



**FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES**

**ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**“POTENCIAL ENERGÉTICO DEL FOLLAJE DE LA CAÑA DE  
AZÚCAR PARA SU APROVECHAMIENTO: CASO AGRO  
INDUSTRIAL PARAMONGA S.A.A, ABRIL – JULIO 2015.”**

Tesis para optar al Título Profesional de:

Ingeniera Ambiental

**Bach. KATHERINE PATRICIA LANDAURO MINAYA**

**LIMA, PERÚ**

**2016**

## INDICE

INDICE .....	3
LISTA DE TABLAS .....	3
LISTA DE FIGURAS .....	4
I. RESUMEN .....	5
II. ABSTRACT .....	6
III. INTRODUCCIÓN.....	9
IV. MARCO TEÓRICO .....	11
4.1. Energías renovables.....	11
4.1.1 Energías renovables: Biomasa .....	11
4.2. Biomasa: Residuos agrícola como fuente alternativa de energía.....	12
4.3. Proceso de conversión de la biomasa a energía.....	16
4.4. Caña de Azúcar .....	16
4.4.1 Origen de la caña de azúcar.....	167
4.4.2 Periodo vegetativo y propagación de la caña de azúcar .....	168
4.4.3 La caña de azúcar en el Perú .....	20
4.5 Biomasa aérea de la caña de azúcar: Follaje.....	22
4.5.1 Potencial energético del follaje de la caña de azúcar .....	23
4.6. Cogeneración de energía.....	26
4.6.1 Casos de cogeneración a partir del follaje de la caña de azúcar ....	26
4.7. Análisis de la producción de azúcar en el Perú .....	269
4.8. Análisis del proceso productivo de la caña de azúcar .....	30
4.9. Análisis del proceso productivo e impacto con el uso de la biomasa aérea-follaje .....	33
4.10. Lugar de estudio .....	36
4.10.1 Especificaciones - AIPSAA .....	38
V. MÉTODOLOGÍA Y MATERIALES .....	40
5.1. MATERIALES .....	40
5.1.1 Material vegetal .....	40
5.1.2 Otros materiales .....	40

5.2. METODOLOGÍA .....	40
5.2.1. Localización: Azucarera Agro Industrial Paramonga (AIPSAA) .....	40
5.2.2. Determinación de la muestras .....	41
5.2.3. Recolección de muestras .....	42
5.2.4. Determinación del peso seco .....	42
5.2.5. Diseño estadístico .....	43
5.2.6. Cálculo de energía .....	44
5.2.6.1. Caso particular: conversión a energía eléctrica .....	44
5.2.7 Premisas de los campos evaluados .....	45
VI. RESULTADOS .....	47
6.1 Resultado de variedades .....	46
6.2 Resultado Estadístico .....	48
6.3 Resultado respecto del potencial energético .....	53
VII. DISCUSIÓN .....	57
7.1 Variedades y análisis estadístico .....	56
7.2 Potencial energético e impacto ambiental .....	58
7.3 Específicas del estudio realizado .....	60
VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	62
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	65
X. GLOSARIO .....	69
XI. ANEXOS .....	70

## LISTA DE TABLAS

Tabla N° 1: Contenido Energético por tonelada de residuo agrícola .....	23
Tabla N° 2: Comparación del follaje de la caña de azúcar con otros cultivos energéticos.....	24
Tabla N° 3: Perú-energía primaria y potencia factible de residuos de 13 cultivos (rendimiento promedio anual 2005-2011) .....	25
Tabla N° 4: Balance de Energía.....	34
Tabla N° 5: Materiales y Equipos utilizados .....	40
Tabla N° 6: Cuadro resumen de resultados .....	41
Tabla N° 7: Varianza, desviación estandar y coeficiente de varianza de biomasa seca total .....	49
Tabla N° 8: Frecuencia relativa y variación porcentual de l biomasa seca total según variedad .....	49
Tabla N° 9: Varianza, desviación estandar y coeficiente de varianza de biomasa seca total – exceptuando VRD2 y VRD5 .....	50
Tabla N° 10: Cuadro resumen del análisis ANOVA.....	51
Tabla N° 11: Resultado de biomasa seca por hectárea y por variedad .....	54
Tabla N° 12: Resultado de biomasa seca total (TM) .....	55

## LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1: Gráfico histórico de la biomasa .....	11
Figura N° 2: Energía proveniente de la biomasa .....	13
Figura N° 3: Morfología botánica de la caña de azúcar.....	17
Figura N° 4: Fases de crecimiento de la caña de azúcar .....	19
Figura N° 5: Flujo de Energía de un ingenio Azucarero .....	27
Figura N° 6: Principales rendimientos promedio mundial 1992-2011 (kg/ha) .....	29
Figura N° 7: Producción de azúcar comercial v/s consumo interno (miles de toneladas).....	30
Figura N° 8: proceso de fabricación del azúcar a partir de la caña de azúcar	32
Figura N° 9: Esquema de cogeneración con caña de azúcar .....	33
Figura N° 10: Ubicación de la Planta AIPSAA.....	39
Figura N° 11: Distribución porcentual de los campos cosechados muestreados (rubro de campos propios) respecto de los otros campos que cosecha AIPSAA. ....	45
Figura N° 12: Distribución porcentual de las variedades dentro del rubro campos propios .....	45
Figura N° 13: Distribución porcentual de las variedades seleccionadas de caña de azúcar de AIPSAA.....	46
Figura N° 14: Gráfica de variación porcentual de la biomasa seca total según variedad .....	48
Figura N° 15: Gráfico de biomasa aérea seca por variedades .....	49
Figura N° 16: Gráfica de caja de biomasa aérea seca total.....	51

## I. RESUMEN

Los recursos naturales renovables utilizados para fines energéticos, son aquellos que se encuentran en proporciones menores comparadas con las energías no renovables, como las fósiles; por ello la presente investigación de tesis requiere indagar dentro de los recursos renovables, uno que pueda ser factible de aportar en el futuro una fuente de energía alternativa. Nos centramos en el follaje de la caña de azúcar.

Se determinó la potencialidad energética del recurso natural renovable, follaje de caña de azúcar para fines de energía térmica; para la azucarera Agro Industrial Paramonga S.A.A (AIPSAA); además de poder ser competitiva, aporta valor agregado a la actividad agrícola.

Para ello se obtuvo como base el follaje de la caña de azúcar de algunas variedades pertenecientes de AIPSAA, se logró el valor del follaje en base seca; con el resultado hallado, se midió, mediante metodología y modelo estadístico, el potencial energético del follaje de la caña de azúcar en gigajoules, utilizando los medios de conversión se determinó el valor en energía eléctrica, logrando un total de 14. 17MWe correspondiente al periodo analizado, abril – julio de 2015 y un valor de 23.61MWe correspondiente a todos los campos cosechas en el 2015 de AIPSAA.

El follaje de la caña de azúcar alcanzó un potencial energético óptimo para ser aprovechado, en el caso de AIPSAA, se puede emplear como combustible en el proceso de cogeneración de energía, así como también el aporte al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional.

El uso del follaje de la caña de azúcar, como fuente de energía, contribuye un aporte importante ya que sería posible prolongar la vida útil de las reservas de energía de recursos no renovables; por lo que es un sustento para poder replicar lo obtenido en otros ingenios azucareros, con el fin de medir el valor energético del follaje de la caña de azúcar y ser aprovechado adecuadamente.

Como valor agregado, la extracción del follaje de la caña de azúcar implica la no quema de los campos del cultivo, por lo que aporta a mitigar la emisión de Gases de Efecto Invernadero, así como también se disminuye la cantidad de impurezas, por lo que podría aumentar el rendimiento de la industria azucarera en cuanto a niveles de sacarosa.

Con ello se destaca el potencial energético que posee el follaje de la caña de azúcar para ser aprovechado y en un futuro ser valorado y utilizado como parte de las reservas energéticas renovables.

**Palabras claves:** *Follaje, caña de azúcar, potencial energético.*

## II. ABSTRACT

The renewable natural resources used for energy purposes, it are those that are in less proportions compared with not renewable energies, like the fossils; for it the present thesis investigation needs to investigate inside the renewable resources, one that could be feasible of contributing in the future an alternative energy source. We center on the foliage of the sugar-cane, a slightly investigated cultivation, but with sustenance of contributing as energy potential.

There decided the energy potentiality of the renewable natural resource, foliage of sugar-cane for thermal energy ends; for the sugar Agro Industrial Agriculture Paramonga S.A.A (AIPSAA); in addition to being able to be competitive, it contributes added value to the agricultural activity.

For it there was obtained like base the foliage of the sugar-cane of some belonging varieties of AIPSAA, the value of the foliage was achieved in dry base; with the found result, there measured itself, by means of methodology and statistical model, the energy potential of the foliage of the sugar-cane in gigajoules, using the conversion means the value decided in electric power, achieving 14.17MWe for the period under review, April – July 2015 and a value of 23.61MWe corresponding to all fields crops in AIPSAA.

The foliage of the sugar-cane reached an ideal energy potential to be made use, in case of AIPSAA, it is possible to use like fuel in the process of cogeneration of energy, as well as also the contribution to the National Interconnected Electrical System.

The use of the foliage of the sugar-cane, like energy source, contributes an important contribution since it would be possible to prolong the useful life of the reservations of energy of nonrenewable resources; therefore it is a sustenance to be able to answer the obtained in other sugar ingenuities, in order to measure the energy value of the foliage of the sugar-cane and to be made use appropriately.

As added value, the extraction of the foliage of the sugar-cane implies does not burn it of the fields of the cultivation, therefore it reaches port to mitigate the Greenhouse effect gas emission, as well as also the impurities quantity is diminished, for what might increase the yield of the sugar industry as for saccharose levels.

With it one emphasizes the energy potential that possesses the foliage of the sugar-cane to be made use and in a future being valued and used as part of the renewable energy reservations.

**Keywords:** *foliage, sugarcane, energy potential.*

### III. INTRODUCCIÓN

El follaje de la caña de azúcar o biomasa aérea suele ser considerado un componente de residuo sin mayor valor para la industria azucarera; a su vez, se le considera un material que puede afectar negativamente el proceso de molienda de la caña de azúcar, debido a que contribuye a generar un volumen mayor de bagazo en el cual se retiene parte de los azúcares que aporta el tallo de la caña. Por ello, es común quemarlo antes de realizar la cosecha.

El contenido de energía primaria o energía química acumulada (GJ, MWth) del follaje por unidad de volumen es superior a lo que aporta el bagazo de la caña (bagazo de caña con 50% de humedad). A la fecha el follaje no es considerado como una fuente de energía renovable, comercial y competitiva.

De acuerdo a la International Energy Agency-IEA (2014), en la actualidad, a nivel mundial, el 86.5% del suministro total de energía primaria de fuentes no renovables y el 13.5% proveniente de fuentes renovables. Entre las fuentes renovables se considera la hidroenergía, eólica, solar-fotovoltaica, biomasa y geotermia. Según la IEA el aporte de la biomasa en el suministro del total de fuentes de energía renovable, no se encuentra especificado; sin embargo se marca el aporte general de los biocombustibles y residuos dentro del suministro el cual es representado por el 10% a nivel mundial. Sin embargo, según proyecciones se deduce que para el año 2035 las energías renovables llegarán a representar el 45% de la generación eléctrica mundial.

La caña de azúcar pertenece al grupo fotosintético C<sub>4</sub>, se caracteriza por su elevada capacidad de fotosíntesis, absorción de CO<sub>2</sub>, eficiencia en el uso del agua y por ende mayor almacenamiento de energía, alcanzando tasa de valores de 3% a 4%. Esta característica sustenta la potencialidad de la caña de azúcar como cultivo energético. Su utilización como combustible no contribuye a las emisiones de gases de efecto invernadero, se trata de un cultivo que utilizado para fines de energía registra un balance cero en términos de emisiones de CO<sub>2</sub> (Adam, Conley, Macoro, Volin, & Wand, 2001).

Por lo mencionado, la biomasa presenta un significativo potencial para generar energía y podría atender y se estima la demanda futura haciendo uso de métodos sostenibles y adecuados llegar a cubrir la demanda total actual y futura de energía haciendo uso de métodos sostenibles y adecuados (GEO, 2012). Es así que la producción primaria global anual de biomasa es equivalente a 4,500 EJ (cuatro mil quinientos billones de TJ) de la energía solar capturada cada año y alrededor del 5% (225EJ) de esta energía puede cubrir aproximadamente el 50% de la demanda de energía primaria total (Vinterbäck, 2009).

En una visión de largo plazo se observa que la participación de la biomasa como fuente de energía primaria fue la más importante hasta inicios del siglo veinte. A partir de 1900 la biomasa es superada por el carbón y recién hacia 1950 es superada por el petróleo. Hasta inicios del siglo XXI el aporte de la biomasa como fuente de energía primaria fue superior al de otras fuentes renovables e inclusive al aporte de energía nuclear (Bouille, 2008).

En el Perú, la principal reserva de energía comercial es el gas natural (GN), seguido de la hidroenergía, líquidos de GN, petróleo crudo y carbón mineral. De acuerdo al Balance Nacional de Energía 2014 (Anexo 2) la mayoría de las fuentes de energía renovable consideradas (Bagazo, Leña, Bosta y Yareta) se clasifican como energías no comerciales. (Ministerio de Energías y Minas -MEM., 2015). Los residuos agrícolas, entre otros, el follaje de la caña, no se incluyen como fuente de energía no comercial. Se constata que para estimación de reserva y balance de energía, la biomasa agrícola y forestal no se percibe como fuente potencial sostenible de energía comercial competitiva.

En función a lo expuesto, el trabajo de investigación que sustenta la presente tesis busca contribuir al recurso no medido en términos de explotación agrícola de la caña de azúcar; esto es recalcar el valor energético que contiene el follaje/biomasa aérea de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum L.*).

Como objetivo se quiere medir el volumen del componente de la biomasa aérea, follaje, el cual incluye (hojas, cogollo, vaina), correspondiente a lo que no es usado en la fabricación del azúcar y del papel, para determinar el potencial energético del recurso follaje de caña de azúcar.

Para ello se determinó la cantidad de biomasa aérea en toneladas y con ello determinar la cantidad de energía primaria almacenada. Para obtener los datos se tuvo en cuenta las mediciones de follaje de la caña de azúcar, las cuales están circunscritas a una determinada área focalizada del territorio nacional con parámetros climáticos que no difieran de manera dramática de los rangos promedios. Por ello se analizó la biomasa aérea de los campos de cultivo de la empresa Agro Industrial Paramonga S.A. (AIPSAA), el análisis se realizó en un periodo corto abarcado desde abril a julio de 2015, comprendiendo cierta cantidad de hectáreas de la misma empresa para el dicho análisis. Se debe tener en cuenta que este análisis es correspondiente a un momento exacto en la cosecha de azúcar; es decir, es equivalente a una fotografía del periodo señalado, un análisis concreto del momento.

## IV. MARCO TEÓRICO

### 4.1. Energías renovables

Las energías renovables constituyen un recurso natural no contaminante, cuyas principales fuentes son la energía eólica, hidráulica, geotermia, fotovoltaica y biomasa (MINAM, 2006).

Dos razones centrales sustentan la necesidad para fomentar el uso de energías renovables. Una es la necesidad de contribuir a la mitigación de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y de esta manera limitar el proceso de calentamiento global que enfrenta el planeta, el uso de energías renovables implica no incrementar el stock de GEI. La otra razón central, se relación con la posibilidad, mediante sustitución parcial, para prolongar la vida útil de las reservas de fuentes de energía no renovable/fósiles. (Global Energy Network Institute, 2009).

En el Perú, la fuente de energía renovable que tiene mayor incidencia en el abastecimiento nacional es la hidroenergía. Otras fuentes como eólica, fotovoltaica, biomasa representan una mínima proporción del total de energía comercial generada en el país. La biomasa más utilizada es la leña, pero ocurre básicamente en un contexto de autoconsumo y a un nivel ínfimo de eficiencia. En el Balance Nacional de Energía que elabora el Ministerio de Energía y Minas (MINAM, 2006) la generalidad de los recursos de biomasa no está debidamente evaluado entorno a su potencial como fuente de energía comercial.

#### 4.1.1 Energía renovable: Biomasa

La biomasa es aquella materia orgánica de origen vegetal o animal, susceptible de ser aprovechada como fuente de energía. Por su definición de amplio rango, la biomasa abarca un amplio conjunto de materias orgánicas que se caracterizan por su heterogeneidad, tanto por su origen como por su naturaleza. En el contexto energético, la biomasa puede considerarse como la materia orgánica originada de un proceso biológico, ya sea espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía (APPA , 2009).

La biomasa para su uso como fuente de energía puede ser de origen vegetal o animal. Las de origen vegetal se clasifican en dos rubros principales: forestal y agrícola (Clean energy ideas, 2007).

La biomasa forestal la conforman bosques naturales y plantaciones forestales, estas pueden ser para fines industriales y/o específicamente para su uso energético. Igualmente la biomasa agrícola para fines de energía proviene de plantaciones para tal fin y en forma de residuo como excedente de procesos de transformación primaria de determinadas especies que se utilizan para opciones de consumo directo e industrial. (Ecofys GmbH, 2013).

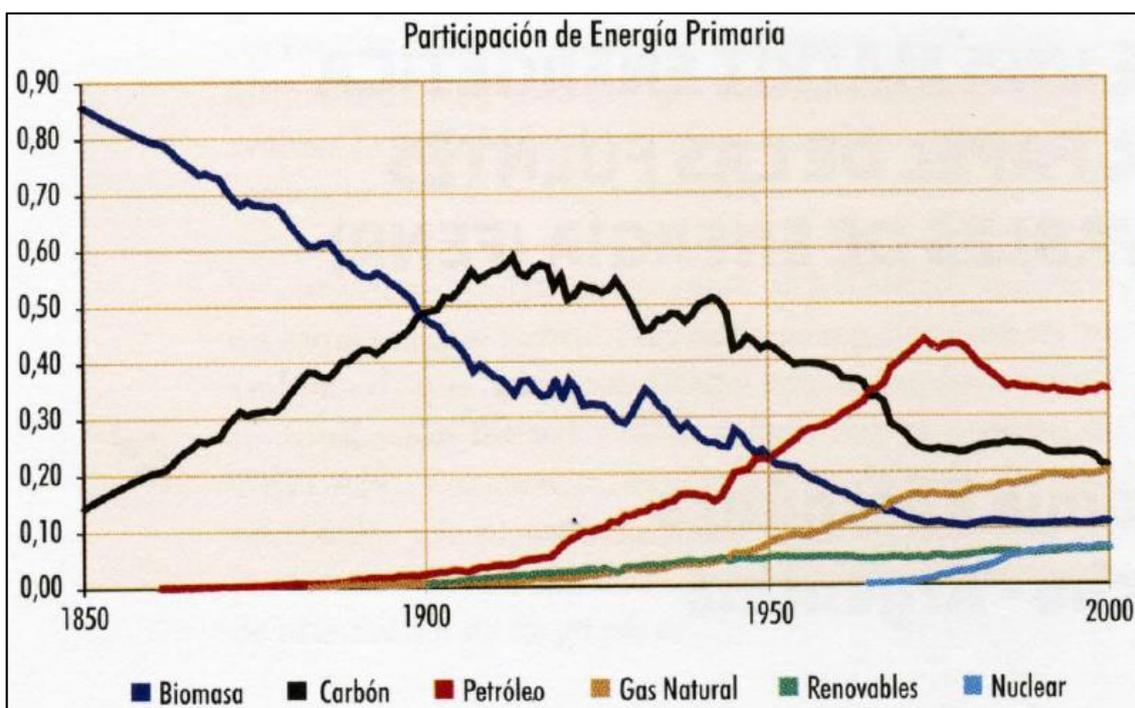
El uso de biomasa como fuente de energía no implica incremento en el stock de GEI. En términos de emisiones su aplicación genera “balance cero”; esto es, se libera GEI expresado en CO<sub>2eq</sub> en cantidad igual o menor del volumen que la especie, forestal o agrícola, captura vía fotosíntesis de la atmosfera durante su ciclo vegetativo (Energías Renovables - Energía Biomasa, 2008).

El uso de biomasa, forestal o agrícola, como fuente de energía trae consigo diversos beneficios, tales como balance cero en términos de emisión de GEI, constituir una fuente renovable de energía, generar valor agregado, contribuir a la reducción de la dependencia en el uso de energía de origen fósil (Silva, 2009).

Según el MINAM (2006), en el Perú, de acuerdo a normas establecidas, se reconoce a la biomasa como parte de las energías renovables no convencionales. Cabe recalcar, representa un significativo potencial de mitigación, tanto por su capacidad de captura de CO<sub>2</sub> como por la posibilidad de sustituir el uso competitivo de combustible de origen fósil (Anexo 1 y 2).

#### 4.2. Biomasa: Residuos agrícola como fuente alternativa de energía

En la historia la biomasa como fuente de energía fue la principal hasta la llegada del carbón en 1900, que supera a la biomasa y para el año 1950 es superada por el petróleo. Como se puede ver en el Figura N°1 hasta inicios del siglo XXI el aporte de biomasa como fuente de energía primaria fue superior al de otras fuentes, inclusive a la energía nuclear (Bouille, 2008).



**Figura N° 1:** Gráfico histórico de la biomasa.

Fuente: Daniel Bouille “En busca de una matriz energética sustentable el papel de las fuentes nuevas y renovables de energía (FENR)”, Instituto de Economía Energética-Fundación Bariloche: publicado en Hacia una Política Energética y Ambiental sostenible en el Perú – CONAM, Lima junio 2006.

La biomasa agrícola se define en este análisis a la biomasa aérea que proveen cultivos energéticos de corta rotación (especies arbóreas y arbustivas) y los residuos agrícolas de diversos cultivos herbáceos y leñosos que se desarrollan para fines de alimentación directa y/o como insumo para actividades agroindustriales y de industria manufacturera (Ecofys GmbH, 2013). En particular, se toma como objeto de análisis al follaje/biomasa aérea de la caña de azúcar.

Según el trabajo realizado por Vásquez de la Universidad Politécnica de Zacateca (2012), para evaluar el potencial energético de la biomasa agrícola se requiere analizar los siguientes aspectos:

- Tipo de biomasa: procedente de cultivos transitorios o permanentes, para consumo humano o para fines industriales, de especies herbáceas o leñosas.
- Humedad: contenido de humedad al final del ciclo vegetativo o en campo. Es la relación que existe entre la masa de agua contenida por kilogramo de materia seca. Se recomienda que la biomasa contenga humedad menor de 30% para el proceso de conversión a energía (en cuanto a la caña de azúcar se recomienda que sea menor o igual al 10%).
- Poder calorífico: estimado en función al contenido de humedad en pie (campo) y post-cosecha. El contenido calorífico por unidad de masa, es lo que determina la energía disponible en la biomasa.

Las condiciones particulares de humedad post-cosecha, propias de cada cultivo, así como correspondientes volúmenes por unidad de explotación agrícola, determinarán condiciones de logística para posibilitar su acopio y uso como fuente de energía (Energías Renovables - Energía Biomasa, 2008).

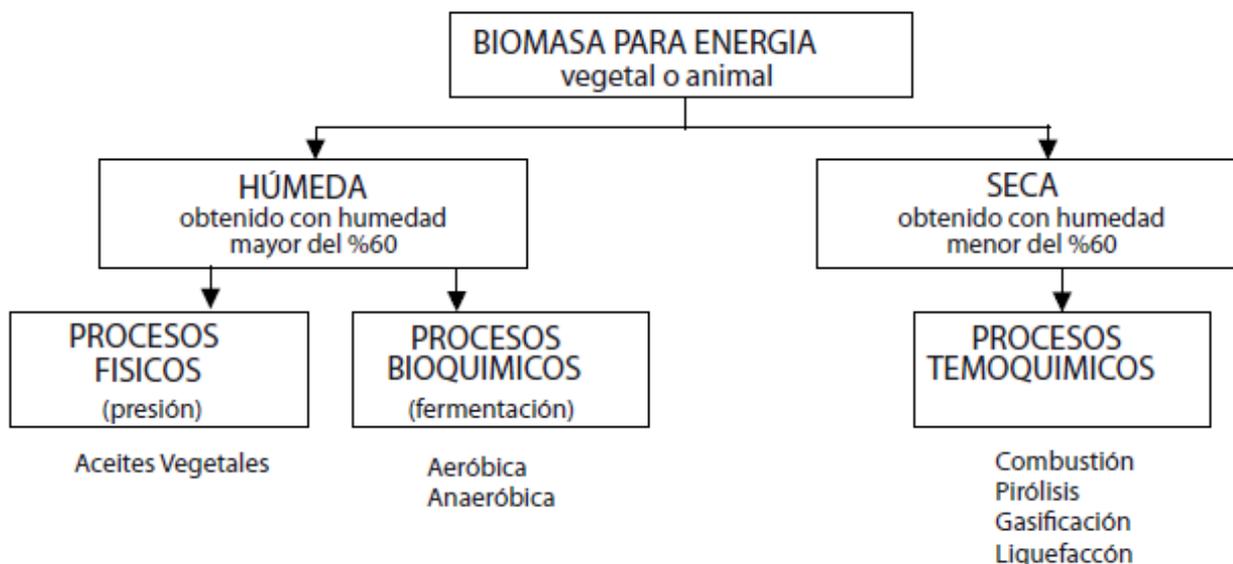
Para efectos de estimar el potencial energético de la biomasa agrícola es necesario precisar sus características fisicoquímicas. Mediante el análisis proximal también conocido como análisis inmediato, se determinan los valores de humedad, material volátil, cenizas, carbono fijo y valor calorífico (Martín, 2015). Este análisis permite determinar el poder calorífico a ser considerado como combustible, ya que representa la cantidad de energía que posee la biomasa. (Saldarriaga, Pablos, Amutios, & Aguado, 2013).

