

**Respuesta a la fertilización orgánica con el
uso de Biol y potásica inorgánica en King
grass (*Pennisetum purpureum*) para
estimación energética de potencial productivo
de biogás, Zamorano, Honduras**

**Juan José Escobar Morán
Oscar Edgardo Ronquillo Molina**

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2012

ZAMORANO
DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

**Respuesta a la fertilización orgánica con el
uso de Biol y potásica inorgánica en King
grass (*Pennisetum purpureum*) para
estimación energética de potencial productivo
de biogás, Zamorano, Honduras**

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

Presentado por:

Juan José Escobar Morán
Oscar Edgardo Ronquillo Molina

Zamorano, Honduras
Noviembre, 2012

Respuesta a la fertilización orgánica con el uso de Biol y potásica inorgánica en King grass (*Pennisetum purpureum*) para estimación energética de potencial productivo de biogás, Zamorano, Honduras

Presentado por:

Juan José Escobar Morán
Oscar Edgardo Ronquillo Molina

Aprobado:

Gloria Arévalo, M.Sc.
Asesor principal

Abel Gernat, Ph.D.
Director
Departamento de Ciencia y Producción
Agropecuaria

Victoria Cortés, M.Sc.
Asesor

Raúl Zelaya, Ph.D.
Decano Académico

Carlos Gauggel, Ph.D.
Asesor

RESUMEN

Escobar Morán, J.J. y O.E. Ronquillo Molina. 2012. Respuesta a la fertilización orgánica con el uso de Biol y potásica inorgánica en King grass (*Pennisetum purpureum*) para estimación energética de potencial productivo de biogás, Zamorano, Honduras. Proyecto especial de graduación del programa de Ingeniería Agronómica, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. 27 p.

La generación de energía a partir de biomasa requiere de la caracterización y seleccionado de los sustratos que presenten una mayor viabilidad de conversión energética mediante un biodigestor. Así mismo se cuenta con estudios de requerimientos de nutrientes para dichos cultivos, que son utilizados para medir eficiencia en el uso de fertilizantes. El objetivo del estudio fue evaluar la respuesta a la fertilización orgánica con el uso de Biol y potásica inorgánica en King grass (*Pennisetum purpureum*) como cultivo energético y la estimación energética de potencial productivo de biogás del pasto. Se utilizaron tres dosis de fertilización potásica inorgánica de 0, 165 y 330 K kg/ha y tres dosis de Biol generado con excretas de ganado lechero, agua potable y agua residual en relaciones de 4:1 y dosis de 2,000 y 3,000 L/ha para evaluar la producción de biomasa y el contenido nutricional del cultivo al final de su ciclo por medio de análisis de extracción nutrientes y elementos pesados de tejido foliar. Se determinó el contenido de fibras (FND y FAD) para determinar el contenido de hemicelulosa del pasto y se estimó la producción potencial de biogás obtenida para cada tratamiento. La mayor producción de MS con fertilización inorgánica se obtuvo con 165 kg/ha K y para la fertilización orgánica se obtuvieron rendimientos similares en todas las dosis. El contenido de hemicelulosa del pasto disminuye con el aumento de la fertilización potásica inorgánica y con el uso de Biol se mantiene y a niveles superiores a medida aumenta la dosis. El aumento en las dosis inorgánicas de potasio y orgánicas aumenta la cantidad de nutrientes extraídos, sin embargo su producción neta disminuye a partir de la dosis inorgánica 330 kg/ha. En el estudio se estimó la cantidad de macronutrientes extraídos para producir una tonelada de materia seca (kg/t MS) en un corte: N-18.5, P-3, K-23, Ca-4, Mg-1.1 y S-1.05. La mayor cantidad potencial de energía obtenida por conversión a biogás se obtiene con 165 kg/ha K y 2000 L/ha Biol más agua residual; y corresponden de igual manera a la mayor obtención de hemicelulosa acumulada. La cantidad de hemicelulosa (H) para un corte con kg/ha de K (d) inorgánica es: $H = 3.11833 - 0.00678d$. Los metales pesados son acumulados en el material vegetal, el aluminio en concentraciones de 60 g/t de materia seca producida.

Palabras clave: Biodigestores, contenido de fibras, energía, gas metano, pastos.

CONTENIDO

Portadilla	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Contenido	iv
Índice de cuadros y figuras.....	v
1 INTRODUCCIÓN.....	1
2 MATERIALES Y MÉTODOS.....	4
3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	10
4 CONCLUSIONES.....	23
5 RECOMENDACIONES.....	24
6 LITERATURA CITADA.....	25

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadros	Página
1. Nutrientes aplicados (kg/ha) en fertilización inorgánica al cultivo de King grass (<i>Pennisetum purpureum</i>) en Zamorano, Honduras.....	6
2. Fertilizantes aplicados (kg/ha) en cultivo de King grass (<i>Pennisetum purpureum</i>) en Zamorano, Honduras.....	6
3. Fertilizantes aplicados (kg/ha) en cultivo de King grass (<i>Pennisetum purpureum</i>) en Zamorano, Honduras.....	6
4. Micronutrientes aplicados (g/ha) en fertilización orgánica al cultivo de King grass (<i>Pennisetum purpureum</i>) en Zamorano, Honduras.....	6
5. Variables agronómicas para pasto <i>Pennisetum purpureum</i> cv. King grass a los 75 días después de siembra bajo diferentes dosis de fertilización inorgánica en Zamorano, Honduras.....	9
6. Variables agronómicas para pasto <i>Pennisetum purpureum</i> cv. King grass a los 75 días después de siembra bajo diferentes dosis de fertilización orgánica en la Zamorano, Honduras.....	9
7. Producción de materia fresca y materia seca (t/ha) a los 80 días después de siembra con diferentes dosis de fertilización inorgánica del pasto King grass (<i>Pennisetum purpureum</i>) en Zamorano, Honduras.....	14
8. Producción de materia fresca y materia seca (t/ha) con diferentes dosis de fertilización orgánica (L/ha) del pasto King grass (<i>Pennisetum purpureum</i>) en Zamorano, Honduras.....	14
9. Análisis foliares a los 75 días del cultivo de King grass (<i>Pennisetum purpureum</i>) bajo diferentes dosis de fertilización orgánica e inorgánica en Zamorano, Honduras.....	15
10. Análisis de nutrientes de inicio del cultivo de King grass (<i>Pennisetum purpureum</i>) en Zamorano, Honduras.....	15
11. Matriz de biodisponibilidad del cultivo de King grass (<i>Pennisetum purpureum</i>) bajo diferentes dosis de fertilización inorgánica y orgánica en Zamorano, Honduras.....	16
12. Micronutrientes extraídos (kg/t MS) usando diferentes dosis de fertilización potásica inorgánica en el cultivo de <i>Pennisetum purpureum</i> cv. King grass en Zamorano, Honduras.....	16
13. Micronutrientes extraídos (g/t) usando diferentes dosis de fertilización potásica inorgánica en el cultivo de <i>Pennisetum purpureum</i> cv. King grass en Zamorano, Honduras.....	17

