍTULO II

### “FUNDAMENTO TEORICO”

#### 2.1. Consideraciones Generales sobre Energía.

##### 2.1.1. Proyección de la Cuestión Energética.

La seguridad energética constituye en la actualidad uno de los temas que afectan de forma esencial las economías y la política de seguridad de todos los estados. Los precios del petróleo y del gas han experimentado fuertes variaciones en los últimos años, entre otras razones por la incertidumbre y los conflictos internacionales. A esto se une otro factor fundamental, el aumento de emisiones de gases con efecto invernadero por la producción y el aumento imparable del consumo energético.

Encontrar el equilibrio entre seguridad de suministro, impacto ambiental y precios es la clave de la política energética futura.

La Agencia Internacional de Energía (IEA) prevé que la demanda de energía aumentará en 2030 un 40% respecto a la demanda actual. El 70% del aumento de la demanda hasta 2030 será debido al desarrollo económico de China (ver Fig.) e India (ver Fig.). [51].

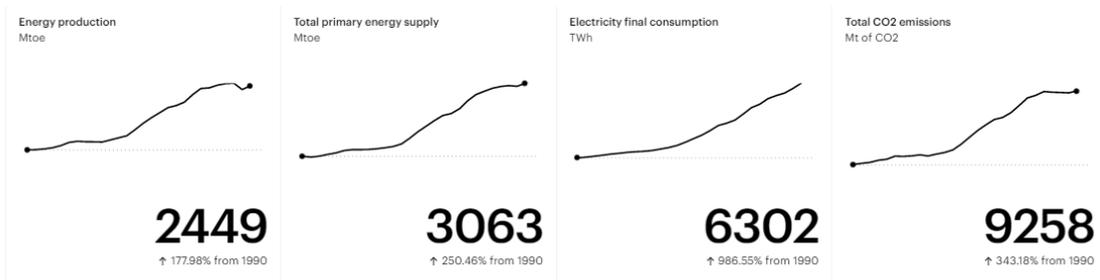


Figura 2.01. Estadísticas principales de energía de China 2018 [51]

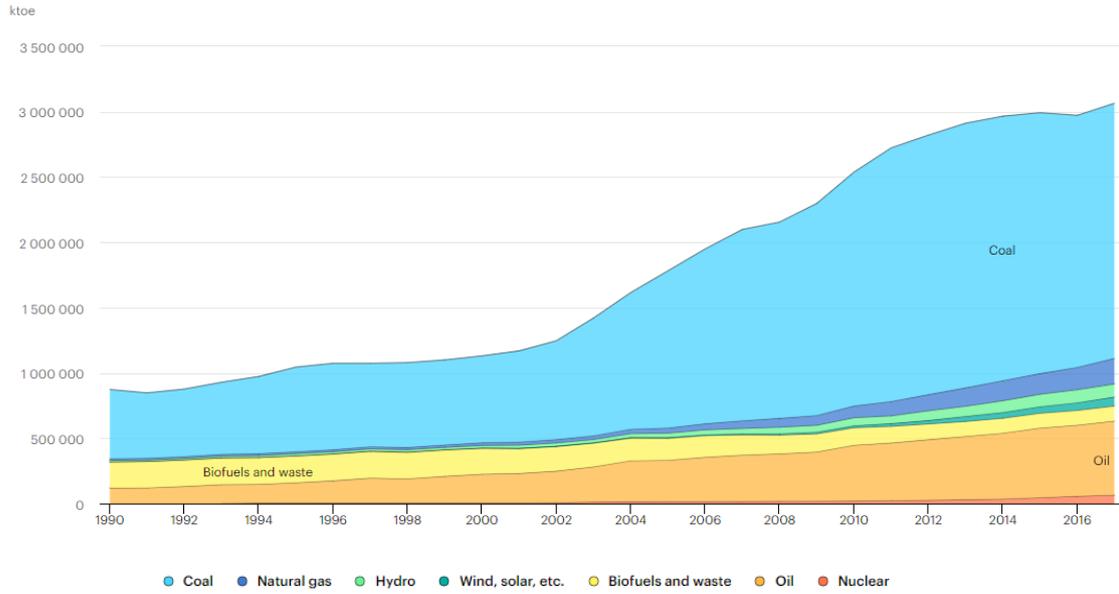


Figura 2.02. Suministro total de energía primaria (TPES) por fuente, República Popular de China 1990-2017 [51]

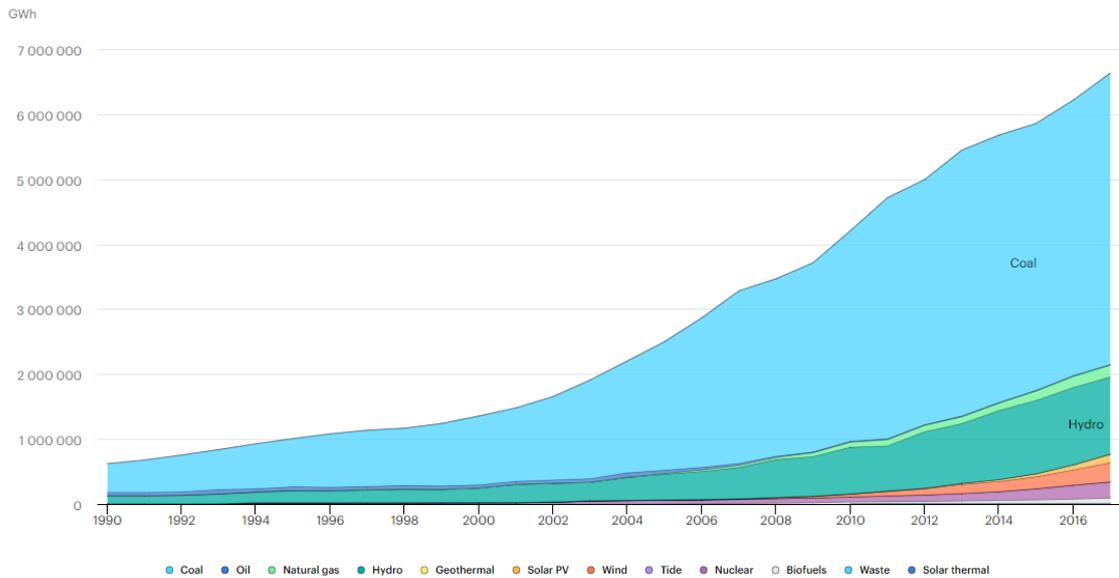


Figura 2.03. Generación de electricidad por fuente, República Popular de China 1990-2017 [51]

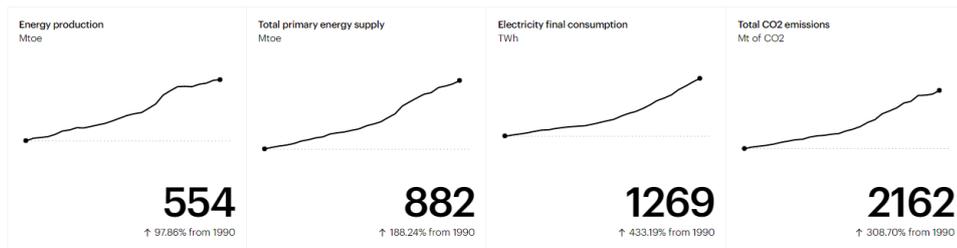


Figura 2.04. Estadísticas principales de energía de India 2018 [51]

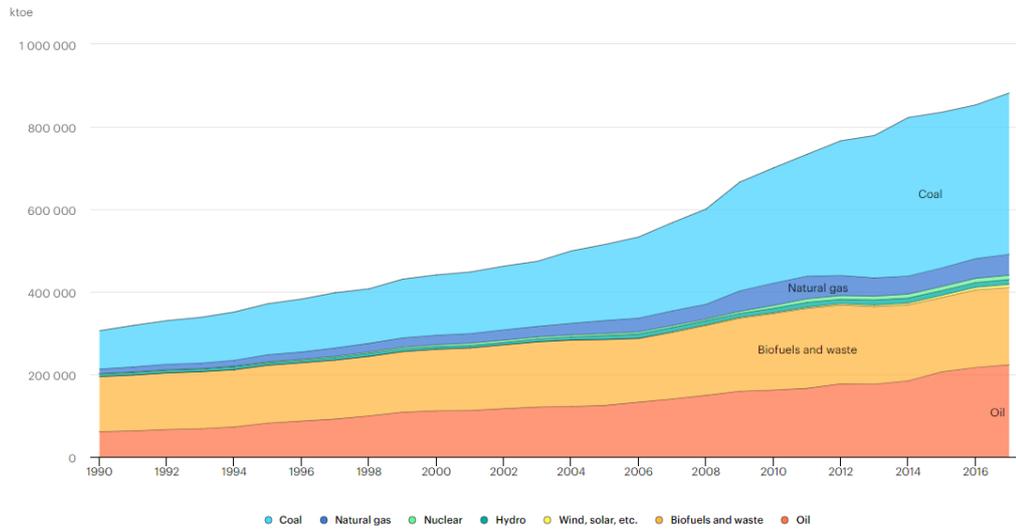


Figura 2.05. Suministro total de energía primaria (TPES) por fuente, India 1990-2017 [51]

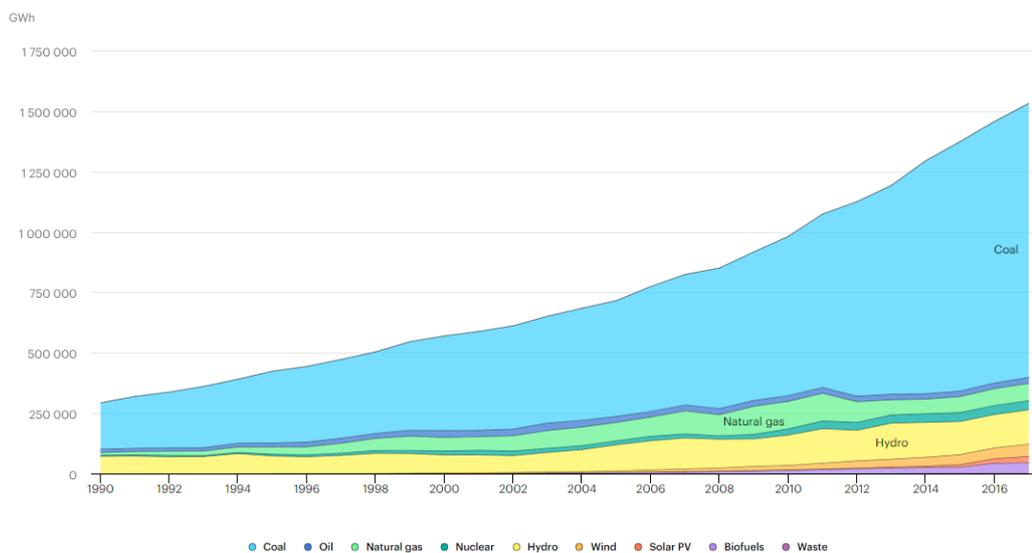


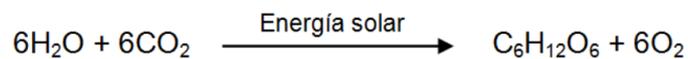
Figura 2.06. Generación de electricidad por fuente, India 1990-2017 [51]

A pesar del creciente desarrollo de energías renovables y tecnologías de uso eficiente de la energía, está previsto que el aumento mundial de la demanda hasta 2030 se cubrirá principalmente con el incremento del uso de petróleo, gas natural y, sobre todo, carbón. La previsión de duración de las reservas mundiales conocidas de petróleo se sitúa entre 50 y 70 años, las reservas de gas natural unos 100 años y las reservas de carbón están estimadas en aproximadamente 200 años. Y por otro lado, la energía nuclear, que no emite contaminantes a la atmósfera y garantiza energía

barata, genera residuos radioactivos que necesitan ser almacenados por un largo período de tiempo, lo que dificulta su por ahora su uso.

Actualmente las renovables son responsables apenas de un volumen en torno al 14% del total de energía producido. Sin embargo, considerando que la principal fuente de emisiones de gases de efecto invernadero es la energía de recursos fósiles y que se necesitan soluciones para garantizar la seguridad energética, las renovables se presentan como una solución de futuro que debe registrar una mayor tasa de crecimiento en los próximos años, como se prevé en el escenario de referencia adoptado por la IEA.

Una alternativa energética renovable con grandes perspectivas de futuro es la utilización de la biomasa, principalmente de origen vegetal, que es una materia orgánica proveniente de la fotosíntesis. Este fascinante proceso, generado de forma natural, consiste en que, a partir del agua y dióxido de carbono, en presencia de energía solar, se produce biomasa y oxígeno, como representa la expresión que se muestra:



Obsérvese que en la formación de la biomasa ya hay un potencial positivo de captura de CO<sub>2</sub> y liberación de oxígeno al medioambiente.

Adicionalmente, el uso de la biomasa vegetal como vector energético presenta ventajas económicas, con inversiones que vislumbran el aprovechamiento del potencial de producción de toda una región, y también ventajas sociales, con generación de empleo y renta para las plantas molineras.

La participación a nivel mundial se ha ido incrementando en los últimos años como se puede apreciar en las Fig.

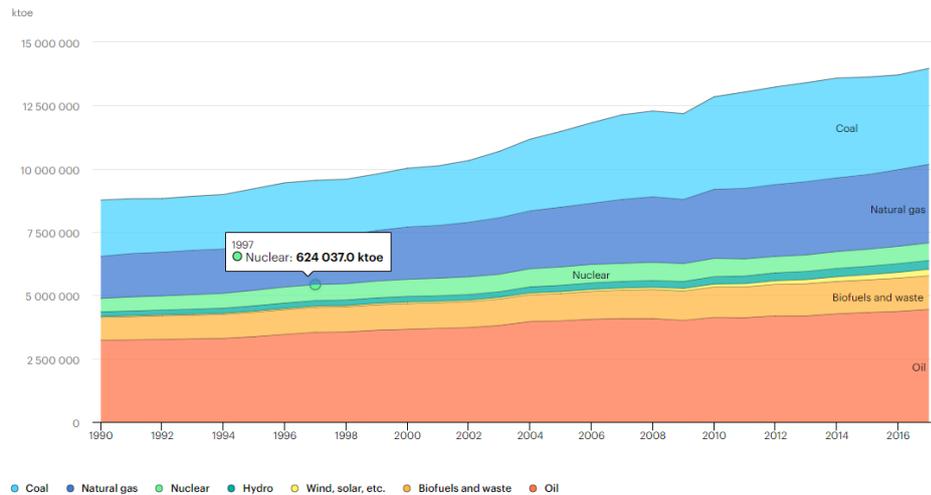


Figura 2.07. Suministro total de energía primaria (TPES) por fuente, Mundo 1990-2017 [51]

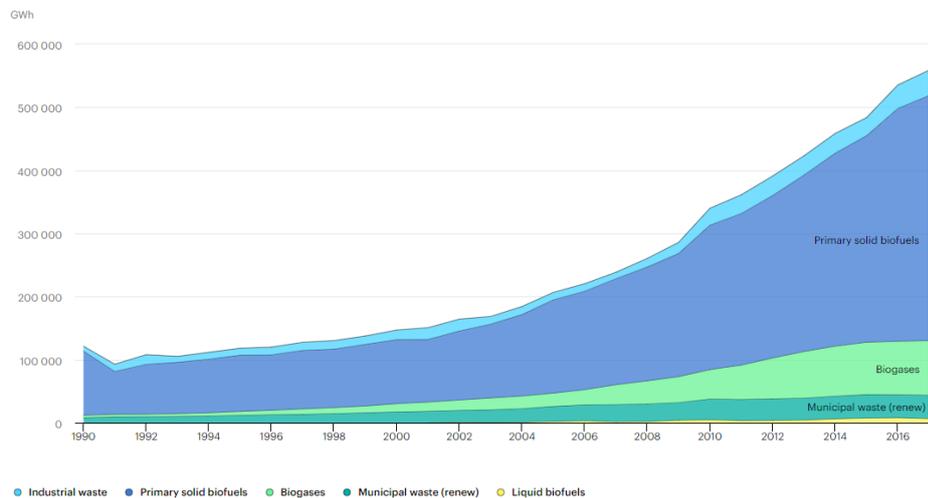


Figura 2.08. Generación de electricidad a partir de biocombustibles y residuos por fuente, Mundo 1990-2017 [51]

### 2.1.2. Bioenergía.

Se puede entender por bioenergía como la energía producida a partir de biomasa, que es la materia de cada organismo biológico por ejemplo: madera, estiércol etc., y que puede ser usado como fuente de energía. La biomasa puede ser todo elemento vivo como plantas o residuos agrícolas, forestales. La biomasa se puede usar como fuente de energía para proveer electricidad, calor y energía.

## 2.2. Biomasa.

El término biomasa se ha usado tradicionalmente en el campo de ecología para referirse a la materia orgánica total presente en un determinado ecosistema y también en el área de microbiología industrial para referirse a la cantidad de microorganismos producidos en una cultura microbiana. En el campo de las energías renovables, el término biomasa es usado con dos significados diferentes que la misma denominación aplica al recurso (materia prima) y a la energía producida con su uso:

- a. En relación con el recurso, es entendido por biomasa "a cualquier tipo de materia orgánica de reciente origen biológico". Por lo tanto, comprende un conjunto muy amplio de materia orgánica, que abarca desde productos de plantas, animales u origen microbiano hasta el presente en aguas residuales, lodos de depuradora o la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos. Combustibles fósiles y sus derivados (plásticos y productos sintéticos) están excluidos de este concepto ya que, aunque tenían un origen biológico, su formación tuvo lugar en tiempos remotos.
- b. En el contexto energético, la biomasa se entiende como una fuente de energía renovable basada en el uso energético de biocombustibles producidos a partir de biomasa tipo crudo materiales La biomasa tiene el carácter de energía renovable desde su contenido energético proviene, en última instancia, de la energía solar por plantas en el proceso fotosintético y acumuladas en el enlace de moléculas orgánicas que forman su biomasa. Los biocombustibles son los productos de la transformación de biomasa que se utilizan para fines energéticos, y puede ser, de acuerdo con su físico estado: biocombustibles sólidos, líquidos o gaseosos [28].