### **4.3. Proceso de conversión de la biomasa a energía**

Paso previo para que la biomasa pueda ser utilizada para fines energéticos, tiene que ser convertida en una forma más conveniente para su utilización. Esta puede ser convertida en diversas formas tales como: carbón vegetal, briquetas, gas, etanol y electricidad (Energiza, 2013).

La biomasa agrícola como fuente de energía puede utilizarse mediante diversos procesos termoquímicos y bioquímicos, como se demuestra la Figura N°2. Se consideran dos procesos principales termoquímico y bioquímico:

**Figura N° 2:** Energía proveniente de la biomasa.  
Fuente: (Energías Renovables - Energía Biomasa, 2008).



- Procesos termoquímicos:

Se usa el calor para transformar la biomasa, preferentemente en base seca, quiere decir que los materiales que se usan son los que presentan menor humedad, sean de tipo leñoso o herbácea. Se obtienen productos con alto valor energético, como vapor y gases combustibles. (Centro de Energías Renovables, 2012). Entre los principales procesos termoquímicos se tiene:

- **Combustión directa:** En los procesos de combustión la biomasa se oxida completamente (reacciona químicamente con el oxígeno a altas temperaturas), obteniéndose como resultado de la reacción: agua, gas carbónico, cenizas y calor. Este último para su aprovechamiento como energía.

El calor puede ser utilizado directamente para calefacción, procesar alimentos y para generar vapor mediante la combustión en una caldera. A su vez, dicho vapor puede ser utilizado tanto para procesos industriales como para generación de electricidad. La utilización de la biomasa agrícola para fines de energía puede efectuarse en diversos niveles de tecnología. Es factible utilizarse en equipos simples de estufas, hornos, así como en instalaciones térmicas complejas que implica la operación de calderas y generadores de alta eficiencia (Jimenez, 2012).

- **Pirólisis:** La biomasa es sometida a altas temperaturas sin oxígeno, obteniéndose carbón vegetal, hidrocarburos y compuestos alifáticos por obtención de la parte sólida, líquida y gaseosa del proceso. En este proceso si se aumenta la temperatura se obtendrá más gases y menos residuos

sólidos. Es el método más usado para crear carbón vegetal (Centro de Energías Renovables, 2012).

- **Gasificación:** La biomasa se somete a altas temperaturas y con cantidades controladas de oxígeno. Dependiendo de si se usa oxígeno o agua se van a obtener productos distintos, si se usa aire (oxígeno) se obtiene un gas que se puede usar para obtener electricidad y vapor, y por el otro lado si se usa agua, mejor dicho como vapor de agua, se obtiene gas de síntesis (syngas), este se puede transformar en combustible líquido, con una alta eficiencia energética, pudiendo usarlos en plantas de ciclo combinado. El principal problema que se presenta como tecnología para la generación eléctrica es la limpieza del gas resultante del proceso de las impurezas que lo acompañan (Centro de Energías Renovables, 2012).
- **Co-combustión:** es la utilización de la biomasa como combustible en combinación a un combustible fósil, usualmente carbón mineral. La ventaja de este proceso es que reduce las emisiones de CO<sub>2</sub> por unidad de energía producida y las cantidades de carbón y/o combustible usado, según sea el caso (Endesa, 2010).
- Procesos bioquímicos:

Los procesos bioquímicos de la biomasa ocurren cuando se producen reacciones químicas y biológicas en los procesos metabólicos de los microorganismos que degradan la biomasa. De ello se obtiene los productos energéticos, los cuales se transforman en energía útil (Centro de Energías Renovables, 2012). Estos son:

- **Fermentación mecánica/digestión anaeróbica:** se desarrolla en ausencia de oxígeno, las bacterias transforman la biomasa en biogás, las cuales son CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> principalmente. El biogás se puede utilizar en combustible para obtener calor, así como también en motores de combustión. (Energiza, 2013).
- **Fermentación alcohólica/combustibles alcohólicos:** consiste en la fermentación de hidratos de carbono que se encuentran en las plantas y se consigue el etanol, que se usa, comúnmente, en la industria. Las materias primas más comunes para la producción de alcohol es la caña de azúcar, mandioca, sorgo dulce y maíz. El proceso incluye etapas de trituración, molienda, fermentación, destilación y rectificación (Energías Renovables - Energía Biomasa, 2008).

Según lo indicado por Renovetec (2013), a las características de los procesos termoquímicos y bioquímicos descritos, la biomasa se puede transformar en diferentes formas de energía, estas son:

- Calor y vapor: Se genera calor y vapor mediante la combustión de biomasa o biogás, este calor generado puede utilizarse para generar vapor y crear energía o usarlo directamente.

- Combustible gaseoso: Genera biogás lo que se usará en la industria agrícola o ganadera, para generar energía y calor. Es uno de los que más energía produce por las heces de animales.
- Biocombustibles: Es la alternativa a los combustibles tradicionales, aquí encontramos al bioetanol, el cual se obtiene por medio de cultivos de cereales, remolacha, legumbres y maíz; y se tiene al biodiesel, el cual reemplaza al diésel tradicional y mejora la producción de energía.
- Electricidad: Se obtiene a partir de la combustión y gasificación de los recursos biomásicos, este no contribuye al efecto invernadero ya que no libera CO<sub>2</sub> e incrementa la industria bioenergética.
- Co-generación (calor y electricidad): Se refiere a la producción de vapor y electricidad en simultáneo, lo cual puede aplicarse a diversos procesos industriales, como por ejemplo las azucareras, en donde se puede aprovechar los desechos del proceso. La co-generación puede resultar de una manera bastante eficiente. Sin embargo, existe la posibilidad de mejorar para producir más electricidad y vender el excedente a la red eléctrica.

Para este análisis se hará referencia a la opción de combustión directa (procesar en un caldero el follaje de la caña de azúcar). El calor que resulta de la combustión del follaje en el caldero generará vapor, el cual se utilizará para operar turbinas y atender necesidades de vapor para proceso industrial.

#### 4.4. Caña de Azúcar

La caña de azúcar pertenece a la familia Poaceae y a la especie *Saccharum officinarum* L. Conocida como caña blanca, caña miel o caña dulce. Es una planta herbácea, con rizomas subterráneos perennes, de tallo macizo y fibroso, de forma cilíndrica, con hojas alternas, lanceoladas, rígidas, puede llegar a medir hasta dos metros de largo (Figura N°3) (Cengicaña, 2010).

Las hojas están formadas por dos partes; la vaina y el limbo, este último es el que cubre todo el tallo. Las hojas están dispuestas en forma alterna a lo largo de los nudos del tallo. El número de hojas alrededor del tallo va depender de la variedad de caña (Mercado, 2000).

La inflorescencia es un conjunto de racimos, cada una está formada por varias flores, que producen semillas, tiene forma de espiga terminal, muy ramificada, de 30 cm a un metro de longitud, formada por espiguillas con flores femeninas y masculinas separadas. Esta es importante para el cruzamiento y producción de variedades híbridas (Netafim, 2015).

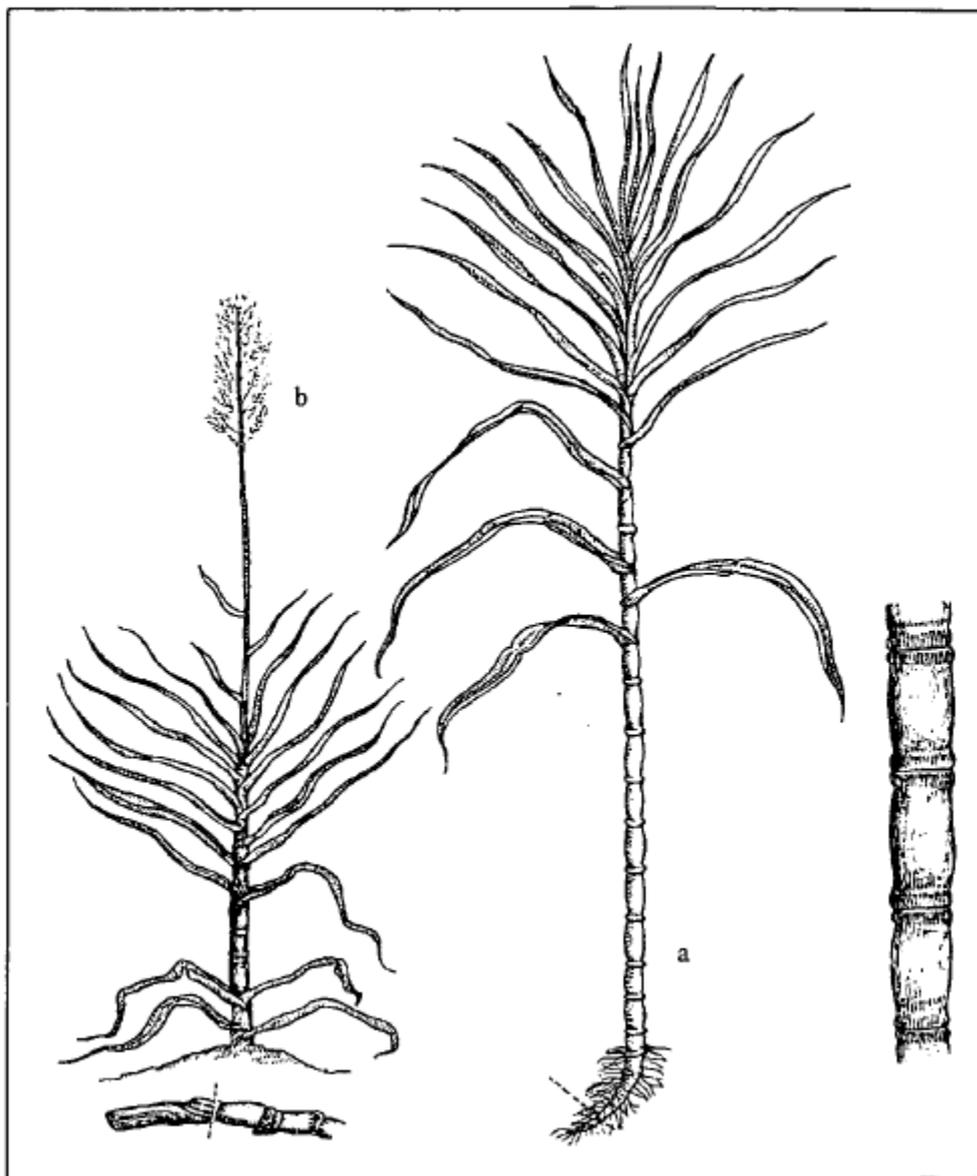
La caña de azúcar, corresponde al grupo de cultivos denominados C4<sup>1</sup>, los cuales se distinguen por su elevada capacidad de absorción de energía solar por

---

<sup>1</sup> Los cultivos C<sub>4</sub> son aquellos que realizan el tipo de fotosíntesis por fijación del carbono C<sub>4</sub>, es decir, contiene cuatro carbonos, este tipo de plantas han desarrollado una estrategia para optimizar la capacidad de asimilación del CO<sub>2</sub> atmosférico, e incorporarlo a la planta. Los cultivos que pertenecen al grupo C<sub>4</sub> son el maíz, la caña de azúcar, la mala hierba grama, el sorgo, el amaranto y cactus (Interempresas-agricultura, 2010).

medio de la fotosíntesis. Histórica y mayoritariamente se ha destinado al proceso de extracción de azúcar. En el tallo se acumula el jugo rico en sacarosa y en menor medida otros azúcares como glucosa y fructuosa, estos son sintetizados por la caña mediante la fotosíntesis que implica la toma de energía del sol. La caña de azúcar es un cultivo comercial que permite la obtención de diversos productos para consumo directo, consumo intermedio y para generación de energía. A la fecha, la generación de energía basada en la caña de azúcar se centra en el aprovechamiento/combustión del bagazo que resulta de la molienda/extracción de la misma (Alexsander, 1985).

Los principales componentes de la caña de azúcar son el agua, la sacarosa y la fibra, así como también es importante tener en cuenta los componentes nutricionales, lo cual depende mucho del tipo de suelo. La caña es un cultivo que se adaptada a todo tipo de suelo, pero se debe cuidar el abonado y la disponibilidad de agua; no obstante, los suelos más adecuados son los franco-arcillosos o franco. En cuanto al factor de temperatura, se necesita en promedio 30°C, con porcentajes de humedad relativamente alta (mayores a 60%) y buen aporte de agua. Por otro lado los componentes físicos de la caña de azúcar son el cogollo, hojas verdes, hojas secas y tallos limpios. Anexo N°3 (Tamara León, 2013).



**Figura N° 3:** Morfología botánica de la caña de azúcar.

Descripción: a) Tallo de la caña con hojas y raíz, b) Espiga que forma la inflorescencia de la caña.

Fuente: (Cengicaña, 2010).

#### 4.4.1 Origen de la caña de azúcar

Es nativa de las regiones tropicales y subtropicales del sudeste asiático, los árabes la trasladaron a Siria, Palestina, Arabia y Egipto, de donde se extendió por España y Península Ibérica, luego por África y América, incluido el Caribe y América del Sur (Rivera L. D., 2002).

La caña de azúcar es una planta con características relevantes que la sitúan como una de las especies de mayor rendimiento en materia verde, energía y fibra. Constituye una particular fuente de materia prima comercial no solo a la

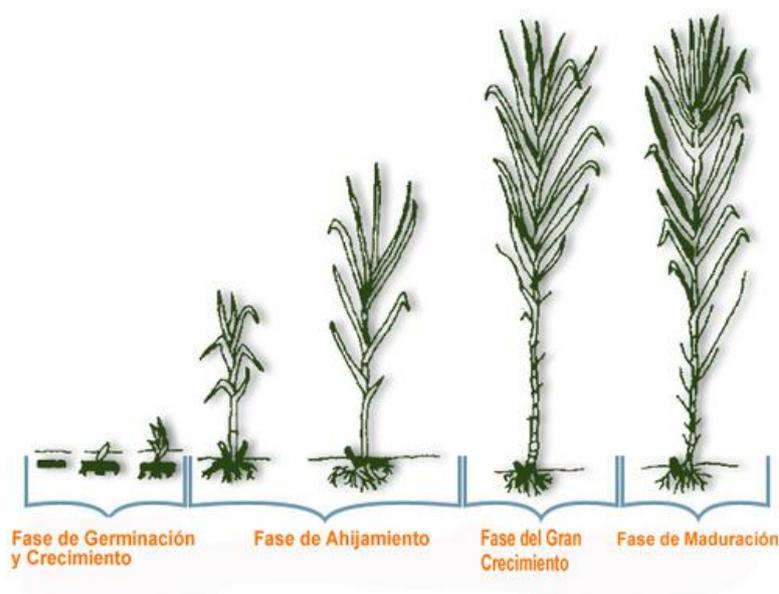
producción de azúcar, sino también para su aprovechamiento como fuente energética (USDA, 2008).

#### 4.4.2 Periodo vegetativo y propagación de la caña de azúcar

En cuanto al período vegetativo de la caña de azúcar, éste comprende cuatro fases (Figura N°4), su comportamiento depende de las condiciones de clima, suelo y riego. En un contexto donde el rango de temperatura máximo y mínimo no presenta variaciones significativas y es posible lograr el manejo eficiente del agua (riego por irrigación) y de los nutrientes, es factible alcanzar un mejor manejo del cultivo que se expresa en el control del crecimiento y por ende de la recuperación y almacenamiento óptimo del azúcar (sacarosa).

Según Rivera (2010), las fases del periodo vegetativo son:

- Primera fase - Germinación: Iniciación del crecimiento a partir de las yemas presentes en los tallos plantados, esta etapa tiene una duración de aproximadamente 35 días. La germinación es influenciada por factores externos (humedad, temperatura) e internos (sanidad de la yema, estado nutricional).
- Segunda fase – Ahijamiento/Crecimiento vegetativo, amacollamiento: Proceso fisiológico de ramificación subterránea múltiple, que se origina a partir de las articulaciones nodales del tallo primario, lo cual permite tener buen rendimiento, se tiene que tener en cuenta la variedad de caña, luz, temperatura y riego.
- Tercera fase – Gran crecimiento/Crecimiento rápido: Fase más importante donde se determina la formación y elongación de la caña y su rendimiento; se da un crecimiento foliar rápido (hojas), aproximadamente cuatro a cinco nudos por mes.
- Cuarta fase – Maduración: Se inicia entre dos a tres meses antes de la cosecha, se requiere un bajo contenido de humedad del suelo, por lo que el riego es reducido hasta eliminarlo para la madurez de la caña, en donde ocurre la síntesis del azúcar, rápida acumulación de azúcar y disminución del crecimiento vegetativo, por ello la parte donde contiene mayor concentrado de azúcar es la parte basal de la planta y no la parte superior de ella.



**Figura N° 4:** Fases de crecimiento de la Caña de azúcar.  
Fuente: [http://www.sugarcane crops.com/s/crop\\_growth\\_phases/](http://www.sugarcane crops.com/s/crop_growth_phases/)

Respecto a la propagación de la caña, esta se da por medio del tallo, el cual se desarrolla a partir de las yemas de otro tallo mediante propagación asexual a través de estacas. Cuando las yemas se desarrollan originan un tallo primario, cuyas yemas producirán tallos secundarios. En cuanto al número, diámetro, color y hábito de crecimiento del tallo dependerá de la variedad de caña que se tenga. Las condiciones ambientales y el manejo del cultivo determinan la longitud del tallo (Rivera L. D., 2002).

Al amplio sistema radicular permite a la gramínea poder continuar reproduciéndose por un número variable de cortes o cosechas (entre cinco o seis cortes), al nuevo crecimiento se le llama soca. El primer corte tradicionalmente requiere entre 14 y 18 meses (caña planta). La caña soca tradicionalmente está entre los 14 y 16 meses de periodo vegetativo para variedades convencionales y para las variedades tropicales están entre 12 y 14 meses. La renovación de los campos de caña se determina al momento en que se constata que los rendimientos tonelaje de biomasa aérea por hectárea y en contenido de azúcares registran resultados por debajo de los estándares que la industria exige. En el caso del Perú la referencia de estos estándares se ha situado en un rango de 90/100 toneladas de biomasa aérea por hectárea y contenido de sacarosa mínimo de 11 a 12 %.

Las labores culturales concernientes al control de malezas, control de plagas, fertilización y riego. Se lleva a cabo básicamente mediante trabajo manual, labores anuales. Cabe señalar que se observa una creciente utilización de métodos de mayor tecnificación tales como riego presurizado y fertilización mediante equipos especiales, e inclusive aplicación de fertilizantes foliares y madurantes en base a por métodos aéreos.

El indicador para determinar la conveniencia de iniciar la cosecha es el contenido de sacarosa o Pol. Esta constatación se realiza mediante la toma de una muestra sin quemar, a la cual se le separa manualmente el follaje; el tallo resultante se somete a una extracción en laboratorio para medir el contenido de sacarosa si este contenido es igual o superior a un 14 o 15% como peso del total del tallo, se constata que la plantación considerada ya reúne las características para proceder la cosecha (Silva, 2015).

#### **4.4.3 La caña de azúcar en el Perú**

En el Perú, la caña fue introducida por los españoles, en el valle interandino de Ayacucho, luego se expandió en la costa central y sur medio, en los valles de Chincha y Cañete, posteriormente se instalaron plantaciones de caña de azúcar en costa norte (Silva, 2015).

En la actualidad en el país se cultivan diversas variedades de caña, agrupadas en dos grupos, las convencionales y las tropicales, estas últimas fueron introducidas hacia fines de los años 90, se caracterizan por tener una menor duración del periodo vegetativo, así como también se caracteriza por tener mayor cantidad de biomasa aérea (follaje, cogollo, vainas) (Ecofys GmbH, 2013).

Al presente en el país se cultiva alrededor de 110 mil hectáreas de caña de azúcar. Cerca del 90% de dicha extensión corresponde a plantaciones de la industria azucarera localizada en la costa central y norte. La cosecha anual promedio destinada a la industria azucarera alcanza a 83,000 hectáreas, área que no incluye plantaciones destinadas exclusivamente a la producción de etanol (Ministerio de Agricultura y Riego, 2015).

Existen 10 ingenios azucareros, a los cuales pertenece un 65% de las hectáreas de caña de azúcar y el restante, 35%, pertenecen a los sembradores particulares (Oxfam Internacional, 2008).

El rendimiento/productividad agrícola del sector azucarero registró en el período 2009 – 2013 una producción de 128 toneladas/ha de caña cosechada (tallo con aprox. 5% de impurezas). Dicha producción sitúa al Perú como uno de los países con más alto rendimiento de caña de azúcar (Silva, 2013).

Según FAO, el rendimiento de la caña de azúcar es liderado por el Perú entre los años 1992 y 2011, eso se debe al incremento de la productividad del cultivo, lo que mejora el rendimiento promedio (Ministerio de Agricultura y Riego, 2013).

En el Perú, el cultivo de la caña de azúcar no reviste condiciones de estacionalidad, esto es, la siembra y cosecha se realiza durante todo el año (Ministerio de Agricultura y Riego, 2015). En cuanto a la forma de cosecha, se tiene dos modalidades, la cosecha manual y la mecanizada, el uso de ellas va a depender del diseño del campo, atribuciones de las variables, el tipo de máquina cosechadora, mantenimiento de máquina, logística del corte y el transporte. Ya sea caña quemada o caña verde (Mantilla, 2010).

#### 4.5 Biomasa aérea de la caña de azúcar: Follaje

El follaje, está conformado por las hojas verdes, hojas secas, cogollo, vainas secas y verdes, estas constituyen una fuente de energía renovable. En el Perú el estimado de este componente como parte de la biomasa aérea de la caña de azúcar, follaje, representa entre el 17% al 20% para las variedades denominadas tradicionales/convencionales; para el caso de variedades denominadas tropicales, de menor ciclo vegetativo o precoces, introducidas en el transcurso de las últimas 2 décadas, el follaje llega aproximadamente al 28% - 30% del total de la planta en base húmeda, tomando como referencia otros estudios realizados en Cuba y Brasil (Tamara León, 2013). La posibilidad para el aprovechamiento del follaje con fines de energía, depende del manejo que se aplique al mismo en la cosecha y post-cosecha.

Por otro lado el follaje de la caña de azúcar, biomasa energética, es el resultado de la actividad fisiológica de las plantas. A través del proceso de la fotosíntesis captura la energía del sol y transforma esta en energía química almacenada en el componente carbohidrato estructural de la planta. Cuando estos carbohidratos se queman, regresan a su forma de CO<sub>2</sub> y agua, liberando así la energía que contienen (FOCER, 2002). Conforme a lo indicado, el aprovechamiento energético de la biomasa no contribuye al aumento de los GEI, el balance de CO<sub>2eq</sub> en materia de emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera es neutro. (Universidad Politécnica de Zacateca, 2012).

El follaje de la caña de azúcar, usualmente es quemado como parte de la cosecha bajo condiciones de tecnología convencional (corte manual) y/o dejado en campo y quemado si se aplica sistemas de cosecha mecánica. Lo que conlleva a problemas ambientales severos, por la emisión de CO<sub>2</sub> y material particulado que afecta la calidad del aire

El acopio del follaje de la caña sin quemar que queda en campo, requiere la aplicación de soluciones que garanticen un óptimo recojo para permitir su uso en la generación térmica (combustión) de energía (Salas, Información del cultivo, 2015).

El follaje de la caña de azúcar difiere del bagazo, ya que este último es un subproducto de los procesos de molienda y extracción de la producción del azúcar, mientras que el follaje se obtiene antes de la cosecha; sin embargo los dos tienen potencial para uso energético. El follaje de la caña de azúcar como fuente de energía primaria puede utilizarse de manera independiente o complementaria respecto del bagazo. Es factible sustituir bagazo por follaje y liberar el primero para fines de industria de pulpa química u otros; o bien, sumar el follaje al bagazo para incrementar el perfil de potencia una determinada planta térmica adscrita a ingenios azucareros (Gillermo Roca, 2006).

#### 4.5.1 Potencial energético del follaje de la caña de azúcar

Ya que el follaje de caña de azúcar es considerado como subproducto al igual que el bagazo, este puede ser aprovechado en la producción de energía primaria para la cogeneración de energía, sin embargo no ha sido considerado plenamente como fuente competitiva de energía. Recientemente, con particular énfasis en Brasil, se viene desarrollando programas para su uso como fuente energética a escala comercial. Cabe señalar que aún subsisten limitaciones de orden técnico para lograr el acopio del mismo de manera eficiente, sin impurezas que dificultan o anulan su empleo en las calderas (PNUD-Brasil, 2005).

A diferencia del bagazo, el follaje tiene menor tiempo de estudio como potencial energético. En tanto su producto (particularmente el cogollo) se le ha considerado básicamente como para fines únicamente alimentarios – forraje (R. Lindqvist M. W., 2001).

El follaje de la caña de azúcar en valores generales equivale a 140 kg por una tonelada de tallos de caña de azúcar en base seca, esta cantidad depende de la variedad de caña, lugar de cultivo y de los factores externos e internos (PNUD-Brasil, 2005).