14. Macronutrientes extraídos (kg/t MS) usando diferentes dosis de fertilización orgánica en el cultivo de <i>Pennisetum purpureum</i> cv. King grass en Zamorano, Honduras	17
15. Micronutrientes y metales pesados (g/ha) aplicados usando diferentes dosis de fertilización orgánica (L/ha) en el cultivo de <i>Pennisetum purpureum</i> cv. King grass en Zamorano, Honduras.....	18
16. Micronutrientes extraídos (g/t MS) usando diferentes dosis de fertilización orgánica (L/ha) en el cultivo de <i>Pennisetum purpureum</i> cv. King grass en Zamorano, Honduras.....	18
17. Metales pesados extraídos (g/t MS) usando diferentes fuentes de agua en mezcla de BIOL para fertilización orgánica (L/ha) en el cultivo de <i>Pennisetum purpureum</i> cv. King grass en Zamorano, Honduras	19
18. Comparación del contenido de fibra ácido y neutro detergente y contenido de hemicelulosa del pasto <i>Pennisetum purpureum</i> cv. King grass bajo diferentes dosis de fertilización inorgánica en Zamorano, Honduras.....	19
19. Comparación del contenido de bajo diferentes dosis de fertilización orgánica (L/ha) en Zamorano, Honduras	19
20. Cantidad de hemicelulosa producida (t/ha) a partir de la materia seca (t/ha) producida bajo diferentes dosis de fertilización orgánica e inorgánica del pasto <i>Pennisetum purpureum</i> cv. King grass en Zamorano, Honduras	20
21. Producción de biogás (m ³) estimado a partir de <i>Pennisetum purpureum</i> cv. King grass con diferentes dosis de fertilización inorgánica en Zamorano, Honduras	20
22. Producción de biogás (m ³) estimado a partir de <i>Pennisetum purpureum</i> cv. King grass con diferentes dosis de fertilización orgánica en Zamorano, Honduras	21
23. Correlaciones entre contenido de nitrógeno y potasio con la cantidad hemicelulosa para la fertilización orgánica e inorgánica del pasto <i>Pennisetum purpureum</i> cv. King grass en Zamorano Honduras	21
24. Ecuaciones para la determinación del contenido de hemicelulosa (hemicelulosa %), materia fresca (MF t/ha) y materia seca (MS t/ha) a partir de dosis de fertilización potásica inorgánica (K kg/ha) y fertilización orgánica (Biol L/ha) en <i>Pennisetum purpureum</i> cv. King grass en Zamorano Honduras.....	21

Figuras

Página

1. Altura de tallo (cm) del pasto King grass (<i>Pennisetum purpureum</i>) en Zamorano, Honduras	10
2. Longitud de la hoja (cm) del pasto King grass (<i>Pennisetum purpureum</i>) en Zamorano, Honduras.....	11
3. Número de macollas por metro en el cultivo King grass (<i>Pennisetum purpureum</i>) en Zamorano, Honduras.....	12
4. Número de tallos promedio por macolla en un metro de King grass (<i>Pennisetum purpureum</i>) en Zamorano, Honduras.....	12
5. Número de hojas por metro en <i>Pennisetum purpureum</i> cv. King grass en Zamorano, Honduras.....	13

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo económico de la sociedad actual depende radicalmente en la energía. La forma en que la energía es producida, proveída y consumida afecta fuertemente el ambiente local y global, siendo de esta manera un punto clave en el desarrollo sostenible (Tran *et al.* 2011). La actual reducción de las reservas de energía provenientes de combustibles fósiles y el deterioro ambiental por su uso y consumo genera expectativa y una necesidad en el desarrollo de alternativas que sean sostenibles, renovables y ambientalmente amigables (Ge *et al.* 2011). El Consejo Mundial de Energía (WEC) indicó que el consumo mundial de energía necesitaría provenir de fuentes renovables para estabilizar las emisiones globales de gases de efecto invernadero para el 2020 (Tran *et. al* 2011). Las nuevas tecnologías e innovación en producción de energías limpias es además estimulada por la necesidad de reducir emisiones a la atmósfera (León *et al.* 2010). Del total de energía proveniente de combustibles fósiles consumida en el mundo el 40% es atribuido al sector transporte y este es encargado del 23% del total de gases de efecto invernadero (Djomo y Blumberga 2011). Las tendencias apuntan hacia la incorporación de fuentes renovables de energía en los procesos productivos, en donde la energía proveniente de fuentes biológicas es uno de los componentes con mayor crecimiento e investigación. Los Estados Unidos de Norteamérica producen en la actualidad a partir de biomasa el 4% de la energía que consume (Barney y DiTomaso 2011). El proceso de incorporación de fuentes renovables es alcanzable; según la Agencia Internacional de Energía, una economía importante en el mundo como Brasil obtiene un 52.5% de energía de fuentes no renovables y 47.5% es de fuentes renovables. La comparación es importante cuando destacamos que el mundo el 87.8% de energía consumida proviene de combustibles fósiles y solo un 12.2% de fuentes renovables.

La biomasa ha sido utilizada en muchos casos como una fuente directa de combustión para la producción de energía, pero las diferentes necesidades de un combustible en sus diferentes formas, redirigen los esfuerzos hacia investigaciones en biomasa que pueda ser utilizada para producir dicho combustible. Las tecnologías nacientes toman ventaja de que las plantas aprovechan la energía solar y la usan para fijar dióxido de carbono que luego es aprovechado para producir azúcares que conformarán la estructura de la planta con celulosa y hemicelulosa principalmente (León *et al.* 2010). En muchos de los tejidos vegetales, la hemicelulosa representa arriba del 40% del total de materia seca y puede ser utilizada para su fermentación y posterior producción de energía (Qiabi *et al.* 1994). La biomasa sostiene actualmente el 12% de las necesidades energéticas, en donde, los carbohidratos, son los principales sustratos fermentables para la producción de combustibles (Djomo y Blumberga 2011). En términos de bioenergía moderna; etanol, biodiesel, biogás y combustión de materiales vegetales para calderas industriales

son los tres principales productos bioenergéticos. La biomasa obtenida de pastos perennes tiene altas concentraciones de lignina y celulosa cuando comparamos con cultivos anuales, por tanto mayor potencial en generación de calor y energía (Xi *et al.* 2011).

El reto actual es encontrar materiales que provean las características necesarias para favorecer la eficiencia en la conversión de celulosa en metano, etanol o energía directamente, tales como: alto que puede alcanzar hasta 3 m de altura y rendimientos de entre 70 y 150 t/ha/año dependiendo de condiciones de suelo, manejo del cultivo y condiciones ambientales. Es uno de los cultivos energéticos prometedores ya que también puede ser cosechado hasta 4 veces al año en regiones templadas y hasta 9 cortes en el trópico en una pastura establecida (Xi *et al.* 2011). Estudios realizados en suelos marginales y con especies que posean las características deseadas para la producción de energías, apuntan a especies como *Arundo donax*, variedades energéticas de caña de azúcar, *Miscanthus giganteus*, *Erianthus giganteus* y *Pennisetum purpureum* ya que muestran los más altos rendimientos en rangos entre 50 a 78 t/ha/año de material fresco.

Resultados previos muestran que el contenido de glucosa y celulosa de varios cultivos energéticos incluidos *Arundo donax*, *Pennisetum purpureum*, variedades energéticas de caña y miscanthus; son similares y comparables en rangos de 0.326 – 0.397 g/g) (Ge *et al.* 2011). Sin embargo es importante notar que la calidad de la fibra es un factor determinante para la producción de energía a partir de material vegetal, ya que altos niveles pueden reducir la conversión de la celulosa. En ese sentido en otro estudio realizado, la cantidad de lignina acumulada en *Arundo donax* y *Pennisetum purpureum* fue mayor (9.6% y 9.2 a 11.6% respectivamente) comparado con variedades energéticas de caña (6.5%) (León *et al.* 2010). Otro estudio declara la habilidad de acumulación de materia seca de *Pennisetum purpureum* hasta de 60 t/ha/año, bajo óptimas condiciones de crecimiento y fertilización y se alcanzaron rendimientos de 30 t/ha en condiciones pobres de N en el suelo aún así alcanzando niveles energéticos deseables (Fuisa *et al.* 2009).

El valor calórico neto que teóricamente puede ser obtenido de un *Pennisetum purpureum* por combustión de los gases volátiles puede ser de 10 MJ/kg de materia seca (Strezov *et al.* 2008). Los biodigestores anaeróbicos son favorecidos con material verde y fresca e investigaciones han demostrado que 1 ton de pasto King grass puede producir 171 m³ de biogás. La producción de biogás es 50% mayor comparada con Elephant grass así como también la producción de biomasa por unidad de área. El uso de pasto King grass en la producción de biogás pueden esperarse rendimientos de más de 200 t/ha y rendimientos de gas metano oscilan entre 160 – 190 m³/t de materia fresca (Energy, Utility & Environment Conference 2012). El biogás por su contenido de metano contiene entonces energía y se estima que un metro cúbico de biogás en composición ideal de 65% de metano, equivale energéticamente a 6.41 Kw/h. Al considerar la eficiencia en la conversión de energía de un generador; podríamos esperar una producción de 1.23 a 1.84 Kw/h por cada metro cúbico (Viquez 2009).