Biomasa, de manera general, es la masa biológica y sin ceñir el término a un ámbito científico-técnico específico puede definirse como: las sustancias orgánicas que tienen su origen en los compuestos de carbono formados en la

fotosíntesis. Estas sustancias pueden haber sufrido previamente antes de su utilización diferentes procesos, naturales o artificiales de escasa o elevada complejidad. Es el combustible energético que se obtiene directa o indirectamente de los recursos biológicos.

Bajo esta definición existen multitud de materiales que pueden ser considerados biomasa. Desde el punto de vista de su aprovechamiento energético, la biomasa engloba una serie de recursos muy diversos. Esta variedad en cuanto a origen y propiedades de los diferentes recursos implica formas diferentes de aprovechamiento de los mismos.

Teniendo en cuenta el binomio recurso-tecnología podemos encontrar diferencias tan importantes como las que puede haber entre una planta de generación de electricidad mediante la combustión de paja de cereal o de restos de madera, una planta en la que el combustible puede ser biogás producido mediante la digestión de residuos ganaderos o una planta de producción de bioetanol a partir de granos de cereal. (Nogués, García, & Rezeau, 2010).

Teniendo en cuenta que la mayor parte de estos residuos son de carácter orgánico, es decir constituyen la denominada biomasa residual, se puede llegar a comprender hecho que las grandes cantidades de residuos que no se aprovechan y contaminan el ambiente puedan constituir un enorme potencial para la producción de energía. (Sebastián F., Royo J., 2012).

La Biomasa puede clasificarse de la siguiente forma:

- Residuos forestales
- Residuos Agrícolas
- Residuos de Industrias agrícolas
- Cultivos Energéticos
- Productos biodegradables

### A. Tipos de biomasa.

- Residuos Forestales, serrín, corteza, astillas.
- Residuos Agropecuarios, cascara de arroz.
- Residuos Industriales, cascara frutas y vegetales.
- Residuos Urbanos, basura orgánica.

En la Fig. se muestra una clasificación de las biomásas.

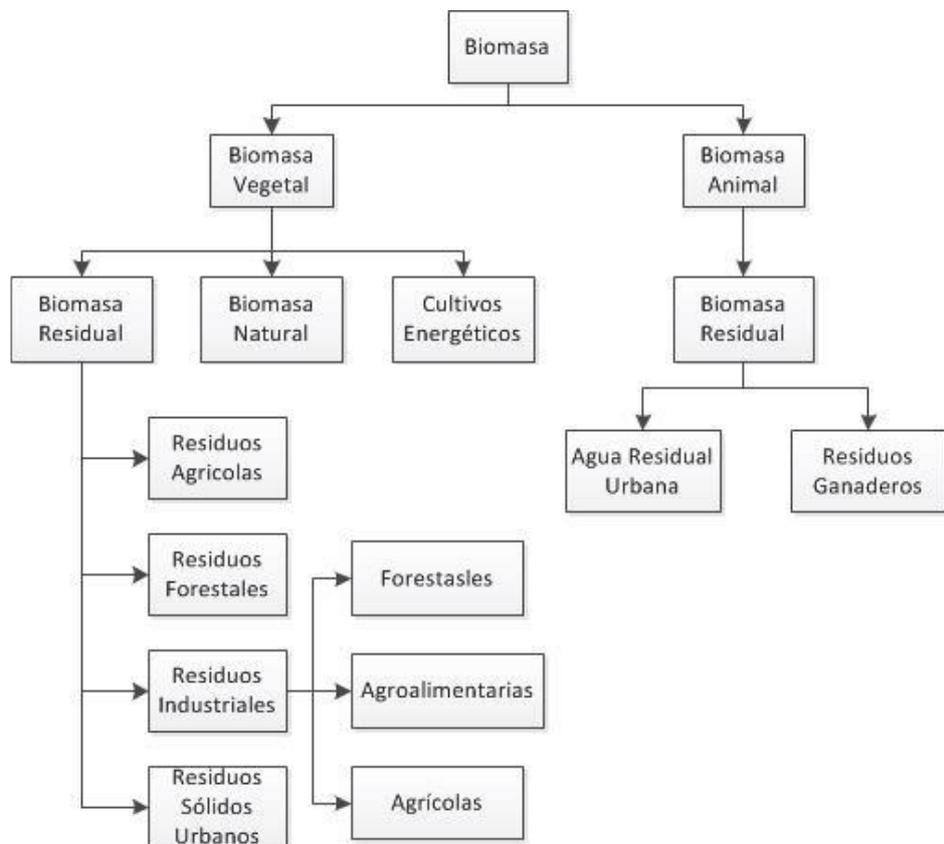


Figura 2.09. Clasificación de la biomasa [50].

### B. Composición química y física.

- Las características físicas y químicas de la biomasa determinan el tipo de combustible o subproducto energético que se puede generar.

### C. Contenido de humedad relativa.

- Es la relación de la masa de agua contenida por kilogramo de materia seca. Para la mayoría de procesos de conversión energética es imprescindible que la biomasa tenga un contenido de humedad inferior al 25%.
- Si el contenido es superior, obliga a implementar operaciones de acondicionamiento, antes de entrar al proceso de conversión de energía. (Stevenson, E. M., Semler, T. T., 1985).

### D. Porcentaje de cenizas

- Es el indicador de materia sólida no combustible por kilo de material.

#### 2.2.1. Poder calorífico.

La biomasa se somete a diferentes procesos para poder extraer parte de la energía contenida en ella. La Fig. 2 muestra los diferentes procesos que existen para procesar la biomasa con el fin de convertirla en un producto energético.

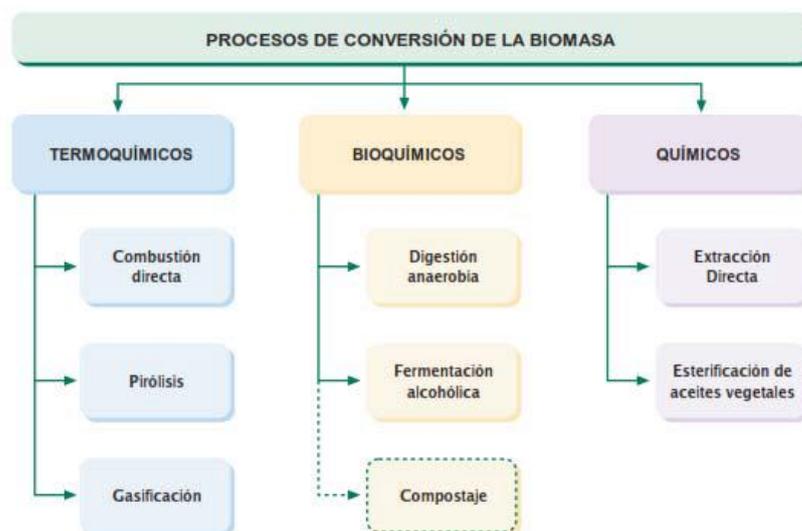


Figura 2.10. Tipo de extracción de energía de la biomasa [46]

La principal característica de un combustible es su poder calorífico. El poder calorífico de un combustible es la cantidad de energía que se produce en la combustión. El poder calorífico depende de las características químicas del combustible y se clasifica como superior (PCS) e inferior (PCI).

El poder calorífico superior considera el calor que proviene de la condensación del vapor de agua presente en los productos de combustión; el poder calorífico inferior no considera ese calor. Por el hecho que el agua está contenida en los productos de combustión en estado de vapor, se usa generalmente el poder calorífico inferior. (Burschel, Hernández, & Lobos, 2003)

#### **2.2.2. Densidad.**

La determinación de la densidad es un parámetro que indica el grado de compactación de las briquetas, para estudios es importante evaluar en las materias primas, es decir en los elementos sin tratar y en los productos finales, los que ya han sido densificados.

#### **2.2.3. Humedad.**

La humedad es la cantidad de agua presente en la biomasa. La determinación de este parámetro se basa en el método gravimétrico, el cual consiste en colocar las muestras en capsulas con tapa en la estufa a una temperatura de 105 °C durante un tiempo recomendado de 5 horas, luego de esto dejar secar de 30 a 45 minutos.

#### **2.2.4. Cáscara de Arroz.**

Es un subproducto del proceso productivo del arroz. Está constituido por parte de la almendra harinosa, la capa de aleurona y el germen, y

representa el 8% del peso del grano. En el proceso se obtiene además la cascara que representa el 22% del peso del arroz con cascara, rica en fibra 65% y cenizas 20% principalmente y arroz ñelen.

#### **2.2.5. Bagazo de caña de Azúcar.**

El Bagazo de caña se produce como consecuencia de la fabricación de azúcar y constituye un subproducto de esta producción. Es un combustible natural para producir vapor en las fábricas azucareras.

Es un material fibroso, heterogéneo en cuanto a su composición granulométrica y estructural, que presenta relativamente baja densidad y un alto contenido de humedad, en las condiciones en que se obtiene del proceso de molienda de la caña.

#### **2.2.6. Biocombustible.**

Los combustibles sólidos, líquidos o gaseosos producidos a partir de materia orgánica, se conoce como biomasa.

En la actualidad se están desarrollando cultivos intensivos energéticos para obtener biomasa, o bien como materia prima para obtener otro tipo de combustible.

### **2.3. Energía y Biomasa.**

#### **2.3.1. La Producción de Energía a partir de la Biomasa: Visión General de la Biomasa.**

El uso de fuentes de energía renovables es cada vez más necesario, si queremos lograr los cambios necesarios para hacer frente a los impactos del calentamiento global. La biomasa es la forma más común de la energía renovable, ampliamente utilizado en el tercer mundo, pero hasta hace

poco, menos en el mundo occidental. Últimamente mucha atención se ha centrado en la identificación de especies de biomasa adecuadas, que puede proporcionar salidas de alta energía, para reemplazar las fuentes de energía de combustibles fósiles convencionales. El tipo de biomasa requerida es en gran parte determinada por el proceso de conversión de energía y la forma en que se requiere la energía. En el primero de los tres documentos, el fondo a la biomasa. Se examina la producción (en un clima europeo) y las propiedades de las plantas. En el segundo artículo, las tecnologías de conversión de energía son revisadas, con énfasis en la producción de un combustible gaseoso para complementar el gas derivado del vertido de residuos orgánicos (gas de vertedero) y se utiliza en motores de gas para generar electricidad. El potencial de un vertedero restaurado para actuar como una fuente de biomasa, el suministro de combustible para complementar las centrales eléctricas a gas de vertedero, se examina, junto con una comparación de la economía de la energía la producción de biomasa para fines de cosecha propia contra-biomasa de residuos.

### **2.3.2. La Producción de Energía a partir de Biomasa: Tecnologías de Conversión.**

El uso de la biomasa para proporcionar energía ha sido fundamental para el desarrollo de la civilización. En tiempos recientes presiones sobre el entorno global han llevado a las llamadas para un mayor uso de fuentes de energía renovables, en lugar de los combustibles fósiles. La biomasa es una potencial fuente de energía renovable y la conversión de material vegetal en una forma adecuada de energía, por lo general de electricidad o como un combustible para un motor de combustión interna, se puede lograr usando un número de diferentes rutas, cada uno con ventajas y desventajas específicas. Una breve revisión de los principales procesos de conversión se presenta, con especial referencia a la producción de un combustible adecuado para motores de gas de encendido por chispa.

### **2.3.3. Actuaciones Ambientales y Económicas de diferentes Tecnologías para la Generación de Energía a partir de la Cascarilla de Arroz.**

Este trabajo compara los impactos ambientales y los resultados económicos de las diferentes tecnologías para generación de energía usando cascarilla de arroz en ciclo combinado de calor y electricidad (CHP), en Tailandia. Se utilizó un modelo integrado modificado para la biomasa y bioenergía red optimización eficiente, basado en un trabajo previo de Cucek et al. (2012). Este modelo tiene en cuenta para la evaluación de la huella ambiental y el desempeño económico en el marco de un Análisis de Ciclo de Vida (ACV). La cascarilla de arroz es considerada como una de las principales fuentes de residuos de biomasa en Tailandia. Más recientemente, el gobierno tailandés ha promovido el uso de la biomasa con fines energéticos como sustituto del consumo de combustibles fósiles, y para reducir los impactos ambientales causados por el uso de combustibles fósiles. En consecuencia, la cascarilla de arroz está siendo ampliamente utilizado para la generación de electricidad en una escala comercial.

### **2.3.4. Comparaciones de Escenarios de la Tecnología de Gasificación de Ciclo de Vida utilizando la Energía: Evaluación para la Recuperación de Bioenergía a partir de Paja de Arroz”.**

Este estudio utiliza diferentes escenarios para evaluar, a través de evaluaciones del ciclo de vida de la energía (ELCAS), el balance energético de los posibles límites de la tecnología de gasificación y la prescripción en Taiwán.

La cascarilla de arroz es elegida como el material objetivo en este estudio porque es el más significativo de residuos agricultura en Taiwán.

Los productos energéticos incluyen gas de síntesis ( $\text{CO} + \text{H}_2$ ), metano, dióxido de carbono y el residuo negro de carbono. Los escenarios simulan capacidades de 50,000 – 200,000 toneladas/año.

Las distancias de recojo y transporte son calculados por una zona circular de 0 a 40 km de diámetro. También, los tratamientos previos in situ y ex situ de cascarilla arroz se evalúan. Para este caso de un escenario óptimo, el promedio de la energía total de entrada para la evaluación del sistema es de aproximadamente 15,9% de la energía media de salida; el valor del saldo neto de energía (NEB) es 0.841.

Cada proceso tecnológico tiene beneficios positivos de la energía en casos de escenarios de todo en el lugar. Como es la capacidad aumentado, el consumo de energía requerido para incrementos de transporte y los valores de la energía indicadores disminuyen.

De acuerdo con los límites de limitación del modelo de tendencia en los casos en el lugar, la distancia de transporte sugerido y capacidad de tratamiento están por debajo de 20 kilómetros y 750,000 toneladas /año, respectivamente, mientras que el retorno de la energía de la inversión (TIR) valor es mayor que 1.

### **2.3.5. Análisis de la Turbina de Gas de la Planta de Cogeneración Integrada: Proceso Enfoque de Integración.**

La cogeneración se define como la generación de dos formas de la energía. Calor y el trabajo usando solo combustible. La cogeneración o cogeneración (CHP) es importante en la mejora de la eficiencia energética de la planta general y en la reducción de la contaminación ambiental. Una metodología basada en el análisis necesario, es propuesta en este trabajo para integrar la turbina de gas y regenerador con una planta de proceso para minimizar el consumo combustible. Análisis termodinámico de

turbina de gas de la planta de cogeneración integrada se presenta en la turbina de gas relación de presión frente a la potencia para calentar diagrama de relación. En este diagrama, los límites de integración son identificados y diversas regiones de la integración están representadas. Adicionalmente, gráficos de contorno de la utilización de factores de energía y las tasas de ahorro de energía de combustible están representados en este diagrama para la integración óptima de Turbina de gas con una planta de proceso.

Es interesante observar que aunque los gráficos de contorno de la utilización de factores de energía y las tasas de ahorro de energía de combustibles difieren significativamente, luego de la utilización de los factores de energía máxima y la tasa de ahorro de energía de combustible máxima son idénticos. Dimensionamiento óptimo de la turbina de gas integrada a la planta de cogeneración para el diseño de las bases y reequipamiento se realiza en base a estos diagramas.

#### **2.4. Consideraciones Generales sobre un Valle.**

Un valle (del latín vallis) es una llanura entre montañas, una depresión de la superficie de la tierra entre dos pendientes, con una forma inclinada y alargada, que forma una cuenca hidrográfica en cuyo fondo se aloja un curso de río (río).

El valle asumido corresponde a una descripción enmarcada en la presencia de áreas de cultivo, una población ubicada en uno o varios grandes centros urbanos y casas o agrupaciones de pequeñas casas formando comunidades.

Sobre los cultivos del valle se puede mencionar que:

- a. Varios cultivos están destinados al consumo de personas (comida), comercio (adornos, regalos, flores y similares) y para producción industrial (madera y similares).

- b. Hay especies que se cultivan una o varias veces durante el año y algunos son cultivos anuales e interanuales.
- c. Presenta una variedad de cultivos durante el año de acuerdo a la estación que es presente y el microclima, además de otros factores como como latitud, longitud, altura y el entorno geográfico circundante ambiente.

De nuestro interés son los cultivos para consumo humano (alimentos de la población) - por ejemplo: arroz - que después de la cosecha son procesado para eliminar la corteza, la cáscara, las hojas, los tallos (y similares) poder disponerlos para consumo humano. El material eliminado es la biomasa primaria que sirve para elaboración de diversidad de productos y en la que algunos de ellos servir como fuentes de energía térmica para la generación de Vapor y Electricidad.

## **2.5. Consideraciones sobre el Cambio Climático.**

Los gobiernos de todos los continentes se han comprometido bajo el Acuerdo de Paris 2015, que llama a detener el aumento de temperatura global por debajo de 2 grados Celsius (2DS) [29].

El clima es un proceso global y todos los microclimas se ven afectados [30].

Las dos principales contribuciones a la emisión acumulativa y reducciones en el escenario 2DS durante el período 2013-50, provendría de la eficiencia del uso final de combustibles y electricidad (38%) y energías renovables (32%). Captura de carbono y almacenamiento (CAC) vendría en tercer lugar con 12% seguido por energía nuclear con 7% [30].

En la agricultura mundial, la degradación de la tierra y el agua, los recursos como resultado del cambio climático pueden conducir a un crecimiento en déficit alimentario para la creciente población del planeta, que afectará negativamente la seguridad (sostenibilidad) alimentaria. Según los expertos, el umbral crítico es el

calentamiento global a 2.50 C - debajo de este umbral, los cambios en la producción agrícola pueden ser insignificante, mayor - posiblemente una reducción significativa en volúmenes [31].