El factor importante para llevar a cabo la comparación entre el follaje de la caña y el bagazo de la misma, es el poder calorífico, que como ya se dijo, mide el contenido de energía que puede ser liberado por el factor, en este caso el follaje y/o bagazo, de ser el caso. En la Tabla N°1 se muestra el contenido de energía, de acuerdo a diversos indicadores, por tonelada de seis tipos de residuos agrícolas. El follaje en base seca alcanza a 3.75 millones de Kcal, valor que equivale a 15.7 GJ y 2.57 barriles de Petróleo (Ecofys GmbH, 2013).

En la Tabla N° 2 se presenta la comparación de energía, potencial/disponible, de los cultivos que conforman el conjunto o canasta de residuos agrícolas considerado. Las cifras hacen referencia al área cosechada, producción y volumen estimado de residuo en base seca, los correspondientes valores corresponden al promedio anual registrado para el periodo 2006-2010 (Jaime Gianella Silva, 2013).

**Tabla N° 1:** Contenido energético por tonelada de residuo agrícola.

Fuente: Elaborado por Monder S.A.C-2013. En base a: European Commission – RENEW Definition of a standard biomass; International Rice Research Institute – IRRI, Manila Filipinas; Mc Kendry Energy production from biomass, en Bioresource Technology N° 83 (2002); Energy for Environment-Biomass Analysis; Obemberger & Thek Physical characterization and chemical composition of densified biomass fuels with regarding to their combustion behavior, en Biomass and Bioenergy N° 27 (2004); Centro Tecnologia Canavieira – CTC – PNUD Biomass power generation Sugarcane bagasse and trash Piracicaba Brasil (2005) ; Schaffer & Associates International LLC Feasibility Study Rice Hull Power Plant Chiclayo Perú 2009.

<b>Caña de Azúcar, Arroz, Algodón y Maíz Amarillo Duro (Kcal/kg, Btu, GJ, BB Petróleo, kWhth)</b>					
<b>Toneladas Residuo</b>	<b>Kcal MM</b>	<b>Btu MM</b>	<b>GJ</b>	<b>Equiv. Bb Petróleo</b>	<b>kWhth</b>
Bagazo caña de azúcar 50% humedad	1.85	7.34	7.60	1.25	2,125
Follaje caña de azúcar <=10% humedad	3.75	14.88	15.70	2.57	4,369
Cáscara de arroz <=10% humedad	4.00	15.87	16.74	2.74	4,658
Tallo/paja de arroz <=10% humedad	3.35	13.29	14.00	2.29	3,893
Tallo de algodón <=10% humedad	4.62	18.33	19.34	3.17	5,389
Tallo maíz amarillo duro <=10% humedad	3.80	15.08	15.90	2.60	4,420

**Tabla N° 2:** Comparación del follaje de la Caña de Azúcar con otros cultivos energéticos.

Fuente: Elaborado por Monder S.A.C. 2013. En base a: Dirección de Información Agraria – MINAG, Lima; Proyecto GEF-IFC- Monder “Obtención de biocombustibles y fibra celulosa a partir de residuos agrícolas y forestales” y SalixSphere – Monder “Evaluación de Campo - Composición de la Biomasa Cañera del Valle del Chancay - Lambayeque Perú”.

Perú Región Costa						
Algodón, Arroz, Caña de Azúcar, Maíz Amarillo Duro						
Área cosechada, Producción, Residuo, Energía, Potencia valor anual promedio 2006-2010						
Cultivo	Área Cosechada Ha	Producción ton	Residuo ton	Energía TJ	Energía MWth (miles)	Potencia MWe (0.30 eficiencia-0.80 factor de carga)
Algodón-Tallo/broza <sup>1/</sup>	56,065	143,047 <sup>2/</sup>	560,650	10,843	3,014.3	129.2
Arroz Cáscara-cáscara <sup>3/</sup>	164,087	2'148,841	429,768	7,194	1,999.9	85.7
Arroz Cáscara-tallo <sup>3/</sup>	164,087	2'148,841	1'074,420	15,042	4,181.6	179.2
Caña de Azúcar-bagazo <sup>4/</sup>	71,272	8'477,642	2'119,410	16,107	4,477.7	191.9
<b>Caña de Azúcar-follaje <sup>4/</sup></b>	<b>71,272</b>	<b>8'477,642</b>	<b>1'362,588</b>	<b>21,393</b>	<b>5,886.6</b>	<b>252.3</b>
Maíz Amarillo Duro-panca <sup>5/</sup>	118,828	793,101	647,003	10,287	2,598.8	122.5

En función a la cantidad de follaje indicada en la Tabla N°2 es factible, de acuerdo a tecnologías disponibles en el mercado, operar una potencia de 252 MWe bajo un factor de carga de 0.80 (7,000 horas netas/año) y eficiencia termo-eléctrica de 0.30.

El uso del 50% de la energía generada por una potencia de 252 MWe/hora a partir del follaje de la caña de azúcar, permitiría atender una demanda de electricidad equivalente a la suma de la registrada por las regiones Lambayeque y Piura (Jaime Gianella Silva, 2013).

Por otro lado, si se tiene en cuenta la comparación del follaje de la caña de azúcar versus una canasta de cultivos (13 cultivos), observados de manera global, en términos de áreas abarcadas en el país, se observa que el follaje presenta la mayor cantidad de potencial de energía (MWe), como se puede apreciar en la Tabla N°3.

**Tabla N° 3:** Perú-energía Primaria y Potencia factible de residuos de 13 cultivos (rendimiento promedio anual 2005-2011).

Fuente: MINAG-Dirección General de Estudios Estadísticos y Económicos, Lima, Perú.

Cultivos	Residuo ton	Energía primaria GJ	MWth	Potencia MWe
Algodón-rastrajo	650,832	12,587,086	3,499,210	124.97
Arroz-cáscara	528,170	8,841,560	2,457,954	87.78
Arroz-tallo	1,320,424	18,485,939	5,139,091	51.02
Caña de azúcar-bagazo	2,249,433	17,095,692	4,752,602	169.74
<b>Caña de azúcar-follaje</b>	<b>1,481,334</b>	<b>23,256,944</b>	<b>6,465,431</b>	<b>230.91</b>
Café	103,550	1,812,133	502,363	17.94
Cebada-tallo	275,331	4,047,360	1,125,166	40.18
Espárrago-rastrajo	173,347	2,426,862	674,668	24.1
Maíz Amarillo Duro-rastrajo	943,975	15,009,200	4,172,558	149.02
Maíz Choclo-rastrajo	300,321	4,775,109	1,327,480	47.41
Maíz Amiláceo-rastrajo	209,587	3,332,427	926,415	33.09
Palma Aceitera	126,712	2,217,465	616,455	22.02
Olivo	22,562	388,525	108,010	3.86
Trigo-tallo	264,058	3,881,659	1,079,101	38.54
Vid	39,502	690,512	191,962	6.86
<b>TOTAL</b>	<b>8,689,139</b>	<b>118,848,474</b>	<b>33,038,466</b>	<b>1,047.43</b>

Así mismo se observa (Tabla N° 3) que en el Perú los residuos agrícolas son recursos actualmente no explotados comercialmente y que presentan un gran potencial energético (Ponteficia Universidad Católica del Perú, 2014).

#### 4.6 Cogeneración de energía

La cogeneración es un método clave para elevar la eficiencia energética y para la reducción de GEI (Innocente, 2011).

La cogeneración de energía, es una técnica o proceso empleado para la producción secuencial de energía, entiéndase térmica y eléctrica, a partir de una fuente de energía. Es en sí, la descarga de calor de un proceso, la cual se convierte en energía para otro proceso de conversión posterior (Cengicaña, 2012).

El sistema de cogeneración eleva la eficiencia en el uso de energía primaria (combustible), expresado en la posibilidad de generar, calor, vapor de proceso y electricidad de las empresas y mejora el proceso productivo, lo que conlleva a generar rendimientos altos, genera electricidad y calor al mismo tiempo. La cogeneración puede ser un medio para reducir las emisiones pues concentra en una sola operación continua procesos que pueden realizarse de manera

independiente, todo depende del factor de planta, de la tecnología y del tipo y calidad del combustible (Secretaría de Energía, 2004).

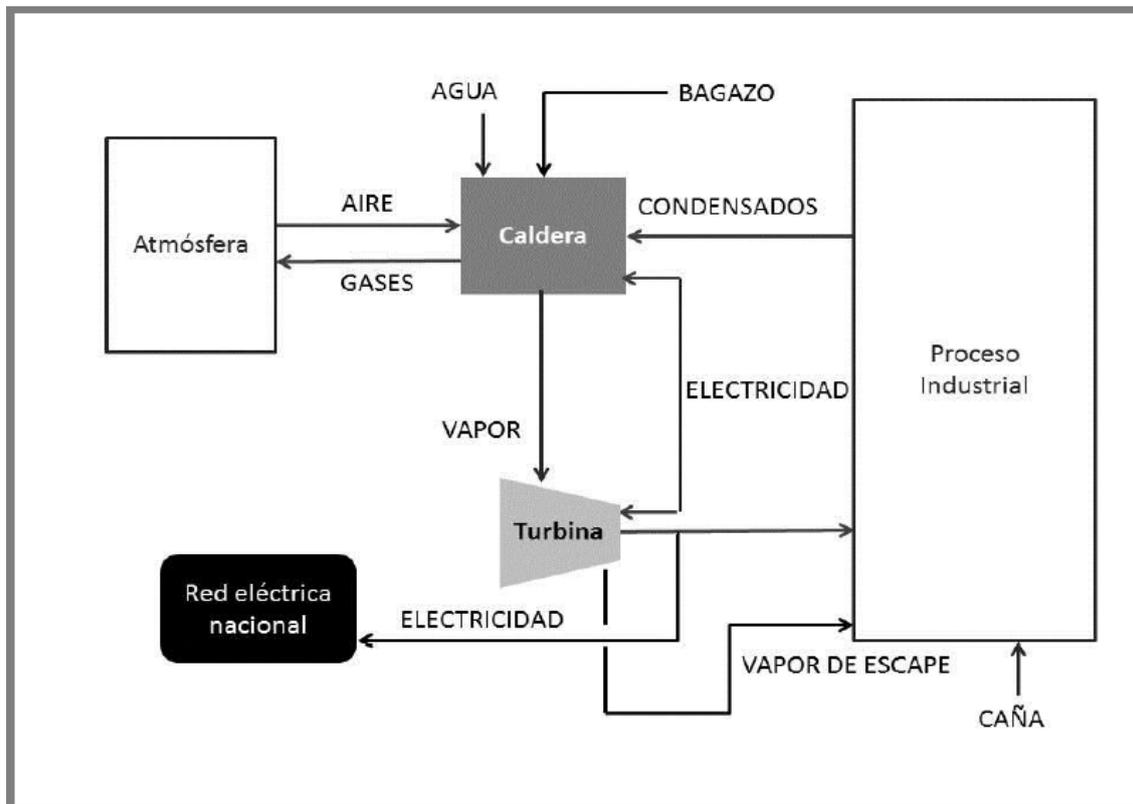
Según el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable-República del Ecuador (2013), el uso de la cogeneración se da para aumentar el rendimiento global integrando dos sistemas energéticos. Por este caso se tiene dos tipos diferentes de cogeneración.

- Cogeneración superior: Aquella en la que una fuente de energía primaria, tales como: gas natural, carbón, biomasa, biogás, diésel. se usa directamente para la cogeneración de energía (primer escalón). De la energía química del combustible se genera la energía mecánica que se transforma en electricidad. La energía térmica residual del equipo (como vapor, gases calientes o agua caliente) es suministrada a los procesos industriales ya sea para calentamiento o cocimiento, secado (segundo escalón). Este tipo de cogeneración es el más empleado.
- Cogeneración inferior: La energía primaria se utiliza directamente para satisfacer los requerimientos térmicos del proceso del primer escalón (cogeneración de energía) y la energía térmica residual, se utilizará para la generación de energía eléctrica en el segundo escalón. Los ciclos inferiores están asociados con procesos industriales en los que se presentan altas temperaturas.

Para maximizar la cogeneración el proceso industrial tiene que ser continuo, de otra manera se perdería la energía cogenerativa. Así como también tener buen excedente de calor, ya sea como gas o vapor, en las calderas o turbinas, respectivamente. De acuerdo a la industria azucarera basada en la caña de azúcar, según lo que se describe en la Figura N°5, el bagazo, que resulta de la molienda de la caña se procesa/combustiona en la caldera para generar vapor, la caldera puede operar a diferentes niveles de presión (usualmente 300psi-600psi). El vapor se entrega a la turbina para generar electricidad parte del vapor exhausto se destina a proceso industrial. La electricidad se entrega a la red eléctrica y parte de la misma para el autoconsumo de la azucarera.

Si bien hasta la actualidad, los ingenios azucareros, utilizan solamente el bagazo para la cogeneración de vapor y electricidad, existe la posibilidad de utilizar el follaje de la caña de manera complementaria al uso del bagazo, o bien para sustituirlo (Innocente, 2011).

Hoy en día, la mayoría de la potencia de cogeneración tiene relación con el ambiente, ya que la conversión de la energía primaria es más eficaz y con menor impacto ambiental (Secretaría de Energía, 2004).



**Figura N° 5:** Flujo de Energía de un Ingenio Azucarero.  
Fuente: (Cengicaña, 2012).

#### 4.6.1 Casos de cogeneración a partir del follaje de la caña de azúcar

La información que se tiene en cuanto a la cogeneración a partir del follaje de la caña de azúcar es limitada, debido a la carencia de información sistematizada suficiente respecto del potencial energético de la biomasa de origen agrícola como recurso de energía renovable, por ello, a continuación se presentan estudios realizados:

En un estudio realizado por PNUD-Brasil (2005) sobre la generación de energía proveniente de biomasa de la caña de azúcar, bagazo y follaje. Se evaluó y desarrollo la tecnología necesaria para poder usar de manera eficiente el bagazo y follaje de la caña de azúcar como combustible para el sistema de cogeneración mediante gasificación con turbina de gas, este se realizó en conjunto con el PNUD-Brasil y el Centro de Tecnología Canavieira, este proyecto tuvo gran alcance y reconocido por varias instituciones. El proyecto tuvo cuatro temas principales: recuperación, proceso y uso del follaje; gasificación con el follaje y el bagazo; integración de la gasificación y la turbina de gas con la molienda de la caña y la evaluación de los impactos ambientales y medidas de mitigación.

En el informe realizado por el Ministerio de energías y Minas (2013) sobre la determinación del potencial de bioenergía llevada a cabo en Loreto, Ucayali, San

Martín y Madre de Dios. Se dio a conocer, de manera preliminar, el potencial en bioenergía que poseen las regiones de Loreto, Madre de Dios, Ucayali y San Martín, teniendo en consideración la línea de base que se realizó en el informe con respecto al potencial energético a partir de la biomasa, lo cual permita implementar proyectos o programas de bioenergía en el país; con ello se demostró el potencial energético que poseen los respectivos departamentos del Perú.

Tesis realizada por Kurt Woytiuk (2006) está enfocada en una investigación preliminar en cuanto al proceso del follaje de caña de azúcar de un ingenio azucarero en la isla de Maui, Hawaii. El objetivo de la tesis fue eliminar la práctica de la quema de caña de azúcar a campo abierto, siendo usado como un combustible complementario en el proceso de la caña de azúcar a nivel de laboratorio, lo cual resultó favorable para el uso del follaje de la caña de azúcar como combustible alternativo.

En el informe realizado por Jaime Gianella Silva (2013) sobre la biomasa residuo agrícola para energía comercial se evaluó la disponibilidad de biomasa residuo agrícola para fines de energía y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), basado en cifras correspondientes al valor promedio anual. Se realizó teniendo en cuenta 13 cultivos, entre ellos, la caña de azúcar, la cual se compone del 50% del total, superando las 100 hectáreas. Como resultado se obtuvo que la media anual de residuos de los cultivos seleccionados fue 8.68 MM ton. Con lo que se puede generar energía primaria de 118.8 miles de TJ, lo que permite operar una potencia de 1,180 MWe. En comparación con la potencia proyectada, que menciona el Ministerio de Energías y Minas, en el anuario de estadística eléctrica 2010 – 2011, la proyección llega a 950 MWe. Se concluye que el costo promedio estimado para el residuo agrícola puesto en planta térmica, es competente frente a combustibles fósiles. Además del efecto en materia de reducción de emisiones de GEI, que se puede dar como resultado del uso de biomasa residuos agrícolas para fines de energía térmica competitiva.

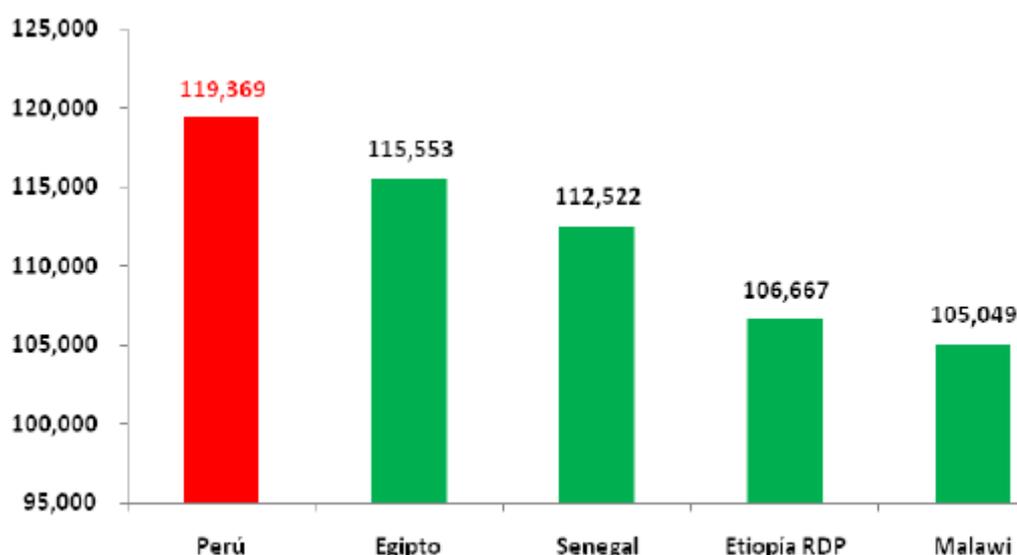
En el estudio realizado por Jaime Gianella Silva (2013) sobre biocombustibles como posibilidad para energía competitiva en la costa del Perú, mostró que los residuos agrícolas y forestales representan una importante fuente de energía primaria, la cual no es aprovechada como generación térmica competitiva. Así mismo, estos residuos permitirían instalar una dimensión de potencia para contribuir la demanda de electricidad. En el periodo 2006 – 2010, se tomó en cuenta 4 cultivos, algodón, caña de azúcar, arroz y maíz. Entre ellos se alcanzó 80.86 miles de TJ, lo que es factible operar una potencia de 960MWe, en condiciones de 0.30 de eficiencia termoeléctrica y 0.80 de factor de carga. De estos cultivos mencionados, la caña de azúcar y el arroz fueron los que presentaron un mejor perfil para ser utilizados en un corto plazo con fines de energía competitiva. Estos se procesan a escala industrial, lo que ayudaría a que los residuos (cáscara de arroz, follaje y bagazo) sean acopiados a bajo costo y de uso continuo. Hoy en día el bagazo de usa para cogeneración en las plantas industriales azucareras y en cuanto a la cáscara de arroz, una parte de este, se destina como combustible para uso en ladrilleras. En particular el follaje de caña de azúcar, llegó a tener un potencial energético de 252.3MWe.

#### 4.7 Análisis de la producción de azúcar en el Perú

El cultivo de la caña de azúcar es considerado uno de los principales cultivos agroindustriales en el Perú, ya que genera un aporte importante al valor bruto de la producción agropecuaria y en especial en el subsector agrícola, por lo indicado, se sabe que para el año 2012 el Valor Bruto de Producción agropecuaria, en cuanto a la caña de azúcar, obtuvo un incremento del 4.9% con respecto del año anterior (Miniterio de Agricultura y Riego, 2013).

Con el pasar de los años, a partir del final de la década del 90, la industria azucarera ha demostrado un incremento con respecto a las áreas cosechas de caña de azúcar, dicho de otra manera, hasta el año 2012 se percibió un incremento de 33%, con lo cual aumento la producción de caña de azúcar en un 64%, así como también la producción de azúcar creció en 60% (Monder S.A.C, 2013).

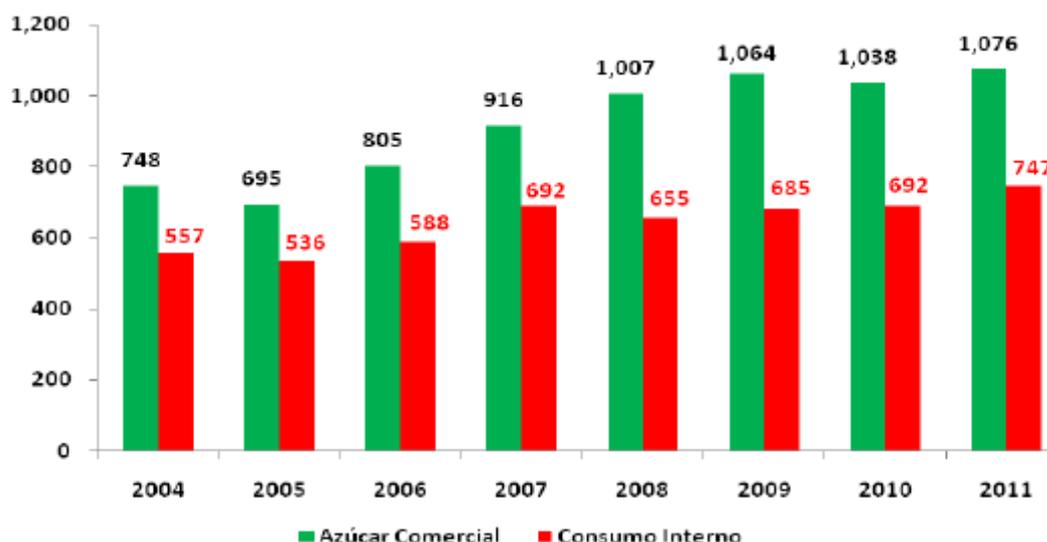
Una de las principales ventajas competitivas del Perú, respecto a otros países productores del mundo, es que la cosecha se da durante todo el año, lo que conlleva a tener un mayor rendimiento promedio, como se puede observar en la Figura N° 6 (Ministerio de agricultura y riego, 2013). Además de ser uno de los países con mayor consumo de azúcar rubia.



**Figura N° 6:** Principales rendimientos promedio mundiales 1992-2011 (kg/ha).  
Fuente: (Miniterio de Agricultura y Riego, 2013)- FAO.

En cuanto a producción de la caña de azúcar se determinó que hasta diciembre de 2012 aportó al PBI agroindustrial con el 19.1% obteniendo un crecimiento del 3.24% con respecto al año 2011.

Por otro lado, teniendo en consideración la producción de azúcar comercial al año 2012 tuvo un crecimiento de 2.8% con respecto al año anterior (2011). Si se tiene en cuenta el consumo interno durante el periodo 2004-2011 tuvo un crecimiento del 33.9%, como se aprecia en la Figura N°7 (Miniterio de Agricultura y Riego, 2013).



**Figura N° 7:** Producción de azúcar comercial v/s consumo interno (Miles de t).  
Fuente: (Ministerio de Agricultura y Riego, 2013) – Empresas azucareras-MINAG-OEEE.

La producción del azúcar se da en tres formas, azúcar rubia, azúcar blanca y azúcar rubia de exportación. Para el año 2012 la producción fue de 70%, 25,5% y de 4.4% respectivamente. En cuanto al rendimiento de azúcar por hectárea de caña de azúcar, el promedio a nivel nacional es de 13.44 toneladas al año 2011, siendo Ancash el de mayor rendimiento (15.61 t/ha) (Ministerio de Agricultura y Riego, 2013).

#### 4.8 Análisis del proceso productivo de la caña de azúcar

Dentro del proceso productivo de la caña de azúcar existen dos grandes etapas, la etapa previa, la agrícola, donde se describen los componentes centrales del cultivo de la caña de azúcar y la parte industrial, la cual trata del proceso de producción de azúcar. La parte agrícola implica diversas labores de campo, estas son: la preparación del terreno en función de las características del suelo, los cuales suponen diversos grados de exigencia de preparación. Entre las labores principales están la subsolación, nivelación, rastra y cruza, las cuales se llevan a cabo con el uso de maquinarias agrícolas. La siembra se efectúa mediante porciones de tallo de caña de azúcar. Posteriormente bien la etapa industrial.

Para la parte industrial, el proceso de la fabricación de azúcar a partir de la caña de azúcar, se deben considerar diferentes aspectos, tales como: cosecha, logística de campo, corte y post-cosecha (Rivera L. D., 2002). La mayoría de plantaciones se cosechan de manera convencional, implica la quema de la caña previa cosecha, luego el corte manual, el arrume y carguío para el transporte a la fábrica donde se realiza el proceso de fábrica.

En cuanto a la cosecha mecanizada se sabe que de los diez ingenios solo tres cuentan con el sistema de cosecha mecanizado, en esta práctica los campos previos a la cosecha no son quemados, como lo son con la cosecha manual

(Israel Balboa Arroniz, 2013). Por otro lado, los ingenios azucareros tercerizan las labores de cosecha y transporte. Además diversas azucareras han incorporado equipos de mayor eficiencia para el arrume, carguío y transporte de caña. Recalca la renovación de maquinaria para el alce de la caña y tolvas para el transporte (Monder S.A.C, 2013).