El estudio de los requerimientos de fertilización necesarios para la producción eficiente y económica de materias primas utilizadas para la producción de biogás es necesario para maximizar el uso de fuentes de fertilizantes. Además de ello tomando en cuenta que los residuos de cualquier proceso productivo o de generación de biogás pueden proveer

nutrientes cuando son devueltos al suelo. Por lo tanto la cantidad de nutrientes proveídos puede afectar al mismo tiempo la cantidad de nutrientes devuelto a un sistema (Fish y Russo 2012). El Biol es un material rico en nutrientes que resulta de la descomposición anaeróbica de materia orgánica que ha sido dispuesta en un biodigestor. Sin embargo todo material nutritivo devuelto y dispuesto en el suelo debe ser analizado y regulado bajo límites respecto de su contenido; como cantidad de cloro y conductividad eléctrica; así como también evaluación de sus costos de retorno¹. Identificar cultivos capaces de producir alto tonelaje en suelos marginales o degradados con la menor adición de fuentes nutritivas es uno de los retos para la sostenibilidad de la industria energética (Barney y DiTomaso 2011). Estudios realizados en la utilización y aprovechamiento de nutrientes por cultivos energéticos perennes identifican a *Pennisetum purpureum* como uno de los candidatos ideales para la producción de biomasa aún cuando la eficiencia en aprovechamiento de nitrógeno es menor comparada con caña de azúcar y sorgo energético (52% menos rendimiento en biomasa (Ra *et al.* 2012). Otro estudio realizado muestra que la concentración de K en la biomasa cosechada en primera cosecha fue de 21 g K kg⁻¹ MS y tiende a decrecer en el tiempo, sin embargo esta se mantiene mayor comparada con otras especies como *Panicum virgatum*. Al considerar un ciclo de cuatro años, el promedio de concentración de K en la planta es aún mayor en *Pennisetum purpureum* comparado con variedades energéticas de caña (10.9 g K kg⁻¹ MS y 9.2 g K kg⁻¹ MS respectivamente). En el mismo estudio la absorción de potasio para *Pennisetum purpureum* fue de 37-68 kg/ha (Knoll *et al.* 2011).

Los objetivos del estudio fueron:

- Evaluar la respuesta a la fertilización orgánica con el uso de Biol y potásica inorgánica en King grass (*Pennisetum purpureum*) y estimar el potencial productivo de biogás.
- Recomendar la mejor dosis de fertilización para la producción de biomasa energética con pasto King grass.
- Determinar el efecto de la fertilización potásica inorgánica y fertilización orgánica en la producción energética de biogás estimada para un biodigestor y en la acumulación de hemicelulosa.

¹Gauggel, C. 2012. Producción de King grass en suelos Honduras (entrevista). Profesor adjunto Zamorano. Honduras, Universidad Zamorano.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del sitio de estudio. El estudio se realizó en la Universidad Zamorano en un área ubicada a 785 msnm en la zona de producción de Hortalizas (Zona 2) en sentido noreste de la primera laguna de oxidación y paralelo a los biodigestores de la carrera de Ingeniería Ambiente y Desarrollo. La topografía del área de estudio es relativamente plana con una pendiente de 2%.

Clima. La zona tiene una precipitación promedio anual de 1,110 mm, siendo octubre el mes de mayor precipitación. La temperatura promedio anual es de 24°C con máximas y mínimas en promedio de 27°C y 22°C en mayo y enero respectivamente. El ensayo se realizó en los meses de Junio a Septiembre de 2012.

Materiales. Para la descripción de suelo se utilizó: barreno, cinta métrica, penetrómetro de bolsillo y Tabla Munsell. Para la preparación del suelo se utilizó: rastra Pesada BALDAN 65 cm diámetro de discos, surcador, tractor JD 5510. Para la siembra: azadón, estacas de *Pennissetum purpureum* cv. King grass, fertilizantes: 18-46-0, urea, cloruro de potasio, y Biol. Para la toma de datos se utilizó: cinta métrica, balanza, picadora de pastos y análisis de laboratorio.

Condiciones morfológicas y físicas del suelo. Se evaluó la condición del suelo para determinar la necesidad de mecanización para el acondicionamiento con maquinaria agrícola, para lo cual se hicieron 2 calicatas en el área de estudio (1 × 1 × 0.75 m) en las que se describieron con el formato de descripción de perfiles de suelo de la Universidad Zamorano: Número y profundidad de cada horizonte, color de suelo, textura determinado por método organoléptico, estructura de suelo, consistencia, cantidad de poros, roca y límites entre horizontes, raíces y resistencia a la penetración con penetrómetro de bolsillo (kg/cm²) (Arévalo y Gauggel 2006).

Condiciones químicas del suelo. En área de experimento se tomó una muestra de suelo antes del establecimiento del cultivo en los primeros 30 cm del suelo, constituido por ocho submuestras y se determinó mediante análisis químicos en el laboratorio de la Universidad Zamorano, los nutrientes al inicio del estudio los cuales fueron: pH, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y sodio. Para el análisis químico de suelos, los métodos utilizados fueron: Relación del suelo (pH), relación suelo: agua 1:1 determinado por potenciómetro, materia orgánica (%) por el

método de Walkley y Black. Para determinar el contenido de nitrógeno se estimó como el 5% de la materia orgánica. El K, Ca y Mg extraídos con solución extractora Mehlich 3 y determinados con absorción atómica. El P con solución extractora Mehlich 3, determinado por colorimetría (Arévalo y Gauggel 2007).

Selección de la especie: *Pennisetum purpureum* cv. King grass se adapta bien desde el nivel del mar hasta 2,200 m y a temperaturas entre 18° y 30° C, con su óptimo crecimiento a 24°C. Presenta buen comportamiento desde suelos moderadamente ácidos a neutros con un pH de 4.5 a 6.2, y con mejor desarrollo en suelos francos profundos, friables y bien drenados, humedad alta y una precipitación entre 1,200 y 4,000 mm anuales. Para forraje se conoce que hay rendimientos desde 40 toneladas de materia verde (MV)/ha/corte hasta más de 120 t MV/ha/año (Espinoza *et al.* 2001). Pueden realizarse cortes del pasto entre 40 y 75 días, sus valores de proteína pueden ser de 9% y contenido de fibra en detergente neutro (FDN) de 72%. El contenido mineral adecuado de un pasto King grass en el tejido vegetal es de 2.2% de K en hoja (% de MS). Otros rangos muestran al calcio, fósforo y magnesio como 0.38, 0.30, 0.28 % como los valores adecuados respectivamente (XI Seminario de Pastos y Forrajes en Sistemas de Producción Animal 2007). Los requerimientos nutricionales del pasto van desde 200-400 kg N/ha/año y 350-400kg K ha/año (Rodríguez 1985).

Método de siembra. La especie utilizada para la siembra tenía entre tres a cuatro meses de edad, en la cual se utilizaron secciones de tallo con tres a cinco yemas con un promedio de distancia entre yemas de 25 cm. Las semillas se sembraron de manera manual con un distanciamiento entre surcos de 0.9 m en línea simple con traslape de una yema entre esquejes y a una profundidad de 10 cm. La distancia entre parcelas fue de 1.8 m. La densidad de siembra utilizada para el experimento fue de 44,400 plantas/ha.

Fertilización. La fertilización que se aplicó al cultivo corresponde a los tratamientos establecidos para el ensayo, los cuales se realizaron con base en los resultados del análisis de suelo realizado antes de la siembra el cual se explica en el Cuadro 1 y se aplicaron con fertilizantes urea, DAP y KCl (Cuadro 2) fraccionando el total de los requerimientos de fertilización en ocho, que coincide con el número de cortes por año para condiciones del trópico, y posteriormente se dividió en dos la aplicación del fertilizante; a los 30 días y 45 días después de siembra, con el 60% y 40% del total a aplicar respectivamente. La fertilización realizada con Biol se explica en los Cuadros 3 y 4. Para la obtención del material de fertilización orgánica se utilizaron residuos de excretas del establo de ganado lechero degradados en un biodigestor (BIOL). El Biodigestor para motivos del ensayo es alimentado a una relación de 4:1 que corresponden a cuatro partes de agua potable con una parte de excretas de ganado. Además se utilizó una relación 4:1 para una mezcla constituida por una parte de excretas de ganado y cuatro partes de agua residual proveniente de la primera laguna de oxidación de la EAP Zamorano. El Biol se analizó como abono orgánico en el laboratorio de suelos del Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria de Zamorano. Se determinó: porcentaje de humedad, N (% N total) por el método de Kjeldahl, P con digestión húmeda con ácido sulfúrico,

determinado por colorimetría, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn y Zn por método de digestión húmeda con ácido sulfúrico y peróxido de hidrógeno, determinado por absorción atómica. B y S digestión seca con $MgNO_3$, determinados por colorimetría (Arévalo y Guaggel 2007). Al, Sn y Ni por método de digestión húmeda con H_2SO_4 , determinado por absorción atómica, Cr y Co con digestión seca y determinados por absorción atómica. El material vegetal fue analizado en el laboratorio mismo. El contenido nutricional del Biol es bajo para los elementos N, P, Ca y Mg.

