

**Evaluación de la influencia de la fertilización  
potásica en el poder calorífico del King Grass  
(*Pennisetum purpureum*)**

**Joel Steven Tinoco Valarezo**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano  
Honduras**

Noviembre, 2017

ZAMORANO  
CARRERA DE AMBIENTE Y DESARROLLO

# **Evaluación de la influencia de la fertilización potásica en el poder calorífico del King Grass (*Pennisetum purpureum*)**

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar  
al título de Ingeniero en Ambiente y Desarrollo en el  
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

**Joel Steven Tinoco Valarezo**

**Zamorano, Honduras**

Noviembre, 2017

## **Evaluación de la influencia de la fertilización potásica en el poder calorífico del King Grass (*Pennisetum purpureum*)**

**Joel Steven Tinoco Valarezo**

**Resumen.** La creciente demanda de energía que no provenga de fuentes fósiles nos lleva a buscar alternativas como la energía generada a partir de la combustión de biomasa. Los cultivos energéticos herbáceos, como el King Grass (*Pennisetum purpureum*), destacan sobre otras fuentes de biomasa por su crecimiento acelerado, alto rendimiento en biomasa y poder calorífico. El presente estudio evalúa la influencia de la fertilización potásica en el rendimiento de biomasa y poder calorífico del King Grass. Se seleccionaron tres fincas en el departamento de Cortés, Honduras, que aplican diferentes planes de fertilización con variación en la cantidad de potasio. Las muestras de King Grass fueron recolectadas por triplicado en cada finca a los cuatro meses de edad. Se determinó el contenido de humedad, rendimiento en biomasa, material volátil, cenizas y carbono fijo. Asimismo se determinó el potencial energético por medio de calorímetro con bomba de oxígeno adiabático, comparando este resultado con los valores obtenidos a través de una ecuación en función del contenido de carbono fijo de la muestra. La producción promedio de biomasa fue de 78,226 kg MS/ha, sin diferencia significativa entre el rendimiento de cada finca, sin embargo se encontró diferencias en el poder calorífico de los cultivos, cuyo valor promedio fue 16,681 kJ/kg. Las fincas con menor cantidad de potasio aplicado resultaron en la producción de biomasa con mayor potencial energético, mientras que la finca con mayor dosificación de potasio resultó en biomasa con mayor contenido de ceniza y menor poder calorífico.

**Palabras clave:** Biomasa, combustión, cultivo energético.

**Abstract.** The increasing energy demand from non-fossil fuel sources leads us to look for renewable alternatives such as biomass combustion. Herbaceous energy crops, such as King Grass (*Pennisetum purpureum*), stand out over other biomass sources due its rapid growth, high biomass yield and heat value. This study evaluates influence of potassium fertilization's in the biomass yield and heat value of the King Grass in three different farms located in Cortés, Honduras. Each farm counts with a different fertilization plan with variations in the amount of potassium applied. The King Grass samples were recollected at four months of age and the moisture, volatile material, ash and fixed carbon were determined. The estimation of the biomass yield of each plantation was calculated and the heat value of the leaves and stems were determined separately through an adiabatic bomb calorimeter. These results were compared with the values obtained with a formula based on the sample's fixed carbon. The average biomass yield was 78,226 kg DM/ha and no significant difference between the yields was found among study sites. There was a significant difference in the heat value of the crops, which presented 16,681 kJ/kg. The farm with the least quantity of potassium applied were the ones with the highest heat value. The farm with the highest potassium dosification resulted with the biomass with the highest amount of ashes and least heat value.

**Key words:** Biomass, combustion, energy crop.

## CONTENIDO

Portadilla .....	i
Página de firmas .....	ii
Resumen .....	iii
Contenido .....	iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos.....	v
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. METODOLOGÍA.....</b>	<b>5</b>
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>10</b>
<b>4. CONCLUSIONES .....</b>	<b>18</b>
<b>5. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>19</b>
<b>6. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>20</b>
<b>7. ANEXOS .....</b>	<b>24</b>

## INDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Principales cultivos herbáceos destinados a la producción de energía.....	2
2. Metodología usada para la caracterización de la biomasa.....	7
3. Dosificaciones de fertilizante aplicado y el total de potasio disponible en .... el suelo.....	11
4. Datos tomados en campo.....	11
5. Caracterización de las muestras.....	12
6. Altura y estimación de la densidad del cultivo.....	13
7. Estimación del rendimiento promedio de biomasa .....	14
8. Prueba ANDEVA para valores de estimación de rendimiento en biomasa ....	14
9. Poder calorífico obtenido mediante calorímetro de bomba de oxígeno ..... diabático .....	15
10. Prueba ANDEVA para valores de poder calorífico (Calorímetro).....	16
11. Prueba post hoc Duncan para el poder calorífico (Calorímetro).....	16
12. Prueba t para valores de poder calorífico de hoja y tallos .....	16
13. Poder calorífico obtenido mediante ecuación en función de carbono fijo .....	17
Figuras	Página
1. Diagrama de muestras .....	6
2. Mapa referencial de las fincas muestreadas .....	10
3. Diagrama de cajas de la densidad estimada del cultivo .....	13
4. Diagrama de cajas del rendimiento estimado de biomasa.....	14
5. Diagrama de cajas del poder calorífico (Calorímetro) .....	15
Anexos	Página
1. Informe de resultados de análisis de suelo .....	24
2. Prueba de normalidad para valores de densidad estimada del cultivo .....	24
3. Prueba ANDEVA para valores de densidad estimada del cultivo.....	24
4. Prueba de normalidad para valores de altura del cultivo.....	25
5. Prueba ANDEVA para valores de altura del cultivo.....	25
6. Prueba de normalidad para valores de estimación de rendimiento en..... biomasa.....	25
7. Prueba de normalidad para valores de poder calorífico (Calorímetro) .....	25
8. Prueba de normalidad para valores de poder calorífico (Ecuación).....	25
9. Prueba ANDEVA para valores de poder calorífico (Ecuación).....	26

## 1. INTRODUCCIÓN

América Latina cuenta con la matriz energética más limpia del mundo según el Banco de Desarrollo de América Latina (2015). Sin embargo, los combustibles fósiles continúan representando la principal fuente energética de la región, de modo que el 41% de la energía en América Latina y el Caribe proviene del petróleo, 33% del gas natural y el carbón mineral, 25% de fuentes renovables y 1% de energía nuclear (Organización Latinoamericana de Energía [OLADE], 2012). El alto potencial de recursos para la generación de energía de la región ha potenciado el desarrollo de la energía renovable. Este tipo de energía se ha convertido en una alternativa viable económicamente y brinda beneficios adicionales, como la independencia de combustibles fósiles y menor emisión de gases de efecto invernadero (Banco Interamericano de Desarrollo [BID], 2013).

La biomasa es el recurso energético más explotado entre las fuentes renovables de energía, representando el 56% del total de energía renovable utilizada en América Latina y el Caribe. Los recursos forestales y los desechos industriales, agropecuarios y urbanos pueden ser utilizados como biomasa, pero la mayor parte de la biomasa que se usa en la región proviene de recursos forestales (Secretaría de Energía de Argentina, 2008). Generalmente la explotación del recurso forestal es mayor que la tasa de regeneración, causando deforestación, por lo que se plantea la implementación de cultivos energéticos destinados para la generación de energía como una solución (Nava-García y Doldán-García, 2014).

Los cultivos energéticos deben contar con una alta tasa de rendimiento en biomasa, bajo costo de producción, alto poder calorífico, balance energético positivo, capacidad de desarrollo en suelos marginados por la agricultura y no poner en riesgo la seguridad alimentaria (Haya Comunicación, 2010). Estos cultivos se pueden clasificar en oleaginosos, para la generación de biocombustibles, y lignocelulósicos, para la generación de energía térmica y eléctrica (Valero, Sebastián, Royo y Pascual, 2017).

Existen varias especies de plantas lignocelulósicas con deseable carácter energético, dentro de las cuales se encuentran especies leñosas, como el Eucalipto (*Eucalyptus* sp), y especies herbáceas, como el King Grass (*Pennisetum purpureum*) (Valero et al., 2017). Las especies herbáceas, tales como *Miscanthus* spp y *Pennisetum purpureum*, tienen gran aceptación en América y Europa por su rendimiento en biomasa y poder calorífico (Cuadro 1).

Cuadro 1. Principales cultivos herbáceos destinados a la producción de energía.