Previo a la cosecha se debe tener en cuenta que el suelo debe estar arado y con surcos para el comienzo de la siembra de la caña de azúcar; la siembra es la parte trascendental en el desarrollo de la plantación, la distancia entre tallo y tallo en los surcos, dependerá de la variedad, textura y fertilidad del suelo, a la hora de la cosecha los tallos, usualmente, se cortan cuando tienen de 10 a 12 meses ya sea en el caso de caña planta o caña soca.

En cuanto al riego, el primer riego se realiza entre los 10 a 30 días después de la cosecha, sin embargo esto depende del tipo de suelo. El riego se puede dar de tres maneras, ya sea por aspersion, por surcos o por goteo. Por otro lado se realiza la fertilización de acuerdo a la fase en la que se encuentra el cultivo (Misti-fertilizantes, 2001).

Una vez cosechada la caña es transportada al ingenio, donde continúa su transformación en azúcar. Las edificaciones y conjunto de equipos/maquinarias que conforman la infraestructura propia de la industria de la actividad fabril azucarera, es común a todos los ingenios. Sin embargo; existen diferencias cuando se trata de cogeneración (acápite 4.6).

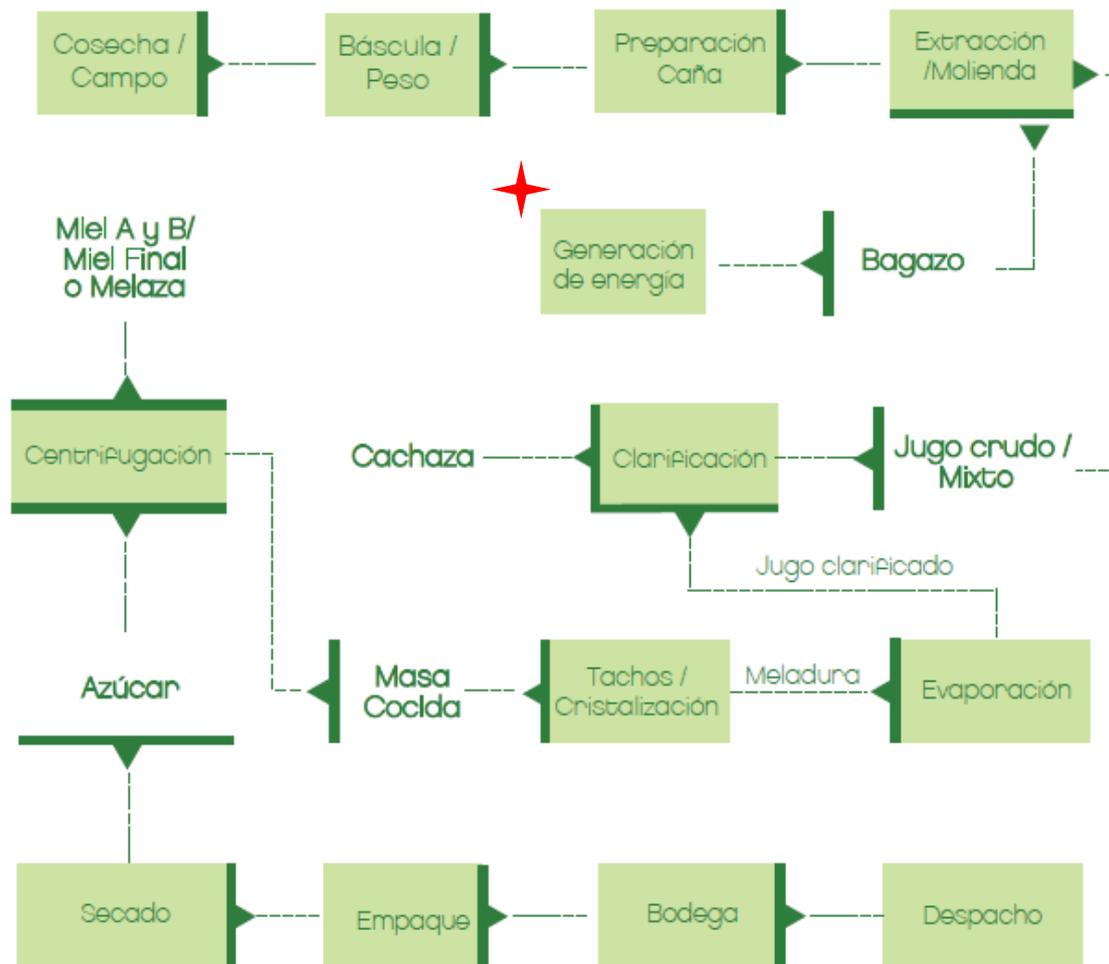
Generalmente el proceso de fabricación de azúcar granulada y etanol consta de subprocesos, los cuales son: entrada, báscula (pesado), molienda, clarificación, evaporación, cristalización, separación/centrifugación, refinado (sobre todo para obtener azúcar blanca), secado, envasado y despacho, (Figura N°8) (Azúcar Ledesma, 2006).

Se puede observar en la Figura N°8 que el residuo de la molienda resulta ser el bagazo, el cual es utilizado para la generación de energía. Esto sucede cuando un ingenio azucarero brinda el proceso de cogeneración, como planta térmica, donde se usan calderos y turbinas para cogeneración (electricidad/vapor de proceso) mediante el uso del bagazo (los calderos incluyen dispositivos para eventual uso de combustible fósil en caso no se disponga de suficiente bagazo) (Monder S.A.C, 2013).

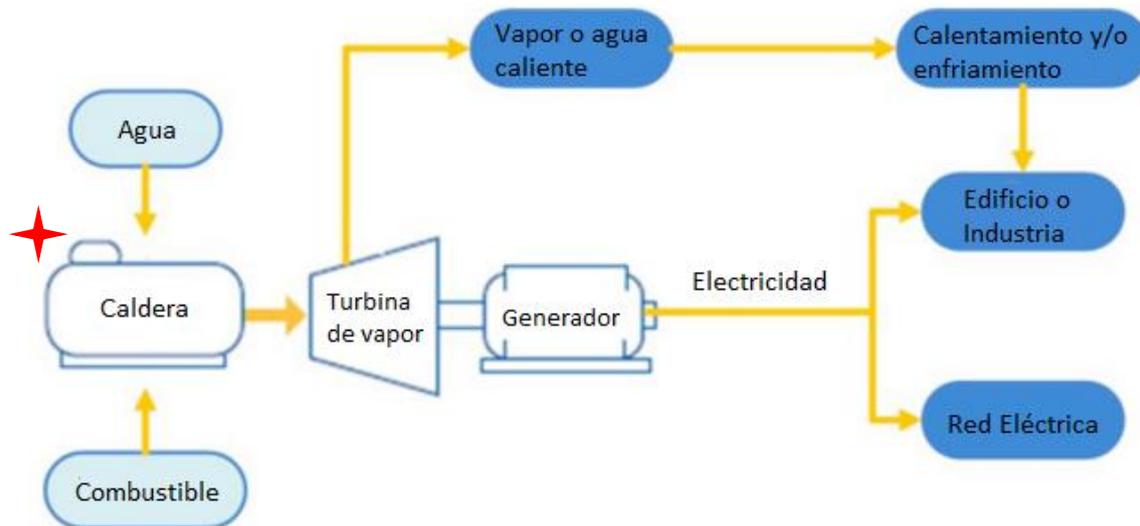
El proceso de cogeneración se ve reflejado en la Figura N°9. En este proceso se utiliza una caldera y una turbina de vapor; el bagazo es introducido en la caldera como combustible para el proceso que terminará generando electricidad, la cual puede ser utilizada a beneficio de la misma fábrica o brindando energía a la red eléctrica. (Ministerio de electricidad y Energía Renovable, 2013).

Sin embargo; si no se cuenta con la cantidad necesaria de bagazo para el proceso de cogeneración en la planta térmica como combustible, debido a que este también puede ser utilizado en la industria de pulpa química para papel y cartón; se utiliza combustible fósil, probablemente el petróleo. Por lo cual ya no estaría dentro los parámetros de eficiencia y a su vez emitiría vapores

contaminantes que perjudicarían al ambiente. Por ello se propone el uso del follaje o biomasa aérea como energía primaria (MWth) para su uso como combustible en las calderas, lo cual traería muchos beneficios a nivel campo, fábrica y en planta térmica (cogeneración) (ver acápite 4.9).



**Figura N° 8:** Proceso de fabricación del azúcar a partir de la caña de azúcar.  
Fuente: San Carlos (2008).



**Figura N° 9:** Esquema de cogeneración con caña de azúcar.

Fuente: (Ministerio de electricidad y Energía Renovable, 2013).

#### 4.9 Análisis del proceso productivo e impacto con el uso de la biomasa aérea-follaje

Como se menciona anteriormente el follaje de la caña de azúcar, también llamado biomasa aérea, tiene potencial para ser aprovechado como energía primaria, para emplear el follaje de la caña de azúcar como biomasa, el cambio se da en la etapa agrícola ya que en la cosecha convencional la caña es quemada previamente, perjudicando la biomasa aérea.

Así como también implica cambios en el proceso de producción, ya que se necesitaría pasos previos a su utilización, tales como no quemar los campos de cosecha, deshojar los tallos, obtener un porcentaje bajo de humedad de la biomasa aérea. Por ello, la utilización del follaje implica cambios en las prácticas agrícolas, así como también a nivel ingeniería de base, proceso y detalle, tanto en logística de campo como en la planta industrial y finalmente en la planta térmica (Monder S.A.C, 2013).

La sinergia que surge de la no quema de la caña como fuente de energía competitiva tiene especial efecto sobre la propia actividad industrial azucarera. Evitar la quema de la caña y disminuir el tiempo de corte y extracción garantiza un mayor rendimiento en kilos de azúcar por tonelada de caña procesada. De acuerdo a estudios realizados en la costa norte del Perú (Canditec AB - Monder S.A.C, 1994) se demostró en los ingenios Pomalca, Tuman y Pucalá que por razón de no quemar la caña se obtiene no menos de un 20% de azúcar granulada, explicado por la no pérdida de sacarosa sobre la caña quemada. Se agrega que también para beneficio de la actividad azucarera disponer de jugos más ricos y más puros como resultado de no quemar la caña y asegurar una cosecha y transporte adecuados.

A continuación de manera gráfica del beneficio energético que posee la caña de azúcar se presenta el balance de energía con el uso y no uso del follaje de la caña de azúcar.

**Tabla N° 4:** Balance de energía.  
Fuente: Jaime Gianella Silva. 2016.

### BALANCE DE ENERGÍA

<b>ENTRADAS (GJ/ha)</b>	<b>Planta y Soca promedio</b>
Preparación del terreno	48.37
Fertilización	23.04
Herbicidas e insecticidas	0.26
<b>Consumo energético agronómico</b>	<b>71.68</b>
Cosecha (arrume y carguío)	4.07
Transporte	122.00
<b>Consumo energético logística campo</b>	<b>126.07</b>
<b>TOTAL ENTRADA ENERGÍA POR Ha GJ</b>	<b>197.74</b>

<b>SALIDA ENERGÍA PRIMARIA CAÑA QUEMADA (GJ/ha)</b>	
Bagazo base seca - 14% materia entrante a molienda	323.11

<b>SALIDA ENERGÍA PRIMARIA CAÑA SIN QUEMADA (GJ/ha)</b>	
Bagazo base seca - 12.5% materia entrante a molienda	274.75
Follaje base seca - 23 Ton	361.10
<b>Total</b>	<b>635.85</b>

El análisis del balance de energía se enfoca en la diferencia que resulta entre la entrada de energía expresada GJ. Las entradas comprenden el consumo de combustibles para las labores de preparación, cosecha y transporte campo-ingenio. La labor de preparación comprende el uso de maquinaria para: aplicación/pasada de rastra para desbroce, nivelación subsolación y surcada.

En el anexo 4 se indica a nivel de hectárea las horas de operación, el consumo de diesel/hora; la suma del consumo de combustible diesel, para el conjunto de labores de preparación es de 333 galones. Este consumo equivale a 1,260 litros, lo cual a su vez representa 12.27 GJ.

Otro aspecto es el consumo de fertilizantes, herbicidas e insecticidas. Con relación a fertilizantes, el consumo está referido a unidades de nitrógeno, potasio

y fósforo. Estos elementos tienen distinto contenido energético, a su vez la proporción de su aplicación en 48% para nitrógeno, 23% para fósforo y 28% para potasio. La suma de la cantidad de fertilizantes aplicado por hectárea alcanza a 742.5 kg por hectárea, la correspondiente cantidad de energía, que tal aplicación representa, alcanza a 23.4 GJ.

El significado de la entrada de energía por concepto de herbicidas e insecticidas es significativamente menor que lo indicado para fertilizantes. El total de kilogramos aplicados por hectárea de herbicida e insecticidas fluctúa entre 1.6 – 2.0. La energía contenida en esta aplicación (entrada de energía) fluctúa entre 0.26 GJ – 0.325 GJ por hectárea.

Finalmente se tiene el consumo energético que corresponde a las labores de logística de campo de cosecha manual. A su vez, como se ha indicado en otras secciones del presente documento, la mayoría de insumo genera la quema de la caña de azúcar antes de su corte; las labores inmediatas de corte comprende el arrume y carguío de la caña depositada en campo para su transporte mediante camiones a la planta industrial o ingenio. El consumo de combustible de estas dos labores (arrume y carguío y transporte) representa un consumo de 868 galones por hectárea, volumen equivalente a 3,285 litros por hectárea, volumen que expresados en unidades energéticas alcanza a 126.07 GJ.

De acuerdo a las cifras descritas contenidas en la Tabla N°4, el total de entrada de energía por hectárea de caña de azúcar por concepto de preparación, cultivo y transporte es de 197.74 GJ. Con relación a la estimación sobre salida de energía por hectárea de caña de azúcar, calculada respecto de situación de caña quemada, dicha energía se refiere al bagazo en base seca que aporta la cosecha de una hectárea de caña. Este volumen de bagazo representa el 14% de la materia en base húmeda entrante a molienda. En tanto se toma como referencia 140 toneladas de tallo por hectárea, material que se procesa (cosecha caña quemada, corte manual) contiene 5% de impurezas; por lo tanto el 14% está referido al volumen total de tallo neto más impurezas. La energía contenida en el volumen por hectárea final procesado (caña neta más impurezas) llega a 323.11 GJ.

Si se considera la posibilidad, el aporte de energía primaria por hectárea de caña si quemar cosechada y si se tiene lo que representa el bagazo base seca que representa el 12.5% del total de la materia entrante a molienda más el follaje, base seca, la suma de energía primaria que aportan estos dos componentes es de 635.85 GJ (Silva, Balance de energía, 2016).

El balance de energía para el caso de la caña quemada referido a la relación entre entrada de energía (preparación, cultivo, cosecha y transporte) y el bagazo resultante de la molienda resulta positivo, ya que la energía primaria aportada por el bagazo supera en 63% más a la energía requerida por hectárea. Con relación al balance de energía proyectado en base a cosecha de caña sin quemar se observa una significativa mayor diferencia positiva en comparación a lo que resulta la cosecha de caña quemada. Si bien el aporte de bagazo en base seca es inferior en unidades de energía respecto del aporte del bagazo de caña quemada (diferencia que se sustenta por la presencia de impurezas) se agrega

el aporte del follaje base seca. La suma del bagazo base seca de la caña sin quemar más el correspondiente follaje es de 635.85 GJ por hectárea, esto es 100% más de lo que se obtiene de una hectárea de caña quemada.

#### 4.10 Lugar de estudio

Para el presente estudio se obtuvo el apoyo de la azucarera Agro Industrial Paramonga S.A.A (AIPSAA), empresa dedicada a la producción de azúcar granulada, rubia y blanca refinada. Ubicada en el Distrito de Paramonga, Provincia de Barranca, Departamento de Lima – Perú (10°40'26.8"S 77°49'16.1"W).

Paramonga desde fines de la década de 1930 hasta la década de 1960, además de la producción de azúcar granulada, desarrolló una intensa actividad industrial basada en la caña de azúcar, que comprendió la elaboración de papeles y cartones, alcohol etílico y policloruro de vinilo o PVC (Agro Industrial Paramonga, 2014).

Para englobar la historia de Agro Industria Paramonga, se presenta un extractos del libro de Lawrence A. Clayton "W.R Grace & Co. Los Años Formativos, Asociación de Historia Marítima y Naval Iberoamericana, Lima Perú, julio de 2008":

*"Buscando usos alternativos para el azúcar y sus derivados, los ingenieros y técnicos de la Grace, siempre alentados por Gastón Lipscomb desde su despacho en Nueva York, desarrollaron el primer proceso comercial para fabricar papel empleado el bagazo, que era la fibra que quedaba de la caña una vez que se extractaban los jugos. Tras varios años de experimentación en el pequeño laboratorio químico de Cartavio y luego en una planta piloto en Whippany, Nueva Jersey, la Grace ordenó a Alemania una máquina procesadora de papel de ciertas especificaciones. Se embarcó en Europa en 1938 y se instaló en Paramonga al año siguiente. La vieja hacienda, que no rendía utilidades desde 1927, comenzó a recuperarse en 1940 y nunca volvió a caer. El éxito inmediato de la primera procesadora de papel llevó a la expansión y al desarrollo de nueva infraestructura en Paramonga, donde en 1968 se contaba con cinco máquinas que producían en serie toneladas de papel para el Perú.*

*Pero más que papel y utilidades, Paramonga tuvo otro significado, pues le señaló un nuevo camino a la compañía, que pasó del comercio a la producción industrial. Los campos salitreros de Paposo y las plantaciones de azúcar fueron las precursoras de esta nueva orientación de la Grace, pero el éxito con el papel fue el verdadero punto de quiebre. Para la década de 1960, además de elaborar toda la gama de productos que puede haber entre el papel higiénico y el cartón, los químicos de Paramonga continuaban experimentando con los productos derivados de la caña, buscando producir poli cloruro de vinilo o PVC, uno de los más importantes*

*plásticos de los tiempos modernos, y llegaron a ser sus primeros productores en el Perú. También fueron durante muchos años la única fábrica de papel del país y los talleres de Paramonga se convirtieron en un centro de exhibición del Perú, ya que comenzó a recibir la visita de técnicos e ingenieros de todas partes del mundo”.*

Hoy en día, AIPSAA pertenece al grupo E. Wong (94% de las acciones), empresa renovada, entre otros aspectos destaca su inversión en el cuidado del medio ambiente como parte de su política de responsabilidad social.

#### **4.10.1 Especificaciones - AIPSAA**

AIPSAA, cultiva diversas variedades de caña de azúcar. La población aceptable de tallos por hectárea cosechables, puede alcanzar un rango de 80,000 a 100,000 individuos.

La cosecha de la caña se programa anualmente. Esta programación se efectúa en el mes de noviembre, la proyección de la misma se va ajustando mes a mes en función a tasa de crecimiento de la planta, rendimiento de biomasa estimado, y contenido de sacarosa. Cada variedad cultivada registra particulares tasas de crecimiento y contenido de sacarosa; si bien, las diferencias en la mayoría de los casos no son muy significativas, ello implica diferencias entre específicos periodos vegetativos y por ende edad para proceder a la cosecha (Salas, Información del cultivo, 2015).

La cosecha de los campos se realiza de dos maneras: mecanizada y manual. La cosecha mecanizada, se introdujo en el 2012. En el 2014 este tipo de cosecha se efectuó en el 12% del área cosechada. La caña cosechada mecánicamente es caña “verde” o sin quemar. La caña cosechada manualmente se quema previamente al corte.

Con relación al uso del bagazo para fines de energía térmica (cogeneración), la industria azucarera nacional mantuvo bajos niveles de eficiencia, característica común de ésta actividad a nivel internacional. Hasta antes de la primera crisis del petróleo (1973) resultaba más conveniente consumir todo el bagazo y comprar petróleo si este faltaba para operar los calderos de los ingenios azucareros. Si bien, en varios de las plantas azucareras del país se han efectuado inversiones en mantenimiento industrial que implicaron repotenciar o sustituir calderos y turbinas, solo la empresa Agro Industrial Paramonga S.A.A. llevó a cabo inversiones con la finalidad de mejorar su eficiencia termo-eléctrica para autoabastecimiento de vapor de proceso y electricidad y para venta de electricidad al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN). AIPSAA es la única empresa azucarera que en el marco de la subasta para entrega de electricidad al SEIN, a partir de fuentes de energía renovable, ha obtenido la buena pro para tal suministro.

AIPSAA afronta limitaciones para el abastecimiento oportuno de energía requerida por su planta industrial y paralelamente para cumplir el suministro al SEIN antes indicado. El principal problema es la generación en volumen

suficiente de vapor para atender la necesidad de vapor de proceso y a la vez disponer del volumen adecuado de vapor para operar a plena carga el turbogenerador que dispone. Esta carencia de vapor puede ser resuelta mediante la instalación de un caldero adicional (actualmente la capacidad de generación de vapor es 120tnv/h). El problema para AIPSAA es que consume en su caldero todo el bagazo que genera la molienda de caña; por lo tanto, no dispone de otro biocombustible-biomasa para la eventual operación de un caldero adicional que permita asegurar suficiente vapor para operar plenamente su turbogenerador de 23MW y cubrir las necesidades de vapor de proceso (Salas, Características de la planta generadora, 2014).

En el contexto descrito el follaje de la caña podría contribuir a subsanar a falta de combustible-biomasa. Se ha indicado que alrededor de del 88% de la caña procesada por AIPSAA proviene de campos que se han quemado como paso previo a su cosecha lo cual implica el desperdicio de un biocombustible potencial que representa el follaje de la caña.

AIPSAA para fines de programar la cosecha-molienda de la caña, clasifica los campos en seis categorías/áreas: Propios, Arrendados, Propios-sembradores, Ingenio más arrendados, Sembradores más ingenio y Andahuasi (esta última categoría corresponde a campos localizados a más de 80 Km del ingenio de AIPSAA). Para este estudio se tuvo en cuenta solo la proyección de molienda de los campos propios de AIPSAA-Paramonga, ya que pertenece a los campos propios y no de terceros.

## V. METODOLOGÍA Y MATERIALES

### 5.1 MATERIALES

#### 5.1.1 Material vegetal

La materia vegetal que se estudió fue la caña de azúcar conocida también como caña miel o caña dulce, pertenece a la familia de las Poaceae, especie *Saccharum officinarum* L (SNV, 2008).

Las variedades estudiadas pertenecen a las variedades denominadas tropicales, estas fueron introducidas al Perú hacia fines de los años 90, se observa una tendencia creciente de su cultivo en los diversos valles que abarca la actividad industrial azucarera. Las variedades tropicales, respecto de las llamadas convencionales, se caracterizan por un periodo vegetativo de menor duración y por generar mayor volumen de biomasa aérea, esto último expresado en mayor contenido de follaje (cogollo, hojas, vainas). A la fecha, no se dispone de estudios que provean información suficiente sobre el análisis de la potencialidad de dicho componente follaje para fines de energía y otros usos alimentarios e industriales.

Para el estudio se recabó material de los campos de cultivo de caña de azúcar de la empresa AIPSAA. Esta empresa procesa caña de campos propios y de terceros. Cabe indicar que las muestras de caña utilizadas en el análisis corresponden únicamente a campos de propiedad de AIPSAA, ubicados dentro de un radio de 5-10 Km de la planta industrial.

De acuerdo con AIPSAA se estableció cláusulas de privacidad para el uso de la información sobre las variedades tropicales seleccionadas para el análisis. Se convino no mencionar las variedades indicadas de acuerdo a su nombre técnico original. En tal sentido se les asignó códigos, estos son: VDR1, VDR2, VDR3, VDR4 y VDR5.

### 5.1.2 Otros materiales

Tabla N° 5: Materiales y Equipos utilizados.

Materiales		Equipos	
Material	Cantidad	Equipo	Cantidad
<b>Campo</b>		<b>Laboratorio</b>	
Cámara	1	Balanzas de plataforma y de mesa	3
herramienta de corte	3	Marca: Mettler Toledo / Modelo: IND690 y Modelo: ML6001	
Transporte	1	Prensa Hidráulica	1
<b>Laboratorio</b>		Marca: Engehidro / Modelo: PHE-45	
Baldes de plástico (tara)	4	Trituradora de caña	1
Estufas	4	Refractómetro (brixometro)	1
Lapicero	5	Marca: Schmidt + Haensch / Modelo: ATR W2plus	
Libreta	1	Estufa	2
Guantes de protección	3	Marca: Estufa Spencer / Modelo: TE-060	
Embudo de metal	1	<b>Gabinete</b>	
Papel toalla	1 rollo	Impresora	1
Calite (polvo)	50gr		
<b>Gabinete</b>			
Ordenador	1		
Papel bond	1000		
Lapicero	2		

## 5.2 MÉTODOLÓGÍA

### 5.2.1 Localización: Azucarera Agro Industrial Paramonga (AIPSAA)

El área donde se ejecutó la investigación sobre evaluación del valor energético del follaje de caña de azúcar, fue en AIPSAA, ubicada en el Distrito de Paramonga, Provincia de Barranca, Departamento de Lima – Perú (10°40'26.8"S 77°49'16.1"W) (Figura N°10). Esta empresa se dedica a la producción de azúcar granulada, rubia y blanca refinada.