Cuadro 1. Nutrientes aplicados (kg/ha) en fertilización inorgánica al cultivo de King grass (*Pennisetum purpureum*) en Zamorano, Honduras.

Tratamiento	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
K-0	83.3	30	0
K-165	83.3	30	200
K-330	83.3	30	400

La fertilización inorgánica se realizó con base en las recomendaciones de Espinoza (2003) para cubrir los requerimientos nutricionales para *Pennisetum purpureum* para una producción baja de 60 t/ha. Los requerimientos sugeridos de N son de 250 kg/ha/año. P₂O₅ es de 321 kg/ha/año y K₂O de 180 kg/ha/año y se muestran en el Cuadro 2, los fertilizantes y cantidades utilizadas para cada tratamiento.

Cuadro 2. Fertilizantes aplicados (kg/ha) en cultivo de King grass (*Pennisetum purpureum*) en Zamorano, Honduras.

Tratamiento	Fertilizante (kg/ha)		
	Urea	DAP ^β	KCl ^δ
K-0	155.6	65.2	0
K-165	155.6	65.2	333
K-330	155.6	65.2	666

^βDAP: Fosfato diamónico (18-46-0) ^δKCl: Cloruro de potasio (0-0-60).

Cuadro 3. Macronutrientes aplicados (kg/ha) en fertilización orgánica al cultivo de King grass (*Pennisetum purpureum*) en Zamorano, Honduras.

Tratamiento Biol (l/ha)	N	P	K (kg/ha)	Ca	Mg
2000 Agua Residual	0.8	0.3	2.2	0.6	0.2
2000 Agua Potable	1.0	0.3	2.5	0.6	0.3
3000 Agua Potable	1.6	0.5	3.8	0.9	0.5

Cuadro 4. Micronutrientes aplicados (g/ha) en fertilización orgánica al cultivo de King grass (*Pennisetum purpureum*) en Zamorano, Honduras.

Tratamiento Biol (L/ha)	Cu	Fe	Mn	Zn	Co (g/ha)	Ni	Cr	Al	Sn
2000 Agua Residual	0.8	7.7	3.0	2.5	0.1	0.2	0.1	2.6	2.0
2000 Agua Potable	1.9	23.4	6.6	3.1					
3000 Agua Potable	2.8	35.1	9.9	4.6					

Manejo del cultivo. El control de malezas se realizó dentro y entre parcelas de manera manual, para evitar invasión de los individuos entre parcelas. Debido a que el estudio se realizó en la época lluviosa, no se utilizó un sistema de riego y se dependió de las precipitaciones para suplir la demanda hídrica del cultivo. Sin embargo, se utilizó riego cuando hubo ausencia de precipitaciones por medio de un sistema de aspersión.

Variables a determinar:

Variables agronómicas. Se evaluaron todos los individuos a los 75 días después de siembra. Los parámetros determinados fueron: altura del tallo desde la base del suelo, longitud de la hoja, número de macollas por metro, promedio de tallos por macolla en un metro y número de hojas en un metro.

Para calcular la longitud de la hoja se midió con una cinta métrica desde la base del suelo hasta la hoja más alta totalmente extendida y por diferencia de tamaño con el tallo se calculó su longitud. En la zona de muestreo se contó por separado la cantidad de macollas y tallos que habían en un metro de surco para sacar un promedio del número de tallos por macolla en un metro.

Variables de crecimiento. Las mismas variables agronómicas se usaron para crecimiento pero se tomaban datos cada dos semanas a partir de los 45 días después de siembra hasta los 75 días después de siembra.

Rendimiento. Se cosechó a los 80 días, edad a la cual el pasto posee la mayor cantidad de azúcares para uso en ganadería en las condiciones del trópico. Con esta edad se buscó un balance entre la cantidad de azúcares y el tonelaje de biomasa, ya que para producción energética al contrario de uso ganadero lo que se busca es mayor cantidad de biomasa con carbohidratos estructurales. Se determinó el peso fresco por metro de cada surco dentro de los dos surcos medios, del cual se obtuvo las toneladas por hectárea de materia fresca (MF t/ha) de cada parcela. Posteriormente se secaron las muestras en un horno durante 72 horas a 70°C para obtener el peso seco de las muestras y se determinaron los rendimientos de materia seca por hectárea (MS t/ha).

Los datos utilizados para determinar rendimientos fueron ajustados con base en el número de tallos por hectárea que se considera una población normal para King grass, el

corresponde a 470,000 tallos por hectárea. Esto con el fin de llevar todos los tratamientos a una misma población y poder comparar entre ellos y así eliminar la variabilidad del porcentaje de germinación.

Análisis químico nutricional de material vegetal. Los muestreos se realizaron a los 75 días después de establecida la pastura. El material vegetal a analizar se tomó de la hoja madura más joven totalmente extendida de la planta. La información obtenida se interpretó según Espinosa y Bernal (2003), en donde se utilizó para determinar, por medio de una matriz de diagnóstico, la biodisponibilidad de los nutrientes; la cual se estima comparando los niveles de fertilidad en el suelo con la concentración de nutrientes en la hoja al momento de su cosecha (Arévalo y Gauggel 2007). La biodisponibilidad es deficiente cuando los nutrientes están bajos en el suelo y bajos en la hoja. Adecuada, cuando están altos en el suelo y en una condición media en la hoja. Alto, considerado cuando los nutrientes están altos en el suelo y altos en la hoja. La baja biodisponibilidad se da cuando los nutrientes se encuentran alto en el suelo y bajo en la hoja.

Los elementos fueron determinados en el laboratorio de suelo de la EAP Zamorano con los mismos métodos descritos para el análisis de Biol: K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn y Zn, P, N, B, S, Al, Sn, Ni, Cr y Co.

Análisis energético del material vegetal. Una de las dificultades de utilizar biomasa es que están formados principalmente de complejos lignina-celulosa que son sumamente difíciles de degradar y sólo un grupo pequeño de organismos son capaces de hacerlo, por tanto la menor proporción de estos complejos en el material vegetal facilita el proceso de digestión y aprovechamiento de azúcares estructurales (Martínez *et al.* 2009). Por tanto a un mayor contenido de estos carbohidratos solubles como lo es el caso de la hemicelulosa, se espera mayor aprovechamiento y más rápida velocidad de degradación.

Para determinar parámetros energéticos del pasto se midió el porcentaje de fibra digerible en detergente ácido (%FAD) extraído con ácido sulfúrico y porcentaje de fibra digerible en detergente neutro (%FND) extraído con amilasa. El porcentaje de hemicelulosa del material vegetal (%) se estimó teóricamente por la diferencia entre FND y FAD y corresponde a la parte de carbohidratos estructurales más solubles en el material vegetal. Además se establecieron relaciones entre los contenidos de potasio en el material vegetal y el contenido de hemicelulosa según los tratamientos de fertilización. Las mediciones se realizaron en el Laboratorio de Análisis de Alimentos Zamorano.

Para determinar la producción potencial de biogás para cada tratamiento se estimó la cantidad de biogás producida para cada tratamiento (m^3) a partir de la materia seca (Energy, Utility & Environment Conference, 2012) y la producción total (Kw/h) que puede ser alcanzada para la conversión de energía de un metro cúbico de biogás (Viquez, 2009). Se incluyen los datos de hemicelulosa obtenidos para cada tratamiento para una caracterización del sustrato utilizado en su potencial como productor de energía.