Nombre científico	Biomasa (t/ha)	Poder calorífico (kJ/kg)	Sitio de producción	Referencia bibliográfica
<i>Miscanthus</i> spp.	5 - 55	16800	Alemania, Bélgica, España, Italia, Estados Unidos, Turquía y Francia	(Heaton et al., 2010; Lucas, Peso, Rodriguez y Prieto, 2012)
<i>Panicum virgatum</i>	10 - 20	16600-17200	Estados Unidos, Grecia, Italia, Argentina y España.	(Oliveira-Prendes, Afif-Khoury, Palencia-García y Gorgoso-Valera, 2012)
<i>Cynara cardunculus</i> L.	21 - 28	12000 - 17000	España	(Fernández-Tirado, Jiménez-Bocanegra, Perea-Torres y Durán-Zuazo, 2014)
<i>Sorghum bicolor</i>	50 - 58	16600	México	(Díaz, Espinoza y Ortíz, 2016; Lucas et al., 2012)
<i>Pennisetum purpureum</i>	20-100	14000 - 21000	Estados Unidos, Panamá, El Salvador, Cuba y Honduras	(Cardona, Rios y Peña, 2012; Rodriguez y Romero, 2017)

El poder calorífico es la energía contenida en una determinada cantidad de material que puede ser liberada durante su combustión. Este factor se puede representar como poder calorífico superior (PCS) o poder calorífico inferior (PCI). El PCS es el contenido de energía total que se libera en la combustión, incluyendo la energía requerida para la evaporación del contenido de humedad de la biomasa, ya que el calor latente de vaporización demandado para este proceso es recuperado en una etapa posterior de condensación. Cuando la tecnología usada para la generación de energía libera el vapor de agua generado en la combustión no se aprovecha la totalidad del potencial energético contenido en el combustible. En este caso se resta el calor latente de vaporización al valor del PCS obteniendo el PCI (Lewandowski y Kicherer, 1997; McKendry, 2001).

Las propiedades que influyen directamente el poder calorífico se encuentran: contenido de humedad, carbono fijo, compuestos volátiles, cenizas y relación celulosa-lignina. Factores como la humedad y las cenizas representan impedimentos físicos para la transferencia de calor, derivando en pérdidas de eficiencia de la combustión (McKendry, 2001). La concentración de carbono fijo, material volátil y lignina determinan el carácter calórico del combustible (Lewandowski y Kicherer, 1997; Rengsirikul et al., 2013).

En la generación de energía térmica es recomendable que el contenido de humedad sea el menor posible ya que al incrementar esta variable el poder calorífico es menor

(Lewandowski y Kicherer, 1997). El balance energético global se verá afectado al someter a procesos de combustión materiales con alto contenido de humedad, ya que se necesita mayor cantidad de energía para la combustión de biomasa húmeda que de biomasa seca (McKendry, 2001). Los procesos de conversión energética funcionan eficientemente al trabajar con biomasa con contenido de humedad menor al 30%. Si la biomasa tiene un contenido superior de humedad, se puede llegar al indicado anteriormente por medio de procesos de acondicionamiento previos al proceso de conversión de energía, tales como el secado solar o forzado, molienda y extrusión (Biomass Users Network [BUN-CA], 2002).

La proporción relativa de lignina y celulosa es otro de los factores determinantes para establecer si una planta tiene potencial para ser un cultivo energético. Generalmente las plantas herbáceas tienen fibras ligadas débilmente por la baja concentración de lignina en etapas tempranas de crecimiento, y a medida se desarrolla la planta la concentración lignocelulósica aumenta (Barroso, 2010). Una alta concentración de lignina y celulosa refleja un alto poder calorífico, siendo esta una condición necesaria para procesos de combustión directa (Telmo y Lousada, 2011; Rengsirikul et al., 2013).

El periodo de corte condiciona la composición estructural de la planta, influyendo directamente en su poder calorífico. Cuando el objetivo es generar energía por combustión directa, el tiempo de corte no debe ser menor a tres meses. Con este intervalo entre cortes se presenta el máximo rendimiento en materia seca, mayor poder calorífico y menor concentración de cenizas. De esta manera se favorece la eficiencia de la combustión de biomasa (Rengsirikul et al., 2013; Rengsirikul et al., 2011).

Asimismo, diferentes estudios han mostrado una relación directa entre la proporción de carbono fijo y compuestos volátiles con el poder calorífico de un cultivo. El carbono fijo es el contenido de carbono, que en estado libre, no se ha combinado con ningún otro elemento contenido en la materia (McKendry, 2001; Vasquez y Herrera, 2006). El material volátil consiste principalmente en los gases, agua y vapores alquitranados liberados de la materia durante su combustión, representando la facilidad con la que dicho combustible encenderá, ya que a mayor presencia de volátiles será más sencillo el arranque de la combustión del material (Lewandowski y Kicherer, 1997; Universidad Nacional de Colombia [UNALMED], 2017; Vasquez y Herrera, 2006).

La ceniza se compone generalmente de material mineral, el cual no se degrada por medio de combustión. La presencia de cenizas afecta la eficiencia de la combustión, ya que la obtención de altas concentraciones de ceniza se compara al efecto de la humedad en la reducción del poder calorífico. Adicionalmente, la ceniza puede producir escarificación en la caldera, impidiendo la transferencia de calor hacia la biomasa, disminuyendo la eficiencia del sistema (Lewandowski y Kicherer, 1997; Rengsirikul et al., 2011).

Dentro de los cultivos establecidos para fines energéticos se encuentra el King Grass, cultivo que presenta rendimiento en materia seca y poder calorífico superior al ser comparada con otras gramíneas (Leonard et al., 2014). Esta es una planta perenne de crecimiento macollador que puede superar los dos metros de altura. El King Grass se desarrolla adecuadamente en zonas de hasta 2200 m.s.n.m., con precipitaciones de 800 a 4,000 mm al año y temperatura de 18 a 30 °C (Instituto Nicaragüense de Tecnología

Agropecuaria [INTA], 2014; Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura [FAO], 2017). Un estudio enfocado en la producción de King Grass con fines energéticos con intervalo entre cortes de cuatro meses recomienda dosificaciones de 5.9 quintales del fertilizante KCl (0-0-60) por hectárea en su plan de fertilización, obteniendo biomasa con poder calorífico de 15,800 kJ/kg (Muñoz, Lardizabal y Fanconi, 2011).

La creciente demanda de energía que no provenga de fuentes fósiles nos lleva a buscar alternativas como la energía generada a partir de biomasa. El presente trabajo maximiza las ventajas que representa el King Grass al ser utilizado como biomasa, contribuyendo de esta manera al impulso y fortalecimiento de la energía renovable dentro de la matriz energética de América Latina y el Caribe. Determinar, estandarizar y controlar factores que influyen en la calidad de la biomasa producida asegurará un éxito en el mercado energético. Con mayor investigación se puede llegar a mejorar todas las características que hacen del King Grass un cultivo apropiado para el uso de su biomasa en la generación de energía.

Honduras Green Power Corporation (HGPC) es una planta de generación de energía ubicada en San Pedro Sula, Honduras. Esta empresa mantiene un fuerte compromiso con el desarrollo sostenible, enfatizando en crear soluciones innovadoras y eficientes. Siguiendo esta ideología de producción, HGPC genera 43 MW de energía eléctrica por medio de la combustión de biomasa de King Grass (*Pennisetum purpureum*, Texas 25), lo que trae beneficios como la contribución a la fracción renovable de la matriz energética del país, generación de plazas de trabajo, ocupación de tierras ociosas y disminución de emisiones contaminantes a la atmósfera. HGPC busca mejorar la eficiencia de sus procesos, por lo que requiere aumentar el poder calorífico y el rendimiento en biomasa de su cultivo enfatizando esfuerzos en optimizar los procesos de fertilización de este cultivo energético.

Tomando en consideración las variables de mayor influencia sobre la calidad energética del cultivo de King Grass se plantean los siguientes objetivos para el desarrollo de la presente investigación:

- Evaluar la producción de biomasa del King Grass establecido bajo programas de fertilización con variación en la dosis de potasio aplicado.
- Determinar el poder calorífico del King Grass cultivado bajo programas de fertilización con variación en la dosis de potasio aplicado.
- Definir el escenario de fertilización que favorezca el uso de King Grass como cultivo energético, optimizando el rendimiento del volumen de biomasa y contenido energético.

## 2. METODOLOGÍA

### **Selección del sitio de estudio.**

Para la selección del sitio de estudio se estableció criterios de selección referentes a un programa de producción de King Grass que potencie el carácter energético del cultivo. El principal criterio fue la existencia de una misma especie del cultivo con la misma edad de corte, ya que para producción energética el tiempo de cosecha no debe ser menor a tres meses entre cada ciclo. Adicionalmente, se tomó en cuenta el plan de fertilización aplicado y la existencia de diferentes dosificaciones en su fracción potásica. Finalmente se eligieron zonas productivas con un mismo tipo de suelo, de manera que este factor no interfiera con la disponibilidad y absorción de nutrientes.