Por lo tanto, nuestro propósito es hacer que la biomasa del valle incluido en el entorno energético, principalmente en la generación de vapor y electricidad, lo que conducirá a una mayor eficiencia en el uso final de combustibles y generación eléctrica, así como cómo predecir y planificar la cantidad de biomasa necesaria para la captura de carbono y almacenamiento. Para esto, se propone un modelo matemático y demostrado en el presente trabajo.

## **CAPÍTULO III**

### **“BIOMASA Y ENERGÍA ELÉCTRICA EN ÁREA DE ESTUDIO”**

#### **3.1. Descripción del Área de Estudio: Región Lambayeque.**

Lambayeque es uno de los veinticuatro departamentos, que forman la República del Perú. Su capital es Chiclayo. Está ubicado al noroeste, parte septentrional y occidental del país, limitando al norte con Piura, al este con Cajamarca, al sur con La Libertad y al oeste con el océano Pacífico [43,44]. Sus coordenadas geográficas se sitúan entre los paralelos 5° 28 y 7° 10 27 de latitud sur y los meridianos 79° 53 48 y 80° 37 24 de longitud oeste; la altitud va de 4 msnm en el distrito de Pimentel a 4,000 m.s.n.m. en el distrito de Inkawasi [44].

La ciudad de Chiclayo, ciudad importante y capital del departamento de Lambayeque, está ubicada al norte del valle del Río Reque, en el límite donde el clima de la costa se torna cálido si se viaja desde el sur. La ciudad de Chiclayo es conocida por su intenso movimiento comercial. Los principales productos del departamento de Lambayeque son la caña de azúcar, arroz, maíz amarillo duro y limón entre otros. Debido a la productividad de la caña de azúcar se han desarrollado complejos agroindustriales como Pomalca, Cayalti y Tumán. La actividad ganadera se orienta a la industria lechera y de enlatados de leche condensada. El desarrollo de culturas antiguas ha dejado una inmensa riqueza arqueológica en Sipán, Sicán, Túcume y Batán Grande. Los restos del reino de Sipán se pueden apreciar en el Museo Bruning, en la ciudad de Lambayeque ubicada a unos minutos al norte de Chiclayo [45].

El departamento de Lambayeque tiene una extensión superficial de 14,231.30 km<sup>2</sup>, es decir el 1.1% de 1 285,6 km<sup>2</sup> correspondientes a la superficie total del país, desagregado por provincias de la siguiente manera: Chiclayo 3,288.07 km<sup>2</sup>, Ferreñafe 1,778.60 km<sup>2</sup> y Lambayeque 9,346.63 km<sup>2</sup> [44]

En cuanto a su relieve, la mayor parte de la superficie del departamento se localiza en la región costera, excepto a los distritos de Inkawasi, que se asienta en elevaciones cordilleranas a una altitud superior a los 3,000 m.s.n.m y Cañarís que se ubica en la ceja de la selva, flanco oriental de la cordillera [44]

En verano la temperatura del medio ambiente fluctúa entre 20 °C como mínimo y 35 °C como máximo; cuando el tiempo es caluroso, lo cual sucede de manera esporádica, la temperatura fluctúa entre 25-35 °C. En invierno la temperatura mínima es de 15 °C y máxima de 24 °C. Por lo general a medida que se aleja del mar avanzando hacia el este hasta los 500 msnm la temperatura se va elevando, sintiéndose principalmente a medio día un calor intenso, como se puede apreciar en Pucalá, Zaña, Chongoyape, Oyotún y Nueva Arica [43]

En los registros históricos se tiene que la media anual de temperatura máxima y mínima (periodo 1950-1991) es 26.3°C y 20.9°C, respectivamente (ver Fig.). La precipitación media acumulada anual para el periodo 1950-1991 es 29.6 mm (ver Fig.). El clima varía con la ocurrencia del fenómeno de El Niño, principalmente la precipitación. Por ejemplo, de agosto 97 a julio 98 se alcanzó un valor record histórico de 402 mm y en el mismo periodo 82/83 se registró 240 mm [45].

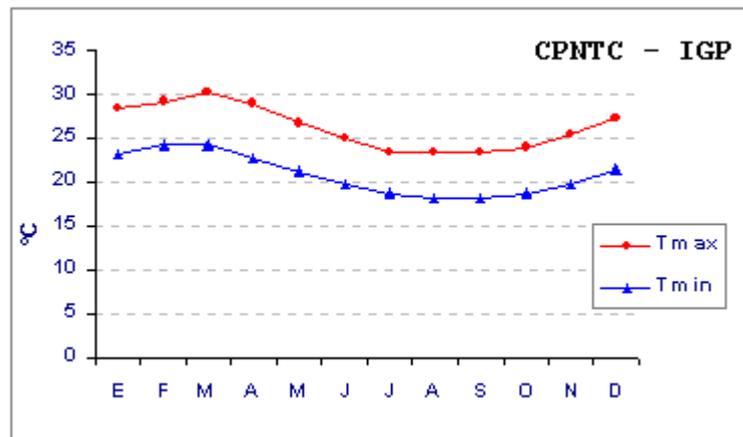


Figura 3.01. Promedios multianuales de temperaturas máximas y mínimas Periodo 1950-1991 [45]

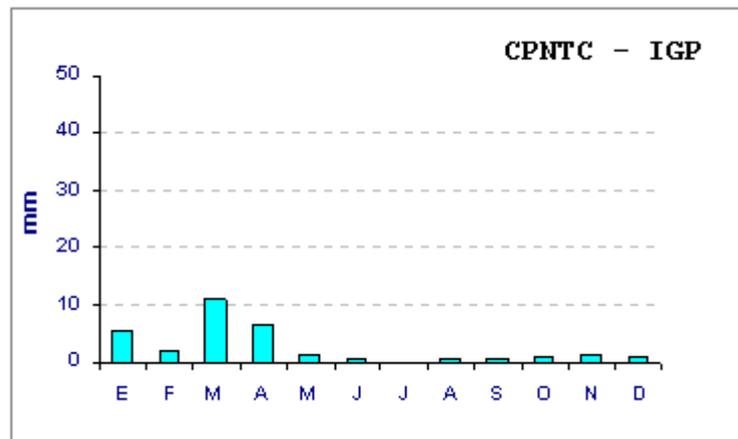


Figura 3.02. Promedios multianuales de precipitación acumulada mensual.  
Periodo 1950-1991

En lo que concierne a la hidrografía, las aguas de los ríos, cubre más del 95 % del agua utilizada en la agricultura, industria y uso doméstico. El agua subterránea es abundante pero poco empleada por el alto costo en la perforación de pozos tubulares y la falta de planificación de los cultivos. Los principales ríos son [43]:

- Río Chancay: Conocido con el nombre de río Lambayeque, es más importante. Su largo aproximado es 250 km, de sus aguas dependen las 3 capitales provinciales, más de 15 poblados menores, empresas agrícolas y medianos y pequeños productores individuales. Nace al oeste del asiento minero de Hualgayoc en las lagunas de Mishis y Yanahuanca a una altura de 4000 msnm, en sus orígenes se le conoce como río Quilcate, que va descendiendo al Oeste recibiendo otros pequeños tributarios, sin engrosar sus aguas debido a las filtraciones, las mismas que aparecen kilómetros abajo y al unirse con el río Samán ya recibe el nombre de río Chancay, sigue desplazándose al Oeste recibiendo las aguas del río Cumbil. A la altura de Racarumi, hay una toma de ese nombre que capta sus aguas para llevarlas al Reservorio de Tinajones, mismo que de nuevo vierte las aguas a su lecho, kilómetros abajo. En la Puntilla hay una obra de ingeniería que divide las aguas en dos partes, la del río Reque o Eten, y la de Lambayeque (canal Desaguadero), del que mediante otras compuertas se reparte el agua: para el Canal Taymi para el río Lambayeque [43].

- Río La Leche: también llamado Motupe o Mórrope. Nace en las cumbres de Cañarís y Cachen a más de 3000 msnm tiene un volumen de agua muy irregular y por lo general no llega al mar, salvo en épocas de abundantes lluvias. En periodos lluviosos y de abundancia de aguas este río inunda los poblados ribereños y las cementeras causando daños inmensos. En la parte baja se unen con el Motupe. Desemboca en la laguna de La Niña [43].
- Río Zaña: Nace en el Departamento de Cajamarca, al este de Niepos, en su desplazamiento y descenso hacia el oeste recibe las aguas de numerosos riachuelos, ya en la costa da sus aguas a los poblados de Oyotún, Nueva Arica, Zaña, Motupe y Lagunas. Sus aguas en determinadas épocas como en 1925 y 1983 han causado daños a Zaña y otros poblados ribereños. Al norte del Departamento en el distrito Olmos se encuentran los riachuelos: Cascajal, San Cristóbal, y Olmos, de recorrido muy corto, no llegan al mar, salvo en años de mucha lluvia [43].

En el departamento, la actividad agrícola se desarrolla en dos tipos de explotación agrícola; en la Costa con un nivel más tecnificado y desarrollado, pero direccionada sobre todo a monocultivos de arroz y caña de azúcar; en la Sierra la agricultura posee un limitado desarrollo tecnológico y su producción se limita a satisfacer el auto consumo. Se cuenta con cinco valles agrícolas, las cuales son: Chancay - Lambayeque, Zaña, La Leche, Motupe y Olmos, teniendo el primero riego regulado por el reservorio Tinajones con una capacidad de 320 millones, los cuatro restantes dependen de las bondades de la precipitación en la parte alta y media de la cuenca; todos estos valles abarcan una superficie agrícola de 188,244 ha que representa el 3,20% de la superficie agrícola nacional [44]

### **3.2. Indicadores de Producción, Uso y Disposición Final de Biomasa.**

El Perú produce aproximadamente 3 millones de toneladas de arroz al año (ver Tabla 1), de las cuales la región Lambayeque produce 1 millón toneladas al año (ver Tabla 2) y la pajilla de arroz es el 22% que constituye unas 220,000 toneladas

de pajilla. En el caso específico de Comercial Molinera San Luis S.A.C.; acopia unas 30,000 toneladas de arroz que equivale a unas 6,000 toneladas de pajilla. La pajilla independiente de su uso para generar energía, también tiene otras aplicaciones, por ejemplo, el uso de la ceniza en la mejora de la calidad de los ladrillos para la Construcción y también en la producción de Cemento.

Tabla 3.01. Volumen producción en Perú 2008 – 2017 en miles toneladas [46].

Producto	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2016	2017
Arroz	2, 794.0	2, 991.2	2, 831.4	2, 624.4	3, 043.3	3, 046.8	3, 165.7	3, 044.0
Caña de azúcar	9, 396.0	9, 936.9	9, 885.0	9, 864.9	10, 368	10, 992	9, 832.5	9, 401.1

Tabla 3.02. Volumen producción en Región Lambayeque 2008 – 2017 en miles toneladas [46].

Producto	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2016	2017
Arroz	1, 061.72	1, 136.66	1, 075.93	997.27	1, 156.45	1, 157.7	1, 203.0	1, 157.0
Caña de azúcar	2, 810.7	2, 981.07	2, 965.5	2, 959.47	3, 110.4	3, 298.0	2, 949.7	2, 820.3

### 3.3. Balance de Nacional de Energía [47].

El Ministerio de Energía y Minas, a través de la Dirección General de Eficiencia Energética, presenta el Balance Nacional de Energía–BNE correspondiente al año 2017, con el propósito de dar a conocer los resultados de los flujos físicos de los diferentes energéticos utilizados en el país, mediante los cuales, la energía se produce, intercambia con el exterior, transforma, consume, etc.; todo calculado en una unidad energética común.

La Metodología utilizada para la elaboración del Balance Nacional de Energía del Perú, se basa en la metodología de la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), y respecto de la presentación de la información contenida en este

documento, ésta se basa en el “Sistema Legal de Unidades de Medida del Perú” que se estableció mediante Ley N° 23560. Es preciso señalar, que las cifras de los totales y subtotales presentados en las tablas del presente documento han sido redondeadas al valor entero más cercano.

La primera parte de este documento, presenta las reservas probadas de energía comercial del país, el balance de energía primaria, el balance de energía secundaria y el consumo final de energía según el tipo de fuente por cada sector económico, se muestra la evolución del consumo final durante el período 1990 – 2017, el impacto al ambiente del uso de la energía y los indicadores económicos-energéticos-ambientales. La segunda parte comprende los anexos donde se detallan los balances individuales por cada fuente de energía, se indican estructuras de producción y consumo, así como se detalla la metodología para su elaboración.

La última parte del documento presenta los resultados de los cálculos de emisiones en la transformación de energía primaria a secundaria y consumo propio, y los resultados de distribución de renta versus la participación de consumo de fuentes no comerciales.

Finalmente, el Ministerio de Energía y Minas agradece a todas las entidades y personas vinculadas al sector energético, por el apoyo brindado, a través del suministro de información y sugerencias, que han hecho posible la elaboración de la presente publicación.

Las diferentes formas de suministrar la Demanda Nacional (alrededor de 7500 MW), se establece en las Figuras.

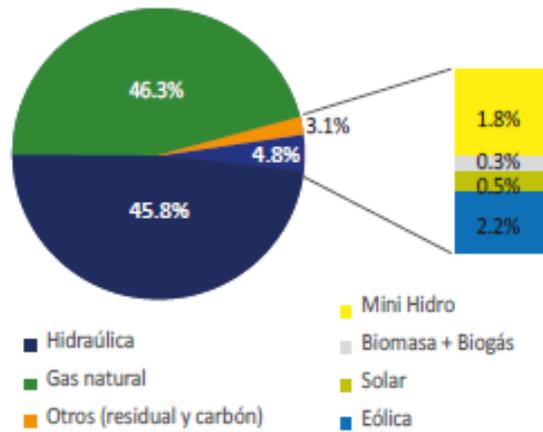


Figura 3.03. Porcentajes de participación de las energías renovables en el mercado eléctrico peruano [48]

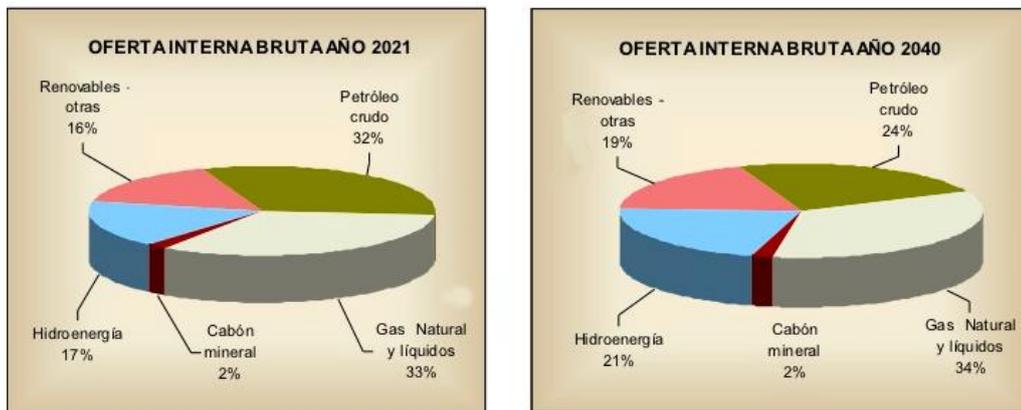


Figura 3.04. Matriz energética de largo plazo [47]

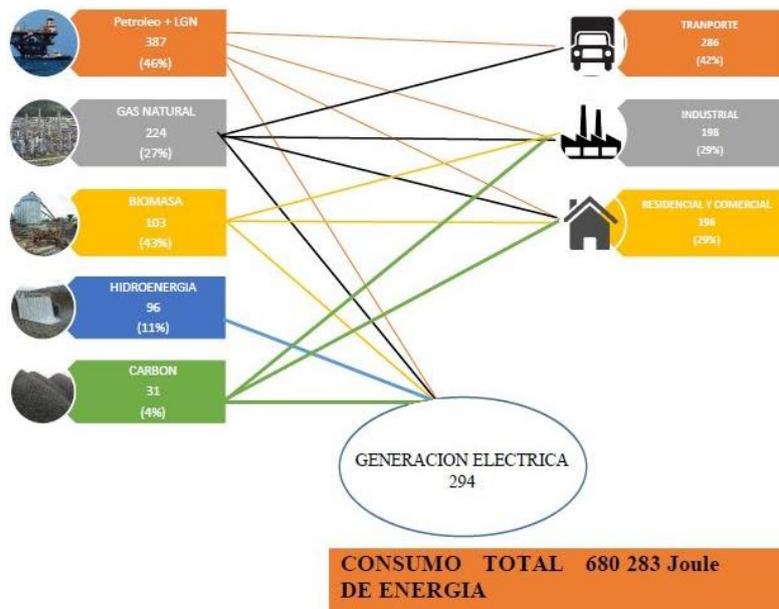


Figura 3.05. Matriz energética del Perú con 80% de hidrocarburos [47]

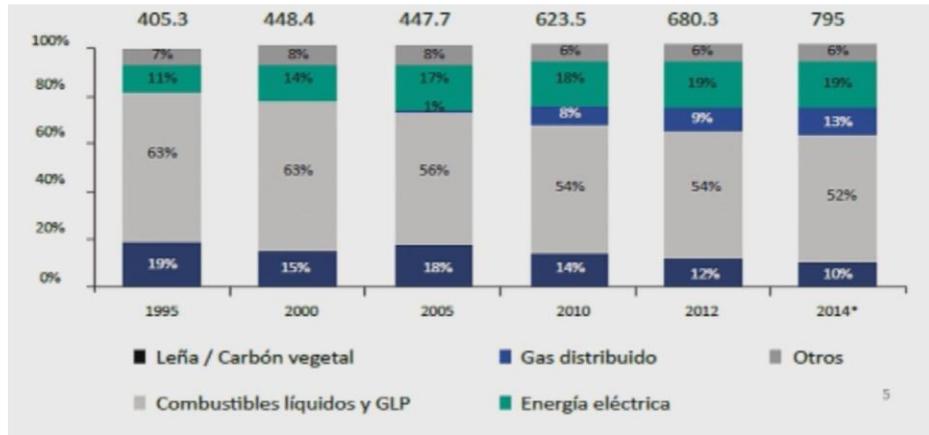


Figura 3.06. Matriz energética y consumo de energía en Perú – Evolución del consumo final de energía (en MTJ) y su participación [47]