Diseño Experimental. Se utilizó un diseño de Bloques Completamente al Azar (BCA), constituidos por tres bloques y seis tratamientos con un total de 18 unidades. La siembra se realizó en parcelas de 30.6 m^2 ($3.6 \text{ m} \times 8.5 \text{ m}$) para un total de cuatro surcos por parcela, de los cuales se utilizaron los dos surcos medios para la toma de datos y se delimitó un metro dentro de esos surcos para la medición de variables agronómicas, crecimiento y rendimiento. Se dejó un surco de por medio entre cada parcela y un metro de distancia entre los bloques.

Análisis Estadístico. Se realizó separación de medias con análisis ANDEVA utilizando con probabilidad $P \leq 0.05$ con el paquete estadístico SAS ®. Se establecieron diferencias para determinar la dosis adecuada para la fertilización potásica en base a la producción de biomasa. Para el análisis energético, se realizaron correlaciones entre materia Seca (t/ha) y porcentaje de hemicelulosa de los diferentes tratamientos.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variables agronómicas. En todos los tratamientos inorgánicos e orgánicos no se encontraron diferencias entre altura del tallo (cm) y longitud de la hoja (cm). El número de macollas por metro (macollas/m) fue similar para todos los tratamientos. El número de tallos promedio por macolla obtenidos con la fertilización inorgánica es igual para todos los tratamientos y diferente en la fertilización orgánica; en donde el mayor número de tallos por macolla se obtuvo con las dosis de 3000 Agua Potable y 2000 Agua Potable. Las demás variables de crecimiento como número de hojas/m, número de tallos/ha y número de tallos/m² fueron similares entre tratamientos para ambos tipos de fertilización inorgánica y orgánica (Cuadro 5 y 6).

Cuadro 5. Variables agronómicas para pasto *Pennisetum purpureum* cv. King grass a los 75 días después de siembra bajo diferentes dosis de fertilización inorgánica en Zamorano, Honduras.

Tratamiento	Altura tallo	Longitud hoja	Tallos promedio/					
	(cm)	(cm)	Macollas/m	macolla	Tallos/m	Hojas/m	Tallos/ha	Tallos/m ²
K-0	113.2 a	113.2 a	7.1 a	7.5 a	53 a	448	591,630	59 a
K-165	104.4 a	115.9 a	4.8 a	7.0 a	34 a	410	384,060	38 a
K-330	100.7 a	109.5 a	4.5 a	9.3 a	42 a	486	471,750	47 a
CV	9.04	4.26	11.74	25.2	33.68	22.5	33.67	33.67
R ²	0.88	0.79	0.89	0.60	0.51	0.58	0.51	0.51
Pr<F	0.04	0.11	0.04	0.36	0.49	0.38	0.49	0.49

^{abc} Valores en columnas con distinta letra, difieren estadísticamente entre sí (P<0.05).

Cuadro 6. Variables agronómicas para pasto *Pennisetum purpureum* cv. King grass a los 75 días después de siembra bajo diferentes dosis de fertilización orgánica en la Zamorano, Honduras.

Tratamiento Biol (l/ha)	Altura tallo (cm)	Longitud hoja (cm)	Tallos promedio/					
			Macollas/m	macolla	Tallos/m	Hojas/m	Tallos/ha	Tallos/m ²
2,000 Agua Residual	96.0 a	110.3 a	7.5 a	5.8 a	44 a	383	485,070	49 a
2,000 Agua Potable	82.8 a	104.4 a	5.6 a	8.3 a	50 a	393	559,440	55 a
3,000 Agua Potable	101.9 a	108.0 a	5.6 a	9.1 a	51 a	457	572,760	57 a
CV	16.4	6.0	28.4	16.67	35.3	10.81	35.31	35.3
R ²	0.84	0.82	0.49	0.84	0.90	0.88	0.90	0.90
Pr<F	0.07	0.09	0.52	0.07	0.98	0.04	0.98	0.98

^{abc} Valores en columnas con distinta letra, difieren estadísticamente entre sí ($P < 0.05$).

Variables de crecimiento: Se presentan en la misma figura resultados de fertilización inorgánica y orgánica aunque se analizaron de forma independiente sin diferencia significativa entre cada fuente de fertilización.

Altura del tallo. A partir de los 45 días después de siembra, inicia mayor crecimiento en la altura del tallo y esta tendencia se mantiene hasta el final del ciclo (Figura 1). El tratamiento que mostró el mayor crecimiento fue el K-0 y siendo el tratamiento 2000 Agua potable el que mostro el menor crecimiento. Los otros tratamientos mostraron al final del ciclo un crecimiento similar. El tamaño total de la planta al final del cultivo está definido entonces principalmente por la altura del tallo.

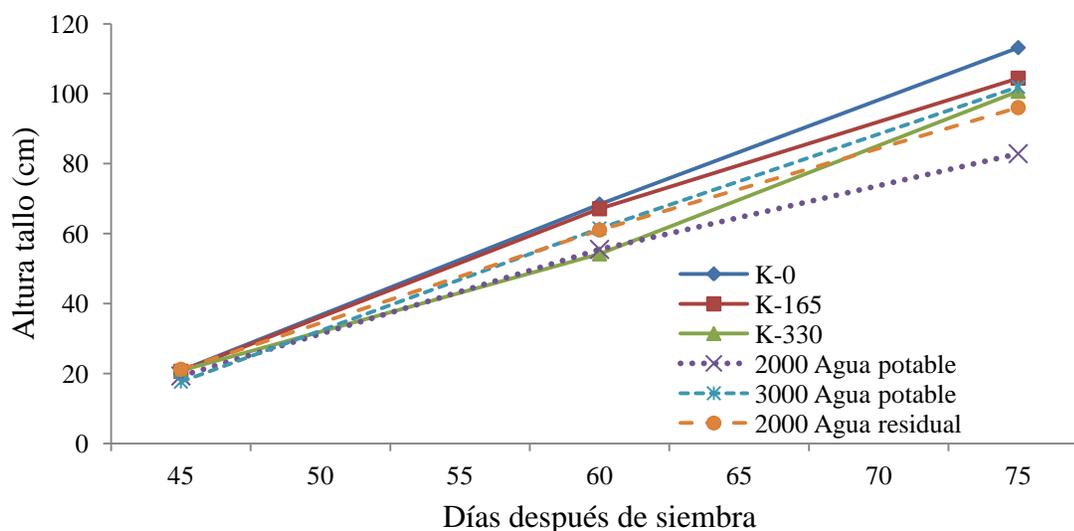


Figura 1. Altura de tallo (cm) del pasto King grass (*Pennisetum purpureum*) en Zamorano, Honduras.

Longitud de la hoja. El crecimiento en longitud de la hoja de los 45 a los 60 días después de siembra es mayor. A partir de los 60 a los 75 días después de siembra disminuye el

crecimiento (Figura 2). Sin embargo no se muestran diferencias para ningún tratamiento en la longitud de la hoja (cm).

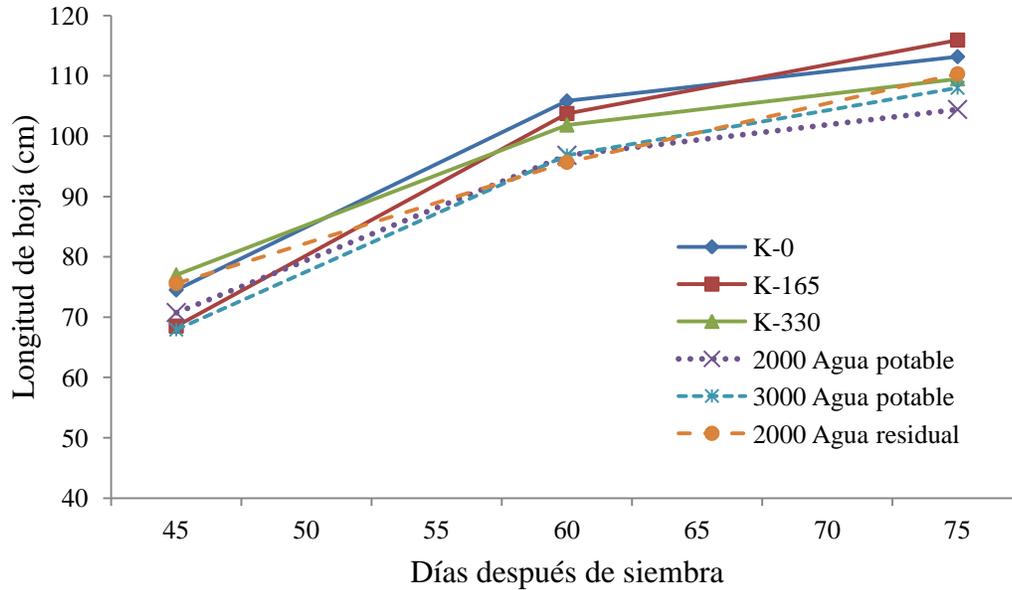


Figura 2. Longitud de la hoja (cm) del pasto King grass (*Pennisetum purpureum*) en Zamorano, Honduras.