### **Toma de muestras.**

Se realizó un muestreo aleatorio por triplicado en cultivos de King Grass en tres diferentes fincas seleccionadas conforme a los requisitos para el sitio de estudio. Cada punto de muestreo se georreferenció y se delimitó un metro cuadrado como área de toma de muestra. Posteriormente se cosechó el King Grass dentro de esta área realizando el corte a una altura de 15 cm del suelo. Se registró el número de macollas, la altura del King Grass cosechado y el contenido de humedad del cultivo *in situ* utilizando un medidor de humedad relativa (CEM® DT 129). Posteriormente, se tomó una muestra compuesta de suelo a partir de tres muestras simples obtenidas en los primeros 20 cm de profundidad, hasta obtener 1 kg para cada finca. Las muestras fueron trasladadas en bolsas plásticas debidamente rotuladas, y posteriormente remitidas al laboratorio de suelos de Zamorano.

### **Preparación de muestras en laboratorio.**

La preparación de las muestras y posteriores análisis se realizaron en el laboratorio de Bioenergía del Departamento de Ambiente y Desarrollo de la Escuela Agrícola Panamericana. Esta preparación consistió en separar hojas y tallos de cada planta, de manera que se manejen como muestras individuales, obteniendo 18 muestras. Cada muestra se trabajó en triplicado para obtener mayor homogeneidad en los resultados (Figura 1).

Posteriormente se pesó cada muestra y se tomó una submuestra aleatoria de 1 kg de cada una. Este kilogramo se sometió a secado solar por 10 horas al día por tres días de manera que se pueda triturar adecuadamente el material. Posteriormente se registró la pérdida de peso, de manera que se pueda calcular el contenido de humedad removido. El material triturado se dividió en dos partes: la primera parte se destinó para los análisis de humedad residual, material volátil y carbono fijo; la segunda, se pulverizó hasta alcanzar un tamaño de partícula que permitiera formar pellets de aproximadamente 0.6 g para el análisis del poder calorífico por medio del calorímetro.

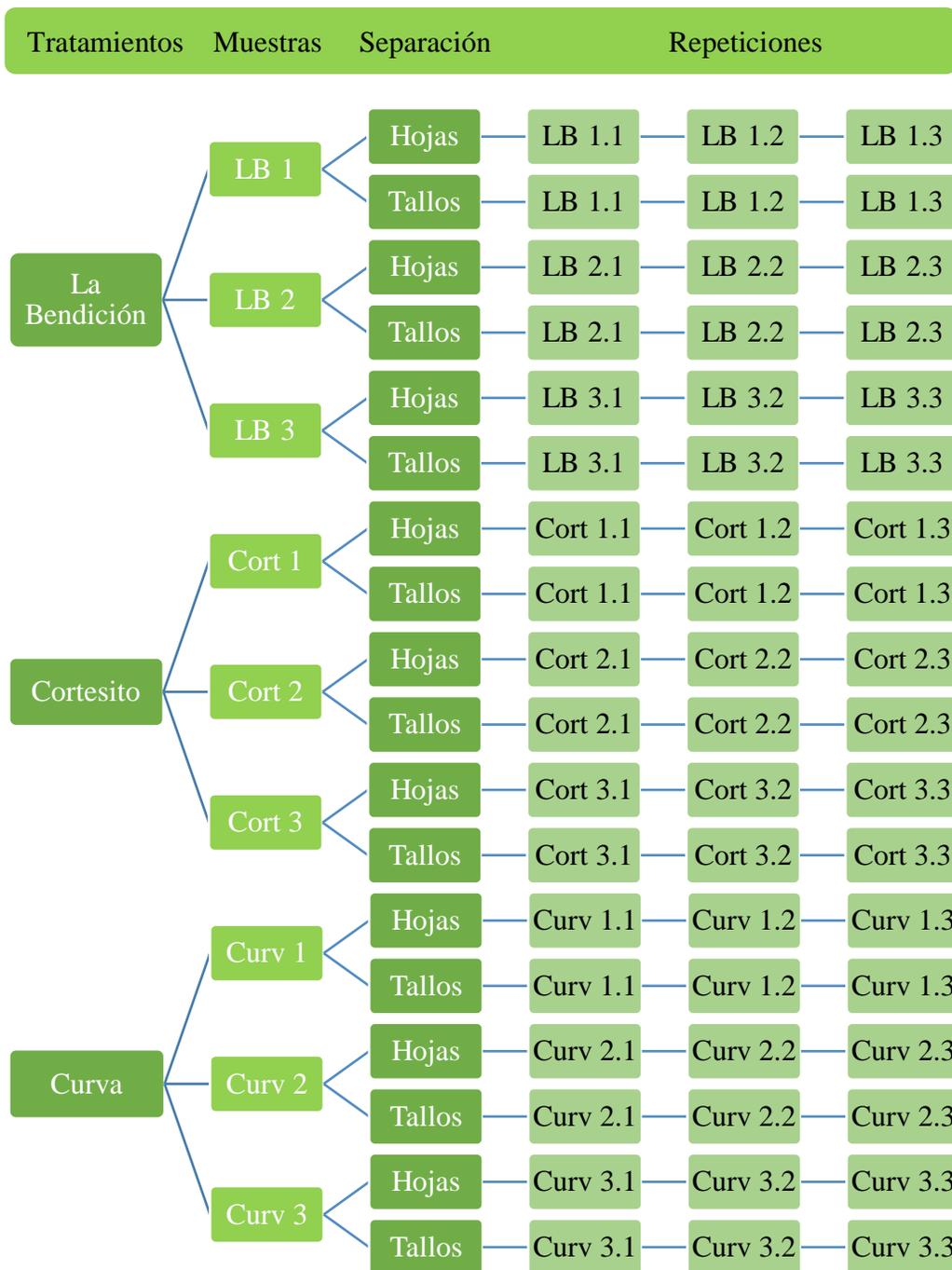


Figura 1. Diagrama de muestras.

**Análisis de caracterización.**

Para la caracterización de la biomasa se realizó el análisis proximal del material según la norma ASTM D3172, determinando el contenido de humedad residual (Ecuación 1), material volátil (Ecuación 2), carbono fijo (Ecuación 3) y ceniza (Ecuación 4) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Metodología usada para la caracterización de la biomasa.

Análisis proximal	Descripción	Norma
Humedad residual	105°C por 3 horas y aplicación de ecuación 1	ASTM D3173
Material volátil	925°C por 7 minutos y aplicación de ecuación 2	ASTM D3175
Carbono fijo	815°C por 3 horas y aplicación de ecuación 3	ASTM D3174
Ceniza	Aplicación de ecuación 4	ASTM D3172

$$HR = \frac{MH - MS}{MH} \times 100 \quad [1]$$

Donde:

HR = Humedad residual (%)

MH = Masa Húmeda

MS = Masa Seca (105°C por 3 h)

$$SV = \frac{MS - MI}{MS} \times 100 \quad [2]$$

Donde:

SV = Sólidos Volátiles (%)

MS = Masa (105°C por 3 h)

MI= Masa (925°C por 7 min)

$$C = \frac{MI - MF}{MI} \times 100 \quad [3]$$

Donde:

C = Cenizas (%)

MI = Masa 925°C por 7 min)

MF= Masa 800°C por 3 h

$$CF = 100 - (C + H + SV) \quad [4]$$

Donde:

CF = C = Cenizas (%)

Carbono Fijo (%)

H = Humedad (%)

SV = Sólidos Volátiles (%)

**Determinación de humedad.** La humedad se calculó en dos fases. La primera consistió en someter las sub-muestras de un kilogramo a secado solar, detallado anteriormente, registrar

la pérdida de peso y calcular el contenido de humedad (H1) por medio de la ecuación 5; la segunda fase consistió en el análisis de humedad residual (Cuadro 2). La humedad total se calculó por medio de la ecuación 6.

$$H1 = \frac{MH - MA}{MH} \times 100 \quad [5]$$

Donde:

H1 = Humedad calculada después del secado solar (%)

MH = Masa Húmeda

MA = Masa Seca (Secado solar, 10 horas por 3 días)

$$H = H1 + HR \quad [6]$$

Donde:

H = Humedad total (%)

H1 = Humedad calculada después del secado solar (%)

HR = Humedad residual (%)

#### **Estimación de la densidad de cultivo.**

La estimación de densidad por hectárea se obtuvo por medio de la ecuación 7.

$$D = NM \times 10,000 \quad [7]$$

Donde:

D = densidad (Macollas/ha)

NM = número de macollas por m<sup>2</sup>

#### **Estimación de biomasa.**

La estimación del rendimiento de materia seca por hectárea se obtuvo por medio de la ecuación 8.

$$MS = ((MHH \times MSH) + (MHT \times MST)) \times 10,000 \quad [8]$$

Donde:

MS = kg de materia seca por hectárea

MHH = kg de materia húmeda de hojas por m<sup>2</sup>

MSH = porcentaje de materia seca de las hojas\*

MHT = kg de materia húmeda de tallos por m<sup>2</sup>

MST = porcentaje de materia seca de los tallos\*

\*Estos porcentajes son la diferencia entre 100 y el porcentaje de agua determinado en la caracterización.