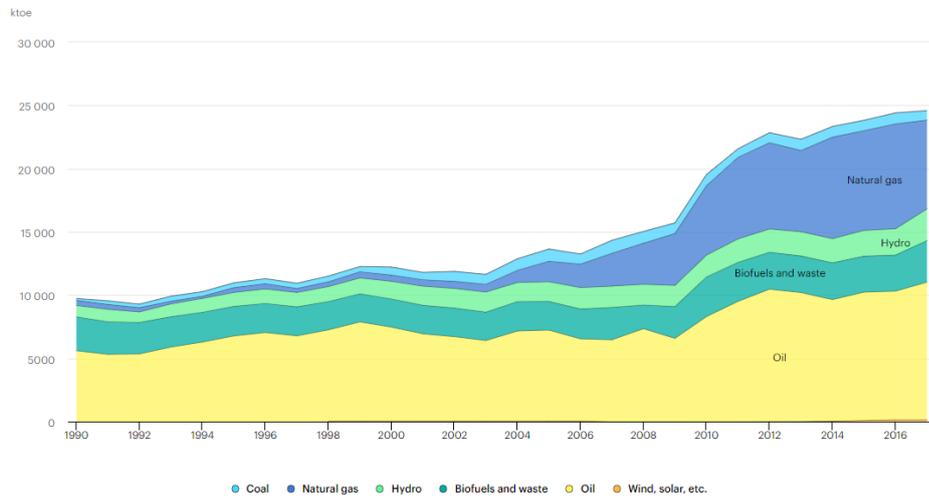


Figura 3.07. Suministro total de energía primaria por fuente, Perú 1990-2017 [51]

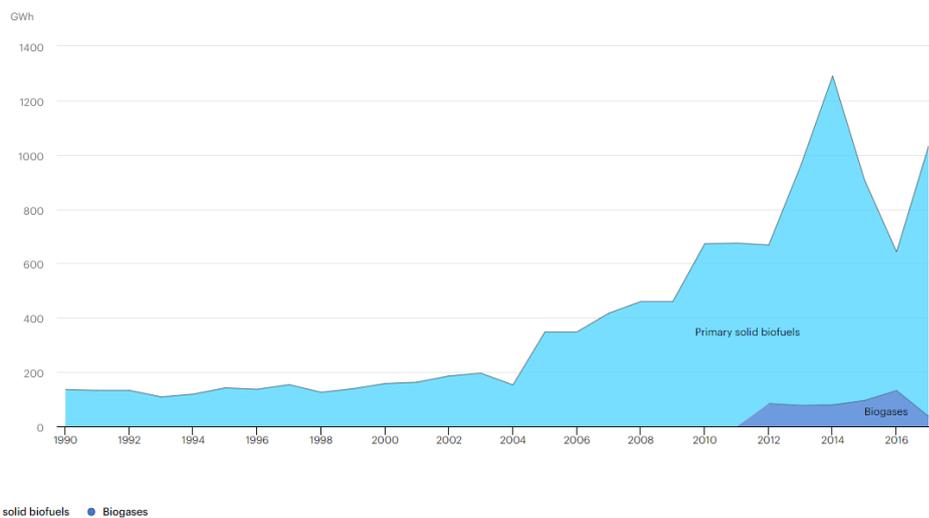


Figura 3.08. Generación de electricidad a partir de biocombustibles y residuos por fuente, Perú 1990-2017 [51]

### 3.4. Matriz Energética Regional [49]

#### **Demanda Máxima de Potencia.**

La demanda máxima de potencia indica el volumen de energía eléctrica más alto requerido por una empresa distribuidora durante las horas punta. La demanda máxima registrada (ver Tabla) en el año 2018 fue de 136,4 MW, se produjo el lunes 23 de abril a las 21:00 horas, y fue superior en 1,56 % a la registrada el año 2017 (134,3 MW).

Tabla 3.03. Demanda máxima de potencia por meses y años de ENSA.

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SET.	OCTUBRE	NOV.	DIC.	MD
2014	149.2	149.1	151.4	148.5	154.5	149.1	146.9	125.2	125.5	126.7	129.4	128.5	154.5
2015	128.5	132.5	132.8	131.1	132.0	128.5	129.2	130.4	132.2	134.0	147.7	135.3	147.7
2016	132.6	134.2	139.3	133.5	125.6	126.8	127.7	128.7	128.3	128.5	130.2	131.7	139.3
2017	134.3	132.4	131.1	125.8	124.2	120.5	120.2	122.9	125.4	126.2	121.1	130.1	134.3
2018	133.7	134.9	136.1	136.4	134.4	125.2	119.3	118.8	122.3	122.7	126.1	130.4	136.4

#### **Pérdidas de Energía**

En el año 2018, el sistema de transmisión perdió el 2,52 % (23,015 GWh) de la energía adquirida a las generadoras. En el año 2017, estas pérdidas representaron el 2,29 % (20,30 GWh).

El aumento de las pérdidas se debió al incremento de pérdidas óhmicas por crecimiento de la carga, pérdidas en vacío por la ampliación de la capacidad de la SEP Pomalca de 9MVA a 25MVA, y la puesta en operación de la L-6030 (24 km) con el bajo factor de carga de las subestaciones Nueva Motupe y Pampa Pañalá.

La mayor incidencia de pérdidas de energía en subtransmisión se presenta en las líneas L-6032 y L-6033 (Chiclayo - Illimo) seguidas de las líneas L-6022 y L-6012 (Secho - Sechnor).

Las pérdidas técnicas a nivel de transmisión se gestionarán en el 2019 con la mejora del sistema de medición, la puesta en operación de la L-6039 (Lambayeque - Illimo), instalación de bancos de condensadores y balanceo de cargas.

### **Operación y Mantenimiento.**

La producción propia de energía en el año 2018 fue de 21,95 GW-h, incrementándose en 11,8 % respecto a la producida en el año 2017 (19,64 GW-h).

La producción de nuestras centrales de generación hidráulica representó el 99,9 % del total producido, alcanzando a 21,94 GW-h, con un incremento de 11,9 % respecto al año anterior, en que se produjeron 19,61 GW-h.

Lo producido en nuestras centrales térmicas representó el 0,1 % de la producción propia y alcanzó a 0,02 GW-h, disminuyendo en 47,3 % respecto a la producción del año anterior (0,03 GW-h), por menores requerimientos de energía térmica.

Tabla 3.04. Energía producida durante los años 2017 y 2018 por ENSA.

<b>Tipo</b>	<b>2018</b>	<b>2017</b>	<b>DESVIACIÓN(GW-h/%)</b>
Hidráulica	19.61	21.94	2.33 / 11.89
Térmica	0.03	0.02	-0.02 / -47.29
Total	19.64	21.96	2.31 / 11.79

### **Suministro de energía, producción y compra al sistema.**

- a) Producción de energía Como empresa distribuidora, ENSA S. A. adquiere la mayor parte de la energía eléctrica que distribuye y comercializa, a empresas generadoras. También produce una parte de la energía disponible en sus pequeñas centrales de generación. La producción propia de energía en el año 2018 fue de 21.95 GW-h, cifra 11.8 % mayor que la del 2017, cuando se

produjeron 19.64 GW-h, debido principalmente a la mayor producción hidráulica (11.9 % mayor). El 99.9 % del volumen total de energía producida provino de generación hidráulica, y el 0.1 % restante de generación térmica.

- b) Compra de energía Durante el año 2018, ENSA S. A. compró 835,6 GW-h a empresas generadoras, disminuyendo en 4.08 % con relación a lo adquirido en el año 2017 (802.8 GW-h), como consecuencia del mayor consumo en el sector regulado en BT. La evolución de la compra de energía en MW-h durante los últimos años fue la siguiente

Tabla 3.05. Energía suministrada por COES (MW-h)

Generador	2015	2016	2017	2018	% VAR.
COES – regul.	817,106	827,651	802,819	835,564	4.08

El intercambio de energía desde COES hasta los usuarios finales se realiza a través del sistema de potencia de ENSA (ver Fig.)

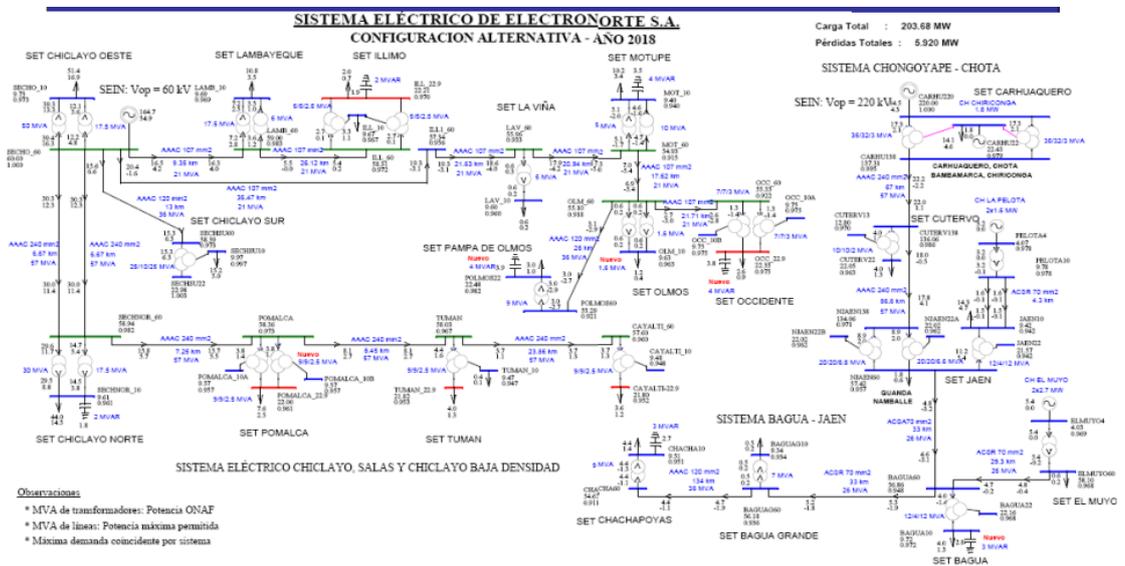


Figura 3.09. Sistema de potencia de ENSA.

Se espera que nuestra contribuya a tener una matriz energética regional con una fuerte participación de la biomasa, seguida en segunda instancia de lo que se compra de COES y al final la generación propia de la empresa de servicios eléctricos regionales ENSA (ver Fig.) lo cual significa una mejora importante a la actual matriz energética regional

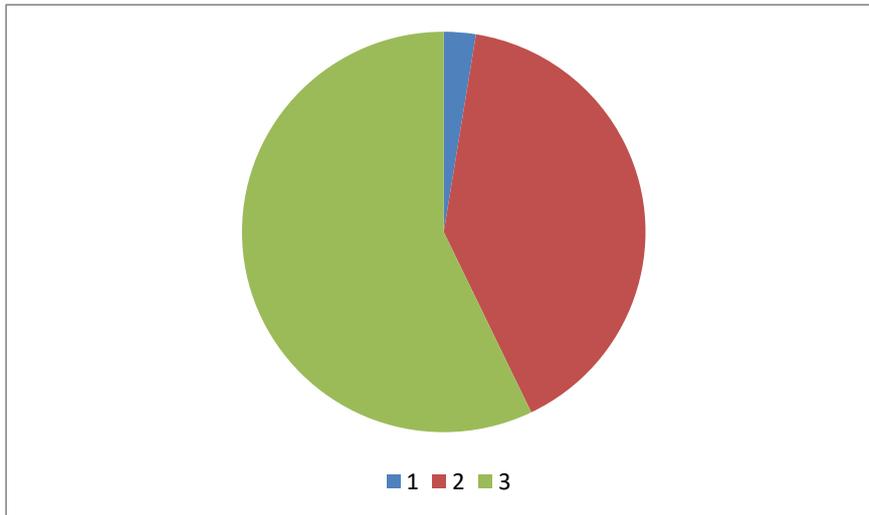


Figura 3.10. Matriz energética regional propuesta: 1. Electronorte (T+H) 3,584 MW-h (2.56%), 2. COES (H) 56,416 MW-h (40.30 %), 3. Propuesta Biomasa 80,000 MW-h (57.14 %). Elaboración Propia.

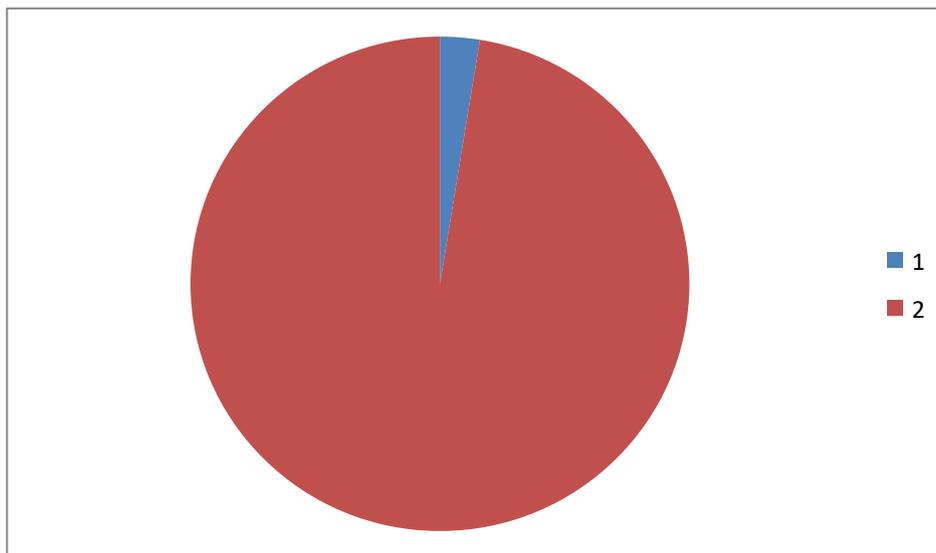


Figura 3.11. Actual matriz energética regional: 1. Electronorte (T+H) 3,584 MW-h (2.56 %), 2. COES (H) 136,416 MW-h (97.44 %). Elaboración Propia.

## CAPÍTULO IV

### “MODELOS MATEMÁTICOS Y SIMULACIONES NUMÉRICAS”

#### 4.1. Consideraciones Generales.

El crecimiento de la demanda del departamento o Región Lambayeque implica un crecimiento del número de centrales de generación, número de subestaciones, número de tramos de red, alimentadores y/o su aumento de capacidad de cada uno de ellos, cambio de la topología de la red y la redistribución de cargas.

Los estudios de Cambio de matriz energética y planificación de sistemas de distribución tienen en cuenta aspectos económicos y técnicos. Aspecto Económico que debe ser minimizado y que constituye la función objetivo, los requerimientos técnicos que deben constituir las restricciones del modelo matemático.

#### 4.2. Potencial Energético de la Biomasa.

##### 4.2.1. Consideraciones Generales.

Las Ecuaciones definen las principales características energéticas de la biomasa.

$$PE = M_{RS} E \quad (1)$$

Dónde:  $PE$  es el potencial energético (TJ/año),  $M_{RS}$  es la masa residuo seco (t/año), y;  $E/PCI$  es la energía del residuo (TJ/t).

$$M_{RS} = A \cdot R_C \cdot F_R \cdot Y_{RS} \quad (2)$$

Dónde:  $M_{RS}$  es la masa residuo seco (t/año),  $A$  es el área sembrada (ha/año),  $R_C$  es el rendimiento de cultivo (t producto principal/ha.

Sembrada),  $F_R$  es el factor residuo cultivo (t residuo/t producto principal), y;  $Y_{RS}$  es la fracción residuo seco (t residuo seco/t residuo húmedo).

$$M_{RS} = A \cdot R_C \cdot \sum \sum [F_{Rki} \cdot Y_{RSki}] \quad (3)$$

$$PE_{BRA} = M_{RS} \cdot PCI_{ki} \quad (4)$$

Dónde  $PE_{BRA}$  es el potencial energético biomasa residuo agrícola.

En la Tabla se puede apreciar los valores del factor de fracción de residuo de acuerdo al tipo de cultivo.

Tabla 4.01. Factor y fracción de residuo de acuerdo al tipo de cultivo.

Cultivo	Residuo	Factor Residuo (t residuo/t producto principal)	Factor Residuo Seco (t residuo seco/t residuo húmedo)
Arroz	Cáscara	0.200	0.968
Caña de azúcar	Bagazo	2.680	0.588

#### 4.2.2. Potencial energético de la pajilla de arroz y el bagazo de caña de azúcar.

Para describir el potencial energético de la pajilla de arroz y el bagazo de caña de azúcar se usan las Ec.

$$PE_{PAJILLA} = M_{RSPAJILLA} \cdot PCI_{PAJILLA} \quad (1)$$

$$PE_{BAGAZO} = M_{RSBAGAZO} \cdot PCI_{BAGAZO} \quad (2)$$

$$1 \text{ TJ} = 0.277778 \text{ GW-h} \quad (3)$$

Para el caso del arroz se toma que la producción promedio por año: 1'118,000 t/año, por lo tanto:

$$M_{RSPAJILLA} = 1118,000 \times 0.2 \times 0.968 \text{ [t/año]}$$

$$M_{RSPAJILLA} = 228,448 \text{ [t/año]}$$

$$PE_{RSPAJILLA} = 228,448 \times 13 \times 10^{-3} \text{ [TJ]}$$

$$PE_{RSPAJILLA} = 2,969.82 \text{ [TJ]}$$

$$PE_{RSPAJILLA} = 831,550 \text{ [GW-h]}$$

Considerando un factor de carga igual a 0.7 la potencia de la pajilla del arroz ( $P_{PA}$ ) será igual a:

$$P_{PA} = \frac{831,550}{0.7} \cdot 8,750 \text{ [MW]}$$

$$P_{PA} = 135 \text{ MW}$$

Para el caso de la caña de azúcar se toma que la producción promedio por año: 2'986,960 t/año, por lo tanto:

$$M_{RSBAGAZO} = 2986,960 \times 0.268 \times 0.588 \text{ [t/año]}$$

$$M_{RSBAGAZO} = 470,697.7 \text{ [t/año]}$$

$$PE_{RSBAGAZO} = 470,697.7 \times 10 \times 10^{-3} \text{ [TJ]}$$

$$PE_{RSBAGAZO} = 4,706.97 \times 0.28 \text{ [GW-h]}$$

$$PE_{RSPAJILLA} = 1,317.95 \text{ [GW-h]}$$

Considerando un factor de carga igual a 0.7 la potencia del bagazo ( $P_B$ ) será igual a:

$$P_B = \frac{1,317.95}{0.7} \cdot 8,750 \text{ [MW]}$$

$$P_B = 215 \text{ MW}$$

Considerando las siguientes restricciones:

- a) Que el rendimiento de las Centrales y Conversoras es igual a 0.65
- b) Que sólo será usado el 50% del subproducto disponible

Finalmente se tiene que:

Potencia pajilla de arroz  $P_{PA} = 43.875$  MW

Potencia bagazo  $P_B = 69.875$  MW

### 4.3. Conversión de Biomasa en Energía Eléctrica.

Se opta por dos biomazas para la conversión: la pajilla de arroz y el bagazo, tal como se muestra en la figura.