Número de macollas por metro. El macollamiento del cultivo muestra una tendencia de incremento al inicio del ciclo y se estabiliza a los 60 días después de siembra en todos los tratamientos. Con la fertilización inorgánica existe un número mayor de macollas desde el inicio del ciclo en el tratamiento K-0 sin diferencias estadísticas significativas. Para la fertilización orgánica el mayor número de macollas se dio en el tratamiento 2000 Agua residual sin diferencia estadística. Sin embargo es importante recalcar que el número de macollas está relacionado con el porcentaje de germinación del cultivo (Figura 3). El cultivo de King grass presenta problemas de germinación debido a la pobre escogencia del material de siembra y una condición genética inherente de la especie (Muñoz y Lardizabal 2011).

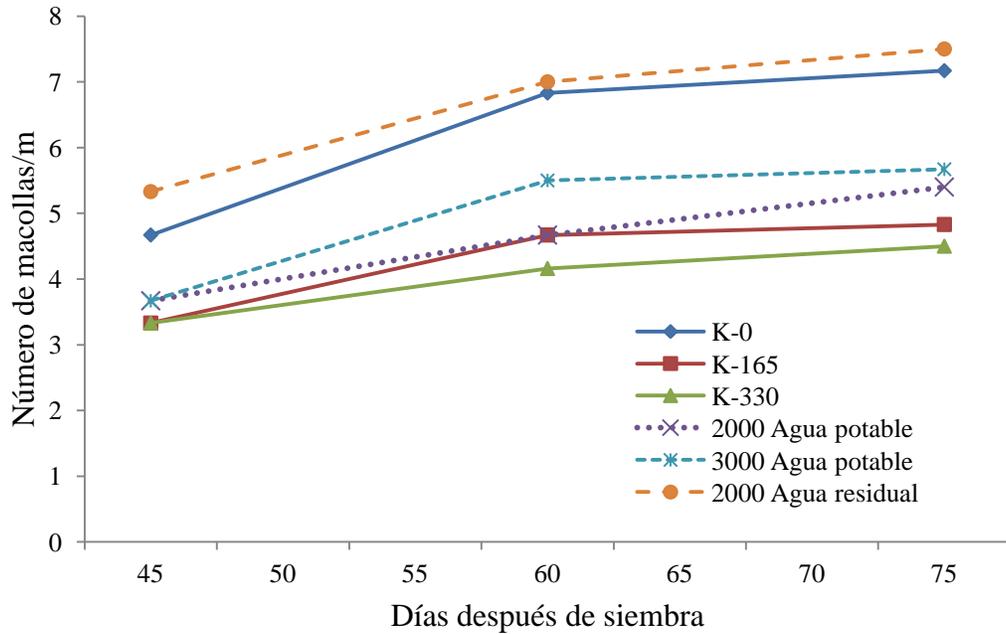


Figura 3. Número de macollas por metro en el cultivo King grass (*Pennisetum purpureum*) en Zamorano, Honduras.

Número de tallos promedio por macolla. Es una variable relacionada con el porcentaje de germinación del cultivo y el hábito de crecimiento del mismo se estabiliza a los 60 días después de siembra (Figura 4).

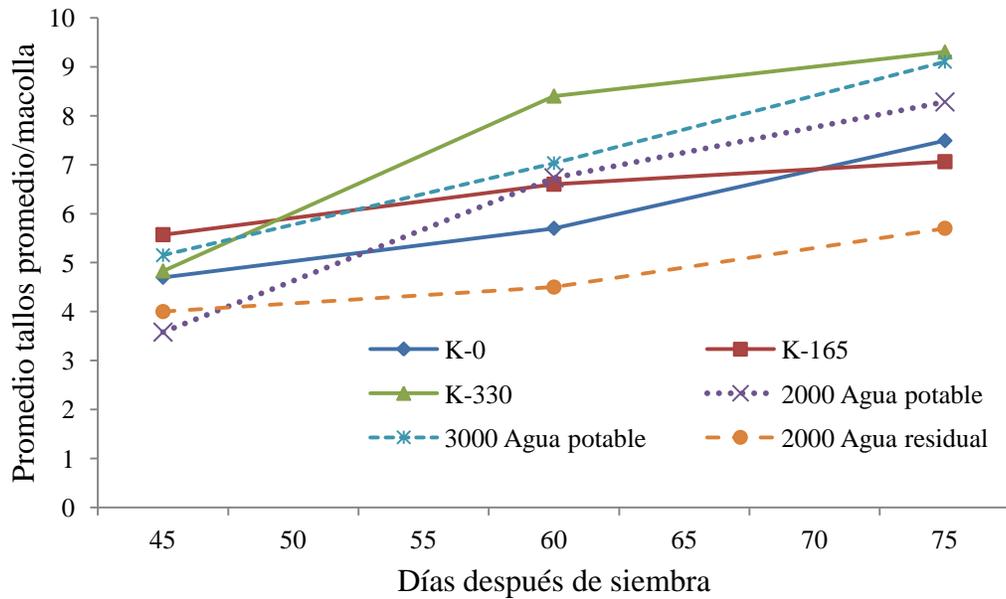


Figura 4. Número de tallos promedio por macolla en un metro de King grass (*Pennisetum purpureum*) en Zamorano, Honduras.

Número de hojas por metro. En K-330 aumentaron más y aceleradamente comparado con todos los demás tratamientos inorgánicos hasta los 60 días después de siembra, manteniéndose superior al final del ciclo con la misma tendencia que el número de tallos. Se atribuye a la variación en germinación. La tendencia en la acumulación del número de hojas para todos los tratamientos es a la alza desde el establecimiento de la pastura (Figura 5).

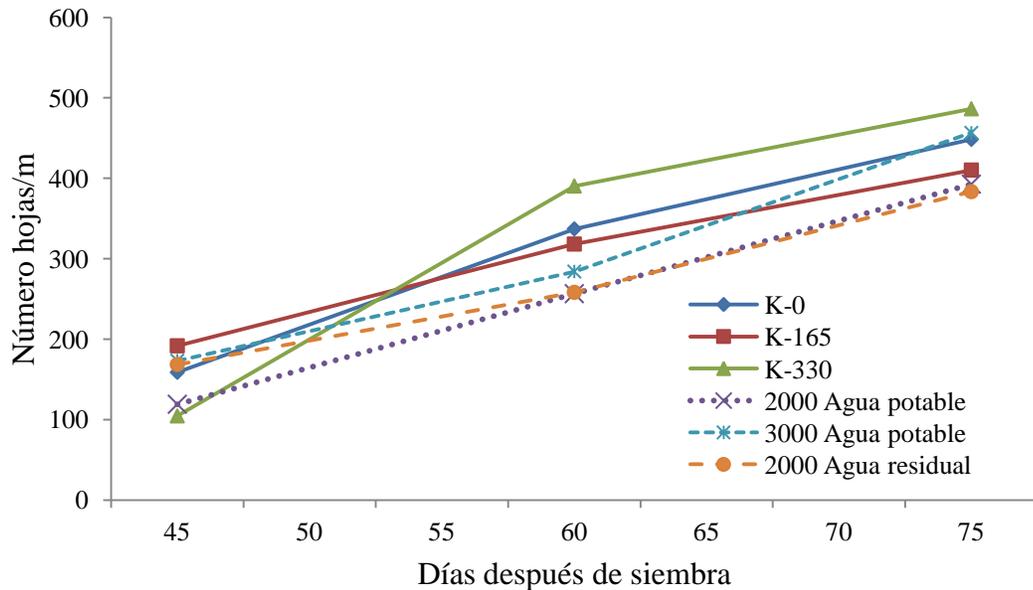


Figura 5. Número de hojas por metro en *Pennisetum purpureum* cv. King grass en Zamorano, Honduras.