### **Determinación del poder calorífico.**

La determinación del poder calorífico se realizó de dos maneras; la primera fue por medio del análisis en calorímetro de bomba de oxígeno adiabático C 2000 basic IKA; la segunda, por medio de la ecuación 9 establecida por Demirbas (1997), la cual se basa en los valores de carbono fijo obtenidos en análisis proximal. Los valores arrojados por el calorímetro reflejan el poder calorífico superior, por lo que no excluye el trabajo de ningún componente de la biomasa en la generación de energía. En cambio, el valor arrojado por la ecuación únicamente considera la concentración de carbono fijo contenido en la muestra, por ende, no se considera el trabajo realizado por el material volátil en la combustión de la biomasa.

$$PC = 0.196 \times (CF) + 14,119 \quad [9]$$

Donde:

PC = Poder Calorífico (kJ kg<sup>-1</sup>)

CF = Carbono Fijo (% de peso)

### **Análisis estadístico.**

El análisis estadístico se realizó en el programa IBM SPSS Statistics 19 (Statistical Package for the Social Sciences [SPSS], 2010). Se realizó una prueba de Shapiro Wilk para corroborar la normalidad de los datos. Posteriormente se realizó un Análisis de Varianza (ANDEVA) con intervalo de confianza del 95% para determinar si existe diferencia entre la altura, densidad del cultivo, cantidad de biomasa producida y el poder calorífico de la biomasa entre cada uno de los tratamientos. Como complemento al análisis anterior, se realizó una prueba de medias de Duncan para determinar que tratamiento es el mejor con relación a la producción de biomasa y el poder calorífico. Adicionalmente se realizó una Prueba t para determinar si existe diferencia entre el poder calorífico de las muestras de hojas y tallos.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Sitio de estudio, toma y preparación de muestras.

Tomando en cuenta los criterios anteriormente descritos se seleccionó tres fincas (Figura 2), propiedad de HGPC, en donde se cultiva King Grass bajo tres planes de fertilización, todos con variación en la cantidad de potasio aplicado (Cuadro 3). El King Grass establecido es de la variedad Texas 25 y fue cosechado a los cuatro meses de edad (Cuadro 4). Las fincas se encuentran ubicadas a 30 km de San Pedro Sula, Cortés, Honduras, cumpliendo con los parámetros de altitud, precipitación y temperatura requeridos por el cultivo para su adecuado desarrollo.

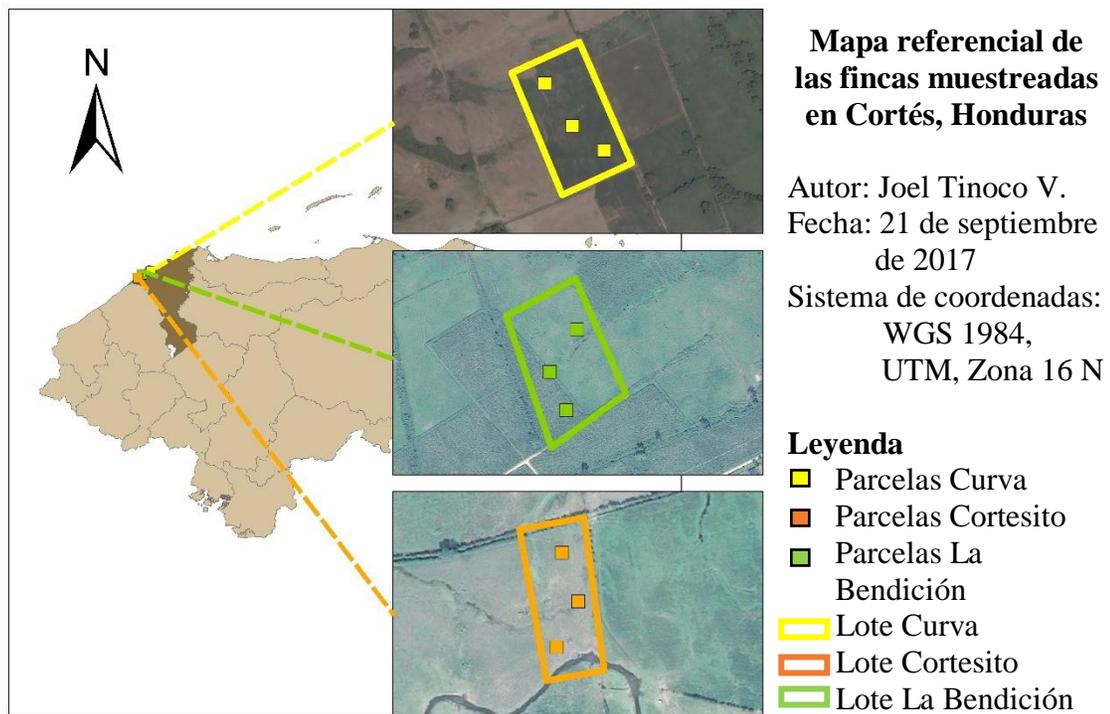


Figura 2. Mapa referencial de las fincas muestreadas.

Cuadro 3. Dosificaciones de fertilizante aplicado y el total de potasio disponible en el suelo.

Finca	Fertilizante (kg/ha)				
	Nitrato de amonio	Sulfato de amonio	DAP (18-46-0)	KCl (0-0-60)	Nitrato de calcio
La Bendición	159	113	45	45	181
Cortesito	227	0	45	136	0
Curva	118	113	113	109	181

Cuadro 4. Datos tomados en campo.

Finca	Coordenadas UTM	Humedad en campo (%)	Número de macollas	Altura (m)	Peso muestras (kg)		
					Hoja	Tallo	Total
La Bendición	359972; 1728671	38.64	4	3.90	3.40	8.58	11.98
Cortesito	355724; 1724810	41.43	6	4.08	3.28	9.28	12.56
Curva	370041; 1732240	33.38	5	4.67	4.40	12.46	16.86

#### **Análisis de caracterización.**

La humedad promedio de las muestras fue del 48%, presentando mayor humedad las muestras de hojas que de tallos (Cuadro 5). Para un proceso de combustión eficiente la humedad de la biomasa a utilizar debe estar por debajo del 30% según estudios realizados en Costa Rica (BUN-CA, 2002). Cuando la humedad es mayor a este porcentaje se recomienda realizar procesos de acondicionamiento previos al proceso de combustión.

El contenido porcentual de material volátil fue de 93%, siendo mayor en los tallos de King Grass que en las hojas, por lo que tiene gran influencia en el poder calorífico del cultivo (Cuadro 5). Este valor es superior al encontrado en otros estudios en los cuales el contenido de material volátil se encuentra en el rango de 65 a 84% (Strezov, Evans y Hayman, 2008; Onuegbu, Ekpunobi, Ogbu, Ekeoma y Obumselu, 2011; Imam y Capareda, 2012; Braga et al., 2014; Barros et al., 2014). Esto refleja el comportamiento del material en la combustión, ya que los combustibles con alto contenido de material volátil combustiónan fácilmente, sin necesidad de realizar procesos para disminuir el tamaño de partícula que ingresa a la caldera, según publicaciones de la Universidad Nacional de Colombia (2017).

Con respecto al carbono fijo (Cuadro 5), el valor promedio es de 0.12%, siendo un valor bajo al ser comparado con otros estudios, en donde el valor promedio se encuentra entre el rango de 6 y 18% (Strezov et al., 2008; Onuegbu et al., 2011; Imam y Capareda, 2012; Braga et al., 2014; Barros et al., 2014). La baja concentración de carbono fijo puede estar relacionada con la edad del cultivo, siendo la edad de los principales condicionantes de la composición estructural de la planta y su poder calorífico. De manera que conforme el cultivo se desarrolle, su composición estructural presentará mayor contenido de lignina y

mayor concentración de carbono fijo por la relación positiva existente entre estos dos componentes, derivando en el aumento del poder calorífico (Vassilev, Baxter, Andersen, Vassileva y Morgan, 2012). La naturaleza de la biomasa es otro factor que condiciona el contenido de carbono fijo, razón por la cual los cultivos herbáceos tienen menor concentración que las especies leñosas (Vassilev, Baxter, Andersen y Vassileva, 2010).

Las hojas del cultivo presentaron mayor concentración de ceniza que los tallos, sosteniendo la correlación negativa, encontrada por Rengsirikul et al. (2011), entre la concentración de ceniza y la concentración de celulosa y lignina (Cuadro 5). Por esta misma razón la transferencia de calor en la combustión de tallos es más eficiente que en la de hojas, considerando que estos procesos fueran realizados por separado. En promedio, la concentración de ceniza del King Grass fue de 6%, valores similares a los encontrados en estudios relacionados en donde la concentración de ceniza se encuentra entre 3 y 11% (Scholl et al., 2015; Strezov et al., 2008; Onuegbu et al., 2011; Imam y Capareda, 2012; Braga et al., 2014; Barros et al., 2014; Rengsirikul et al., 2011).