AIPSAA tiene capacidad para procesar 4,000 toneladas de caña por día, provenientes de los campos propios (aproximadamente 56.8%) y de terceros, la molienda de caña de azúcar aproximadamente es de 1, 176,041 toneladas al año. La molienda y producción de AIPSAA representa aproximadamente el 10% de la industria nacional de azúcar.

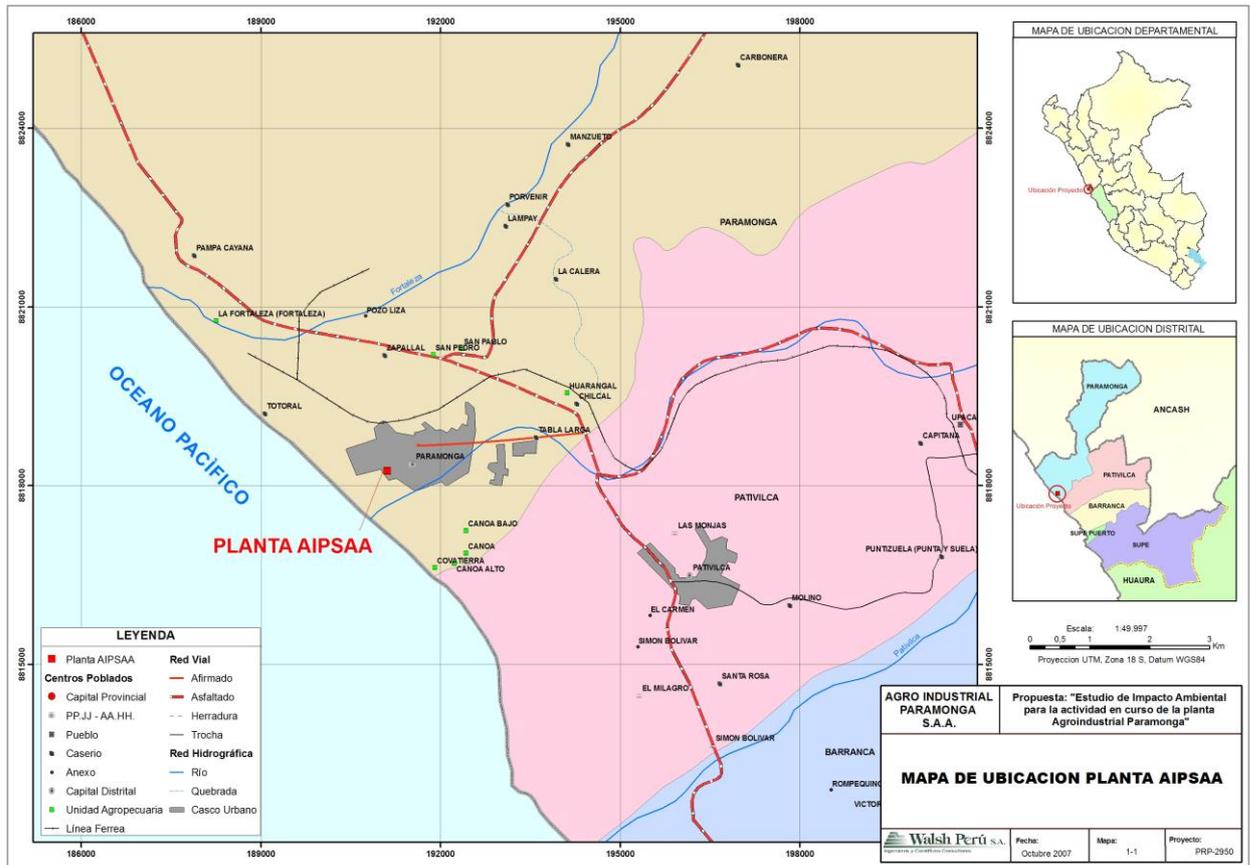


Figura N° 10: Ubicación de la Planta AIPSAA.

Fuente: (Salas, Características de la planta generadora, 2014).

A continuación se describe el proceso que se llevó a cabo para determinar el potencial energético de la biomasa aérea seca (follaje) de la caña de azúcar.

### 5.2.2 Determinación de la muestra

Del total de variedades que cultiva AIPSAA, y correspondientes al cuadro de proyección de molienda<sup>2</sup>, se consideró el rubro de los campos de cultivos propios, de los cuales se seleccionaron cinco variedades, las cuales representan el 83.7% del total de hectáreas, área que alcanza un total de 4,372.08 hectáreas, realizado con la técnica de priorización de Pareto.

De acuerdo a la selección indicada, las variedades seleccionadas fueron identificadas como: VRD1, VRD2, VRD3, VRD4 y VRD5. Las muestras de biomasa se recolectaron en el periodo abril – julio de 2015.

<sup>2</sup> El cuadro de proyección de molienda, es realizado por la misma empresa, AIPSA, en el cual se presenta las proyecciones de cosecha que se llevan a cabo durante todo el año; este puede variar debido a inconvenientes de diferentes tipos que se puedan dar durante el año.

### 5.2.3 Recolección de Muestras

La recolección de las muestras se llevó a cabo durante los meses de abril, mayo, junio y julio de 2015, para la recolección de las muestras, se tomó como referencia la metodología aplicada dada por el Centro de Tecnología Canaveira de Brasil - CTC (PNUD-Brasil, 2005). Siendo así que la recolección de los muestreos de caña de azúcar se dio de acuerdo al cuadro de proyección de molienda. La recolección comprendió los siguientes pasos:

- Se determinó el campo a ser muestreado de acuerdo al cuadro de proyección de molienda, en el cual se indica que campos son los adecuados para ser cosechados.
- Se determinó el área a ser muestreada dentro del campo seleccionado, de acuerdo a la metodología de referencia, corresponde que la planta/unidad de muestreo, este ubicada a no menos de 10 m del perímetro del campo.
- Una vez ubicada la toma de muestra se recolectó un plantón, unidad compuesta por un tallo central y ramificaciones-macollo (se recolectó en total 47 muestras de las diferentes variedades).
- Luego de obtener la muestra, se trasladó al laboratorio de AIPSAA, para su determinación del peso inmediato postcosecha y posterior medición del peso en base seca.

### 5.2.4 Determinación del peso seco

Obtenida las muestras, se pudo determinar el peso seco del follaje de la caña de azúcar teniendo en cuenta la técnica global (Augusto León Herrera, 1992), de la siguiente manera:

- Llegada la muestra al laboratorio, se separó el follaje del tallo; esto es, cada tallo de caña de azúcar fue deshojado y el follaje se clasificó en: hojas verdes, hojas secas (incluye vainas) y cogollo. De esta manera se obtuvo los tallos de caña limpios, es decir caña neta.
- Luego se procedió al pesado de cada una de las partes, componente del follaje y el tallo, mediante balanzas de plataforma y de mesa. Cada dato obtenido se registró en archivo electrónico y se realizó su impresión.
- Posteriormente el cogollo y las hojas verdes, de cada muestra, se sometieron a un secado en una zona techada al aire libre durante una semana. Pasado este tiempo se procedió al pesado de las partes y así se obtuvo el peso seco del cogollo y de las hojas (Anexo 5).
- También se analizó el componente caña limpia, el cual se sometió a molienda/extracción (parte del proceso de la caña de azúcar), con la finalidad de obtener bagazo y jugo.
- Del bagazo obtenido se tomó una muestra de 500 gr, la cual se trató en una prensa hidráulica a 150 psi por un minuto. Como resultado se fibra seca de bagazo (bagazo prensado) conformada por fibra celulosa y médula, con humedad de 15% a 20%.
- Como muestra del bagazo prensado se tomó 100 gr, cantidad que se colocó para el secado en la estufa por 40 minutos a 105°C, pasado el tiempo se obtuvo el bagazo en base seca ( $\leq 10\%$  de humedad).

- EL jugo se sometió al análisis de Brix (densidad explicada por sólidos solubles azúcares y no azúcares). El Brix es un indicador de la calidad del jugo para elaboración de azúcar (Anexo 6).

Específicamente para la obtención del peso seco de la biomasa aérea se tuvo en cuenta los siguientes datos:

- Fecha del muestreo.
- Número de tallos.
- Peso de cogollo, hojas verdes, cogollo seco, hojas verdes secas, hojas secas.
- Suma de la biomasa aérea (cogollo seco + hojas secas + hojas verdes secadas).

En la hoja de formato o cuadro matriz, se incorporaron diferentes variables a utilizar para el análisis, entre ellas la variedad de caña utilizada, el campo de donde se extrajo cada muestra, el tipo de suelo, los números de tallos que resultaron de cada toma de muestra, las partes de la biomasa aérea (cogollo, hojas verdes, hojas secas) y caña limpia, el bagazo secado y el jugo Brix.

A modo de referencia de la composición de la caña de azúcar que se muestreó y analizó el correspondiente análisis proximal, este consistió en obtener el porcentaje de humedad, carbón fijo, materia volátil, cenizas y valor calorífico de la variedad de mayor peso relativo en las plantaciones de AIPSAA.

Este análisis se llevó a cabo en el Instituto de Investigación Nutricional, donde se realizó la medición del valor calorífico. Los demás análisis de la muestra se realizaron en la Universidad Nacional Agraria La Molina, Departamento Académico de Industrias Forestales, en ambos casos se utilizaron métodos de análisis estandarizados.

### **5.2.5 Diseño estadístico**

Con los datos de las 47 muestras recolectadas, procesadas y con los datos obtenidos de biomasa aérea seca, específicamente con este último dato y la cantidad de muestras realizadas se ejecutó el análisis de varianza (ANOVA), con un valor de confianza de 0.95, llevado a cabo con el programa MINITAB15. Este método permitió otorgar validez al análisis de las muestras obtenidas, así como también inferir la homogeneidad de biomasa aérea seca de las muestras a pesar de las variedades. Además se obtuvo la gráfica de cajas respecto de la biomasa de las muestras, con la cual se puede ver las diferencias en valores.

Por otro lado se calculó el valor de los indicadores varianza, desviación estándar y coeficiente de varianza para determinar la dispersión de las muestras en forma general. Así como también se determinó los valores de frecuencia relativa y variación porcentual.

Por otro lado se determinó la diferencia proporcional entre variedades seleccionadas y no seleccionadas con relación a los totales contenido en el cuadro de proyección de molienda.

A los análisis estadísticos sobre la biomasa descrita en el párrafo anterior se agregó la información que provee el análisis proximal (especificado en el acápite 4.2) a modo de sustentar el potencial energético que contiene el follaje de la caña de azúcar.

### 5.2.6 Cálculo de energía

Una vez obtenido el peso del follaje en base seca, con niveles de humedad igual o menor de 10%, se estimó el contenido energético expresado en Kcal/kg y en GJ. Los parámetros de conversión utilizados son: 1TM de follaje de caña de azúcar = 3.75 Kcal MM = 15.70 GJ (European Commission, 2002).

La biomasa aérea seca total, proviene del muestreo realizado, se resuelve la cantidad de biomasa aérea por tallo (divide entre el total de tallos extraídos para cada variedad), luego se multiplica por 90,000, cifra que representa en número promedio de plantas de caña por hectárea considerado en AIPSAA (Tabla N°11).

Posteriormente a cada rendimiento de biomasa seca por hectárea de cada variedad se multiplica por el número total de hectáreas que representa cada variedad conforme al cuadro de molienda de campos propios, y finalmente la suma de ellos es el dato extrapolado en toneladas, para estimar preliminarmente la cantidad nominal de energía que AIPSAA podría obtener del follaje de sus campo (Tabla N°12).

#### 5.2.6.1 Caso particular: Conversión a energía eléctrica

La eficiencia en el uso de la energía primaria (MWth) puesta en planta, será función de las tecnologías de combustión y/o gasificación que se apliquen para el uso de un determinado combustible, en el caso bajo análisis biomasa follaje de caña.

En el caso particular de la azucarera AIPSAA, el follaje podría ser utilizado como parte del procesamiento de la caña de azúcar, para generar energía eléctrica. Estimar el potencial para generación de energía eléctrica por tonelada de follaje en base seca, implica la siguiente relación: 1 TM de follaje = 15.7 GJ = 0.0157 TJ = 4.36 MWth<sup>3</sup> de energía primaria = 1.09 MWe en función de 0.25 de eficiencia termoeléctrica (European Commission, 2002).

Para estimar la potencia factible que eventualmente AIPSAA podría operar mediante el uso de follaje de caña se requiere proyectar la energía secundaria – electricidad que resulte del total de follaje disponible. Esta energía (MWe) se divide entre el número de horas netas de operación por año (7000), lo cual indicaría la correspondiente potencia expresada en MWe/h.

---

<sup>3</sup> Factor de conversión: 1TJ = 278 MWth.

### 5.2.7 Premisas de los campos evaluados

Como premisa se ha considerado las siguientes variables tipos de suelo que se registraron en los campos de cosecha analizados, data de temperatura, sistema de riego y humedad del campo antes de ser cosechado. Por ello se tiene:

- La temperatura promedio entre el periodo de los meses de abril y julio de 2015 osciló entre 19.8 °C hasta 22.3°C.
- Los suelos de los campos analizados varían entre tres tipos, los suelos tipo I, calificado como el mejor suelo, de mayor potencial productivo; suelos tipo II, calificado como productividad media y los suelos tipo III, calificado como los de menor potencial de productividad. De los cuales el 48.88% de las muestras pertenecen a los suelos tipo I, 20% a suelos tipo II y el 31.12% pertenece a los suelos tipo III.
- En la azucarera AIPSA el riego se aplica en dos formas, riego tecnificado que puede ser mediante sistema por goteo o aspersión y riego por gravedad. Los campos analizados corresponden a la categoría de riego tecnificado.
- La humedad en campo en promedio es de 65.8% y la humedad de la caña extraída es de 33.6%.
- Las variedades analizadas corresponden a tipos clasificados genéricamente como “más tropicales”, introducidas al país a partir de la segunda mitad de los años 90. Principalmente difieren de las variedades denominadas tradicionales por el menor periodo vegetativo de la caña planta (siembra hasta el primer corte) y por un mayor contenido de follaje como proporción de la biomasa aérea.

## VI. RESULTADOS

Como producto final del muestreo de las cinco variedades se obtuvo el cuadro de resultados (Anexo 7) el cual contiene información de todas las muestras de recojo de caña que se realizaron en AIPSAA; en la tabla N°6 se presenta el cuadro resumen de resultados correspondiente a la biomasa aérea analizada.

**Tabla N° 6:** Cuadro resumen de resultados.

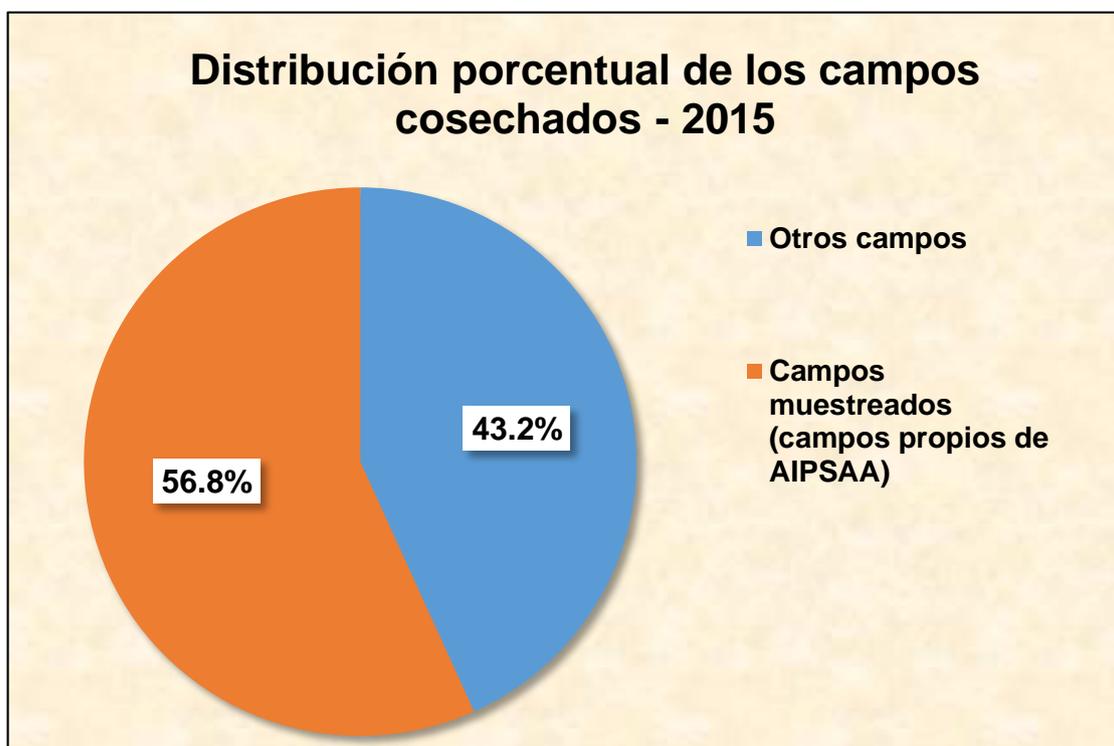
Variedades	N° de Tallos	Cogollo Kg	Hoja Verde (Kg)	Hoja Seca (Kg)	Caña Limpia (Kg)	Cogollo seco (kg)	Hoja secada (kg)	Biomasa aérea seca total (kg)
VRD1	67	9.3	18.0	13.9	124.8	2.0	6.6	22.6
VRD2	333	31.7	55.2	33.1	470.0	16.7	23.4	73.2
VRD3	26	2.1	1.2	4.0	39.7	0.5	1.3	5.8
VRD4	44	7.5	7.9	5.0	100.2	3.4	3.0	11.4
VRD5	7	0.6	1.4	0.8	16.2	0.4	0.5	1.7
<b>TOTALES</b>	<b>477</b>	<b>51.2</b>	<b>83.7</b>	<b>57</b>	<b>751.0</b>	<b>23</b>	<b>34.9</b>	<b>114.7</b>

### 6.1 Resultado de variedades

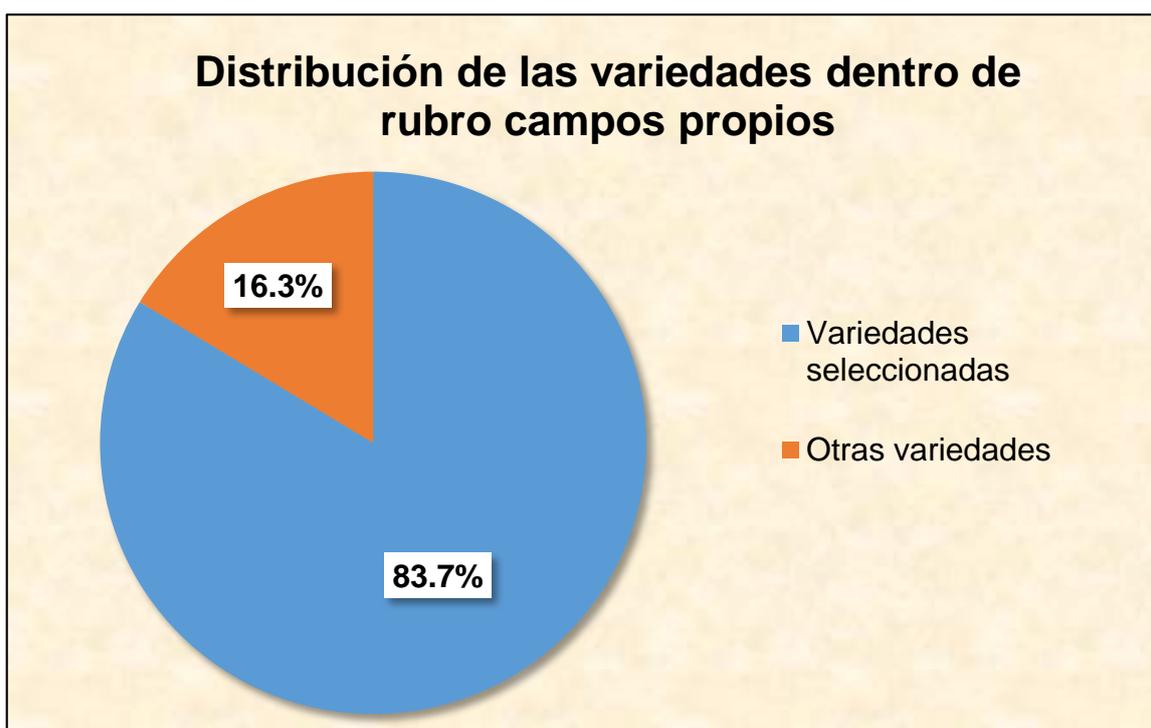
Las variedades muestreadas, en base a la información del cuadro de proyección de molienda se encuentran dentro del rubro llamado campos propios (área que representa el 56.8% del total de hectáreas que AIPSAA cosecha anualmente), alcanza a 5,224.01 hectáreas de caña de azúcar (Figura N°11), respecto de los otros rubros que se encuentran en el cuadro de proyección de molienda para el año 2015.

Respecto a las cinco variedades consideradas para el análisis, estas representan el 83.7% dentro del rubro de campos propios de AIPSAA cifra que llega a 4,372.08 hectáreas (Figura N°12). Por otro lado, en la Figura N°13, se muestra la distribución de hectáreas de las cinco variedades seleccionadas como se ha indicado anteriormente. Esta cifra representa el universo del análisis efectuado.

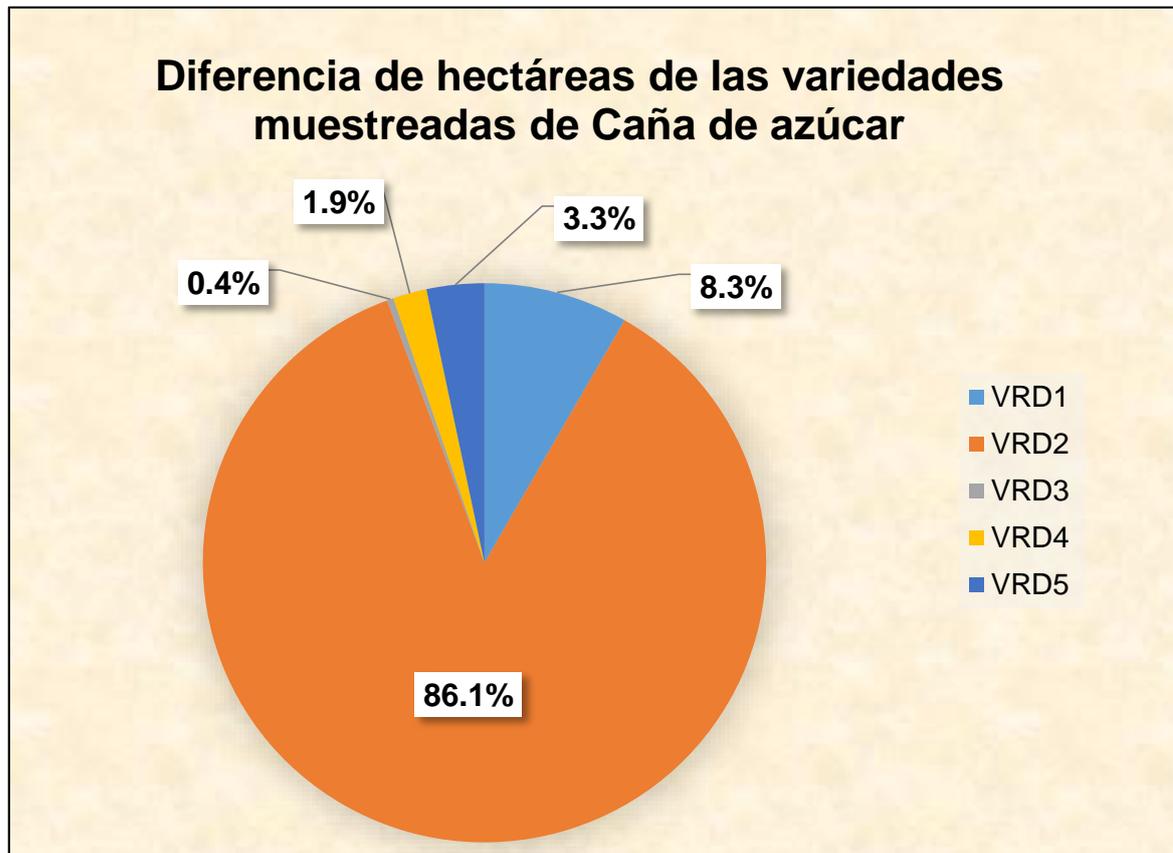
A su vez, es preciso recalcar, que de las variedad muestreada con mayor presencia, es la VRD2, cuya área de cultivo alcanza el 86.1% del total de las áreas muestreadas, pertenecientes a la categoría de campos propios.



**Figura N° 11:** Distribución porcentual de los campos cosechados muestreados (rubro de campos propios) respecto de los otros campos que cosecha AIPSAA.