Variables de rendimiento. Los mayores rendimientos de materia seca (MS t/ha) se obtuvieron con K-165 y K-330 sin diferencia entre ellos (Cuadro 7), coincidiendo con los obtenidos por Xy *et al.* (2011) que obtuvieron rendimientos en un rango de 75-150 t/ha/año de materia seca. Con fertilización orgánica, no hay diferencias en ningún tratamiento en la producción de materia seca y materia fresca (MS t/ha y MF t/ha) (Cuadro 8). Los resultados son menores que los obtenidos por Espinoza *et al.* (2001) pero mayores para la fertilización inorgánica con rendimientos de 120 t/ha/año de materia seca.

Cuadro 7. Producción de materia fresca y materia seca (t/ha) a los 80 días después de siembra con diferentes dosis de fertilización inorgánica del pasto King grass (*Pennisetum purpureum*) en Zamorano, Honduras.

Tratamiento	MF	MS	Humedad (%)	MF	MS	MF	MS
	(t/ha)	(t/ha)		(g/tallo)	(g/tallo)	ajustada (t/ha)	ajustada (t/ha)
K-0	42.1	5.6	86.7	71.1	9	35.3 a	4.7 b
K-165	56.2	8.4	85	146.3	22	74.8 a	10.7 a
K-330	58.3	8.3	85.8	123.6	18	58.1 a	8.4 ab
CV						31.54	22.13
R ²						0.74	0.84
Pr<F						0.16	0.05

^{abc} Valores en columnas con distinta letra, difieren estadísticamente entre sí (P<0.05).

Cuadro 8. Producción de materia fresca y materia seca (t/ha) con diferentes dosis de fertilización orgánica (L/ha) del pasto King grass (*Pennisetum purpureum*) en Zamorano, Honduras.

Tratamiento	MF	MS	Humedad (%)	MF	MS	MF	MS
	(t/ha)	(t/ha)		(g/tallo)	(g/tallo)	ajustada (t/ha)	ajustada (t/ha)
2000 Agua Residual	44	6.9	84.4	90.7	14	42.4 a	6.7 a
2000 Agua Potable	35.4	5.2	85.2	63.2	9	31.5 a	4.6 a
3000 Agua Potable	42.1	6.2	85.2	73.5	11	38.6 a	5.7 a
CV						44.68	42.87
R ²						0.39	0.46
Pr<F						0.66	0.57

^{abc} Valores en columnas con distinta letra, difieren estadísticamente entre sí (P<0.05).

La fertilización inorgánica aumenta los rendimientos de materia seca al aumentar la dosis aplicada pero disminuye al aplicar la dosis más alta de potasio de 330 kg/ha. La producción de materia seca en K-165 y K-330 es superior a la obtenida por Fuisa *et al.* (2009) y menor para los demás tratamientos inorgánicos e orgánicos. Sin embargo todos los resultados obtenidos son superiores a los obtenidos por los mismos autores bajo condiciones pobres; pero los resultados obtenidos son menores a los obtenidos por Ramírez *et al.* (2008) para la producción en época lluviosa en un pluvisol en Cuba.

Análisis químico nutricional del material vegetal. Los niveles de N, P, K y S se encuentran en niveles óptimos a nivel del tejido foliar, sin embargo Ca y Mg son bajos (Cuadro 9). Los análisis de suelo se tomaron al inicio del ciclo del cultivo (Cuadro 10). En este análisis cabe destacar que el P y K se encuentran en niveles altos en el suelo y el

único elemento en nivel bajo es el Mg. Todos los demás elementos se encuentran en niveles adecuados.

Cuadro 9. Análisis foliares a los 75 días del cultivo de King grass (*Pennisetum purpureum*) bajo diferentes dosis de fertilización orgánica e inorgánica en Zamorano, Honduras.

Nutriente	Nivel Óptimo [§]	Tratamiento					
		K-0	K-165	K-330	2000 Agua Residual	2000 Agua Potable	3000 Agua Potable
----- % -----							
N	1.5	1.8	1.7	2.1	1.6	1.6	1.8
P	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3
K	1	2.2	2.3	2.4	2.3	3.1	2.6
Ca	0.5	0.3	0.3	0.5	0.3	0.3	0.3
Mg	2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
S	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
----- mg/kg -----							
Cu	6	7	6	10	7	7	8
Fe	100	48	47	56	42	43	54
Mn	50	51	49	162	48	45	59
Zn	20	20	17	32	10	17	21
B	20	8	9	7	7	6	10

K: Dosis (K kg/ha) aplicados: 0, 165 y 330, respectivamente.

(L/ha Biol) 2000 Agua Residual, 2000 Agua Potable y 3000 Agua Potable, respectivamente.

§: Fuente: Espinosa y Bernal 2003.

Cuadro 10. Análisis de nutrientes de inicio del cultivo de King grass (*Pennisetum purpureum*) en Zamorano, Honduras.

	pH	MO [§]	N total	P	K	Ca	Mg	Na
Análisis Laboratorio		----- % -----		mg/kg		----- % -----	Saturacion de bases	-----
	6.1	3.3	0.17	85.6	11	76.9	10.5	1.6
Rangos Óptimos	6-6.5	2-4	0.2-0.5	13-30	3-5	50-75	15-20	<15
Interpretación		Medio	Medio	Alto	Alto	Alto	Bajo	Adecuado

§: MO: Materia orgánica.

En la matriz de biodisponibilidad cabe destacar que en el K la biodisponibilidad es adecuada en todos los tratamientos. A pesar que el P en el suelo es alto, la planta toma lo que necesita. Los únicos macronutrientes que se encuentran en disponibilidad baja son el Ca y Mg para todos los tratamientos, exceptuando al calcio en el tratamiento K-330,

donde el K ayudó a la absorción de Ca. Los microelementos no se midieron en el suelo, por lo que no explica su comportamiento.

Cuadro 11. Matriz de biodisponibilidad del cultivo de King grass (*Pennisetum purpureum*) bajo diferentes dosis de fertilización inorgánica y orgánica en Zamorano, Honduras.

Biodisponibilidad	Tratamiento					
	K-0	K-165	K-330	2000 Agua Residual	2000 Agua Potable	3000 Agua Potable
Bajo	Ca, Mg, Fe, B	Ca, Mg, Fe, B	Mg, Fe, B	Ca, Mg, Fe, Mn, B	Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, B	Ca, Mg, Fe, B
Adecuado	P, K, N, S, Cu, Mn, Zn	P, K, N, S, Cu, Mn, Zn	P, K, N, Ca, S	P, K, N, S, Cu, Zn	P, K, N, S, Cu	P, K, N, S, Cu, Mn, Zn
Alto			Cu, Mn, Zn			

Al conocer el consumo total de nutrientes que el cultivo extrae (Cuadro 12) se puede estimar la dosis sugerida para producir una tonelada de materia seca/corte de *Pennisetum purpureum*, logrando más eficiencia en aplicación de fertilizantes (Bertsch 2005).

El mayor consumo de nutrientes se dio en K-330 y los consumos de K-0 y K-165 son similares. Sin embargo los mayores rendimientos en materia seca (MS t/ha) se obtuvieron en los tratamientos K-165 y K-330 respectivamente. La absorción de potasio en todos los tratamientos inorgánicos es menor a la encontrada por Knoll *et al.* (2011) para la primera cosecha

Cuadro 12. Macronutrientes extraídos (kg/t MS) usando diferentes dosis de fertilización potásica inorgánica en el cultivo de *Pennisetum purpureum* cv. King grass en Zamorano, Honduras.

Dosis	N	P	K	Ca	Mg	S
	-----		(kg/t)	-----		-----
K-0	18.4 a	3.2a	22.2a	3.1a	1.0a	0.9a
K-165	17.3 a	2.6b	23.2a	3.2a	0.9a	0.9a
K-330	20.5 a	3.0a	24.1a	5.0a	1.4a	1.2a
CV	9.0	3.8	4.8	54.0	55.2	12.5
R ²	0.9	1.0	0.9	0.5	0.4	0.9
P<F	20.5	3.0	24.1	0.5	0.6	0.1

^{abc} Valores en columnas con distinta letra, difieren estadísticamente entre sí (P<0.05).