Cuadro 5. Caracterización de las muestras.

Muestra	Humedad (%)	Análisis proximal			
		Humedad residual (%)	Material volátil (%MS <sup>¥</sup> )	Carbono fijo (%MS)	Cenizas (%MS)
LB H	56.35	10.26	92.18	0.1045	7.71
CORT H	54.15	7.77	87.94	0.1878	11.87
CURV H	50.26	8.78	93.17	0.0373	6.80
LB T	38.43	9.29	96.76	0.1247	3.12
CORT T	41.63	10.28	95.01	0.1125	4.87
CURV T	46.00	10.59	97.56	0.1569	2.28

¥ Valores expresados en base seca

LB: La Bendición

CORT: Cortesito

CURV: Curva

H: Hoja

T: Tallo

#### **Altura y estimación de la densidad de cultivo.**

Al realizar el análisis de varianza con intervalo de confianza del 95% se determinó que no existe diferencia significativa entre la densidad estimada del cultivo de cada finca, por lo que, estadísticamente, este no es un factor de influencia en el desarrollo del cultivo (Cuadro 6). La densidad de siembra óptima para la producción de King Grass es de 12,500 plantas por hectárea en su establecimiento según un estudio realizado en El Salvador por Rodríguez y Romero (2017), sin embargo, el crecimiento macollador característico del King Grass no permite que el cultivo se mantenga con esta densidad inicial, generando un incremento de la misma.

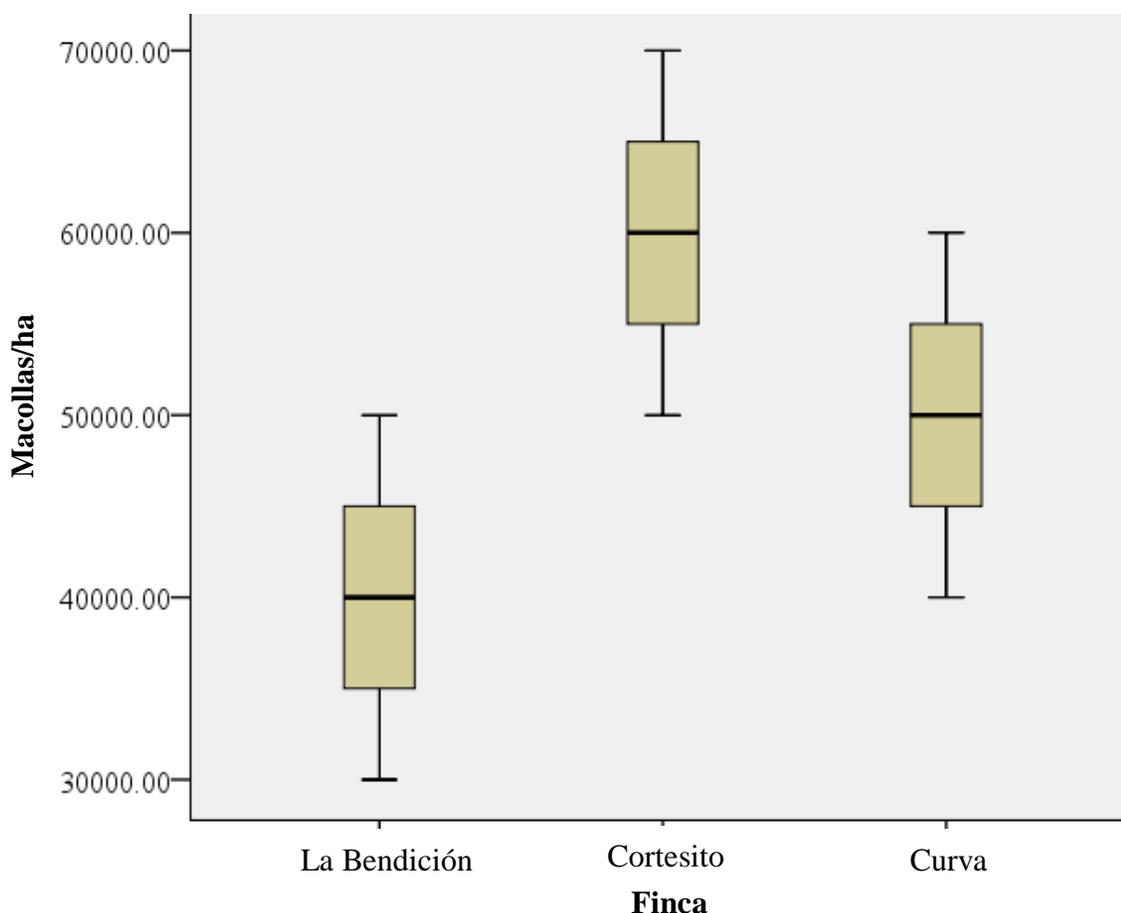


Figura 3. Diagrama de cajas de la densidad estimada del cultivo.

Cuadro 6. Altura y estimación de la densidad del cultivo.

Muestra	Área (ha)	Densidad de plantas			Altura (m)
		m <sup>2</sup>	ha	Total	
La Bendición	8.0	4	40,000	320,000	3.90
Cortesito	1.5	6	60,000	90,000	4.08
Curva	5.0	5	50,000	250,000	4.67

#### Estimación de rendimiento de biomasa.

La producción de biomasa promedio fue de 78,000 kg MS/ha, valor superior al encontrado por Rengsirikul et al. (2011), quien en su estudio documentó rendimientos de hasta 61,000 kg MS/ha (Cuadro 7). A pesar de que cada finca es manejada bajo distintos programas de fertilización, no se encontró diferencia significativa entre el rendimiento promedio en biomasa, por lo que la disminución de la fracción potásica en las dosificaciones no tuvo un efecto negativo en el desarrollo del cultivo (Cuadro 8).

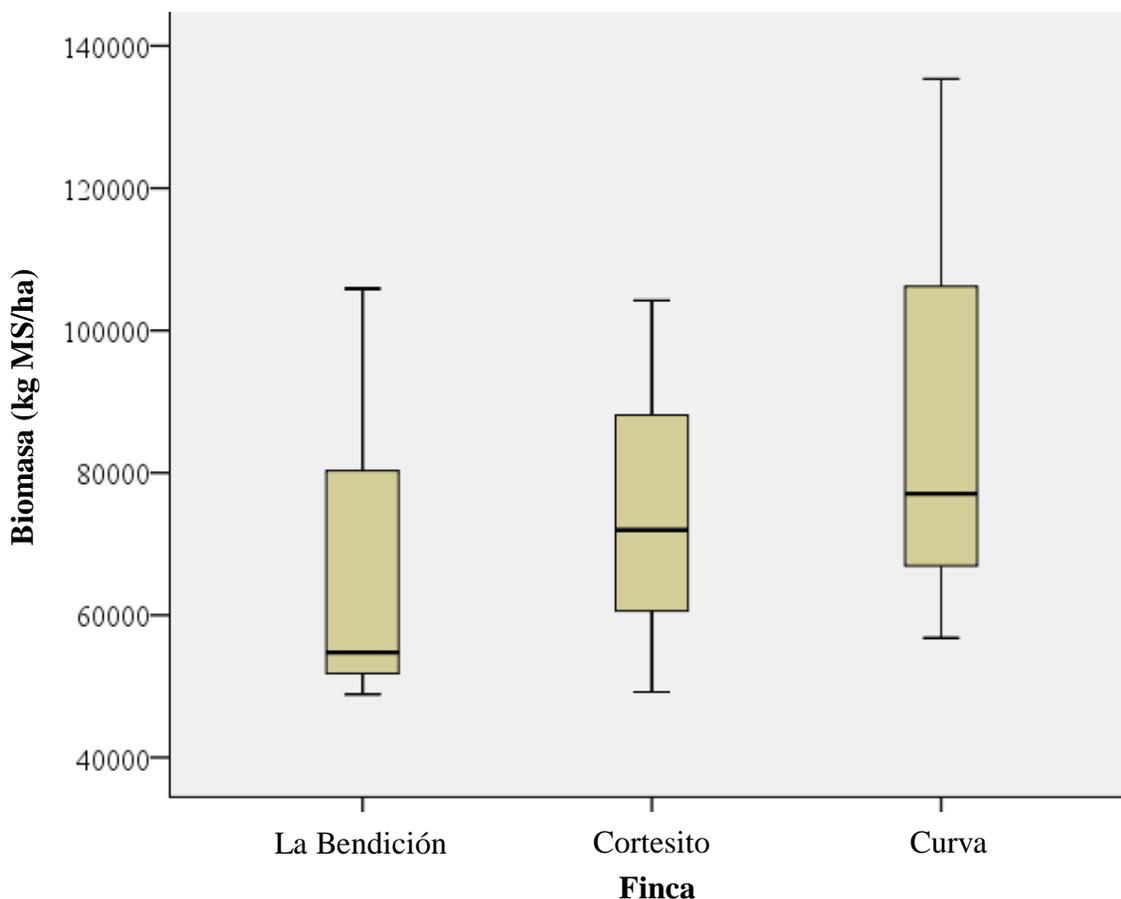


Figura 4. Diagrama de cajas del rendimiento estimado de biomasa.