**Figura N° 12:** Distribución porcentual de las variedades dentro del rubro de los campos propios.



**Figura N° 13:** Diferencia Porcentual de hectáreas de las variedades seleccionadas de caña de azúcar de AIPSAA.

## 6.2 Resultado Estadístico

De acuerdo a lo indicado el análisis estadístico se realizó de manera global de las muestras, las cuales se encuentran repartidas en cinco variedades. En el Anexo 8, se muestra los resultados de la composición de la biomasa área de la caña de azúcar según variedades (resultados generales -Anexo 7). Para los resultados estadísticos referente al análisis de varianza, desviación estándar y coeficiente de varianza se tomó en cuenta el promedio de biomasa seca total de las muestras realizadas. Tal como se puede ver a continuación:

**Tabla N° 7:** Varianza, desviación estándar y coeficiente de varianza de biomasa seca total.

Promedio Biomasa seca (kg)	Variación de la muestra de Biomasa seca.	Desviación estándar Biomasa seca.	Coeficiente de Varianza de Biomasa seca. (%)
22.9	853.6	29.2	127.4

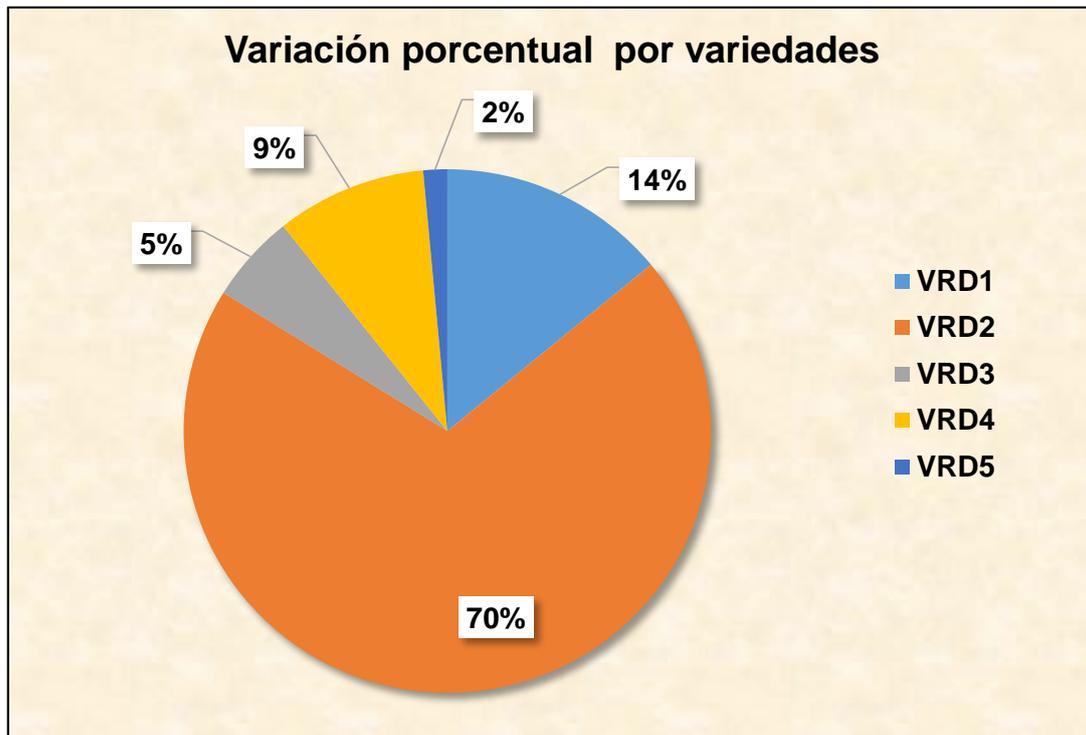
Se puede observar que en la Tabla N°7 la desviación estándar demuestra que no existe uniformidad en la muestra analizada correspondiente a la biomasa seca total de las muestras, esto se da por la cantidad de muestras que existe, ya que las variedades presentan diferente cantidad de biomasa seca total, a su vez es resultado de la cantidad de muestras que existe en cada variedad, debido a diferentes factores, como lo son: modo de riego, días de agoste, variedad, tipo de suelos.

Debido a esto se desarrolló la frecuencia relativa por variedad para observar la variación que existe entre las variedades por la cantidad de biomasa seca que contienen, a modo de respuesta de la alta variación de los resultados de la tabla N°7.

**Tabla N° 8:** Frecuencia relativa y variación porcentual de la biomasa seca total según variedad.

Variedades	Frecuencia relativa	Variación porcentual por variedades
VRD1	0.14	14%
VRD2	0.70	70%
VRD3	0.05	5%
VRD4	0.09	9%
VRD5	0.01	1%
TOTALES	1	100%

En la Tabla N°8 se observa que la variedad denominada VRD2 es la que presenta mayor variación de frecuencia relativa y porcentual que las demás variedades, esto da a entender que contiene mayor número de biomasa seca total, así como también la VRD5 presenta la menor variación de frecuencia relativa y porcentual, ya que posee menor número de biomasa seca total y por ello el análisis de varianza, desviación estándar y coeficiente de varianza resulta desfavorable. Así mismo se puede observar de manera gráfica (Figura N°14).



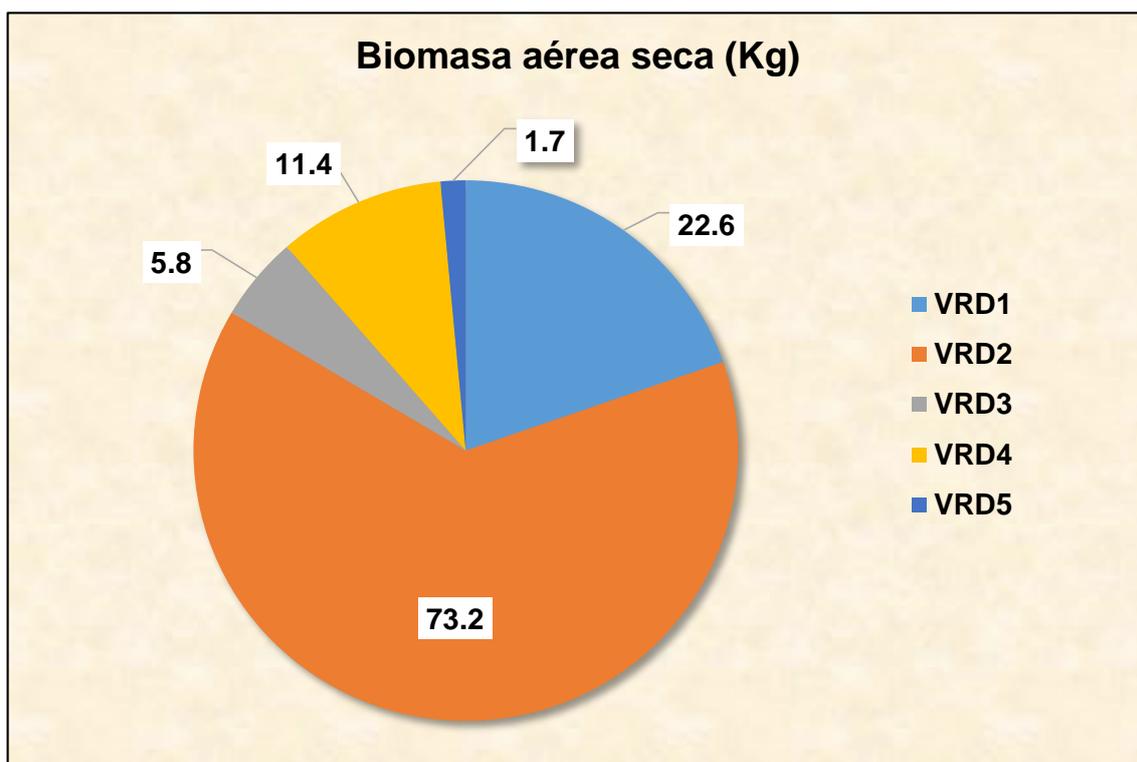
**Figura N° 14:** Gráfica de variación porcentual de la biomasa seca total según variedad.

Teniendo en cuenta las premisas anteriores, sabiendo que se distorsionó los resultados debido a la no homogeneidad de la biomasa seca total en todas las variedades, ya que como se observa en la Figura N°14, la de mayor cantidad porcentual de biomasa seca es la VRD2 y la de menor cantidad porcentual es la VRD5. Se desarrolló otro análisis de varianza, desviación estándar y coeficiente de varianza sin tomar en cuenta la VRD2 y VRD5.

**Tabla N° 9:** Varianza, desviación estándar y coeficiente de varianza de biomasa seca total – exceptuando VRD2 y VRD5.

Promedio Biomasa seca (kg)	Variación de la muestra de Biomasa seca.	Desviación estándar Biomasa seca.	Coficiente de Varianza de Biomasa seca. (%)
13.3	73.2	8.6	64.5

En este caso, teniendo cuenta la Tabla N°9, se observa que la desviación estándar, la variación y el coeficiente de varianza han disminuido considerablemente, sin embargo sigue existiendo distorsión en cuanto a la biomasa seca. Esto se puede dar debido a la variación que existe dentro de las variedades en cuanto a la cantidad de biomasa seca. Lo cual lo podemos comprobar con la siguiente gráfica (Figura N°13).



**Figura N° 15:** Gráfica de biomasa aérea seca por variedades

Se observa en la Figura N°15 las diferencias que existen en cuanto a la biomasa aérea seca de las variedades, con lo cual se afirma la distorsión, la gran brecha de variación de biomasa área seca correspondientes a las Tablas N°7 y N°9.

Como parte del análisis estadístico se realizó el análisis ANOVA con respecto a la biomasa seca total de las 47 muestras recolectadas, las corresponden a cinco variedades diferentes (VRD1, VRD2, VRD3, VRD4 y VRD5) se aplicó el análisis mediante la aplicación del programa Minitab15 (Tabla N°10), en la cual se muestra la correlación entre los grados de libertad, suma de cuadrados, media de cuadrados, indicador de Fisher. Realizado con un grado de confianza de 0.95. Este método permite evaluar si la data utilizada, biomasa aérea seca, y forma en que ha sido sistematizada la correspondiente información, puede servir para inferir el potencial energético de la biomasa aérea seca indicada.

**Tabla N° 10:** Cuadro resumen del análisis ANOVA.

Fuente	GL	SC	MC	F	P
C2	4	12.740	3.185	3.78	0.01
Error	42	35.424	0.843		
Total	46	48.164			
S = 0.9184    R-cuad. = 26.45%    R-cuad. (ajustado) = 19.45%					

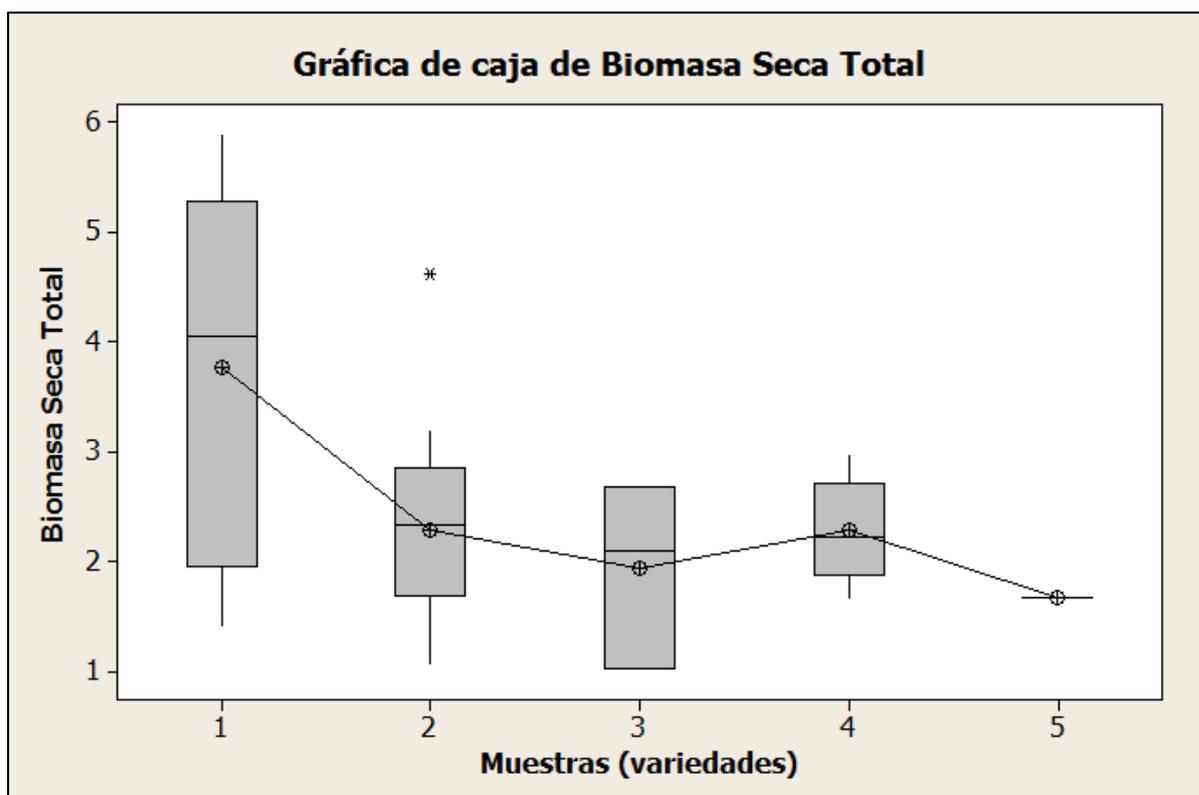
En la Tabla N°10 del análisis ANOVA, obtenemos el valor de Fisher (F), el cual se compara con el valor tabular Ft (Torre, 2010) de la distribución de Fisher, de lo cual resulta:

$$FC > Ft$$

$$3.78 > 2.61$$

De acuerdo a lo descrito, en función al valor que alcanza el indicador F (contraste de hipótesis), se infiere la factibilidad de sustentar el potencial energético óptimo de la biomasa/follaje de la caña de azúcar para su aprovechamiento. Así como también quiere decir que existe una relación entre las variedades y la biomasa aérea seca, con lo cual también corroboramos los resultados de las Tablas N°7 y N°9, ya que al existir relación entre cantidad de biomasa aérea seca con las variedades esta se relaciona con la variación/dispersión que se presentan en las tablas.

A modo de comprobación se realizó la gráfica de caja respecto de la biomasa aérea seca total (Figura N°16), en base a la cual se determinó que presenta, en su mayoría, una simetría negativa, es decir existe una variación de datos de cantidades pequeñas, sobre todo en las variedades VRD1, VRD2 y VRD3, para la VRD4 es una simetría positiva y la VRD5 no se registró debido a que no presenta mucha biomasa aérea seca. Particularmente VRD3 representa una simetría sin cola, es decir; con los datos de biomasa aérea seca más parejos.



**Figura N° 16:** Gráfica de caja de biomasa aérea seca total.

### 6.3. Resultado respecto del potencial energético

Las cifras de la Tabla N°11 muestran los resultados del follaje en base seca por hectárea y segregado por variedad. Las cifras de cada variedad correlacionadas a la composición de la plantación de AIPSAA según variedad, permite inferir el potencial del recurso follaje base seca para fines de energía. De acuerdo con esto se infiere de la Tabla N°12 el dato final (90,929.51TM) de biomasa seca respecto a las hectáreas de las variedades muestreadas las cuales alcanzan en total 4,372.08 hectáreas correspondiendo a un 83.7% del total de hectáreas dentro del rubro de campos propios.

**Tabla N° 11:** Resultado de Biomasa aérea seca por hectárea y variedad.

**VRD1**

N° Tallo	Biomasa seca total	Peso de biomasa por tallo (gr.)	Biomasa en base seca por Ha. (TM)
67	22.6	337	30.3

**VRD2**

N° Tallo	Biomasa seca total	Peso de biomasa por tallo (gr.)	Biomasa en base seca por Ha. (TM)
333	73.2	219	19.8

**VRD3**

N° Tallo	Biomasa seca total	Peso de biomasa por tallo (gr.)	Biomasa en base seca por Ha. (TM)
26	5.8	222	20.1

**VRD4**

N° Tallo	Biomasa seca total	Peso de biomasa por tallo (gr.)	Biomasa en base seca por Ha. (TM)
44	11.4	258	23.3

**VRD5**

N° Tallo	Biomasa seca total	Peso de biomasa por tallo (gr.)	Biomasa en base seca por Ha. (TM)
7	1.7	239	21.5

**Tabla N° 12:** Resultado de Biomasa aérea seca total (TM).

Variedades	Hectáreas.	Representación porcentual respecto del total de Hectáreas.	Rendimiento biomasa secas/ha.	Biomasa seca respecto a las hectáreas (TM)
VRD1	362.88	8.3%	30.3	11,006.23
VRD2	3,764.36	86.1%	19.8	74,534.35
VRD3	17.49	0.4%	20.1	350.82
VRD4	83.07	1.9%	23.3	1,934.69
VRD5	144.28	3.3%	21.5	3,103.43
Suma Total				<b>90,929.51</b>

Una vez alcanzado este resultado se obtuvo este cálculo teórico:

$$90,929.51 \times 15.7 = 1,427,593.37 \text{ GJ.}$$

$$1,427,593.37 / 1000 \times 278 = 396,870.96 \text{ MWth.}$$

$$396,870.96 \times 0.25 = 99,217.74 \text{ MWe.}$$

$$99,217.74 / 7000 = \mathbf{14.17 \text{ MWe.}}$$

$$14.17 \times 1.163 = \mathbf{16.48 \text{ MWe finales}}$$
 (rubro de campos propios de AIPSA).

$$16.48 \times 1.432 = \mathbf{23.59 \text{ MWe finales para todos los campos de AIPSA.}}$$

Una vez obtenido el resultado de **14.17 MWe**, este sería el potencial energético que se obtiene de la biomasa aérea seca de la caña de azúcar de los campos medidos en el periodo abril – julio de 2015, es decir; de las cinco variedades dentro del rubro de campos propios, el cual representa el 83.7%, por ello; a este resultado (14.17 MWe) se multiplica por 1.163 que corresponde al 16.3% de campos dentro del rubro de campos propios que no fueron analizados y el resultado es de **16.48 MWe**.

Es así que a este último resultado (16.48 MWe) se multiplica por 1.43 ya que el 43% de campos, según el cuadro de proyección de molienda, no pertenece al rubro de campos propios, con lo cual se obtendría un potencial energético para ser aprovechado de **23.59 MWe** que abarcaría todos los campos cosechados por AIPSA correspondientes al año 2015.

En condiciones finales se obtiene como potencial energético **14.17 MWe** producto de la biomasa aérea seca total de la caña de azúcar dentro de los meses analizados (abril – julio de 2015), extrapolado al uso eficiente de todos los campos de caña de azúcar de AIPSA resultaría en **23.61 MWe**, lo cual aumenta la capacidad en un 66.6%. Así como también permitiría incrementar en 50% su actual potencia instalada para generación termoeléctrica.

## VII. DISCUSIÓN

Teniendo en cuenta que la biomasa es un recurso natural renovable, aceptando que su uso para fines de energía promueve el balance cero de emisiones de GEI (libera y captura CO<sub>2</sub>) en cantidades equitativas (Universidad Politécnica de Zacateca, 2012), considerando que el aprovechamiento de la biomasa aérea - follaje de la caña de azúcar representa una particular fuente de energía y en función de los resultados del análisis de la composición de dicho follaje, se infiere que el mismo presenta condiciones favorables para su aprovechamiento eficiente con fines de energía en el ámbito de las operaciones de AIPSAA, posibilidad en principio que se estima factible de replicarse en otras unidades – ingenios de la industria azucarera nacional.

La no quema de la caña como paso previo a su cosecha deviene en una práctica positiva para la industria azucarera y el medio ambiente. La quema no controlada, a cielo abierto, de la caña de azúcar genera, además de emisiones de CO<sub>2</sub>, genera emisión de CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub>, CO y VOC. Por lo tanto, no quemar los campos de caña antes de la cosecha (Anexo 9), no solo se evita la emisión de los GEI mencionados, sino también de contaminantes persistentes, tales como Dioxinas y Furanos calificados como altamente perjudiciales para la salud (PNUMA, 2005).

Además de su uso como fuente para generación de energía (combustión, gasificación) el follaje de la caña también constituye un vector para fines de alimentación animal. Su uso para este propósito, dependiendo del lugar donde se genera el recurso follaje, puede alcanzar un perfil en términos económico igual o superior respecto de su utilización para fines de energía.

### 7.1 Variedades y análisis estadístico

El análisis realizado de biomasa aérea/follaje de caña de azúcar de AIPSAA, corresponde al periodo de abril – julio de 2015; por lo que el análisis representa un corto periodo; de manera coloquial, representaría una fotografía de lo que sucede en el periodo señalado y el análisis concreto del momento; es decir, cómo podría ser utilizada la biomasa aérea como energía en un este corto periodo.

El territorio analizado corresponde a un total de 4,372.08 hectáreas (83.7%), dentro del rubro de campos propios (representa 56.8% del total de campos cosechados en 2015), en donde se encuentran diversas variedades de caña de azúcar, de las cuales se tomaron cinco (VRD1, VRD2, VRD3, VRD4 y VRD5), estas variedades pertenecen a las denominadas tropicales. Con ello se puede decir que de las muestras tomadas, en el corto periodo de análisis, las muestras representan un universo uniforme.

Respecto a las variedades tropicales versus las variedades denominadas convencionales, debido a que las denominadas tropicales presentan un periodo vegetativo de menos duración y tienen mayor cantidad de biomasa aérea y sean de este tipo de variedad las analizadas (Ecofys GmbH, 2013), se puede constatar, de manera global con respecto al análisis realizado, que las

variedades tropicales presentan mayor cantidad de biomasa aérea respecto de las convencionales, esto se concluyó a partir del cuadro resumen de resultados (Tabla N°6), del cual se determinó que las variedades tropicales presentan aproximadamente 28% de biomasa aérea, comparando con los datos teóricos (Tamara León, 2013) de las variedades convencionales que presenta entre 17% a 20% de biomasa aérea.

El análisis descriptivo de las muestras, en términos del indicador varianza, desviación estándar y coeficiente de varianza que provee la medición del rango de variabilidad/dispersión de las muestras (a menor grado de coeficiente de varianza mayor homogeneidad/menor dispersión), indica que de manera global, el coeficiente de varianza es alto; por lo que existe una dispersión alta respecto a las muestras, esto se debe a que, primero en términos estadístico, cuando se tiene datos/muestras grandes y/o pequeñas se tome de manera individual, ya que de manera global se distorsionan resultados y con ello las interpretaciones. Para este caso en específico, esta distorsión se presentó debido a que las variedades VRD2 y VRD5 presentan mayor y menor frecuencia relativa, mayor y menor variación porcentual de variedades (70% y 1%) respectivamente, debido a que presentan mayor y menor número de muestras independientes; por ello, se realizó un nuevo análisis de varianza, coeficiente de varianza y desviación estándar, sin contar con dichas variables. Con ello se pudo determinar que a pesar de que el coeficiente de varianza se redujo significativamente, sigue existiendo una distorsión/dispersión en las muestras; por ende la dispersión de biomasa se da en la cantidad de muestras por variedades más no en la calidad y/o cantidad de biomasa aérea total. Esto es posible debido a que la cosecha no se dio en el mismo día para todas las muestras, diferentes días de agosto, método de riego, tipo de suelo, variedad de caña de azúcar, aclimatación, edad (meses), rangos de temperaturas, número de corte.

Todo ello se confirma con el gráfico de caja de biomasa aérea total, ya que con este se determinó la simetría negativa, lo que quiere decir, que existe variación de datos, en este caso, con respecto a la biomasa seca total. Todo ello es constatado por las labores que se realizan en campo, tales como control de maleza, plagas, riego, suelo (Silva, 2015). Por otro lado, teniendo en cuenta la cantidad de follaje/biomasa aérea seca total se puede inferir que a mayor cantidad de este mayor sería la proporción que brinda en cuanto a potencial energético.

Además, para efectos de lograr un óptimo en materia de disponibilidad de biomasa seca para fines de energía, se requiere de la aplicación de un paquete tecnológico que implique el manejo interactivo de todos los factores mencionados. Al respecto cabe añadir lo referente a la tecnología de cosecha, es necesario garantizar la aplicación de métodos que garanticen una cosecha óptima del follaje expresada en el acopio del total de la misma sin impurezas (no dejar follaje en campo, evitar traslado de impurezas finas, tierra y arena).

Asimismo la prueba ANOVA aplicada para el análisis de biomasa aérea seca total, señala que en función del indicador F de Fisher, dicha biomasa presenta una óptima perspectiva para su aprovechamiento como fuente energética.

Lo anterior se complementa y sustenta mediante el análisis proximal realizado (Anexo 10), se observó que los componentes hojas y cogollo de la caña de azúcar tienen una composición química que determina un alto valor calorífico (362 y 367 Kcal/100gr respectivamente), un aspecto importante de la composición química es su bajo contenido de cenizas, lo cual evita la formación de escorias, corrosión, lo que contribuye a un mayor periodo de vida útil de calderos. Por ello se infiere la viabilidad en el uso de la biomasa/follaje de la caña de azúcar en base seca como potencial energético.

Por otro lado, no se dispone de información analítica que relacione según variedades de caña los niveles de Brix con la proporción de follaje/biomasa aérea. Información empírica de observaciones no sistematizadas permiten hipotéticamente establecer, para el caso de Perú, que a menor cantidad de follaje (variedades convencionales) se registraría en promedio mayor contenido de Brix respecto de variedades introducidas en las últimas décadas (tropicales, precoces).

## **7.2 Potencial energético e impacto ambiental**

La energía primaria contenida en una tonelada de follaje en base seca, contiene 15.7GJ, cantidad equivalente a la energía primaria que provee 2.6 barriles de petróleo. El uso de follaje para fines de energía permite generar calor, vapor y electricidad.