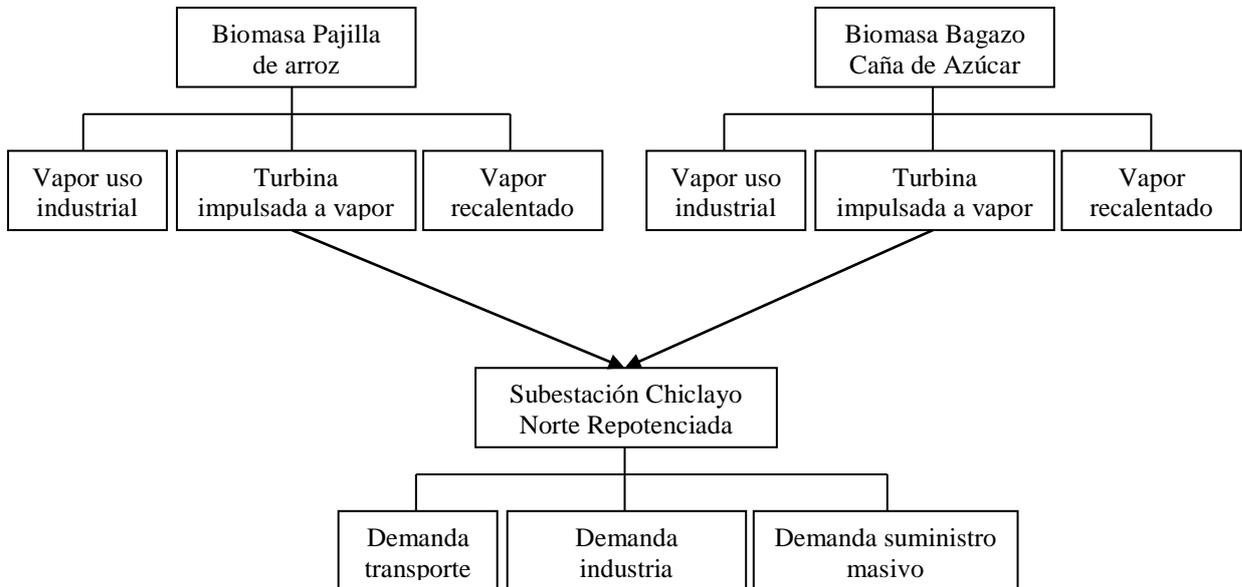


Figura 4.01. Esquema general de contribución de la biomasa

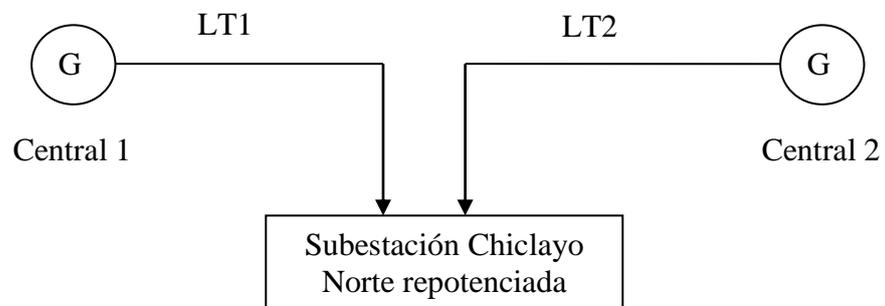


Figura 4.02. Esquema eléctrico general. Elaboración Propia.

#### 4.4. Suministro (Oferta) Eléctrica en el Valle.

##### 4.4.1. Topología Sistema 1.

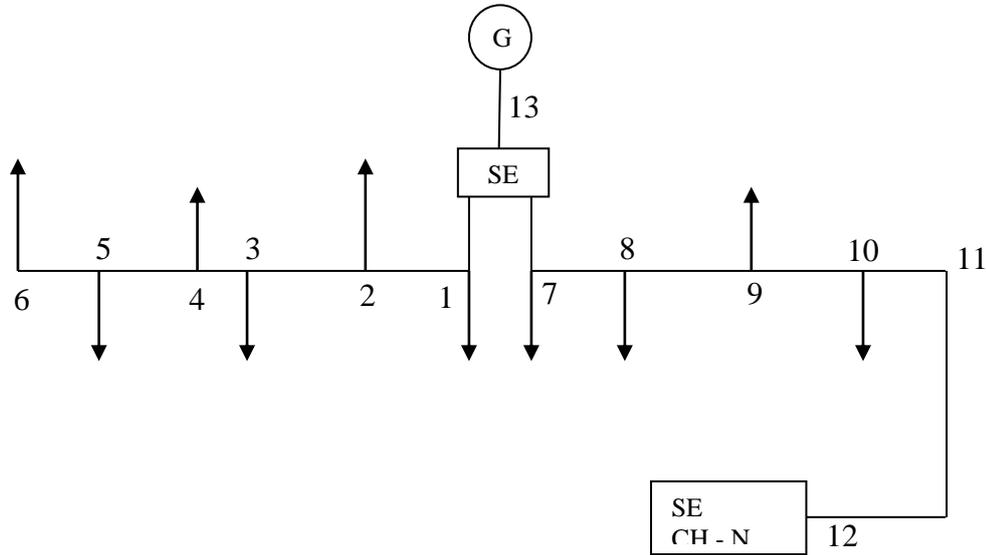


Figura 4.03. Diagrama unifilar Sistema 1 de estudio. Elaboración Propia.

Dónde: G es la central generadora, SE es la subestación y SE CH-N es la Subestación Chiclayo Norte.

El sistema I de la figura está constituido por 14 nodos: 11 de los cuales son cargas, una central de generación – subestación nueva que es el nodo 13 y una subestación existe (SE CH-N) conectado a los nodos 14 y 11 alimentadores.

Los parámetros eléctricos son:

- Capacidad máxima de alimentadores: 8 MVA.
- Capacidad máxima central de generación: 40 MVA.
- Capacidad máxima de subestación: 40 MVA.
- Costo de Alimentadores: US\$ 30,000 /km.
- Costo Central de Generación: US\$ 25'000,000
- Costo fijo de subestación: US\$ 2'500,000

- g. Repotenciación subestación existente: US\$ 6,000,000
- h. Costo variable Alimentadores nuevos: US\$ 6,000/MVA/km
- i. Costo variable central de generación y SE: no se considera.

A continuación, se dan las tablas donde se detalla las longitudes de los alimentadores y la potencia de las cargas.

Tabla 4.02. Longitud de alimentadores del Sistema 1. Elaboración Propia.

<b>Nodo</b>	<b>km</b>	<b>Nodo</b>	<b>km</b>
<b>SE-1</b>	2.0	<b>7-8</b>	1.0
<b>SE-7</b>	2.0	<b>8-9</b>	2.5
<b>1-2</b>	1.5	<b>9-10</b>	2.0
<b>2-3</b>	1.0	<b>10-11</b>	1.5
<b>3-4</b>	0.5	<b>11-12</b>	5.5
<b>4-5</b>	1.0	<b>12-14</b>	1.0
<b>5-6</b>	1.0		

Tabla 4.03. Cargas del Sistema 1.

<b>Nodo</b>	<b>MVA</b>	<b>Nodo</b>	<b>MVA</b>
<b>1</b>	1.0	<b>7</b>	2.0
<b>2</b>	1.5	<b>8</b>	1.0
<b>3</b>	2.0	<b>9</b>	1.5
<b>4</b>	1.0	<b>10</b>	1.0
<b>5</b>	2.0	<b>11</b>	1.0
<b>6</b>	1.5	<b>12</b>	14.5

#### 4.4.2. Topología Sistema 2.

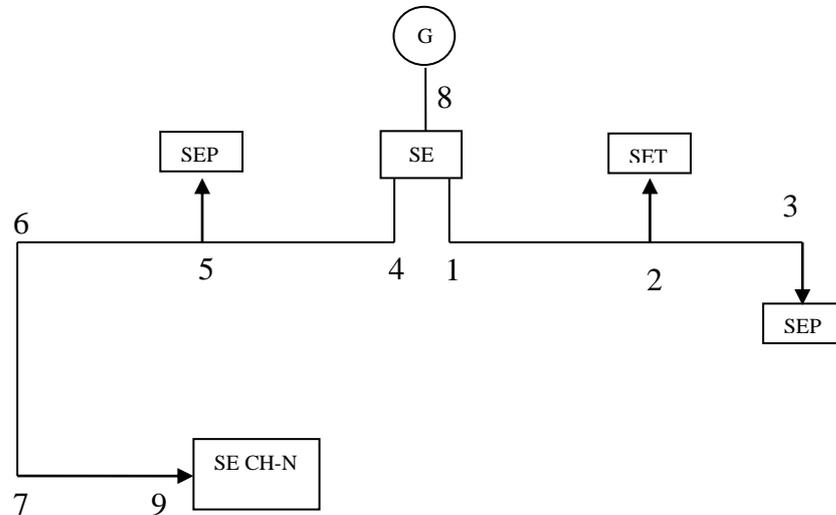


Figura 4.04. Diagrama unifilar Sistema 2 de estudio. Elaboración Propia.

en donde G es la central generadora, SE es la subestación, SEP es la subestación Pomalca, SET es la subestación Tumán, SEPU es la subestación Pucalá y SE CH-N es la subestación Chiclayo Norte.

El sistema 2 de la figura está constituido por 9 nodos: 4 de los cuales son cargas, una central de generación – subestación nueva (SE) que es el nodo 8 y una subestación existente (SE CH-N) que son los nodos 9 y 7 alimentadores.

Los parámetros eléctricos son:

- Capacidad máxima alimentadores: 8 MVA.
- Capacidad máxima central de generación: 40 MVA.
- Capacidad máxima de subestación: 40 MVA.
- Costo fijo alimentadores: US\$ 30,000 /km.
- Costo central de generación: US\$ 30'000,000
- Costo fijo de subestación: US\$ 2'500,000
- Costo variable alimentadores nuevos US\$ 6,000/MVA/km
- Costo variable central de generación y SE: no se considera.

A continuación, se presentan las tablas que muestran las longitudes de alimentadores y cargas del Sistema 2.

Tabla 4.04. Longitud de alimentadores del Sistema 2. Elaboración Propia.

<b>Nodo</b>	<b>km</b>	<b>Nodo</b>	<b>km</b>
<b>SE-1</b>	2.0	<b>4-5</b>	8.0
<b>SE-4</b>	2.0	<b>5-6</b>	5.0
<b>1-2</b>	7.0	<b>6-7</b>	3.0
<b>2-3</b>	6.0	<b>7-8</b>	3.0

Tabla 4.05. Cargas del Sistema 2.

<b>Nodo</b>	<b>MVA</b>	<b>Nodo</b>	<b>MVA</b>
<b>2</b>	2	<b>5</b>	3
<b>3</b>	2	<b>9</b>	2

#### 4.5. Operación Eficiente del Valle: Escenario 1 [41]

**El modelo matemático** que se presenta en éste ítem, considera y emula la producción de biomasa destinada al consumo humano durante un año y considera aquellas especies que, en por lo prioritario para la alimentación, se cultivan en grandes cantidades y se logra cosechas en pocos meses luego de la siembra (ejemplo: arroz y caña de azúcar), es decir, se obtiene varias cosechas al año.

Durante la cosecha se retira la biomasa del suelo del valle bajo un comportamiento que tiene la forma de una curva gaussiana en que los agricultores van progresivamente iniciando la cosecha hasta tener una plena producción y luego decrece a medida que la biomasa del cultivo se va agotando.

Se asume que cada día se cosecha una cierta cantidad de biomasa. Ésta biomasa diaria cosechada pasa a ser procesada, en la que siendo el caso se seca y retira el material no comestible, por ejemplo: en el caso del arroz, primero se seca y luego

obtener una cierta cantidad de cáscara de arroz la cual puede ser quemada para la generación de energía eléctrica.

Se considera que el valle tiene un suministro eléctrico en media/alta tensión mediante líneas eléctricas que transportan la electricidad desde la respectiva red eléctrica nacional. Por lo tanto, para cada día se puede cuantificar la demanda del valle mediante dos formas: a) una curva de demanda característica uniformizada para cualquier día, o; b) una curva de demanda según el registro de lecturas eléctricas realizada por medidores dispuestos adecuadamente a lo largo y ancho del valle.

Sea el subíndice  $i$  el indicador del cultivo del cual se va a extraer biomasa para producción de energía eléctrica y es un número entero de valor creciente ( $i=1,2,3,\dots$ ) según la cantidad de cultivos que se pueden aprovechar para tal fin.

Bajo las premisas mencionadas, sea " $m_{i,k}$ " la cantidad de masa del cultivo  $i$  disponible por día  $k$  para ser aprovechado en la producción de energía eléctrica y que cuenta con un poder calorífico " $c_{p,i,k}$ " y una eficiencia de conversión en electricidad igual a " $\eta_{i,k}$ ". Entonces de  $m_{i,k}$  se puede obtener una determinada cantidad de energía eléctrica " $E_{i,k}$ " y que si es mayor a la energía demandada por día " $D_k$ ", habrá una cierta cantidad de biomasa que se guarda para que al día siguiente sea utilizado " $m_{j,k}$ ". La cantidad de energía que se libera desde cada tipo de biomasa por día " $E_{L,k}$ " se determina usando (1).

$$E_{L,k} = (m c_p \cdot \eta)_{i,k} \quad (1)$$

Los cultivos necesarios para obtener una biomasa  $m_i$  pueden ser planificados (considerando que a cada cultivo se hace la cosecha durante cierta cantidad de días del año), mientras que la demanda  $D_k$  tiene un comportamiento aleatorio.

Diferentes cultivos durante el año aportarán biomasa que será quemada para producir electricidad.

Nuestra unidad de medida de tiempo será el número de día del año representado por  $k$  que representa un dominio desde 1 hasta 365 días ( $1 \leq k \leq 365$ ) y que se incrementa en valores discretos (números enteros).

Una representación de la producción a lo largo del año de la biomasa  $i$  se expresa en (2) en donde " $Pa_i$ " es la evolución de la producción de biomasa durante cada día del año; " $p$ " es el número de período de cosecha de la biomasa  $i$ ; " $ap$ " es el número de día de inicio de la temporada de cosecha  $p$  de la biomasa  $i$ ; " $bp$ " es el número de día final de la temporada de cosecha  $p$  de la biomasa  $i$ ; " $m_{p,i,k}$ " es la producción de biomasa por día  $k$  dentro del período  $p$  para la biomasa  $i$ ; " $\prod_{ap}^{bp}(p,i)$ " es la función de ventana rectangular para cada período  $p$  definido en (3).

$$Pa_i = \sum_p \left[ m_{p,i,k} \prod_{ap}^{bp}(p,i) \right] \quad (2)$$

$$\prod_{ap}^{bp}(P,i) = \begin{cases} 0, & t < a, \\ 1, & a < t < b, \\ 0, & t > b \end{cases} \quad (3)$$

En un valle, el procesamiento de la biomasa por día se realiza según (4) por un determinado número de plantas de procesamiento " $n$ " en la que cada una, cada día, se abastece y procesa " $m_r$ " de la biomasa disponible en el valle para la generación de energía eléctrica, y es información que reporta cada planta de procesamiento.

$$m_i = \sum_{r=1}^n m_r \quad (4)$$

Cada valle es diferente. Habrá valles en los cuales las cosechas están definidas en determinadas semanas o meses del año y en otros valles (por ejemplo: en las zonas planas cerca al mar y en valles grandes de las montañas) en que la

producción de biomasa puede ser continua durante todo el año por las buenas condiciones ambientales que se presenten.

De manera similar  $D_k$  viene a ser la suma de las cargas residenciales, industriales y comerciales ubicadas en el valle. Datos se pueden obtener a partir de lecturas en las subestaciones de las redes primarias a cargo de las empresas de distribución eléctrica y hacer estimaciones de la curva de demanda de consumidores mediante varias técnicas, por ejemplo, según lo reportado por [32].

Las simulaciones se hacen según los siguientes criterios:

- a. La demanda a atender es del tipo residencial que tiene un comportamiento diario y mensual bastante conocido y estudiado como en [33];
- b. El cultivo a estudiar será el arroz, caña de azúcar
- c. En el caso del  $c_p$  de la cascarilla de arroz hay una gran diversidad de valores reportados entre poder calorífico superior e inferior: 15.61 y 15.58 MJ/kg [34], 13 a 14 MJ/kg [35], 13.731 MJ/kg [36], 12.552 a 17.28 MJ/kg [37], 12.924 MJ/kg [38], 13.24 – 14.22 MJ/kg [39], 15 MJ/kg [40]; por lo tanto, se considera que el arroz tiene un poder calorífico de entre 12.55 a 17.28 MJ/kg y que guarda sentido con la diversidad en el grado de humedad desde diferentes plantas de tratamiento de arroz.
- d. Para determinar la  $\eta$  se tiene que [37] menciona que el rendimiento del proceso de cogeneración mediante la gasificación de la biomasa residual es de un 60.95 %
- e. Todos los valores anteriores tendrán un comportamiento aleatorio uniformemente distribuido incluido  $D_k$  definido junto con  $Pa_i$  entre un valor mínimo y máximo.