Cuadro 7. Estimación del rendimiento promedio de biomasa.

Muestra	Área (ha)	Peso húmedo (kg)		Materia seca (%)		Biomasa (kg/ha)		
		Hojas	Tallos	Hojas	Tallos	Hojas	Tallos	Total
LB	8.0	3.40	8.58	42.64	61.57	14800.00	55026.67	69826.67
CORT	1.5	3.28	9.28	46.00	58.37	15003.33	60126.67	75130.00
CURV	5.0	4.40	12.46	47.76	54.00	21916.67	67806.67	89723.33

Cuadro 8. Prueba ANDEVA para valores de estimación de rendimiento en biomasa.

Muestra	Desviación típica	ANDEVA		
		Grados de libertad	F	Significancia
La Bendición	31,343.97	2	0.280	0.765
Cortesito	27,647.50	6		
Curva	40,772.42	8		

## Determinación del poder calorífico.

**Calorímetro de bomba de oxígeno adiabático.** El valor promedio de poder calorífico del cultivo fue 16,681 kJ/kg (Cuadro 9), valor superior al documentado en estudios anteriores realizados por Onuegbu et al. (2011), Braga et al. (2014) y Rengsirikul et al. (2011), quienes reportaron valores que rondan los 15,500 kJ/kg. Sin embargo, en un estudio realizado en El Salvador por Rodríguez y Romero (2017) se cultivó King Grass, cosechado a los cuatro meses de edad, con poder calorífico de hasta 18,458 kJ/kg, demostrando el potencial que tiene este cultivo y la oportunidad de aumentar los rendimientos que actualmente se obtienen de la producción de HGPC.

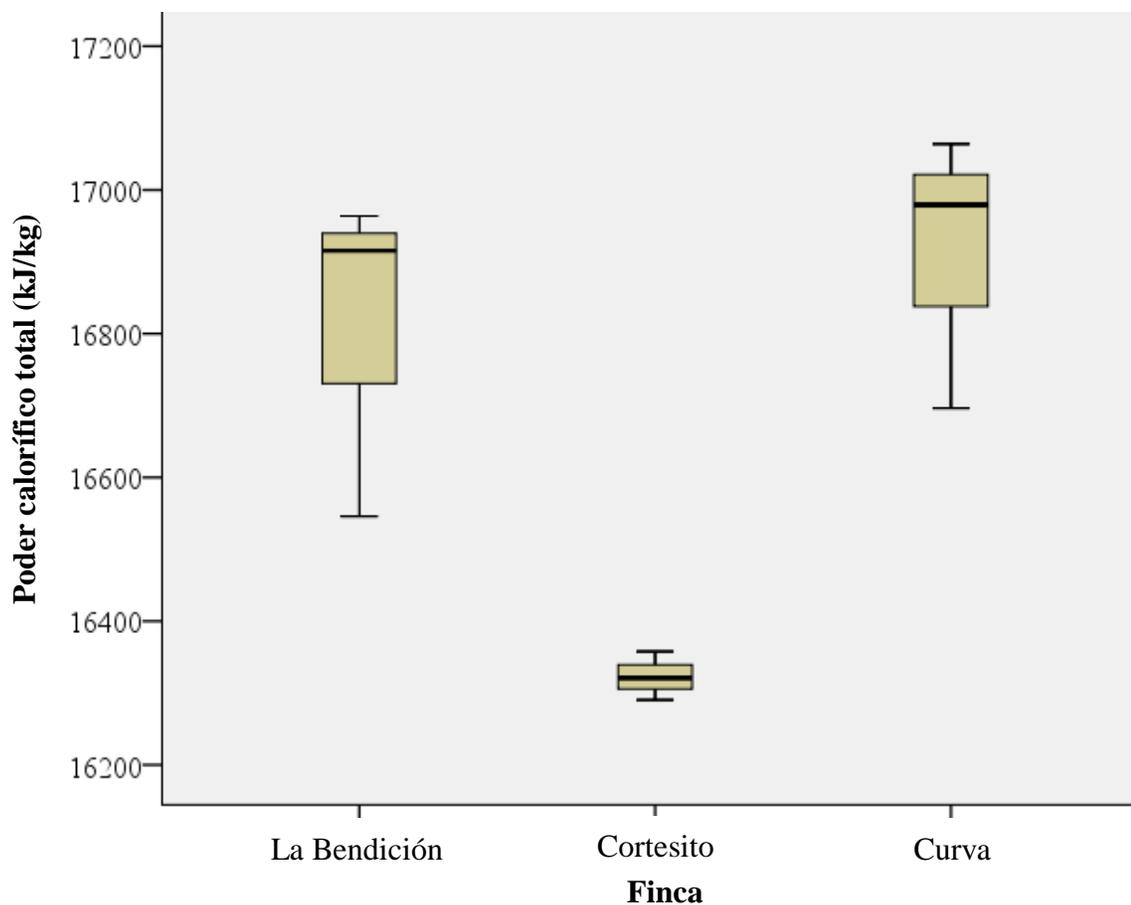


Figura 5. Diagrama de cajas del poder calorífico (Calorímetro).

Cuadro 9. Poder calorífico obtenido mediante calorímetro de bomba de oxígeno adiabático.

Muestra	Poder calorífico (kJ/kg)		
	Hojas	Tallos	Total
La Bendición	16,183.56	17,056.34	16,808.41
Cortesito	15,316.22	16,687.00	16,323.09
Curva	16,478.55	17,079.55	16,913.14

El poder calorífico es diferente significativamente entre las fincas (Cuadro 10), por lo que la variación en la formulación de las fertilizaciones presentó un efecto directo en el carácter calorífico del cultivo. La biomasa con mayor poder calorífico se obtuvo de las fincas La Bendición y Curva, fincas entre las cuales no existe diferencia en rendimiento referente a poder calorífico (Cuadro 11). La biomasa de la finca Cortesito es la de menor poder calorífico, siendo esta la que mayor cantidad de K recibió por medio de la fertilización. De esta manera se puede relacionar la disponibilidad de este elemento con el rendimiento energético que tendrá el cultivo.

Cuadro 10. Prueba ANOVA para valores de poder calorífico (Calorímetro).

Muestra	Desviación típica	ANOVA		
		Grados de libertad	F	Significancia
La Bendición	228.62	2	9.859	0.013
Cortesito	33.76	6		
Curva	192.51	8		

Cuadro 11. Prueba post hoc Duncan para el poder calorífico (Calorímetro).

Muestra	Subconjunto para alfa = 0.05	
	1	2
Cortesito	16323.09	
La Bendición		16808.41
Curva		16913.14
Significancia	1.000	0.488

En cuanto al poder calorífico de las hojas y tallos, se aplicó una prueba t (Cuadro 12) y se encontró diferencia significativa, siendo mayor el poder calorífico de los tallos al presentado por las hojas. Lo anterior se relaciona al contenido de humedad, concentración de cenizas, composición estructural de ambas partes de la planta y disponibilidad de potasio en el suelo. De este modo se establece que a mayor dosificación de potasio el cultivo presentará mayor concentración de cenizas y menor contenido de lignina, por lo tanto, el poder calorífico del combustible será menor (Rengsirikul et al., 2011).

Cuadro 12. Prueba t para valores de poder calorífico de hoja y tallos.

Muestra	Media	Desviación típica	Prueba t	
			Grados de libertad	Significancia (bilateral)
Hojas	15,992.78	548.81	11.166	0.001
Tallos	16,940.96	249.26		

**Ecuación de poder calorífico en función de carbono fijo.** El poder calorífico se puede calcular por medio de una ecuación basada en el contenido de carbono fijo [9] en el combustible. Esta ecuación fue desarrollada por Demirbas (1997) y representa una alternativa para determinar el poder calorífico aproximado de un combustible por medio de análisis proximales. Demirbas señala que el valor obtenido por medio de la ecuación tiene una diferencia media de 2.2% con el valor obtenido por medio de una bomba calorimétrica, sin embargo, los valores obtenidos por medio de la ecuación (Cuadro 13) difieren en promedio 14% al compararlo con los valores obtenidos por medio del calorímetro de bomba de oxígeno adiabático (Cuadro 9). Esta variación puede significar que el contenido de material volátil tiene mayor influencia en el poder calorífico de biomasa de King Grass que en la biomasa analizada por Demirbas.

Cuadro 13. Poder calorífico obtenido mediante ecuación en función de carbono fijo.