A nivel nacional, en lo que corresponde a la industria azucarera (azúcar granulada) se estima que el promedio anual de caña de azúcar procesada durante el periodo 2009-2013 fue de 10, 205,589.87 TM. Tal volumen implica un contenido de impurezas del orden de 5%. Por lo tanto en términos de caña neta (tallo) la correspondiente cantidad procesada fue de 9, 695, 310 TM. Esta cifra representa el 82% del total de la biomasa aérea (propio de variedades convencionales), la cual se estima alcanzó como promedio anual un total de 11, 823, 549 TM. Del total de biomasa aérea mencionado, el 18% corresponde al follaje en humedad en campo (previo a su cosecha). Se tiene que el follaje nominalmente disponible alcanzó a 2, 128,238 TM, volumen que puesto en base seca se calcula representó 1, 596,179 TM.

Dicho volumen de follaje en base seca representa un contenido energético de GJ 25, 060,012, energía que significa la posibilidad de sustentar la operación de una potencia de 248.8 MWe bajo condición de 0.25 de eficiencia termoeléctrica y 0.80 de factor de carga (7000 horas año). (Ministerio de Agricultura y Riego, 2014).

Es así que se puede afirmar que para el caso de AIPSAA las 90,929.51TM de follaje base seca indicada permite sustentar la operación de una potencia del orden de 23.59 MWe bajo las condiciones de 0.80 de factor de carga y 0.25 de eficiencia termoeléctrica. Quiere decir que la biomasa/follaje de caña de azúcar nos brinda un óptimo potencial energético que puede ser aprovechado por AIPSAA.

El dato anterior (23.59 MWe) sería en el orden global de AIPSAA, con este se puede llegar a atender las necesidades al 100% de AIPSAA, ya que se conoce que la capacidad instalada para generar energía eléctrica es de 23MWe pero su capacidad actual es de 14MWe debido a que presentan un solo caldero, lo cual impide operar a plena carga el turbogenerador que disponen, por la falta de atención a la necesidad de vapor de proceso y a la vez disponer del volumen adecuado de vapor para operar a plena carga.

Por otro lado si se toma a nivel de los meses analizados (abril – julio de 2015) se tiene 14.17 MWe, este valor es importante ya que con solo obtener la energía de cuatro meses se puede llegar a obtener y superar la capacidad del caldero de AIPSAA, el cual es utilizado con bagazo, con un consumo de 50 TM/h; sin embargo si se relaciona con la cantidad de biomasa aérea seca que se necesitaría para cubrir las necesidades del caldero esta resulta ser menor, lo que hace que solo se necesite 30.5 TM/h de biomasa aérea seca. Por ello, en este caso, la cantidad de biomasa necesaria sería 30% menos de la cantidad de bagazo para cubrir las necesidades del caldero. En este contexto lo paradójico es que AIPSAA consume prácticamente el 100% del bagazo que se obtiene de la molienda de la caña de azúcar; esto es, en la actualidad no cuenta con una fuente complementaria de biomasa/combustible para operar un nuevo caldero que requiere instalar para balancear su planta térmica.

Dado que el potencial energético de la biomasa aérea seca de AIPSA, al igual que lo que se infiere para otros ingenios azucareros, supera el requerimiento de energía de la actividad azucarera, se deduce que esta industria podría contribuir significativamente al suministro de energía a terceros a través del SEIN ya que solo la fábrica consume 6.5MW, se tendría un excedente el cual sería destinado al SEIN (Salas, Características de la planta generadora, 2014).

Teniendo en cuenta lo descrito, se puede afirmar que el follaje de la caña de azúcar posee gran potencial energético, el cual, según lo indicado en el acápite 4.5.1, según estudios realizados, aporta más energía (MWth) que nominalmente podrían proveer otros cultivos como algodón, arroz y maíz amarillo duro que en conjunto representan la mayor área agrícola de la costa del Perú (Monder S.A.C, 2013).

Este recurso puede ser aprovechado, no solo para los ingenios azucareros, sino también para ser aprovechado a nivel nacional dándole una utilidad favorable al recurso renovable y preservando el recurso no renovable.

En cuanto al impacto ambiental, la práctica de quemar la caña como paso previo a su cosecha corresponde a la mayoría de la caña procesada. Ello implica afectar la calidad del aire y contribución a la emisión de GEI. Evitar la quema de la caña y procesa el follaje en plantas que controlen la emisión de material particulado y cuya operación sustituya el uso de combustibles fósiles representa una opción técnicamente viable en función a la disponibilidad de tecnologías que en la actualidad se ofertan en el plano internacional (Calvo, 2008).

Con relación a lo que podría implicar el proceso de cambio climático respecto del cultivo de la caña de azúcar, para el caso concreto del Perú ello podría afectar

el crecimiento de la planta en términos de generar mayor formación de follaje bajo condición de igual o mayor irrigación (lluvias) tal generación de follaje implica la posibilidad se incremente el volumen de biocombustible/follaje (Hernández, 2012).

En cuanto al balance de energía como se vio en la Tabla N°4, si se emplea el uso del follaje como energía primaria con el bagazo resulta tres veces mejor que solo usar el bagazo en el proceso. Por ello resulta en un 100% mejor el uso del follaje que el que no uso de este; a su vez, es un sustento para el futuro uso del follaje como energía primaria, como ya se ha podido observar anteriormente.

Si se toma en cuenta los aportes que produce el uso de la biomasa aérea a la industria azucarera, teniendo en cuenta el balance de energía, podemos obtener beneficios entre ellos:

- No quemar la caña contribuye al aumento de la calidad del jugo de la caña, reflejado en el contenido de sacarosa. Lo cual eleva el rendimiento de industrial en términos de kilos de azúcar por tonelada de caña procesada.
- Usado como complemento del bagazo como combustible en la caldera. Aumentando la calidad de la caña limpia, debido a que ingresaría al proceso con menos impurezas para el proceso de azúcar granulada.

### **7.3 Específicas del estudio realizado**

En función a la hipótesis planteada para la presente investigación, podemos afirmar que la misma se sustenta en base al análisis desarrollado. Esto es, que el potencial energético del follaje de las variedades de caña de azúcar de la empresa AIPSAA constituye una opción factible de ser aprovechado de manera eficiente. Por lo tanto puede ser usado para fines energéticos, en este caso convenientes a la empresa AIPSAA.

Es así que determinamos el potencial energético del follaje de la caña de azúcar correspondiente a la azucarera AIPSAA, un potencial de 14.17 MWe, correspondientes a los meses analizados de 2015, como resultado llevado a toda la cosecha anual de caña de azúcar se tendría un total de 23.59 MWth. teniendo en cuenta el valor equivalente en GJ, en el cual nos basamos para determinar el valor final de energía primaria (MWth) y posteriormente el valor de energía eléctrica.

De acuerdo a lo explicado en la sección 6.3 para AIPSAA el aprovechamiento del follaje permitirá incrementar en 1.5 su actual capacidad termoeléctrica.

## VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 8.1 Conclusiones

Se logró obtener como resultado positivo la capacidad energética del follaje de la caña de azúcar de las muestras analizadas en el periodo abril – julio de 2015.

De acuerdo a las muestras realizadas existe una relación de biomasa aérea seca con respecto a las variedades, por ello la dispersión en el estudio de variación; así como también por diversos factores de campo (riego, suelo, temperatura, corte, días de agoste).

Se concluye que la biomasa aérea seca tiene la capacidad de ser aprovechada como energía primaria (MWth), la cual se convierte a energía eléctrica (MWe), para la empresa AIPSAA. Constituye una opción viable y favorable para la azucarera AIPSAA, ello para fines de autoconsumo y suministro a terceros, sea vía el SEIN o atención a mercados cautivos.

Queda claro que la posibilidad de usar el follaje de la caña representa la solución que le permitiría garantizar el suministro del volumen de biomasa/combustible para operar nuevas instalaciones de calderas.

De forma particular para la empresa AIPSAA, queda claro la necesidad de instalar una caldera adicional para aumentar la capacidad del turbogenerador y adquirir mayor energía de la que producen hoy en día.

El análisis efectuado permite sustentar que las posibilidades para el aprovechamiento del follaje por parte de AIPSAA, es una opción para otras unidades que conforman la industria azucarera del país.

En cuanto al impacto ambiental el uso del follaje contribuye a mitigar la contaminación ambiental en términos de calidad del aire y emisiones de GEI.

El uso de esta fuente de energía renovable contribuye a prolongar la vida útil de las reservas de recursos energéticos no renovables.

Con el uso del follaje de la caña de azúcar se puede evitar el no uso/desaprovechamiento de una materia con metas ambientales.

El follaje de la caña de azúcar para fines de generación de energía puede ser utilizado de forma individual o asociado al bagazo, para ambas opciones significa facilitar la posibilidad de aumentar la capacidad instalada para generación termoeléctrica y eléctrica.

Realizado el balance de energía se observa que con el uso del follaje, se puede tener el doble de energía primaria más que solo con el uso del bagazo. Esto es 100% más de energía primaria.

La no quema de la caña que permite disponer del follaje, a su vez reduce la posibilidad de deterioro de la misma por razón de limitar la acción de agentes que inciden sobre la sacarosa luego de efectuada la quema y cosecha. Lo cual determina la posibilidad de disponer de jugos de mayor riqueza para la industria azucarera. El deterioro de la misma por razón de implica evitar el deterioro en el contenido de sacarosa que contiene la caña de azúcar.

Sin embargo para un mejor aprovechamiento del follaje se necesitan tener soluciones de tecnología de adecuadas en cuanto a la cosecha y conversión primaria de la biomasa cañera. Esto es tener un paquete tecnológico adecuado para alcanzar mejores niveles de aprovechamiento del follaje de la caña de azúcar.

## 8.2 Recomendaciones

En cuanto al follaje de la caña de azúcar, recomiendo una continua investigación de las propiedades energéticas, ya que este estudio puede ser replicado en otras industrias, con lo cual se obtendría una data más sustentable del poder energético que posee el follaje de la caña de azúcar y con el tiempo ser considerado como una fuente de energía considerada en el Balance Nacional de Energía.

Específicamente para AIPSAA, aprovechar el recurso del follaje de caña de azúcar para fines energético, esto es poder incluirlo como combustible en la caldera y a su vez eliminar la quema de los campos de caña de azúcar, con lo cual disminuiría las emisiones.

Recomiendo replicar el estudio presente, a modo de tener más data sobre las nuevas variedades tropicales, como también fuentes de sustento que afirmen que estas variedades poseen mayor cantidad de biomasa aérea y formar una nueva data con ello.

Realizar estudio no tan focalizados en periodos cortos, si no expandirlo a periodos largos y a la vez en otras azucareras para tener una mayor data y tener documentos para su posterior comparación.

Poder experimentar con otro tipo de metodología para enriquecimiento y mejor aprovechamiento de este tipo de energía a base de biomasa aérea seca de la caña de azúcar.

Así como también se puede reforzar la metodología con mayor incidencia en el conocimiento de los campos de cultivos de caña de azúcar del país, para reforzar los sistemas de medición.

Si se tiene en cuenta el proceso de producción de la caña de azúcar y la cogeneración de energía, se podría investigar con cuál de los métodos convencionales usualmente aplicados comparativamente a nuevos métodos de producción y cosecha se lograr capturar la mayor energía y con ello el proceso

más eficiente en la obtención tanto de azúcar granulada como generación térmica, a la vez de alcanzar menores emisiones de GEI.

Se recomienda, como visión externa, en el ámbito de las tecnologías de campo opciones para optimizar el recojo de la biomasa aérea/ follaje de la caña de azúcar.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adam, N., Conley, M., Macoro, J., Volin, J., & Wand, S. y. (2001). *C4 Plantas (Water use Efficiency)* .
- Agro Industrial Paramonga. (2014). Obtenido de <http://www.agroparamonga.com/#>
- Alexsander. (1985). *La alternativa energética de la caña*. Amsterdam: Elsevier Science Publisher.
- APPA . (2009). ¿Que es la Biomasa? España.
- Assureira, E., & Assureira, M. A. (2013). Potencial Energético de la biomasa residual en el Perú. . Lima, Lima , Lima.
- Augusto León Herrera. (1992). *Análisis comparativo de la molienda de caña de azúcar quemaa y caña de azúcar sin quemar*. Lima.
- Azúcar Ledesma. (2006). *Proceso de producción*. Obtenido de <http://www.azucarledesma.com.ar/Produccion.php>
- biomassa, O. (s.f.). *Observatori biomassa*. Obtenido de [http://observatoribiomassa.forestal.cat/1-2a\\_biomassa.php?lng=esp](http://observatoribiomassa.forestal.cat/1-2a_biomassa.php?lng=esp)
- Bouille, D. (2008). *Potencial de los residuos agrícolas para cogeneración en la costa del Perú*. Lima.
- Calvo, E. (2008). *Impactos Ambientales de la quema de biomasa*. Lima.
- Canditec AB - Monder S.A.C. (1994). *Evaluación de la caña de azúcar en la costa norte del Perú*. Lima.
- Cengicaña. (2010). *La caña de azúcar*. Colombia.
- Cengicaña. (2012). *Cogeneración en la Industria Azucarera*. Guatemala: Cengicaña.
- Cengicaña. (2012). *Cogeneración en la Industria Azucarera*. Colombia.
- Centro de Energías Renovables. (2012). *Energía Biomasa*. Chile.
- Clean energy ideas. (2007). *Clean energy ideas*. Obtenido de <http://www.clean-energy-ideas.com/>
- Descalzi, C. H. (2010). *Matriz Energética en el Perú y Energías Renovables*. . Lima: Fundación Friedrich Ebert.
- Diego Mathier, P. S. (2013). *La caña de Azucar como cultivo energetico*. Tucumán.
- Dirección general de industria, energía y minas. (s.f.). *Guia de la Bioenergía*. Madrid.
- Ecofys GmbH. (2013). *Informe nama generación de energía en base a residuos agrícolas*. Lima.
- Endesa. (2010). *Endesaeduca*. Obtenido de [http://www.endesaeduca.com/Endesa\\_educa/recursos-interactivos/produccion-de-electricidad/xiv.-las-centrales-de-biomasa](http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/produccion-de-electricidad/xiv.-las-centrales-de-biomasa)
- (2008). *Energías Renovables - Energía Biomasa*. Argentina: Secretaría de Energía.
- Energiza. (2013). *Energiza*. Obtenido de <http://www.energiza.org/index.php/biomasa-2/56-procesos-de-conversion-de-biomasa-en-energia>

- Energiza.org.* (2012). Obtenido de Procesos de conversión de Biomasa en energía. : <http://www.energiza.org/index.php/biomasa-2/56-procesos-de-conversion-de-biomasa-en-energia>
- European Commission. (2002). *RENEW Definition of a standard biomass.* Bélgica.
- FOCER. (2002). *Biomasa manual sobre energía renovable.* Costa Rica.
- GEO. (2012). *Energías Renovables: biomasa y cogeneración.* . Obtenido de <http://www.mundo-geo.es/green-living/energia-renovable-biomasa-y-cogeneracion>
- Gianella, D. B. (2008). *Potencial de los residuos agrícolas para cogeneración en la costa del Perú.* lima.
- Gillermo Roca, C. G. (2006). *Caracterización del bagazo de la caña de azúcar.* Brasil-Cuba.
- Global Energy Network Institute. (2009). *El Potencial de América Latina con referencia a la Energía Renovable.* California, Estados Unidos.
- Guillermo A. Roca Alarcón, C. G. (2006). *Caracterización del bagazo de la caña de azúcar. Parte I: Características Físicas.* Campinas, Brazil : Encontro de Energia no meio rural.
- Hernández, A. G. (2012). *El cambio climático y el cultivo de la caña de azúcar.* Guatemala.
- Innocente, A. F. (2011). *Cogeración a partir de biomasa residual de caña de azúcar-estudio de caso.* Sao Paulo, Brasil: Facultad de Ciencias Agronómicas.
- Interempresas-agricultura. (2010). *La fotosíntesis C4, de alto rendimiento.* Obtenido de <http://www.interempresas.net/Agricola/Articulos/44231-La-fotosintesis-C4-de-alto-rendimiento.html>
- International Energy Agency. (2013). *World Energy Outlook 2013.* . Pais, Francia.: iea.
- International Energy Agency. (2014). *Key World Energy Statistics.* Paris, Francia.: Chirat. Obtenido de <http://energyatlas.iea.org/?subject=-1076250891>
- IPCC. (2011). *Fuentes de Energía Renovable y Mitigación del Cambio Climático* . Suiza: Michael Melford/National Geographic Stock.
- Israel Balboa Arroniz, L. A. (2013). *Contaminación ambiental por queña de caña de azúcar: Un estudio exploratorio en la región central del estado de Veracruz.* . mexico.
- Jaime Gianella Silva. (2013). *Biocombustibles esiduos agrícolas posibilidad para energía competitiva en la costa del Perú.* Lima.
- Jaime Gianella Silva. (2013). *Informe biomasa residuo agrícola para energía comercial.* Lima.
- Jimenez. (2012). *Combustión de biomasa.* española.
- Mantilla, D. E. (2010). los sistemas de Corte mecanizado de caña de azúcar. equipos de cosecha. *Tecnicaña.*
- Martín, G. S. (2015). *Tecnologías para el uso y transformación de biomasa energética.* Madrid: Ediciones Mundo-Prensa.
- Mercado, P. C. (2000). *Situación agrícola de la caña de azúcar en la hacienda el madroñal.*
- MINAM. (2006). *Portal de Cambio Climático.* Obtenido de <http://cambioclimatico.minam.gob.pe/mitigacion-del-cc/peru-pais-con-potencial-para-la-mitigacion/energias-renovables-no-convencionales/>

- Ministerio de agricultura y riego. (2013). *La industria azucarera 2004-2011*. Lima.
- Ministerio de Agricultura y Riego. (2014). *VARIABLES DE FABRICA DE LA CAÑA DE AZÚCAR*. Lima.
- Ministerio de Agricultura y Riego. (2015). *Sector agrario - Azúcar*. Obtenido de <http://www.minag.gob.pe/portal/sector-agrario/agricola/cultivos-de-importancia-nacional/az%C3%BAcar?start=1>
- Ministerio de electricidad y Energía Renovable. (2013). *Cogeneración*. Obtenido de <http://www.energia.gob.ec/coogeneracion/>
- Ministerio de Energía y Minas. (2013). *Informe final-Estudio para determinar el potencial de la bioenergía a desarrollarse en Loreto, Ucayali, San Martín y Madre de Dios*. Lima.
- Ministerio de Energía y Minas. (2014). *Anuario Ejecutivo de Electricidad - 2013*. Lima.
- Ministerio de Energías y Minas -MEM. (2015). *Balance Nacional de Energía 2014*. LIMA.
- Ministerio de Agricultura y Riego. (2013). *Caña de Azúcar-cadena agroproductiva*. Lima: Dirección de Información Agraria.
- Misti-fertilizantes. (2001). *Cultivo de caña de azúcar*. Lima.
- Monder S.A.C. (2010). *Análisis comparativo de los biocombustibles en el mercado*.
- Monder S.A.C. (2013). *Evaluación de las condiciones de operación de la industria azucarera del Perú 2005-2012*. Lima.
- Netafim. (2015). *Caña de azúcar*. Obtenido de <http://www.sugarcane crops.com/s/>
- Oxfam Internacional. (2008). *Estudio sobre la situación de los biocombustibles en el Perú*. Lima.
- Pinasco, H. (2013). *Generación de Energía con cultivos y residuo forestales*. Argentina.
- PNUD-Brasil. (2005). *Biomass power generation: Sugar cane bagasse and trash*. Brasil.
- PNUMA. (2005). *Emisiones de dioxinas y furanos por quema incontrolada de biomasa*. Ginebra.
- Pontificia Universidad Católica del Perú. (2014). *Potencial energético de la biomasa residual en el Perú*. Lima.
- R. Lindqvist, M. W. (2001). *Caña de azúcar para bio-etanol*.
- R. Lindqvist, M. W. (2001). *Sugar Cane to Fuel-Ethanol*. Suiza y Perú.
- RENEW. (2013). *Informe sobre la generación de energía en base a residuos agrícolas*. Lima.
- Renovetec. (2013). *Renovetec*. Obtenido de <http://www.plantasdebiomasa.net/index.php/procesos-de-transformacion-de-la-biomasa>
- Rivera, L. D. (2002). *Manual de producción de caña de azúcar*. Honduras.
- Rivera, N. A. (2010-2015). *Ficha Técnica del cultivo de Caña de Azúcar*. Mexico: Secretaría de desarrollo Agropecuario y Recursos Hidráulicos.
- Salas, E. (10 de diciembre de 2014). Características de la planta generadora. (K. L. Gianella, Entrevistador)
- Salas, E. (2015). Información del cultivo. (K. L. Minaya., Entrevistador)
- Saldarriaga, J., Pablos, A., Amutios, M., & Aguado, R. y. (2013). *Determinación de la humedad, análisis inmediato y lignocelulósico de biomasa vegetal mediante análisis termogravimétrico*. País Vasco-España.

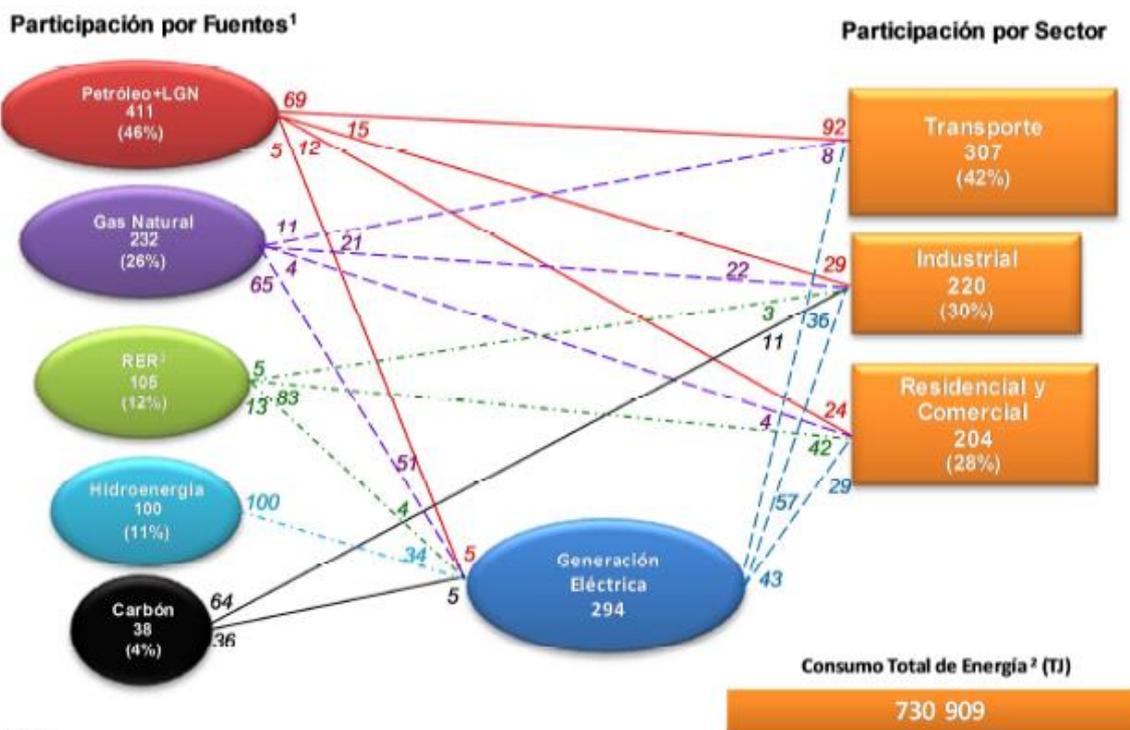
- San Carlos. (2008). *proceso de Producción*. Ecuador.
- Sardón, J. M. (2006). *Energías Renovables para el Desarrollo*. Obtenido de <https://books.google.com.pe/books?id=NyvcConR-xoC&pg=PR20&lpg=PR20&dq=Energ%C3%ADas+Renovables+para+el+Desarrollo.+sard%C3%B3n&source=bl&ots=7FvXoHxwoq&sig=jXrVmON9hsH6BMM-y6B-9eTjvkq&hl=es&sa=X&ei=alznVKqDHMK-ggTt44CIAw&ved=0CCYQ6AEwAg#v=onepage&q=Energ%20Renovables>
- Secretaría de Energía. (2004). *Iniciativa para el fomento de la cogeneración*. Mexico.
- Secretaria de Energía del Gobierno Federal de México. (2012). *Porspectivas de Energía Renovable 2012-2016*. México.
- Silva, J. G. (2015). (K. L. Minaya, Entrevistador)
- Silva., J. G. (2009). *Nota II: Cambio de matriz energética y biocombustibles*. Lima.
- SNV. (2008). *Cultivos para la producción sostenible de biocombustibles: Una alternativa para la generación de empleos e ingresos-modulo V: Caña de azúcar*. Honduras.
- Tamara León, D. D. (2013). *Paja de la caña de azúcar. Sus usos en la actualidad*. Cuba.
- Torre, A. (2010). *Tablas Estadísticas*. Arcangel.
- Universidad Politecnica de Zacateca. (2012). *Poder calorifico de los residuos agrícolas*. Obtenido de <http://themagicalmystery12.blogspot.com/2012/06/poder-calorifico-de-residuos-agricolas.html>
- USDA. (2008). *U.S Biobased products: Market potencial and projections through 2005*. United States: USDA.
- Vargas, P. (2009). *Cambio Climático y sus efectos en el Perú*. Lima.
- Vinterbäck, S. L. (2009). *Global Potencial of Sustainable Biomass for Energy*. . Suiza: SLU.
- Woytiuk, K. (2006). *Sugra cane trash porcessing for heat and power production*. Hawaii.