*Análisis del entorno agrícola-energético considerado.*

En la Fig. 1, se puede visualizar que cada planta de procesamiento (PP) recibe la producción de cierta cantidad de productores agrícolas (AP) con la finalidad de procesar y acondicionar tanto para el principal fin de la biomasa como producto alimenticio, de uso industrial o similar, así como, el de brindar lo sobrante en condiciones adecuadas para ser enviado a la planta de generación de energía eléctrica (PG). La suma de los aportes individuales de las PP hace el total la cantidad de biomasa definido con (4).

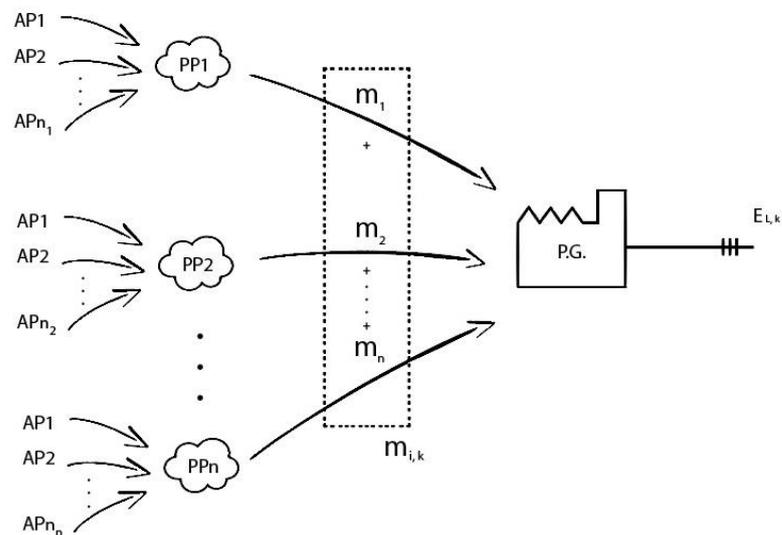


Figura 4.05. Diagrama de secuencia de tránsito de biomasa a través del modelo agrícola energético.

*Sub-escenario 1: Producción permanente durante el año.*

En la Costa Norte del Perú (al igual de otros lugares similares) se presentan condiciones ambientales para la siembra de arroz durante todo el año, con ligera disminución durante algunos meses considerados con un clima de menor temperatura. Éste clima es característico debido a su ubicación cerca de la línea ecuatorial. Se ha considerado una demanda a atender y dos PP.

Las Ec. (5,6) corresponden a la demanda por día y el poder calorífico respectivamente y las (7) y (8) es la biomasa disponible para generar de electricidad que aporta cada PP. El comando rand en las Ec. (5-8) genera números aleatorios uniformemente distribuidos entre 0 y 1. Las simulaciones se han programado y simulado usando el software de alto nivel Matlab de MathWorks Inc. [42].

$$D_k = 10000 + 2000 \times \text{rand}(1,365) \quad (5)$$

$$c_{p,k} = 12.55 + (17.28 - 12.55) \times \text{rand}(1,365) \quad (6)$$

$$m_{k,1} = 500 + 100 \times \text{rand}(1,365) \quad (7)$$

$$m_{k,2} = 500 + 200 \times \text{rand}(1,365) \quad (8)$$

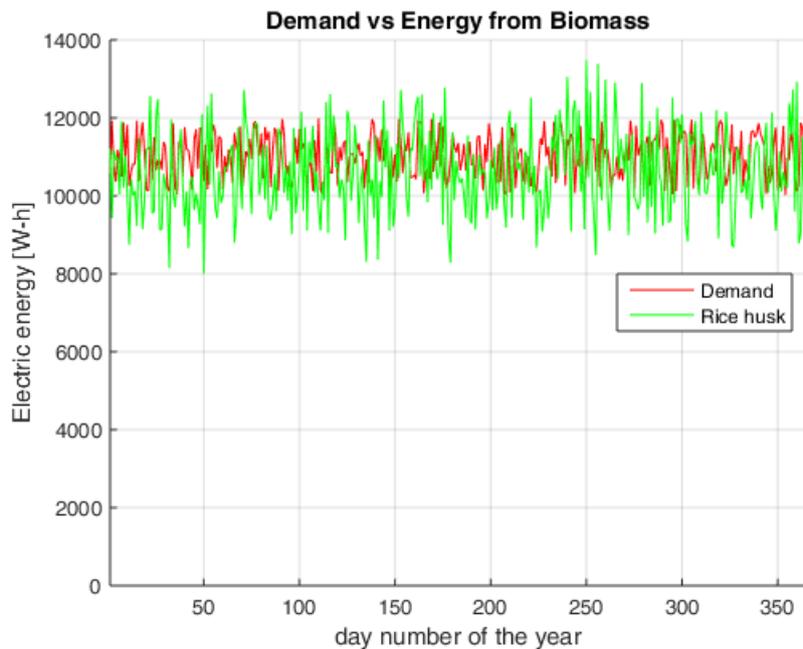


Figura 4.06. Diagrama de secuencia de tránsito de biomasa a través del modelo agrícola energético.

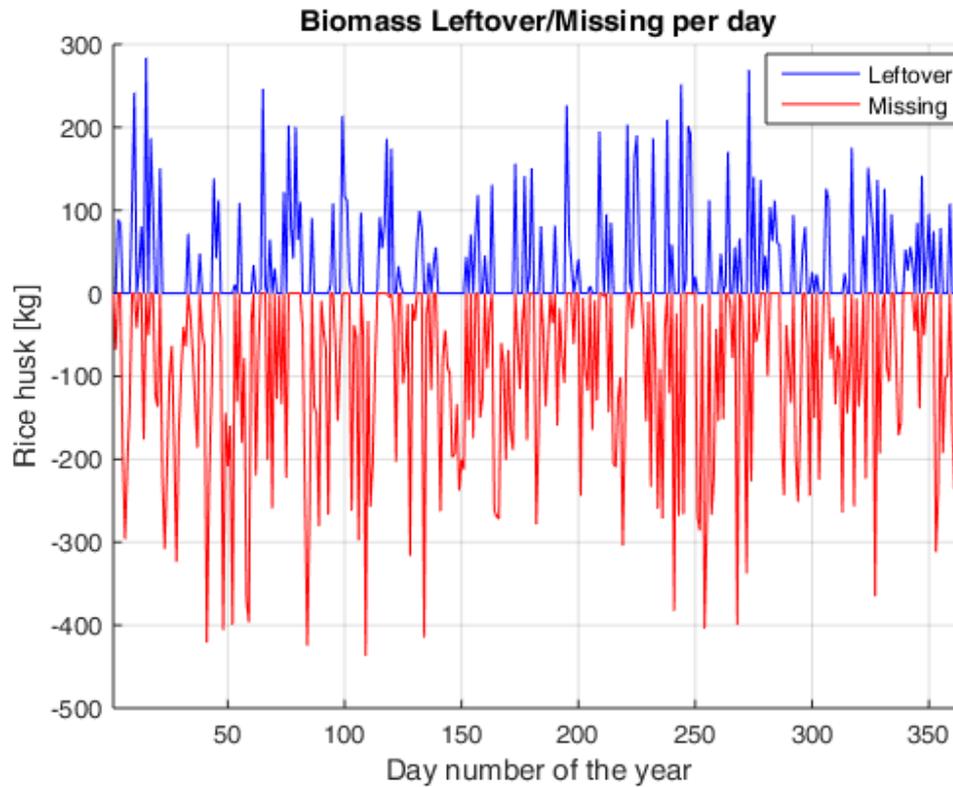


Figura 4.07. Diagrama de secuencia de tránsito de biomasa a través del modelo agrícola energético.

Las Fig. 4.02, muestra en cada día la energía solicitada por la demanda y la energía eléctrica generada a partir de la biomasa. En la Fig. 4.03, muestra la biomasa (cascarilla de arroz) faltante para abastecer a la demanda y la sobrante por día; en ambos casos sirve para la planificar su almacenamiento a fin de disponerlo en los días venideros en que existe biomasa faltante para abastecer la demanda  $D_k$ .

*Sub-escenario 2: Producción permanente durante 90 días.*

En el presente sub-escenario 2 se ha considerado un tiempo de análisis de 90 días, para poder representar mejor en gráficas lo propuesto en la presente tesis y detallar el cálculo implementado.

Se considera ahora que el funcionamiento del sistema energético se basa en el siguiente modelo matemático.

$$dias = 90 \quad (5)$$

$$D_k = 10000 + 2000 \times rand(1, dias) \quad (5)$$

$$c_{p,k} = 12.55 + (17.28 - 12.55) \times rand(1, dias) \quad (6)$$

$$m_{k,1} = 500 + 100 \times rand(1, dias) \quad (7)$$

$$m_{k,2} = 500 + 200 \times rand(1, dias) \quad (8)$$

En donde  $m_{k,1}$  es la biomasa de arroz aportada por la planta de procesamiento número 1 durante el funcionamiento de la generación eléctrica por biomasa y que para el arranque (primer día  $k = 1$ ) se tiene una biomasa inicial de 500 kg (éste valor se puede modificar según las necesidades del estudio o del lugar de implementación a estudiar).

Con ello se tiene que el aporte de biomasa por cada día  $k$  a la generación de electricidad es igual a:

$$m_k = m_{k,1} + m_{k,2} \quad (5)$$

Y la energía eléctrica obtenida por combustión de la biomasa de arroz  $T_k$  por día  $k$  es:

$$T_k = m_k \times c_{p,k} \times eff \quad (5)$$

Dónde:  $eff$  es la eficiencia de conversión de la energía química contenida en la biomasa en energía eléctrica y para efectos del presente modelo se ha considerado 0.6096; lo cual genera un escenario de simulación como se muestra en la Fig.

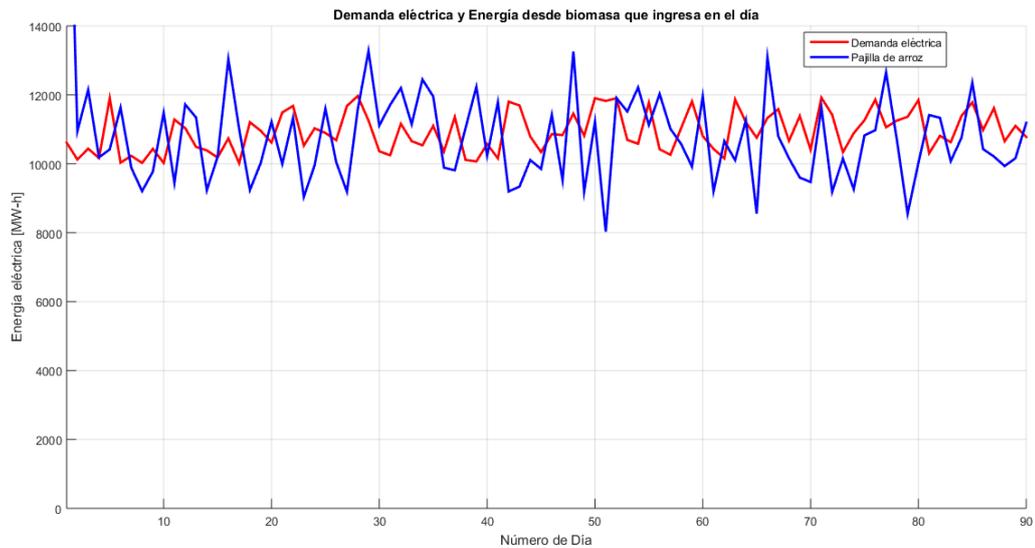


Figura 4.08. Diagrama de demanda eléctrica vs energía eléctrica obtenida desde biomasa.

Como se aprecia en la Fig. 4.02, hay días en que hay más biomasa que la necesaria para abastecer la demanda eléctrica, ésta biomasa de arroz excedente se puede almacenar y tener disponible para otros días en que haya déficit de biomasa. Éste exceso sobrante también se ha calculado mediante las ecuaciones y un ejemplo de la cantidad sobrante/faltante se puede visualizar en la Fig.4.08.

$$m_{j,k}, m_{f,k} = \frac{(T_k - D_k)}{eff \times c_{p,k}} \quad (5)$$

Donde  $m_{j,k}$  es la biomasa sobrante cada día  $k$  de la planta generadora de electricidad (que no ha sido quemada);  $m_{f,k}$  es la biomasa faltante cada día  $k$  en la planta generadora de electricidad para abastecer a la demanda diaria  $D_k$ . Como se puede apreciar es la misma ecuación.

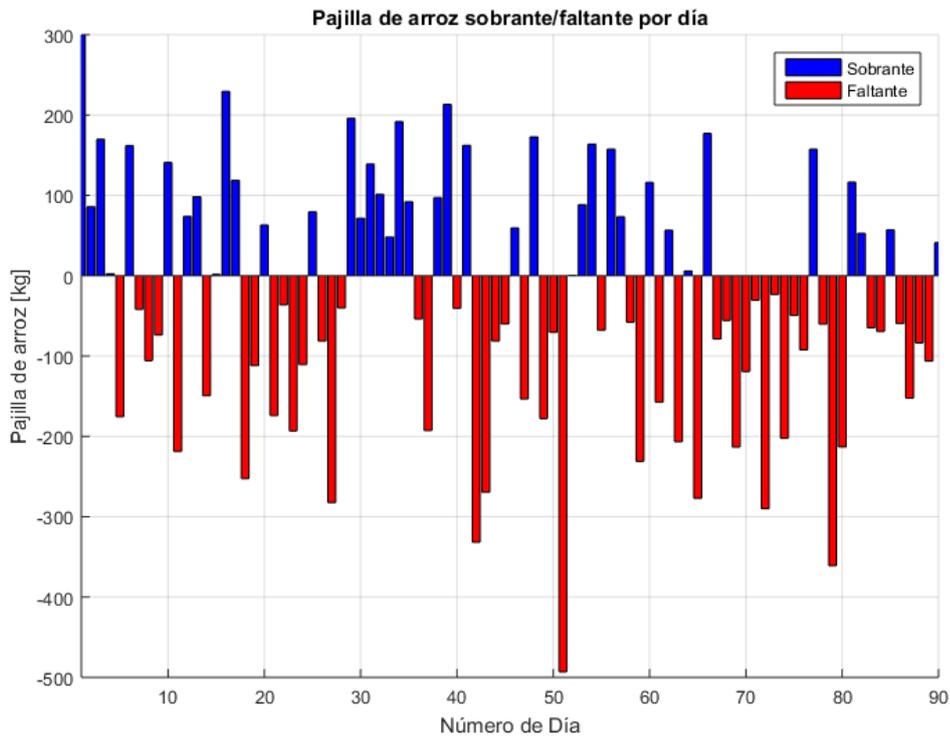


Figura 4.09. Biomasa sobrante y/o faltante que se produce cada día durante el funcionamiento de la planta generadora de electricidad.

La biomasa sobrante  $m_j$  se acumula (almacena) constituyendo una biomasa almacenada  $b_s$  para ser usada en el siguiente día o en los siguientes días, en los que a la vez hay que atender la demanda eléctrica de las cargas  $D_k$  y también ingresa nueva biomasa  $m_k$  proveniente de las plantas de almacenamiento; por lo tanto, la biomasa almacenada  $b_s$  es a la vez reducida en su cantidad para atender a la demanda  $D_k$  y compensada por nueva biomasa proveniente desde las plantas de procesamiento de biomasa  $m_k$ , y se puede expresar mediante la Ec.

$$b_{s,k} = b_{s,k-1} + m_{j,k} - m_{f,k} \quad (5)$$

Donde  $b_{s,k}$  es la biomasa almacenada en el día actual  $k$ ;  $b_{s,k-1}$  es la biomasa almacenada en el día anterior al día actual  $k$ , es decir, en el día  $k-1$ . Tanto la masa sobrante  $m_j$  y la masa faltante  $m_f$ , suma o resta en función a lo que se vaya

presentando cada día en atender la demanda  $D_k$ , lo cual en durante el funcionamiento de la planta generadora de electricidad se presenta una evolución de la biomasa almacenada  $b_s$  como se presenta en la Fig.

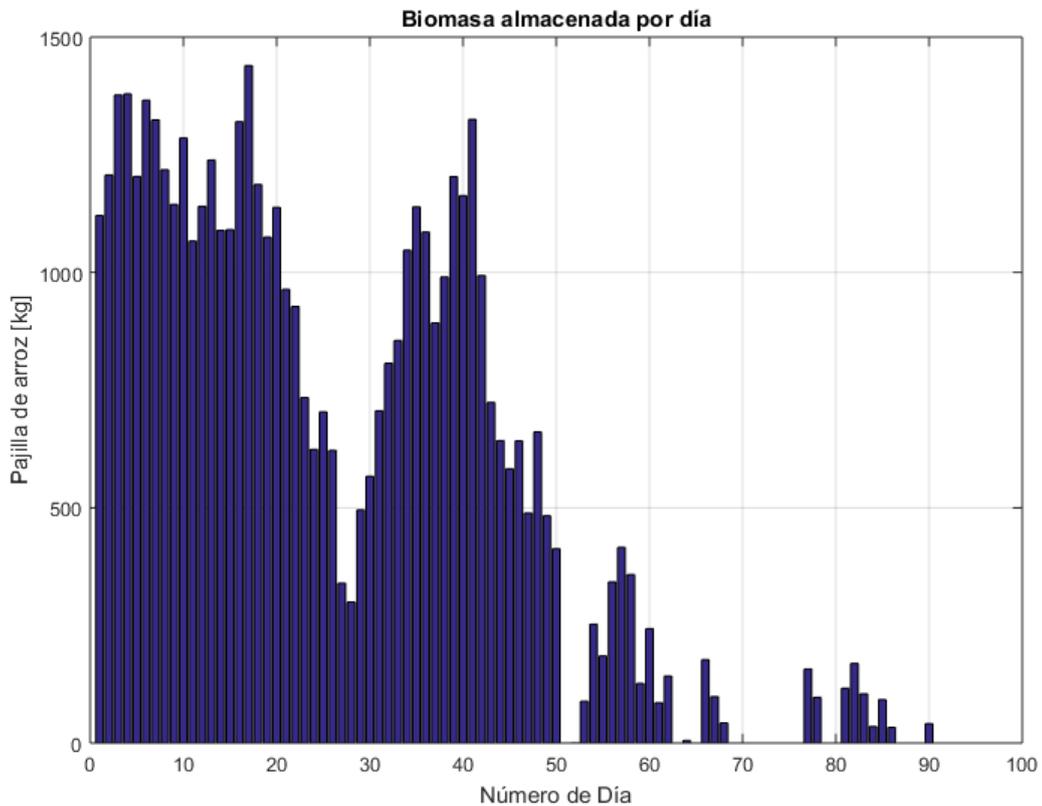


Figura 4.10. Evolución de la biomasa almacenada por día durante el funcionamiento de la planta generadora de electricidad.