Muestra	Poder calorífico (kJ/kg)		
	Hojas	Tallos	Total
La Bendición	14,204.81	14,143.44	14,161.35
Cortesito	14,136.21	14,141.05	14,139.81
Curva	14,126.31	14,149.75	14,143.63

## 4. CONCLUSIONES

- La reducción en la cantidad de potasio aplicado no afectó el rendimiento en biomasa de las fincas, por lo que es viable disminuir la dosis de potasio hasta el nivel establecido en la finca Curva, en donde se aplicaron 109 kg de KCl (0-0-60) por hectárea. De este modo se mantiene el rendimiento en biomasa en niveles competitivos y se disminuye el costo de producción gracias al menor consumo de fertilizantes potásicos.
- El poder calorífico del cultivo presenta una relación inversa con la cantidad de potasio suministrado. De modo que la finca con mayor cantidad de potasio aplicado presentó el menor valor energético y al disminuir la dosis potásica, el poder calorífico aumenta. Sin embargo, no se puede prescindir de este elemento en las formulaciones ya que es un nutriente esencial en el desarrollo del cultivo.
- A pesar de no encontrar diferencia significativa entre el rendimiento en biomasa y el poder calorífico de las dos fincas con las dosificaciones más bajas, si existe diferencia numérica entre estos valores de respuesta. De este modo se determinó que el escenario de fertilización que favorece la productividad y el carácter energético del King Grass es el tratamiento en donde se aplicaron 109 kg de KCl (0-0-60) por hectárea.

## 5. RECOMENDACIONES

- La producción de King Grass energético debe hacerse bajo un plan de fertilización que iguale la concentración de potasio aplicado en la finca Curva, con lo cual se espera obtener el mayor rendimiento en biomasa y poder calorífico en todas las fincas de producción.
- Se debe evitar aplicar altas dosificaciones de potasio al cultivo en suelos con enmiendas de pH con cal, ya que esto potencializa la absorción del elemento por parte de la planta. Por ende, si la concentración de potasio es mayor la concentración de cenizas también aumentará, impactando negativamente en el poder calorífico del cultivo.
- La ecuación para determinar el poder calorífico en base al contenido de carbono fijo no es aplicable en biomasa de especies herbáceas por la gran participación del material volátil en la combustión de este tipo de materia. Sin embargo, se puede evaluar la aplicabilidad de ecuaciones que tomen en cuenta el contenido de material volátil o concentración de lignina.
- Realizar estudios del desarrollo del cultivo basado en los requerimientos de potasio por etapas fenológicas, de modo que se determine la demanda de este elemento y los rendimientos en biomasa y poder calorífico al aplicar fertilizantes potásicos únicamente en etapas tempranas de crecimiento.
- Analizar el rendimiento del King Grass bajo planes de fertilización con dosificaciones de potasio intermedias a las establecidas en las fincas La Bendición y Curva, con el fin de determinar la cantidad adecuada de potasio que la planta requiere para potenciar el rendimiento en biomasa por hectárea y el poder calorífico.
- Realizar análisis foliares al King Grass y análisis de suelo constantemente, de manera que se determine la curva de absorción de los nutrientes aportados al suelo por medio de la fertilización y la disponibilidad de los mismos. De este modo se obtiene el valor exacto de nutrientes, especialmente potasio, que condicionaran el desarrollo y composición estructural del cultivo.

## 6. LITERATURA CITADA

- Banco de Desarrollo de América Latina. (2015). *Corporación Andina de Fomento*. Caracas, Venezuela: Corporación Andina de Fomento. Recuperado de: <https://www.caf.com/es/actualidad/noticias/2015/12/america-latina-tendremos-suficiente-energia-paratodos/?parent=14092>
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2013). *Banco Interamericano de Desarrollo*. Bogotá, Colombia: Banco Interamericano de Desarrollo. Recuperado de: <http://www.iadb.org/es/noticias/articulos/2013-06-18/energia-renovable-de-america-latina-y-el-caribe,10486.html>
- Barros, J., Melo, D., Anquino, F., Freitas, J., Melo, M., Braga, R. y Fontes, M. (2014). Characterization and comparative study of pyrolysis kinetics of the rice husk and the elephant grass. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 115, pp. 1915-1920.
- Barroso, M. (2010). *Pretratamiento de biomas celulósica para la obtención de etanol en el marco de una biorrefinería* (Tesis de pregrado), Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.
- Biomass Users Network. (2002). *Manual sobre energía renovable "Biomasa"*. San José, Costa Rica: Oficina Regional de Centroamérica de Biomass Users Network.
- Braga, R., Costa, T., Freitas, J., Barros, J., Melo, D. y Melo, M. (2014). Pyrolysis kinetics of elephant grass pretreated biomasses. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 117, pp. 1341-1348.
- Cardona, E. M., Rios, L. A. y Peña, J. D. (2012). Disponibilidad de Variedades de Pastos y Forrajes como Potenciales Materiales Lignocelulósicos para la Producción de Bioetanol en Colombia. *Información Tecnológica*, 23 (6), pp. 87-96.
- Demirbas, A. (1997). Calculation of higher heating values of biomass fuels. *Fuel*, 76, pp. 431-434.
- Díaz, A., Espinoza, M. y Ortíz, F. E. (2016). Promoción de biomasa y contenido de azúcares en sorgo dulce mediante abonos orgánicos y micorriza arbuscular. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 32 (3), pp. 353-360.

- Fernández-Tirado, F., Jiménez-Bocanegra, J. A., Perea-Torres, F. y Durán-Zuazo, V. H. (2014). *Innovagri: Biomasa de Cynara cardunculus L. en sistemas productivos agrarios andaluces para fines energéticos*. Córdoba, España: Innovagri. Recuperado de: <http://www.innovagri.es/bioenergia/biomasa-de-cynara-cardunculus-l-ensistemas-productivos-agrarios-andaluces-para-fines-energeticos.html>
- Haya Comunicación. (2010). *Energías Renovables*. País Vasco, España: Energías Renovables. Recuperado de: <http://media1.webgarden.es/files/media1:4befe685c2de5.pdf.upl/E.Biomassa.pdf>
- Heaton, E., Dohleman, F., Miguez, F., Juvik, J., Lozovaya, V., Widholm, J., . . . Long, S. (2010). Miscanthus: A promising biomass crop. *Botanical Research*, 56, pp. 75-137.
- Imam, T. y Capareda, S. (2012). Characterization of bio-oil, syn-gas and bio-char from switchgrass pyrolysis at various temperatures. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 93, pp. 170-177.
- Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria. (2014). *Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria*. Managua, Nicaragua: Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria. Recuperado de: <http://www.inta.gob.ni/biblioteca/images/pdf/plegables/Brochure%20Pasto%20CT-115.pdf>
- Leonard, I., Uvidía, H., Torres, V., Andino, M., Benítez, D. y Ramírez, J. (2014). La curva de crecimiento del Pennisetum purpureum vc King grass en la Amazonía Ecuatoriana. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 15 (7), pp. 1-10.
- Lewandowski, I. y Kicherer, A. (1997). Combustion quality of biomass: Practical relevance and experiments to modify the biomass quality of Miscanthus x giganteus. *European Journal of Agronomy*, 6, pp. 163-177.
- Lucas, A. I., Peso, C., Rodríguez, E. y Prieto, P. (2012). *Biomasa, Biocombustibles y Sostenibilidad*. Palencia, España: Centro Tecnológico Agrario y Agroalimentario.
- McKendry, P. (2001). Energy production from biomass (part 1): Overview of biomass. *Bioresource Technology*, 83, pp. 37-46.
- Muñoz, R., Lardizabal, R. y Fanconi, M. (2011). *Manejo agronómico de King Grass para producción de biomasa en Honduras*. Tegucigalpa, Honduras: Secretaría de Relaciones Exteriores.
- Nava-García, F. y Doldán-García, X. (2014). *Cultivos energéticos*. Universidad Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, Galicia, España.