## X. GLOSARIO

Nombre	Descripción
AIPSA	Siglas de la azucarera Agro Industrial Paramonga S.A.
Cuadro de Proyección de Molienda	El cuadro de molienda dictamina que caña de azúcar se cosecha mes a mes, teniendo en cuenta el número de corte, variedades, año de la caña, porcentaje de sacarosa, entre otros. Correspondiente a AIPSA.
Bagazo	Es el residuo que queda después del proceso de molienda/extracción, es reconocido como un sub producto de la elaboración del azúcar.
Cogollo	Es parte de la biomasa aérea de la caña de azúcar, se encuentra ubicada en la parte superior de la planta.
SEIN	Siglas del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional.
Jugo Brix	Es una medida porcentual de la cantidad de sacarosa que contiene, en este caso, la caña de azúcar.
Geotermia	Es la energía geotérmica, es decir, es energía almacenada en forma de calor por debajo de la superficie de la tierra.

**XI. ANEXOS**

**Anexo 1: Matriz Energética del Perú – 2014.**



Nota:

<sup>1</sup>: Después de pasar por los Centros de Transformación y/o descontadas las pérdidas, excepto para generación eléctrica

<sup>2</sup>: No considera consumos finales de No Energéticos.

<sup>3</sup>: RER (Recurso de Energía Renovable) considera energía solar y biomasa (Leña, Bosta & Yareta y el Bagazo).

1/ La participación de la energía solar es mínima y también el consumo de electricidad en el sector transporte.

2/ PJ = 10<sup>15</sup> Joule

Fuente: MINEM. 2014.

### Anexo 2: Producción de Energía Primaria Comercial y no Comercial.

FUENTE	2013	2014	VARIACIÓN (%)
<b>Energía Comercial</b>			
Gas Natural + LGN (*)	695 787	718 972	3
Petróleo Crudo	132 930	146 479	10
Hydroenergía	100 389	99 899	-5
Carbón Mineral	5 752	6 175	7
<b>Subtotal</b>	<b>934 859</b>	<b>971 524</b>	<b>4</b>
<b>Energía No Comercial</b>			
Leña	81 640	81 313	
Bagazo	20 405	21 520	5
Bosta & Yareta	7 990	7 701	-4
Energía Solar (**)	1 019	1 052	3
<b>Subtotal</b>	<b>111 055</b>	<b>111 586</b>	<b>0</b>
<b>TOTAL</b>	<b>1 045 913</b>	<b>1 083 111</b>	<b>4</b>

(\*) Producción fiscalizada  
 (\*\*) Estimado

Fuente: MINEM. 2014.

### Anexo 3: Composición de la caña en la plantación.

Componente	Contenido (%)
Cogollo y hojas verdes	8,44
Vainas y hojas secas (paja)	19,74
Tallos limpios	71,82

Fuente: Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar.2013.

#### Anexo 4: Componentes para el Balance de Energía.

##### Preparación

Área (ha)	1.00
Diesel utilizado (l/ha)	333.08
Densidad (kg/l)	0.850
Volumen utilizado (t/ha)	0.283
Contenido de energía (TJ/T)	0.043
Energía consumida (TJ/ha)	0.012
Consumo l/ha	1,260.71

##### Cosecha arrume + carguío

Cantidad de caña a transportar (t/ha/cosecha)	140
Arrume y carguío horas por ha	4.67
Consumo Diesel arrume + carguío ha	28.00
Número de operaciones de arrume y carguío ha	3.11
Consumo Diesel/hora galones	6.00
Consumo Diesel/hora litros	22.71
Consumo diesel l/ha	105.98

##### Transporte campo - ingenio

N° carretas	2.00
Capacidad de carretas (ton)	22.50
Capacidad por viaje (ton)	45
N° de viajes	3.11
Distancia promedio entre campo y planta (Km)	15
consumo de diesel camión cargado (Km/gl)	7
consumo de diesel camión sin carga (Km/gl)	11
consumo de diesel (gl)	868.00
Densidad (kg/gl)	3.22
<b>Consumo Diesel l/ha</b>	<b>3,285.38</b>
<b>Diesel (t/ha)</b>	<b>2.79</b>
Contenido de energía (TJ/ton Diesel)	0.0433

Fuente: Jaime Gianella Silva. 2016.

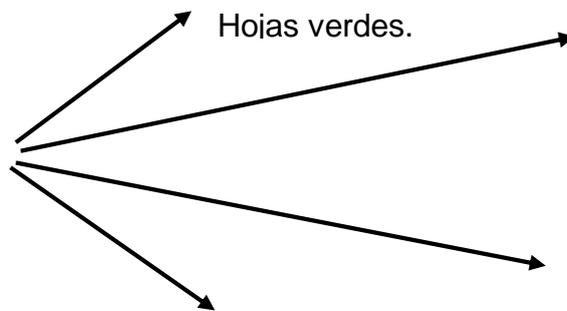
**Anexo 5: Proceso de deshoje de la caña de azúcar.**

1. Deshojar la caña de azúcar y separarla por partes.



Hojas verdes.

Tallos de caña limpios.



Cogollo.



Hojas secas.



2. Pesado de cada una de las partes por separado.

Elaboración propia.



3. Secado de cogollo y hojas verdes, durante una semana.

**Anexo 6: Proceso del Jugo Brix del bagazo.**



1. Trituración de la caña de limpia.



2. Se separa bagazo para la prensa hidráulica.

2.1 El resultado es el jugo del bagazo, jugo Brix.



2.2 El bagazo es llevado a la prensa hidráulica por 1 minuto a 1500PSI.



2.1.A El jugo Brix es llevado a filtración.

Elaboración propia.



2.1. B Finalmente se mide con el brixometro.



2.2. A EL bagazo restante, es llevado a una estufa por 40 min. A 105°C y resulta el bagazo seco.

### Anexo 7: Cuadro de resultados.

Fecha	Cuartel	Edad, meses	Agoste, días	Tipo de Suelo	N° de Corte	N° de Tallos	Cogollo, Kg	Cogollo, secado Kg	Hoja Verde, Kg	Hoja secada kg	Hoja Seca, Kg	Caña Limpia, Kg	Muestra, g	Bagazo Prensado, g	Bagazo Húmedo, g	Tara, g	Tara +Bagazo Seco, g	Jugo, Brix %
26-jul	1	15.65	92	1	3	7	0.589	0.356	1.425	0.54	0.777	16.237	500	126.9	100	670.5	726.3	17.78
02-jul	29	14.64	103	1	4	10	0.579	0.374	0.798	0.39	1.325	24.743	500	117.2	100	678.2	736.3	18.62
03-jul	26	14.68	104	1	4	10	0.751	0.421	0.321	0.168	1.073	19.992	500	121.6	100	672.4	725.9	17.22
04-jul	24	14.68	105	1	4	10	0.939	0.416	3.68	1.23	1.32	31.921	500	103.8	100	670.4	728.3	16.56
28-jul	22	15.5	120	1	4	7	2.324	1.05	1.244	0.522	0.65	10.19	500	129.6	100	670.2	724.3	18.9
28-jul	25	15.5	120	1	4	7	2.922	1.118	1.82	0.72	0.612	13.324	500	122.8	100	674.3	733	19.76
09-jul	16	15.6	68	2	1	5	0.215	0.14	0.343	0.138	0.75	7.58	500	120.9	100	678.4	734.5	23.1
18-jul	1	13.64	71	1	1	7	1.12	0.08	0.21	0.62	1.39	14.17	500	114.2	100	678.2	732.4	20.52
19-jul	9	13.68	72	1	1	14	0.77	0.308	0.65	0.542	1.828	17.92	500	131.8	100	670.4	720.8	21.72
23-abr	12	14.5	47	3	2	7	0.515	0.178	1.095	0.542	1.413	13.82	500	151.4	100	677.10	740.80	21.00
24-abr	7	14.5	48	3	2	11	1.518	0.248	3.827	1.544	0.967	17.944	500	141.9	100	677.1	736.3	17.46
25-abr	13	14.5	56	3	2	9	0.89	0.178	0.706	0.366	1.106	11.058	500	126.9	100	677.1	730.5	18.62
26-abr	6	14.5	50	3	2	11	1.01	0.264	1.73	0.79	1.23	18.2	500	130	100	677.2	741.8	18.12
14-may	18	15.1	69	2	1	9	0.997	0.252	2.26	0.786	1.602	15.056	500	144.9	100	677.5	740.4	22.26
19-jun	27	13.9	64	2	5	18	0.712	0.314	1.377	0.442	1.006	15.398	500	110.1	100	674.3	731.5	20.24

Fecha	Cuartel	Edad, meses	Agoste, días	Tipo de Suelo	N° de Corte	N° de Tallos	Cogollo, Kg	Cogollo, secado Kg	Hoja Verde, Kg	Hoja secada kg	Hoja Seca, Kg	Caña Limpia, Kg	Muestra, g	Bagazo Prensado, g	Bagazo Húmedo, g	Tara, g	Tara +Bagazo Seco, g	Jugo, Brix %
20-jun	29	13.9	64	2	5	31	1.642	0.72	3.313	1.186	2.71	27.989	500	127	100	670.3	721.3	21.82
11-jul	13	12.72	65	1	2	6	1.072	0.166	0.458	0.434	0.742	9.99	500	126.5	100	670.3	730.2	21.24
12-jul	14	12.72	65	1	2	6	0.24	0.166	0.25	0.124	0.78	7.6	500	145.4	100	672.5	729.8	21.8
13-jul	13	12.72	66	1	2	8	1.35	0.848	0.14	0.06	0.88	10.95	500	133	100	670.3	729.6	21.28
14-jul	14	12.73	67	1	2	7	0.32	0.18	0.64	0.302	0.83	10.7	500	129	100	670.3	732.8	23.16
16-jul	20	12.73	69	1	2	8	0.87	0.26	0.47	0.47	0.73	8.98	500	106.3	100	670.6	739.8	25.16
17-jul	19	12.73	70	1	2	7	0.87	0.31	0.65	0.45	0.51	10.99	500	129.6	100	670.4	726.9	23.08
20-jul	7	16	95	3	3	8	0.955	0.552	1.365	0.744	0.641	12.363	500	152.9	100	678.2	736.8	22.64
21-jul	23	13.74	74	1	1	8	0.44	0.36	0.745	0.31	1.128	13.382	500	100.1	100	674.4	732	20.46
22-jul	18	13.78	75	1	1	6	0.79	0.33	2.24	0.87	0.308	11.196	500	134.6	100	670.4	728.1	18.2
23-jul	1	15.1	40	3	3	9	1.466	1.074	1.804	0.72	0.866	11.84	500	142.6	100	674.5	732	20.38
23-jul	1	16.67	90	3	2	11	1.012	0.818	1.634	0.82	1.543	13.642	500	134.7	100	670.5	725	22.04
24-jul	1	16.7	91	3	2	10	0.882	0.612	1.948	1.102	0.914	18.119	500	143.9	100	670.5	728.8	19.36
24-jul	1	15.22	45	3	2	9	0.796	0.998	2.198	0.554	0.834	12.708	500	136.8	100	672.6	736.6	20.84
25-jul	1	15.25	70	3	2	9	0.83	0.57	3.27	1.3	1.23	20.03	500	126.2	100	672.4	737.2	19.61
25-jul	1	15.25	46	3	2	9	1.007	0.706	2.29	0.913	1.449	20.08	500	131.4	100	674.4	736.1	20.04

Fecha	Cuartel	Edad, meses	Agoste, días	Tipo de Suelo	N° de Corte	N° de Tallos	Cogollo, Kg	Cogollo, secado Kg	Hoja Verde, Kg	Hoja secada kg	Hoja Seca, Kg	Caña Limpia, Kg	Muestra, g	Bagazo Prensado, g	Bagazo Húmedo, g	Tara, g	Tara +Bagazo Seco, g	Jugo, Brix %
26-jul	1	15.65	85	1	4	9	0.31	0.23	0.527	0.25	0.681	16.377	500	127.1	100	672.6	731.7	18.54
27-jul	2	15.25	65	3	2	10	1.963	1.02	2.16	0.87	0.992	19.63	500	119.6	100	670.4	727.5	19.86
27-jul	3	15.25	65	3	3	12	1.922	1.186	0.49	0.214	1.28	11.34	500	140.2	100	672.5	729.3	19.78
29-jul	11	13.41	78	2	3	16	1.16	0.718	3.13	1.36	0.8	17.36	500	124.4	100	670.5	728.4	22.14
29-jul	12	13.41	78	2	3	14	0.93	0.526	3.2	1.418	0.72	21.011	500	129.5	100	670.4	727.2	21.54
30-jul	3	13.84	60	2	3	8	0.962	0.404	2.78	1.15	0.418	12.214	500	142.8	100	678.3	739.7	18.4
30-jul	4	13.84	60	2	3	8	1.166	0.742	2.664	0.91	0.47	11.795	500	138.1	100	674.4	735.3	19.24
31-jul	3	13.48	52	2	3	13	1.13	0.582	1.772	0.684	1.24	15.532	500	132.4	100	670.4	725.6	15.88
31-jul	4	13.48	52	2	3	16	1.08	0.734	2.58	1.052	1.26	13.343	500	128.9	100	672.6	729.4	20.74
25-jun	1	15.6	98	3	1	10	0.92	0.494	1.47	0.646	1.84	19.412	500	145.2	100	647.3	727.8	23.28
23-abr	2	15.3	52	1	4	6	0.718	0.12	1.688	0.838	1.183	9.186	500	130.8	100	677.00	735.00	20.02
23-abr	4	15.3	52	1	4	5	0.606	0.106	2.285	0.572	0.731	7.65	500	153.2	100	677.20	733.60	20.18
24-abr	-	15.3	50	1	4	16	2.514	0.628	4.606	1.775	3.466	29.875	500.2	154.2	100	677.3	736.1	21.34
14-may	13	15.86	67	1	4	19	1.951	0.361	3.992	1.47	3.24	32.961	500	201.3	100	677.2	735.8	21.76
15-may	12	15.88	74	1	4	11	1.342	0.164	3.368	1.234	2.813	23.163	500	134.6	100	677.3	735.7	22.06
19-may	7	14.51	80	2	6	10	2.146	0.648	2.109	0.748	2.486	22.008	500	132.5	100	677.3	741.1	20.32

**Anexo 8: Cuadro de resultados por variedades**
**VRD1**

Fecha	N° de Corte	N° de Tallos	Cogollo, Kg	Cogollo, secado Kg	Hoja Verde, Kg	Hoja secada kg	Hoja Seca, Kg	Caña Limpia, Kg	Muestra, g	Bagazo Prensado, g	Bagazo Húmedo, g	Tara, g	Tara +Bagazo Seco, g	Jugo, Brix %
23-abr	4	6	0.718	0.12	1.688	0.838	1.183	9.186	500	130.8	100	677.00	735.00	20.02
23-abr	4	5	0.606	0.106	2.285	0.572	0.731	7.65	500	153.2	100	677.20	733.60	20.18
24-abr	4	16	2.514	0.628	4.606	1.775	3.466	29.875	500.2	154.2	100	677.3	736.1	21.34
14-may	4	19	1.951	0.361	3.992	1.47	3.24	32.961	500	201.3	100	677.2	735.8	21.76
15-may	4	11	1.342	0.164	3.368	1.234	2.813	23.163	500	134.6	100	677.3	735.7	22.06
19-may	6	10	2.146	0.648	2.109	0.748	2.486	22.008	500	132.5	100	677.3	741.1	20.32

**VRD2**

Fecha	N° de Corte	N° de Tallos	Cogollo, Kg	Cogollo, secado Kg	Hoja Verde, Kg	Hoja secada kg	Hoja Seca, Kg	Caña Limpia, Kg	Muestra, g	Bagazo Prensado, g	Bagazo Húmedo, g	Tara, g	Tara +Bagazo Seco, g	Jugo, Brix %
23-abr	2	7	0.515	0.178	1.095	0.542	1.413	13.82	500	151.4	100	677.10	740.80	21.00
24-abr	2	11	1.518	0.248	3.827	1.544	0.967	17.944	500	141.9	100	677.1	736.3	17.46
25-abr	2	9	0.89	0.178	0.706	0.366	1.106	11.058	500	126.9	100	677.1	730.5	18.62
26-abr	2	11	1.01	0.264	1.73	0.79	1.23	18.2	500	130	100	677.2	741.8	18.12
14-may	1	9	0.997	0.252	2.26	0.786	1.602	15.056	500	144.9	100	677.5	740.4	22.26
19-jun	5	18	0.712	0.314	1.377	0.442	1.006	15.398	500	110.1	100	674.3	731.5	20.24
20-jun	5	31	1.642	0.72	3.313	1.186	2.71	27.989	500	127	100	670.3	721.3	21.82
25-jun	2	10	0.92	0.494	1.47	0.646	1.84	19.412	500	145.2	100	647.3	727.8	23.28
11-jul	2	6	1.072	0.166	0.458	0.434	0.742	9.99	500	126.5	100	670.3	730.2	21.24
12-jul	2	6	0.24	0.166	0.25	0.124	0.78	7.6	500	145.4	100	672.5	729.8	21.8

Fecha	N° de Corte	N° de Tallos	Cogollo, Kg	Cogollo, secado Kg	Hoja Verde, Kg	Hoja secada kg	Hoja Seca, Kg	Caña Limpia, Kg	Muestra, g	Bagazo Prensado, g	Bagazo Húmedo, g	Tara, g	Tara +Bagazo Seco, g	Jugo, Brix %
13-jul	2	8	1.35	0.848	0.14	0.06	0.88	10.95	500	133	100	670.3	729.6	21.28
14-jul	2	7	0.32	0.18	0.64	0.302	0.83	10.7	500	129	100	670.3	732.8	23.16
16-jul	2	8	0.87	0.26	0.47	0.47	0.73	8.98	500	106.3	100	670.6	739.8	25.16
17-jul	3	7	0.87	0.31	0.65	0.45	0.51	10.99	500	129.6	100	670.4	726.9	23.08
20-jul	1	8	0.955	0.552	1.365	0.744	0.641	12.363	500	152.9	100	678.2	736.8	22.64
21-jul	1	8	0.44	0.36	0.745	0.31	1.128	13.382	500	100.1	100	674.4	732	20.46
22-jul	3	6	0.79	0.33	2.24	0.87	0.308	11.196	500	134.6	100	670.4	728.1	18.2
23-jul	2	9	1.466	1.074	1.804	0.72	0.866	11.84	500	142.6	100	674.5	732	20.38
23-jul	2	11	1.012	0.818	1.634	0.82	1.543	13.642	500	134.7	100	670.5	725	22.04
24-jul	2	10	0.882	0.612	1.948	1.102	0.914	18.119	500	143.9	100	670.5	728.8	19.36
24-jul	2	9	0.796	0.998	2.198	0.554	0.834	12.708	500	136.8	100	672.6	736.6	20.84
25-jul	2	9	0.83	0.57	3.27	1.3	1.23	20.03	500	126.2	100	672.4	737.2	19.61
25-jul	4	9	1.007	0.706	2.29	0.913	1.449	20.08	500	131.4	100	674.4	736.1	20.04
26-jul	2	9	0.31	0.23	0.527	0.25	0.681	16.377	500	127.1	100	672.6	731.7	18.54
27-jul	2	10	1.963	1.02	2.16	0.87	0.992	19.63	500	119.6	100	670.4	727.5	19.86
27-jul	3	12	1.922	1.186	0.49	0.214	1.28	11.34	500	140.2	100	672.5	729.3	19.78
29-jul	3	16	1.16	0.718	3.13	1.36	0.8	17.36	500	124.4	100	670.5	728.4	22.14
29-jul	3	14	0.93	0.526	3.2	1.418	0.72	21.011	500	129.5	100	670.4	727.2	21.54
30-jul	3	8	0.962	0.404	2.78	1.15	0.418	12.214	500	142.8	100	678.3	739.7	18.4
30-jul	3	8	1.166	0.742	2.664	0.91	0.47	11.795	500	138.1	100	674.4	735.3	19.24
31-jul	3	13	1.13	0.582	1.772	0.684	1.24	15.532	500	132.4	100	670.4	725.6	15.88
31-jul	1	16	1.08	0.734	2.58	1.052	1.26	13.343	500	128.9	100	672.6	729.4	20.74

**VRD3**

Fecha	N° de Corte	N° de Tallos	Cogollo, Kg	Cogollo, secado Kg	Hoja Verde, Kg	Hoja secada kg	Hoja Seca, Kg	Caña Limpia, Kg	Muestra, g	Bagazo Prensado, g	Bagazo Húmedo, g	Tara, g	Tara +Bagazo Seco, g	Jugo, Brix %
09-jul	1	5	0.215	0.14	0.343	0.138	0.75	7.58	500	120.9	100	678.4	734.5	23.1
18-jul	1	7	1.12	0.08	0.21	0.62	1.39	14.17	500	114.2	100	678.2	732.4	20.52
19-jul	1	14	0.77	0.308	0.65	0.542	1.828	17.92	500	131.8	100	670.4	720.8	21.72

**VRD4**

Fecha	N° de Corte	N° de Tallos	Cogollo, Kg	Cogollo, secado Kg	Hoja Verde, Kg	Hoja secada kg	Hoja Seca, Kg	Caña Limpia, Kg	Muestra, g	Bagazo Prensado, g	Bagazo Húmedo, g	Tara, g	Tara +Bagazo Seco, g	Jugo, Brix %
02-jul	4	10	0.579	0.374	0.798	0.39	1.325	24.743	500	117.2	100	678.2	736.3	18.62
03-jul	4	10	0.751	0.421	0.321	0.168	1.073	19.992	500	121.6	100	672.4	725.9	17.22
04-jul	4	10	0.939	0.416	3.68	1.23	1.32	31.921	500	103.8	100	670.4	728.3	16.56
28-jul	4	7	2.324	1.05	1.244	0.522	0.65	10.19	500	129.6	100	670.2	724.3	18.9
28-jul	4	7	2.922	1.118	1.82	0.72	0.612	13.324	500	122.8	100	674.3	733	19.76

**VRD5**

Fecha	N° de Corte	N° de Tallos	Cogollo, Kg	Cogollo, secado Kg	Hoja Verde, Kg	Hoja secada kg	Hoja Seca, Kg	Caña Limpia, Kg	Muestra, g	Bagazo Prensado, g	Bagazo Húmedo, g	Tara, g	Tara +Bagazo Seco, g	Jugo, Brix %
26-jul	3	7	0.589	0.356	1.425	0.54	0.777	16.237	500	126.9	100	670.5	726.3	17.78

**Anexo 9: Quema de caña en campo a cielo abierto.**



Fuente: Archivos. Jaime Gianella Silva.



Fuente: Propia.

**Anexo 10: Resultado del análisis proximal de la caña de azúcar.**



**INSTITUTO DE INVESTIGACION NUTRICIONAL**  
Av. La Molina 1885 (Ex Av. La Universidad 685) – La Molina  
Telf.: (51-1) 349-6023 Fax: (51-1) 349-6025  
RUC 20117792634

**INFORME DE ENSAYO N° 465 - 15**

**CLIENTE** : katherine Landauro Minaya  
**PRODUCTO** : 02 muestras de diferentes productos  
**MUESTRA** : Preparada por el cliente en bolsas de plástico  
**ENSAYO** : VALOR CALORÍFICO  
**FECHA (Recepción):** 12/08/ 2015  
**FECHA (Ensayo)** : 13/08/ 2015

Resultado del ensayo solicitado:

PRODUCTO	VALOR CALORIFICO (Kcal/100 g)	OBSERVACIONES
Muestra Hoja verde	362.27	
Muestra de Cogollo	367.59	

**Método de ensayo empleado:**  
ASTM METHOD D-2015-66 (1972)

  
Jhanna del Valle  
Laboratorio de Bioquímica

La Molina, 14 de agosto 2015

Nota: El presente Informe solamente es válido en su estado original.

Página 1 de 1

Anexo 10 – 0191 Lima 18 PERU



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**Departamento Académico de Industrias Forestales**  
**Área de Transformación Química-Laboratorio de Pulpa y Papel**

**ANÁLISIS DE MUESTRAS**

N° 027/08-2015-LPP

Fecha 12 de Agosto del 2015

ENSAYOS SOLICITADO por Katherine Landauro  
 Ref. Cotización s/n correo electrónico

**RESULTADOS OBTENIDOS: ANÁLISIS MUESTRAS CAÑA AZÚCAR**

ANÁLISIS	Norma / método	Unidad	MUESTRA	
			HOJAS CAÑA	COGOLLO CAÑA
4) HUMEDAD*	Gravimetría AOAC 1984	% (base húmeda)	5,63	7,51
5) COMPOSICIÓN **				
Carbono Fijo (CF)	ASTM D-1762	%	16,02	18,00
Material Volátil (MV)	ASTM D-1762	%	73,81	73,71
Cenizas (CZ)	ASTM D-1762	%	10,16	8,30

(\*) Humedad de muestra luego de molienda  
 (\*\*) base materia seca



HECTOR ENRIQUE GONZALES MORA, Ph.D.  
 Responsable  
 Jefe LABORATORIO DE PULPA Y PAPEL  
 CIP 31024



Dirección: Av. La Universidad s/n Apdo. 12-056-La Molina, Lima 100 PERÚ  
 Telefax (51-1) 6147800 anexo 229 Correo electrónico: egonzales@lamolina.edu.pe