Debido a que la biomasa se cosecha durante determinado período de tiempo, se da el escenario que durante la operación de la planta generadora de electricidad se pueda presentar la falta de biomasa necesaria para operar. Esto es posible determinarlo según los hábitos de consumo de energía del lugar de implementación y que permitiría planificar la siembra de biomasa (incrementar la siembra de biomasa) para poder obtener el material necesario en cantidad para la generación de electricidad.

En la Fig. 4.10, se puede apreciar los días en que se presenta un déficit permanente de biomasa en la planta de generación de electricidad y en la Fig.

4.11, se puede visualizar el acumulado de biomasa que es necesario producir de manera extra para poder abastecer los requerimientos de la demanda.

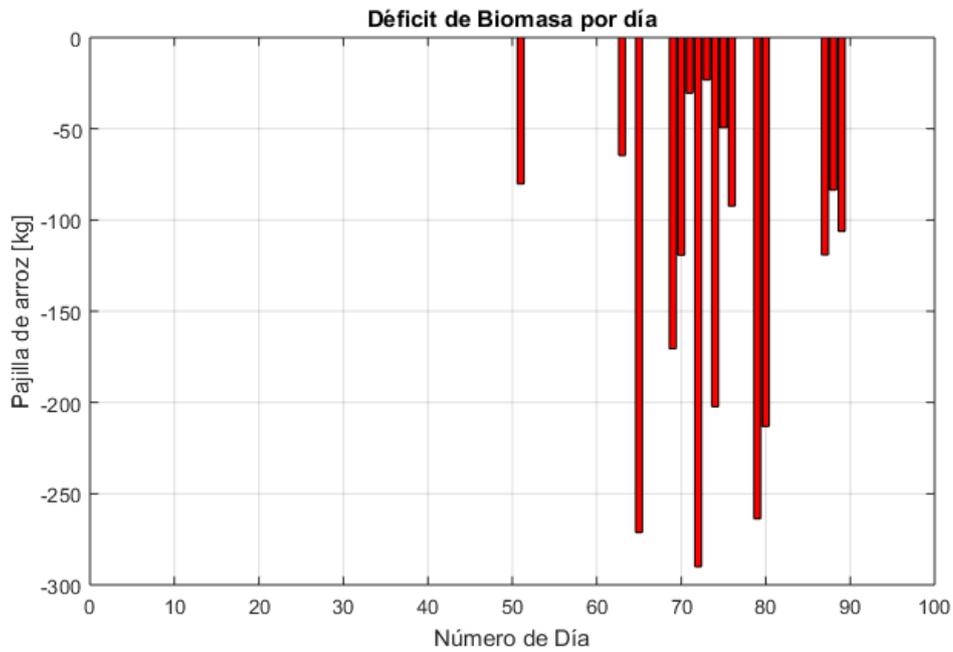


Figura 4.11. Días en que se presenta déficit permanente de biomasa el funcionamiento de la planta generadora de electricidad.

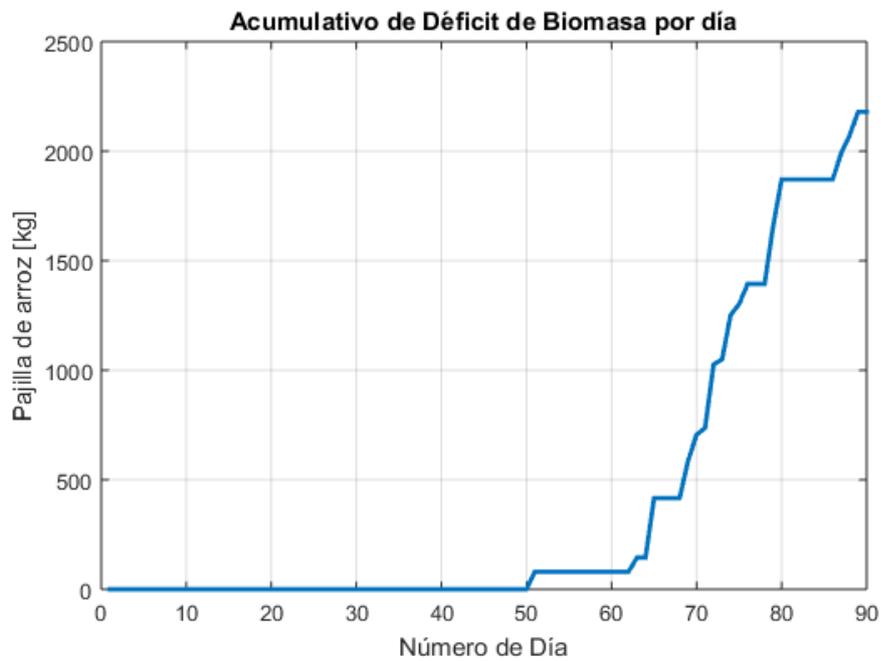


Figura 4.12. Acumulativo de biomasa durante período de estudio que es necesario producir de manera extra.

De esta manera, se realiza una planificación del entorno valle con los diferentes actores: productores de biomasa, empresa distribuidora de electricidad, planta generadora de electricidad por biomasa y cargas eléctricas, con la finalidad de hacer una gestión eficiente del valle permitiendo la atención de la demanda energética mediante el uso de biomasa producida por el valle y planificando a futuro la producción extra de biomasa si es necesaria (ver Fig.). Una de las premisas que consideramos sea el más factible de que sea realizable es que la misma empresa de distribución de electricidad tome a cargo la implementación de la planta generadora de biomasa y la considere como una fuente de energía bajo el concepto de generación distribuida.

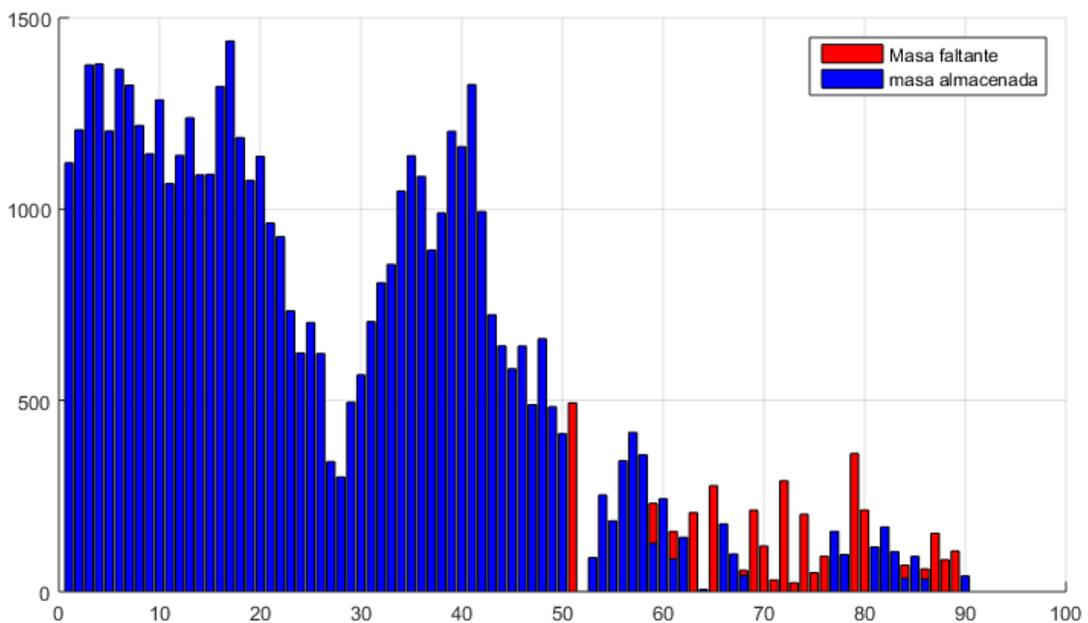


Figura 4.13. Evolución de la biomasa almacenada y faltante en la planta generadora de electricidad del Valle Eficiente.

#### 4.6. Operación Eficiente del Valle: Escenario 2.

La figura 4.5 muestra una posible solución al problema de diseño óptimo. Suponiendo que fuese la solución óptima (costo económico global mínimo), representaría el conjunto de centros de generación, tramos de líneas y

subestaciones óptimas (localización y tamaño óptimos de centros de generación, tramos de líneas y subestaciones para el problema de diseño óptimo descrito).

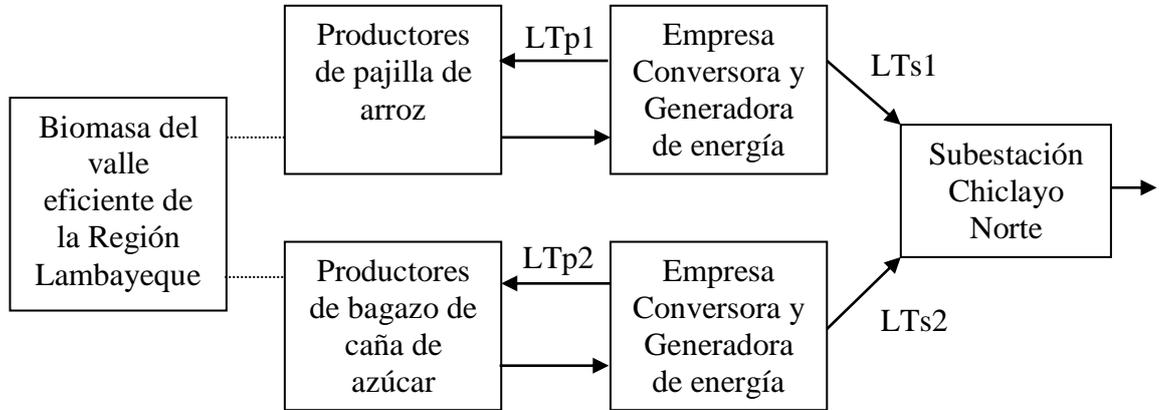


Figura 4.14. Diagrama general del modelo. Elaboración Propia.

#### 4.7. Análisis Financiero y Rentabilidad del Proyecto.

ANÁLISIS FINANCIERO Y DE LA RENTABILIDAD DEL PROYECTO

Tasa de Interés Anual	12.0%
Meses Pago	48.00
Importe Préstamo	-\$71,347,500.00
<b>CUOTA MENSUAL</b>	S/ 1,878,853.32
<b>CUOTA ANUAL</b>	S/ 22,546,239.88
<b>FONDOS GENERADOS</b>	S/ -

EQUIPOS	VIDA UTIL (años)	CANTIDAD	C. UNIT.	C. TOTAL	DEPRECIACIÓN
Central Generadora	20	2	\$27,500,000.00	\$55,000,000.00	\$2,750,000.00
Subestación	20	2	\$2,500,000.00	\$5,000,000.00	\$250,000.00
Subestación Repot.	20	1	\$6,000,000.00	\$6,000,000.00	\$300,000.00
Alimentadores	20	1	\$1,950,000.00	\$1,950,000.00	\$97,500.00
Operación \$ Mtto.	20	1	\$3,397,500.00	\$3,397,500.00	\$169,875.00
					\$71,347,500.00
					<b>\$3,567,375.00</b>

	Año 00	Año 01	Año 02	Año 03	Año 04	Año 05	Año 06	Año 07	Año 08	Año 09
Inversión en el Periodo T	\$71,347,500.00									
<b>INGRESOS</b>										
Fondos Generados		\$25,961,255.30	\$25,961,255.30	\$25,961,255.30	\$25,961,255.30	\$25,961,255.30	\$25,961,255.30	\$25,961,255.30	\$25,961,255.30	\$25,961,255.30
Anualidad Préstamo		\$22,546,239.88	\$22,546,239.88	\$22,546,239.88	\$22,546,239.88	\$22,546,239.88	\$22,546,239.88	\$22,546,239.88	\$22,546,239.88	\$22,546,239.88
<b>DEPRECIACIÓN DE EQUIPOS</b>										
Depreciación de Equipos		\$3,567,375.00	\$3,567,375.00	\$3,567,375.00	\$3,567,375.00	\$3,567,375.00	\$3,567,375.00	\$3,567,375.00	\$3,567,375.00	\$3,567,375.00
<b>EGRESOS</b>										
Central Generadora		\$2,750,000.00	\$2,750,000.00	\$2,750,000.00	\$2,750,000.00	\$2,750,000.00	\$2,750,000.00	\$2,750,000.00	\$2,750,000.00	\$2,750,000.00
Subestación		\$250,000.00	\$250,000.00	\$250,000.00	\$250,000.00	\$250,000.00	\$250,000.00	\$250,000.00	\$250,000.00	\$250,000.00
Subestación Repot.		\$300,000.00	\$300,000.00	\$300,000.00	\$300,000.00	\$300,000.00	\$300,000.00	\$300,000.00	\$300,000.00	\$300,000.00
Alimentadores		\$97,500.00	\$97,500.00	\$97,500.00	\$97,500.00	\$97,500.00	\$97,500.00	\$97,500.00	\$97,500.00	\$97,500.00
Operación \$ Mtto.		\$169,875.00	\$169,875.00	\$169,875.00	\$169,875.00	\$169,875.00	\$169,875.00	\$169,875.00	\$169,875.00	\$169,875.00
<b>Flujo de Efectivo Neto</b>		<b>-\$252,359.59</b>	<b>-\$252,359.59</b>	<b>-\$252,359.59</b>	<b>-\$252,359.59</b>	<b>\$22,293,880.30</b>	<b>\$22,293,880.30</b>	<b>\$22,293,880.30</b>	<b>\$22,293,880.30</b>	<b>\$22,293,880.30</b>

Figura 4.15. Análisis Financiero del Proyecto

	<b>-\$71,347,500.00</b>
AÑO 01	-\$252,359.59
AÑO 02	-\$252,359.59
AÑO 03	-\$252,359.59
AÑO 04	-\$252,359.59
AÑO 05	\$22,293,880.30
AÑO 06	\$22,293,880.30
AÑO 07	\$22,293,880.30
AÑO 08	\$22,293,880.30
AÑO 09	\$22,293,880.30
AÑO 10	\$22,463,755.30
AÑO 11	\$22,293,880.30
AÑO 12	\$22,293,880.30
AÑO 13	\$22,293,880.30
AÑO 14	\$22,293,880.30
AÑO 15	\$22,293,880.30
AÑO 16	\$22,293,880.30
AÑO 17	\$22,293,880.30
AÑO 18	\$22,293,880.30
AÑO 19	\$22,293,880.30
AÑO 20	\$22,293,880.30
n Años	20
T. de Descuento	12.0%

Tasa de Descuento	VAN
0%	\$284,515,021.41
4%	\$149,907,881.72
8%	\$72,939,781.78
12%	\$26,749,270.27
16%	<b>\$2,220,574.71</b>
20%	<b>\$21,124,467.12</b>
24%	<b>\$33,901,559.82</b>
28%	<b>\$42,808,759.11</b>
32%	<b>\$49,188,162.96</b>
36%	<b>\$53,865,862.96</b>

Indicadores Economicos	Sistema Fotovoltaico
T. de Descuento	12.0%
VAN	\$26,749,270.27
TIR	16%

Figura 4.16. VAN y TIR, Resultado de Inversión

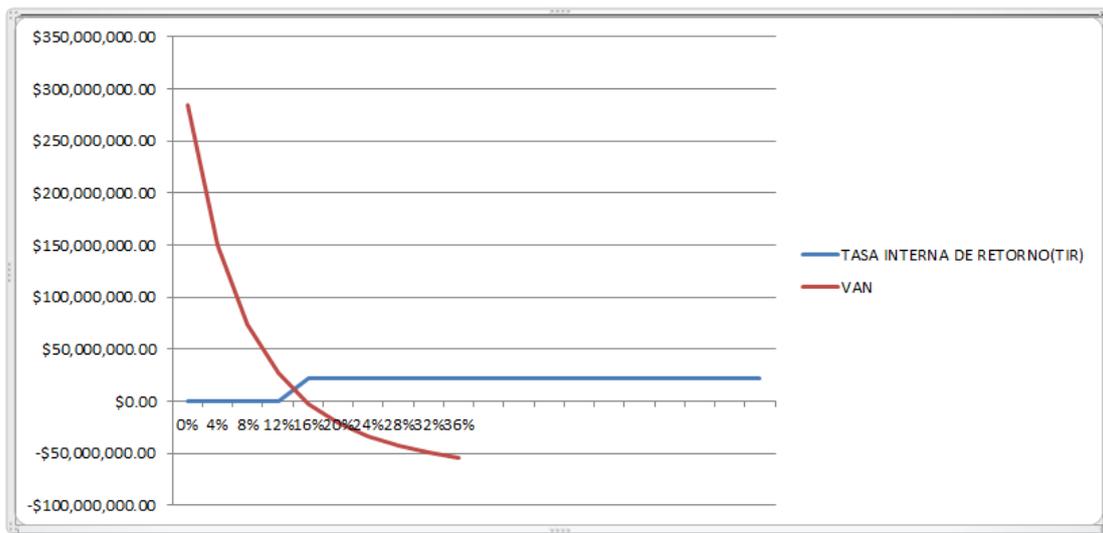


Figura 4.17. Gráfico VAN y TIR, Resultado de Inversión

Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20
\$25,861,255.30	\$25,861,255.30	\$25,861,255.30	\$25,861,255.30	\$25,861,255.30	\$25,861,255.30	\$25,861,255.30	\$25,861,255.30	\$25,861,255.30	\$25,861,255.30	\$25,861,255.30
<b>\$3,397,500.00</b>	<b>\$3,567,375.00</b>									
\$2,750,000.00	\$2,750,000.00	\$2,750,000.00	\$2,750,000.00	\$2,750,000.00	\$2,750,000.00	\$2,750,000.00	\$2,750,000.00	\$2,750,000.00	\$2,750,000.00	\$2,750,000.00
\$250,000.00	\$250,000.00	\$250,000.00	\$250,000.00	\$250,000.00	\$250,000.00	\$250,000.00	\$250,000.00	\$250,000.00	\$250,000.00	\$250,000.00
\$300,000.00	\$300,000.00	\$300,000.00	\$300,000.00	\$300,000.00	\$300,000.00	\$300,000.00	\$300,000.00	\$300,000.00	\$300,000.00	\$300,000.00
\$97,500.00	\$97,500.00	\$97,500.00	\$97,500.00	\$97,500.00	\$97,500.00	\$97,500.00	\$97,500.00	\$97,500.00	\$97,500.00	\$97,500.00
\$169,875.00	\$169,875.00	\$169,875.00	\$169,875.00	\$169,875.00	\$169,875.00	\$169,875.00	\$169,875.00	\$169,875.00	\$169,875.00	\$169,875.00
<b>\$22,463,755.30</b>	<b>\$22,293,880.30</b>									