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2017). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Santiago de Chile, Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado de: <http://www.fao.org/ag/agp/agpc/doc/GBASE/data/pf000301.htm>
- Organización Latinoamericana de Energía. (2012). *Organización Latinoamericana de Energía*. La Habana, Cuba: Organización Latinoamericana de Energía. Recuperado de: [http://www.olade.org/sites/default/files/presentacionesej8\\_Presentaci%C3%B3n%20OLADE%20UPADI%20201.pdf](http://www.olade.org/sites/default/files/presentacionesej8_Presentaci%C3%B3n%20OLADE%20UPADI%20201.pdf)
- Oliveira-Prendes, J. A., Afif-Khoury, E., Palencia-García, P. y Gorgoso-Valera, J. J. (2012). Producción y calidad de biomasa del Switchgrass (*Panicum virgatum* L.) en Candás (Asturias). *Sociedad Española para el Estudio de los Pastos*, 12, pp. 535-541.
- Onuegbu, T. U., Ekpunobi, U. E., Ogbu, I. M., Ekeoma, M. O. y Obumselu, F. O. (2011). Comparative studies of ignition time and water boiling test of coal and biomass briquettes blend. *International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences*, 7 (2), pp. 153-159.
- Rengsirikul, K., Ishii, Y., Kangvansaichol, K., Pripanapong, P., Sripichitt, P., Punsuvon, V., . . . Tudsri, S. (2011). Effects of inter-cutting interval on biomass yield, growth components and chemical composition of napiergrass (*Pennisetum purpureum* Schumach) cultivars as bioenergy crops in Thailand. *Grassland Science*, 57, pp. 135-141.
- Rengsirikul, K., Ishii, Y., Kangvansaichol, K., Sripichitt, P., Punsuvon, V., Vaithanomsat, P., . . . Tudsri, S. (2013). Biomass Yield, Chemical Composition and Potential Ethanol Yields of 8 Cultivars of Napiergrass (*Pennisetum purpureum* Schumach.) Harvested 3-Monthly in Central Thailand. *Journal of Sustainable Bioenergy*, 3, pp. 107-112.
- Rodriguez, B. R. y Romero, J. N. (2017). *Evaluación del potencial energético del zacate "King Grass" (Pennisetum purpureum), en El Salvador* (Tesis de pregrado), Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.
- Scholl, A., Menegol, D., Pitarelo, A. P., Fontana, R., Filho, A., Ramos, L., . . . Camassola, M. (2015). Ethanol production from sugars obtained during enzymatic hydrolysis of elephant grass (*Pennisetum purpureum*, Schum.) pretreated by steam explosion. *Bioresource Technology*, 192, pp. 228-237.
- Secretaría de Energía de Argentina. (2008). *Energías Renovables*. Buenos Aires, Argentina: Secretaría de Energía de Argentina. Recuperado de: [https://www.energia.gob.ar/contenidos/archivos/publicaciones/libro\\_energia\\_biomasa.pdf](https://www.energia.gob.ar/contenidos/archivos/publicaciones/libro_energia_biomasa.pdf)

- Statistical Package for the Social Sciences. (2010). *Manual del usuario del sistema básico de IBM SPSS Statistics 19*. New York, Estados Unidos: IBM Company.
- Strezov, V., Evans, T. y Hayman, C. (2008). Thermal conversion of elephant grass (*Pennisetum Purpureum* Schum) to bio-gas, bio-oil and charcoal. *Bioresource Technology*, 99, pp. 8394-8399.
- Telmo, C. y Lousada, J. (2011). The explained variation by lignin and extractive contentson higher heating value of wood. *Biomass and Bioenergy*, 35, pp. 1663-1667.
- Universidad Nacional de Colombia. (2017). *Universidad Nacional de Colombia*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de: [http://www.unalmed.edu.co/~ctcarbon/analisis\\_proximos.htm#Azufre](http://www.unalmed.edu.co/~ctcarbon/analisis_proximos.htm#Azufre).
- Valero, A., Sebastián, F., Royo, J. y Pascual, J. (2017). *Cultivos Energéticos*. Zaragoza, España: Grupo de Investigación de Biomasa de CIRCE. Recuperado de: [http://www.derechoaragones.es/i18n/catalogo\\_imagenes/grupo.cmd?path=201271](http://www.derechoaragones.es/i18n/catalogo_imagenes/grupo.cmd?path=201271)
- Vasquez, E. B. y Herrera, J. F. (2006). Metodología para la caracterización de combustibles sólidos maderables del área metropolitana del Valle de Aburrá "AMVA", Colombia. *Revista de la Facultad de Agronomía, Medellín*, 56, pp. 3557-3564.
- Vassilev, S. V., Baxter, D., Andersen, L. y Vassileva, C. (2010). An overview of the chemical composition of biomass. *Fuel*, 89, pp. 913-933.
- Vassilev, S. V., Baxter, D., Andersen, L., Vassileva, C. y Morgan, T. (2012). An overview of the organic and inorganic phase composition of biomass. *Fuel*, 94, pp. 1-33.

## 7. ANEXOS

### Anexo 1. Informe de resultados de análisis de suelo.

ZAMORANO		LABORATORIO DE SUELOS ZAMORANO				LSZ-F126-1	
		INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS DE SUELOS				VERSIÓN V02	
Sistema de Gestión de Calidad ISO 17025							
Solicitante	Fecha Ingreso Muestra	Fecha Envío Informe	Procedencia de la muestra			Página	
Joel Tinoco	2017-06-05		SPS			1 de 1	
Dirección del cliente	N° Lote de Análisis	Cultivo	Informe N°			Anexo Recomendación	
EAP, Zamorano/ IAD	2017-14	-----	2017-178			Sí: x No:	

Interpretación	
	Bajo
	Medio
	Alto

Código Interno Lab.	Muestra	Textura	g/100g			pH (H <sub>2</sub> O)	g/100g			mg/Kg (extractable)				
			Arena	Limo	Arcilla		C.O.	M.O.	N <sub>total</sub>	P	K	Ca	Mg	Na
17-S-1871	La curva	Franco Arenoso	70	20	10	5.42	1.80	3.11	0.16	24	20	241	40	14
17-S-1872	La bendición Lote 9	Franco Arenoso	64	24	12	5.60	1.01	1.74	0.09	41	30	472	93	11
17-S-1873	Cortecito Lote 2 M1	Franco Arenoso	54	34	12	5.79	0.56	0.96	0.05	30	23	561	111	8

Rango Medio						2.00	0.20	13	Por: Saturación de bases
						4.00	0.50	30	

**Métodos:** K, Ca, Mg, Na: Solución extractora Mehlich 3, determinados por espectrofotometría de absorción atómica. P: Solución extractora Mehlich 3, determinado por colorimetría. % Carbono Orgánico: Método de Walkley & Black para suelos minerales no salinos con incertidumbre de  $\pm 0.04$  (C.O. = 58% de M.O) % N total: 5% de M.O. pH: 1:1 en agua: AOAC 994.16 rango de 4,00-7,00 con incertidumbre de  $\pm 0,10$ . Textura: Método de Bouyoucos.

El laboratorio no se hace responsable por el estado de la muestra al ingresar a nuestras instalaciones. Los resultados se relacionan solo con las muestras recibidas. El laboratorio se exonera de responsabilidad por reproducción parcial o total del informe, o el uso que pueda darselle. El lote de análisis remite la fecha de ejecución de análisis

Responsable del análisis: E. Aguilera  
Ing. Eunice Aguilera Núñez

Interpretación: Eduardo Garay  
Ing. Eduardo Garay Lagos

Vo.Bo.: ACA  
Dra. Gloria Arévalo de Gauggel  
Directora Unidad de Suelos



E-mail: laboratoriosuelos@zamorano.edu, ggauggel@zamorano.edu., Tel: (504) 2287-2000 ext. 2316 Fax: (504) 2287-6242 Cel: 9969-6846  
Laboratorio de Suelos, Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria Apartado Postal # 93 Tegucigalpa-Honduras. Km 30 Carret. Danlí

### Anexo 2. Prueba de normalidad para valores de densidad estimada del cultivo.

Muestra	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	Grados de libertad	Significancia
La Bendición	1.000	3	1.000
Cortesito	1.000	3	1.000
Curva	1.000	3	1.000

### Anexo 3. Prueba ANOVA para valores de densidad estimada del cultivo.

Muestra	Desviación típica	ANOVA		
		Grados de libertad	F	Significancia
La Bendición	10,000	2	3.000	0.125
Cortesito	10,000	6		
Curva	10,000	8		

**Anexo 4.** Prueba de normalidad para valores de altura del cultivo.

Muestra	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	Grados de libertad	Significancia
La Bendición	0.778	3	0.062
Cortesito	0.923	3	0.463
Curva	0.990	3	0.811

**Anexo 5.** Prueba ANOVA para valores de altura del cultivo.

Muestra	Desviación típica	ANOVA		
		Grados de libertad	F	Significancia
La Bendición	0.3031	2	3.170	0.115
Cortesito	0.5828	6		
Curva	0.1457	8		

**Anexo 6.** Prueba de normalidad para valores de estimación de rendimiento en biomasa.

Muestra	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	Grados de libertad	Significancia
La Bendición	0.826	3	0.179
Cortesito	0.990	3	0.809
Curva	0.927	3	0.479

**Anexo 7.** Prueba de normalidad para valores de poder calorífico (Calorímetro).

Muestra	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	Grados de libertad	Significancia
La Bendición	0.835	3	0.202
Cortesito	0.997	3	0.893
Curva	0.911	3	0.422

**Anexo 8.** Prueba de normalidad para valores de poder calorífico (Ecuación).

Muestra	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	Grados de libertad	Significancia
La Bendición	0.934	3	0.503
Cortesito	0.805	3	0.125
Curva	0.829	3	0.186

**Anexo 9.** Prueba ANOVA para valores de poder calorífico (Ecuación).

Muestra	Desviación típica	ANOVA		
		Grados de libertad	F	Significancia
La Bendición	26.85	2	1.408	0.315
Cortesito	5.87	6		
Curva	9.40	8		