Figura 4.18. Continuación Análisis Financiero del Proyecto

## **CAPÍTULO V**

### **“CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES”**

#### **5.1. Conclusiones.**

- a. Se ha realizado el diseño de un modelo matemático para contribución potencial de biomasa para generación de vapor y electricidad y su aporte al Sistema de Distribución de Energía Eléctrica que contribuye al Suministro de Energía para atender la demanda y Matriz Energética Regional.
- b. Se ha determinado y cuantificado que los principales tipos de biomasa que Contribuyen como combustibles a la generación de vapor y de electricidad en un Sistema de Cogeneración para la Región Lambayeque, como la Pajilla de arroz y el bagazo de la caña de azúcar, tal como se muestra en las tablas correspondientes.
- c. Se ha cuantificado el uso de los subproductos de los procesos agroindustriales de la biomasa Regional, en el periodo de un año.
- d. Se ha determinado y utilizado los valores mínimos del poder calorífico para los diferentes productos de Biomasa, considerando la diversidad de estudios y fuentes de información, sobre el poder energético de cada combustible.
- e. Se ha elaborado el modelo matemático, considerando las variables de Decisión, optimización de funciones objetivo y las restricciones que dan como resultado un Sistema de Cogeneración para la generación de Vapor y Energía Eléctrica a partir del uso de la biomasa del valle eficiente de la Región Lambayeque.
- f. Se logró implementar un balance de energía y potencia del valle en estudio.

- g. Se ha propuesto Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica interconectados con las Redes Eléctricas existentes y se ha analizado la inserción de la energía producida usando el combustible primario de la pajilla del arroz y el bagazo de la caña de azúcar producto de la biomasa al Sistema de Distribución y se cuantifica su contribución a la Matriz Energética Regional.
- h. Se determina la Viabilidad del Proyecto en concordancia con el Análisis Financiero y Rentabilidad, que se adjunta en los cuadros correspondientes.

## **5.2. Recomendaciones.**

- a. Se recomienda la creación de un Observatorio Energético Regional de Lambayeque en donde se observa en tiempo real (o en la medida de tiempo posible según fuente de energía) de las cantidades en energía según fuente, tanto en generación, energía primaria, consumo, según tipo de carga eléctrica, etc.
- b. Que otros investigadores puedan continuar el desarrollo de modelos matemáticos para la generación, distribución de energía eléctrica para beneficio de la Región Lambayeque.
- c. Extender ésta temática para su aplicación en otras regiones del Perú con los cultivos que sean predominantes en dicha región como: maíz, palta, limón, papa, etc.
- d. Recomendar a quienes realizan su doctorado en elaborar su tesis bajo la premisa de que a medida que se va redactando se va elaborando artículos científicos que sean publicados en eventos académicos de prestigio de tal manera que sean luego ingresados, puestos y visualizados en la plataforma Scopus.
- e. Se recomienda que haya mesas de trabajo entre autoridades y empresas para que la tecnología de la biomasa forme parte importante de la Matriz Energética de la

Región Lambayeque, pues la tenemos en cantidad suficiente y además va a contribuir a la lucha contra el cambio climático.

- f. Animar a las demás instituciones académicas de educación superior técnica y universitaria, a que estudien con más interés a la biomasa sea como propuesta de fin de carrera, proyecto de investigación, tesis, proyecto de implementación, etc. dado que es un recurso que tiene potencial, y la modernidad del mundo obliga a generar Energía con un horizonte del 2040, en cubrir el 80% de la demanda mundial con el uso de Energías Renovables.
- g. La capacidad computacional necesaria para desarrollar modelos cada vez más complejos sugiere la implementación de un centro de simulación numérica para el desarrollo de ésta temática y afines, cuya capacidad vaya incrementándose a medida que se vaya incrementando progresivamente el desarrollo y complejidad de las simulaciones del modelo matemático de los diversos escenarios.
- h. Dado que ésta temática es actual se recomienda a los que desean continuar éstas investigaciones a que participen de proyectos internacionales de colaboración académica y/o de investigación o iniciarlos para fortalecer la experticia, cooperación académica, conocimientos y generar de esta manera una producción académica y científica actualizada en base a tesis, publicaciones y/u otros productos académicos.
- i. Los interesados pueden continuar la investigación utilizando técnicas de optimización tales como Algoritmos Evolutivos, Búsqueda Tabú, Técnicas metaheurísticas de optimización, entre otros y plantear nuevos escenarios, formas de manejo del flujo de Biomasa para generación de Energía del valle eficiente.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Estela Assureira, Combustible alternativo: la cascarilla de arroz. Profesora principal del departamento de Ingeniería de la PUCP
- [2] Batacharya, S.C., Sett, S., Sherestha, R.M. State of the Art of Biomass Densification. New York: Taylor and Francis, 1989.
- [3] Castells, X. (2012). *Biomasa y Bioenergía*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
- [4] Días Dos Santos, Paulo. Tecnología para la obtención de Bloques Solidos Combustibles (BSC) en condiciones locales
- [5] Domínguez J., Gonzáles Valdez, M., Muñoz Hernández, G. Una estrategia para optimizar el Proceso de Densificación Mecánica De residuos Agrícolas y Agroindustriales. Agrociencia Cuba. 2012
- [6] Echeveria, M., & López, O. (2010). Caracterización energética de la cascarilla de arroz para su aplicación en la generación de energía termoeléctrica
- [7] Fernández, J. (2010). Biomasa. Energías renovables para todos.
- [8] Grover, P., & Mishra, S. (1996). Biomass briquetting: Technology and Practices. Bangkok.
- [9] Kaķītis, A., Nulle, I., & Ancāns, D. (2011). “Mechanical properties of composite biomass briquettes”. Rēzekne.
- [10] Lozano, W. (2011). Determinación del número mínimo de observaciones en investigación. Revista de didáctica ambiental.
- [11] Marcos, F. (n.d.). Pellets y Briquetas. Ecología, 57.

- [12] Mary, V. (2011). Cilindro de Pared Gruesa. Mérida, Venezuela.
- [13] Meyers, F. (2000). Estudio de tiempos y movimientos para la manufactura ágil. México
- [14] Sun et al: «Optimal Distribution Substation and Primary Feeder Via the Fixed Charge Network Formulation», IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-100, No. 5.
- [15] Ponnavaiko et al.: «Distribution System Planning Trough Mixed Integer Programming Approach», IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. PWRD-2, No. 4, pp1157-1163.
- [16] Kagan, N., Adams, and R.N.: «A Benders Descomposition Approach to the Multiobjetive Distribution Planning Problem» Internacional Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol. 15, No. 5 pp259-271.
- [17] Ramirez-Rosado, I.J., Bernal-Agustín, J.L.: «Genetic Algorithms Applied to the Design of Large Power Distribution Systems», IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 13 No. 2, pp696-703, 1998.
- [18] Bazán, F.A., Mantovani, J.R.S., Romero, R.A.: «Planeamiento de Expansión de Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica Usando un Algoritmo de Búsqueda Tabú», XIV Congreso Brasileño de Automatización, Natal-Brasil, Septiembre 2002.
- [19] Almeida, M.S., Mantovani, J.R.S., Romero, R.A.: «Colocación Óptima de Subestaciones y Alimentadores en Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica Usando un Algoritmo de Branch and Bound», XIV Congreso Brasileño de Automatización, Natal-Brasil, Septiembre 2002.
- [20] Estudio de la influencia del porcentaje de arcilla en la calidad de las briquetas de hojas de caña de azúcar mediante ensayos físicos y térmicos, tesis JAN BRAULIO VICENTE VARGAS, asesor Mg. Estela Assureira Espinoza. PUCP.
- [21] A. Bridgwater. Thermal biomass conversion and utilization – Biomass information system. European Commission – Agro-Industrial Research Division. 1996

- [22] Tilman J. Schildhauer, Serge M. A. Biollaz. Synthetic Natural Gas: From Coal, Dry Biomass and Power-to-Gas Applications. John Wiley and Sons, Inc. 2016
- [23] Wilfred A. Côté. Biomass Utilization. Springer Science + Business Media, LCC. 1983. ISBN 978—4757-0835-6
- [24] Hubert E. Stassen. Small-Scale Biomass Gasifiers for Heat and Power. World Bank Technical Paper Number 296. 1995. ISSN: 0253-7494.
- [25] Wim van Swaaij, Sascha Kersten, Wolfgang Palz. Transformations to Effective Use Biomass Power for the World. CRC Press – Taylor & Francis Group. 2015. ISBN-13: 978-981-4613-89-7
- [26] Mark Crocker. Thermochemical Conversion of Biomass to Liquid Fuels and Chemicals. RSC Publishing. 2010. ISBN: 978-1-84973-035-8.
- [27] Najib Altawell. The Selection Process of Biomass Materials for the Production of Bio-fuels and Co-firing. IEEE Press and John Wiley & Sons, Inc. 2014. ISBN 978-1-118-54266-8.
- [28] Alejandro Sánchez Lario. “Diseño de una planta de gasificación con cogeneración para el aprovechamiento energético de la cascarilla de arroz en un proceso industrial”. Doctoral Thesys. Universidad Politécnica de Madrid. Junio 2017
- [29] United Nations 2015. Paris Agreement, United Nations Framework Convention on Climate Change, París, France. December 2015. Available in [https://unfccc.int/sites/default/files/english\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf). 2015.
- [30] International Energy Agency IEA. “Energy Technology Perspectives 2016 – Towards Sustainable Urban Energy Systems”. Available in <https://webstore.iea.org/energy-technology-perspectives-2016>

- [31] Zhemukhov, R. S., Zhemukhova, M. M., Bechelova, A. R., Isakova, M. M., & Ezaova, A. G. (2017). Modeling of crop productivity of agricultural crops with climate change at regional level and issues of disposal of pollutants with irrigated land. 2017 International Conference “Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies” (IT&QM&IS). DOI: 10.1109/ITMQIS.2017.8085897
- [32] Luis Alfonso Gallego, Aislan Francisqueni, Oscar Gómez Carmona, Antonio Padilha Fertrin. “Estimación de curvas de demanda de consumidores, transformadores de distribución y alimentadores primarios en sistemas de distribución”. Scientia et Technica Año XIII, No 35, Agosto de 2007. Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN 0122-1701.
- [33] Asmarashid Ponniran, Erwan Sulaiman, Siti Amely Jumaat, et.al. “A study on electric energy usage at the residential area”. EnCon 2007 – 1<sup>st</sup> Engineering Conference on Energy & Environment. Kiching, Sarawak, Malasya
- [34] Hugo Alfredo Torres Muro. “Evaluación de impacto ambiental producido por uso de cocinas tradicionales en el Área de Conservación Regional Vilacota - Maure”. Tesis para optar el Grado de Maestro en Ciencias con mención en Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna, Perú. 2011
- [35] Carlos Andrés Forero Núñez, Carlos Alberto Guerrero Fajardo, Fabio Emiro Sierra Vargas. “Producción y uso de pellets de biomasa para la generación de energía térmica: una revisión a los modelos del proceso de gasificación”. ITECKNE Vol. 9 Número 1 • ISSN 1692 - 1798 • Julio 2012 • 21 – 30.
- [36] Freddy Roger Aguirre Castrejón, Néstor Yim Costilla Ventura. “Propuesta de una briqueta ecológica utilizando cascarrilla y polvillo de arroz”. Tesis para obtener el Título de Ingeniero Industrial. Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI. Trujillo, Perú. 2017.

- [37] Alejandro Sánchez Lario. “Diseño de una planta de gasificación con cogeneración para el aprovechamiento energético de la cascarilla de arroz en un proceso industrial”. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España. 2017
- [38] Sergio Junior Quintana Taboada, José Elar Salazar Chafloque. “Diseño de una minicentral termoeléctrica de 5 kW utilizando cascarilla de arroz como combustible en el Caserío de Miraflores – Monsefú del Departamento de Lambayeque”. Tesis para optar el Título de Ingeniero Mecánico Electricista. Universidad Señor de Sipán. Lambayeque, Perú. 2017.
- [39] Agustín Valverde G., Bienvenido Sarria L., José P. Montenegro Y. “Análisis comparativo de las características físico químicas de la cascarilla de arroz”. Scientia et Technica Año XIII, No 37, Diciembre de 2007. Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN 0122-1701.
- [40] Manuel Antonio Echeverría Cruz, Orlando Antonio López Mena. “Caracterización energética de la cascarilla de arroz para su aplicación en la generación de energía termoeléctrica”. Tesis para optar el Título de Ingeniero Mecánico. Escuela Politécnica Nacional. Quito. Ecuador. 2010.
- [41] Jorge Mírez, Segundo Horna, Daniel Carranza. “A mathematical model of SmartValley for estimation of contribution of biomass to the electrical generation”. 2019 IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing (ROPEC). **DOI:** [10.1109/ROPEC48299.2019.9057045](https://doi.org/10.1109/ROPEC48299.2019.9057045)
- [42] MathWorks. Inc. “Matlab/Simulink”. Disponible en: <https://la.mathworks.com/>
- [43] Wikipedia. “Departamento de Lambayeque”. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Departamento\\_de\\_Lambayeque](https://es.wikipedia.org/wiki/Departamento_de_Lambayeque)
- [44] Congreso de la República del Perú. “Conociendo la Región Lambayeque”. Disponible en: [http://www2.congreso.gob.pe/Sicr/Congresistas/2001/0311/si05des\\_0311.nsf/34069c3bb71c123b05256f470062fea7/BED2F5C1C25EEBC0052570F10079FBF1/\\$FILE/conocemiregion.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/Sicr/Congresistas/2001/0311/si05des_0311.nsf/34069c3bb71c123b05256f470062fea7/BED2F5C1C25EEBC0052570F10079FBF1/$FILE/conocemiregion.pdf)

- [45] Instituto Geofísico del Perú. “Chiclayo”. Disponible en <http://www.met.igp.gob.pe/clima/HTML/chiclayo.html>
- [46] Ministerio de Agricultura y Riego, «Ministerio de Agricultura y Riego,» [En línea]. Available: <http://www.minagri.gob.pe/portal/sectoragrario/agricola/cultivos-de-importancia-nacional/azúcar>. [Último acceso: 24 Noviembre 2014].
- [47] Ministerio de Energía y Minas del Perú. “Balance de Energía 2017”. Disponible en [www.minem.gob.pe](http://www.minem.gob.pe)
- [48] OSINERGMIN. “Energías Renovables”. 2016.
- [49] ENSA. “Memoria Anual ENSA”. Documento Interno de Trabajo.
- [50] «Programas y Actividades de Educación Ambiental,» [En línea]. Available: <http://comunidad.eduambiental.org/file.php/1/curso/contenidos/docpdf/capitulo18.pdf>. [Último acceso: Abril 2014].
- [51] Agencia Internacional de Energía. <http://www.iea.org>
- [52] Cossi A. M., Planejamento de redes de distribuição de energia elétrica de média e baixa tensão. Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica, Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Outubro 2008.
- [53] Gómez, J. F.; Khodr, H. M.; Oliveira, P. M.; Ocque L.; Yusta J. M.; Villasana, R.; Urdaneta, A. J., Ant Colony System Algorithm for the Planning of Primary Distribution Circuits. IEEE Transactions on Power Systems, 19(2):996–1004, Maio de 2004.
- [54] R. A. Gallego, A. H. Escobar y E. M. Toro, “Técnicas metaheurísticas de optimización”, Pereira: Taller de publicaciones Universidad Tecnológica de Pereira, Primera edición, 2010.
- [55] Gallego, R., Escobar, A., Romero, R. “Técnicas de optimización combinatorial”, Universidad Tecnológica de Pereira, 2006.
- [56] F. Glover, «Tabu Search, Part I,» ORSA Journal on Computing, vol. 1, nº 3, pp. 190-206, 1989.

- [57] Fundamentals of scatter search and path relinking, Fred Glover-Manuel Laguna, Control and Cybernetics, vol. 29, num. 3, pp. 653-684, 2000.
- [58] Application of Tabu search to optimal placement of DG. K. Nara, Y. Hayashi, K. Ikeda, T. Ashizaw, Conference: Power Engineering Society Winter Meeting IEEE. Columbus, Ohio.2001, vol. 2, pp. 918-923.
- [59] C. J. Zapata. Confiabilidad de Sistemas Eléctricos. Pereira, Universidad Tecnológica de Pereira, 2005.
- [60] . L. P. Garcés. Planeamiento de la expansión de la transmisión a largo plazo basado en confiabilidad. Tesis de Maestría. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira, 2005.