En la extracción de los microelementos extraídos en la fertilización potásica inorgánica, el tratamiento K-330 mostro una mayor absorción de Cu, Mn y Zn en comparación con K-0 y K-165, a diferencia de Fe y B que tuvieron un consumo similar (Cuadro 13).

Cuadro 13. Micronutrientes extraídos (g/t) usando diferentes dosis de fertilización potásica inorgánica en el cultivo de *Pennisetum purpureum* cv. King grass en Zamorano, Honduras.

Tratamiento	Cu	Fe	Mn (g/t MS)	Zn	B
K-0	7.1b	47.5a	50.9a	19.6a	8.0a
K-165	6.3b	46.7a	49.3a	16.9a	9.3a
K-330	10.4a	56.4a	162.5a	32.3a	7.1a
CV	16.30	13.70	116.50	94.30	58.30
R ²	0.83	0.80	0.50	0.26	0.61
P<F	0.08	0.11	0.48	0.83	0.33

^{abc} Valores en columnas con distinta letra, difieren estadísticamente entre sí (P<0.05).

Con la fertilización orgánica el mayor consumo de nutrientes se dio al aplicar la dosis 2000 Agua potable y 3000 Agua potable. Sin embargo los rendimientos en materia seca (MS t/ha) son similares para todos los tratamientos sin diferencia estadística (Cuadro 14). Con esta fertilización la cantidad extraída nutrientes es mayor a lo obtenido por Knoll *et al.* (2011). La cantidad de Ca y Mg es menor a la obtenida por Ramirez *et al.* (2008) así como también la cantidad de K extraído para los tratamientos 2000 Agua Residual y 3000 Agua Potable. Sin embargo el P extraído en todos los tratamientos orgánicos es mayor a los obtenidos el mismo autor. La cantidad de potasio extraído en la fertilización orgánica es mayor en todos los tratamientos comparados con la cantidad extraída para la fertilización inorgánica.

Cuadro 14. Macronutrientes extraídos (kg/t MS) usando diferentes dosis de fertilización orgánica en el cultivo de *Pennisetum purpureum* cv. King grass en Zamorano, Honduras.

Tratamiento Biol (L/ha)	N	P	K (kg/t)	Ca	Mg	S
2000 Agua Residual	15.9a	3.1a	23.1a	2.8a	0.9a	0.8a
2000 Agua Potable	15.9a	3.6a	31.3a	3.0a	1.1a	0.8a
3000 Agua Potable	18.4a	3.3a	26.3a	3.1a	0.9a	1.2a
CV	9.70	32.10	29.90	19.60	31.00	23.60
R ²	0.85	0.35	0.43	0.22	0.58	0.68
P<F	0.07	0.71	0.60	0.88	0.37	0.23

^{abc} Valores en columnas con distinta letra, difieren estadísticamente entre sí (P<0.05).

La contaminación química proveniente del material digestado proviene principalmente de fuentes desechos humanos como aguas negras los cuales pueden incluir metales pesados. Los metales pesados en desechos animales son introducidos por medio de la dieta y cuando el Biol es reciclado a campo como un fertilizante estos compuestos pueden

permanecer en el suelo y causar problemas. Es por ello importante el monitoreo de los elementos componentes de estos materiales materia prima para alimentar un biodigestor Lukehurst *et al.* (2010). Los microelementos y elementos pesados que se aplicaron con los Bioles fueron muy bajos (Cuadro 15)

Cuadro 15. Micronutrientes y metales pesados (g/ha) aplicados usando diferentes dosis de fertilización orgánica (L/ha) en el cultivo de *Pennisetum purpureum* cv. King grass en Zamorano, Honduras.

Tratamiento Biol (L/ha)	Cu	Fe	Mn	Zn	Co (g/ha)	Ni	Cr	Al	Sn
2000 Agua Residual	0.76	7.71	3.01	2.51	0.10	0.20	0.12	2.63	2.0
2000 Agua Potable	1.90	23.43	6.60	3.10					
3000 Agua Potable	2.84	35.14	9.90	4.65					

Los micronutrientes extraídos de los tratamientos de las diferentes dosis de fertilización orgánica mostraron un consumo similar (Cuadro 16).

Cuadro 16. Micronutrientes extraídos (g/t MS) usando diferentes dosis de fertilización orgánica (L/ha) en el cultivo de *Pennisetum purpureum* cv. King grass en Zamorano, Honduras.

Tratamiento Biol (L/ha)	Cu	Fe	Mn (g/t)	Zn	B
2000 Agua Residual	7.0a	41.7a	47.9a	9.9b	7.0a
2000 Agua Potable	7.0a	43.0a	45.3a	17.1ab	6.4a
3000 Agua Potable	7.6a	54.4a	59.3a	21.4a	9.9a
CV	11.70	17.50	21.70	26.70	38.00
R ²	0.71	0.58	0.46	0.76	0.69
P<F	0.20	0.39	0.56	0.14	0.22

^{abc} Valores en columnas con distinta letra, difieren estadísticamente entre sí (P<0.05).

La cantidad de metales pesados extraídos en bioles con agua residual o potable son similares (Cuadro 17). En Honduras no hay referencias de niveles adecuados de metales pesados por lo que no se interpretó.

Cuadro 17. Metales pesados extraídos (g/t MS) usando diferentes fuentes de agua en mezcla de BIOL para fertilización orgánica (L/ha) en el cultivo de *Pennisetum purpureum* cv. King grass en Zamorano, Honduras.

Tratamiento Biol (L/ha)	Co	Ni	Cr (g/t)	Al	Sn
2000 Agua Residual	<0.05a	1.64a	<0.06a	50.72a	<1.00a
2000 Agua Potable	<0.05a	1.40a	<0.06a	77.34a	<1.00a
CV		37.4	0.06	43.5	
R ²		0.95	0.06	0.84	
P<F		0.06	0.06	0.23	

^{abc} Valores en columnas con distinta letra, difieren estadísticamente entre sí (P<0.05).

Análisis energético del material vegetal. El mayor contenido de hemicelulosa se obtuvo en K-0 para la fertilización potásica inorgánica (Cuadro 18).

Cuadro 18. Comparación del contenido de fibra ácido y neutro detergente y contenido de hemicelulosa del pasto *Pennisetum purpureum* cv. King grass bajo diferentes dosis de fertilización inorgánica en Zamorano, Honduras.

Tratamiento	FND (%) ^δ	FAD (%) ^β	Hemicelulosa (%)
K-0	73.9 a	70.6 b	3.3 a
K-165	73.7 a	72.3 a	1.4 b
K-330	71.1 b	70.5 b	0.6 c

^δFND: Fibra Neutro Detergente

^βFAD: Fibra Acido Detergente

^{abc} Valores en columnas con distinta letra, difieren estadísticamente entre sí (P<0.05).

En la fertilización orgánica el contenido de hemicelulosa se mantiene similar con el aumento de la dosis de Biol con agua potable, sin embargo tampoco se encontraron diferencias significativas en los tratamientos con dosis de agua potable y agua residual (Cuadro 19).

Cuadro 19. Comparación del contenido de bajo diferentes dosis de fertilización orgánica (L/ha) en Zamorano, Honduras.

Tratamiento Biol (L/ha)	FND (%) ^δ	FAD (%) ^β	Hemicelulosa (%)
2000 Agua Residual	73.6 a	71.0 a	2.6 a
2000 Agua Potable	72.9 b	69.8 b	3.0 a
3000 Agua Potable	74.1 a	71.2 a	2.9 a

^δFND: Fibra Neutro Detergente

^βFAD: Fibra Acido Detergente

^{abc} Valores en columnas con distinta letra, difieren estadísticamente entre sí (P<0.05).

Para relacionar el contenido de hemicelulosa (%) de cada tratamiento y la cantidad de materia seca producida (MS t/ha) se determinó la cantidad de hemicelulosa (t/ha) para cada tratamiento (Cuadro 20). La mayor cantidad de hemicelulosa se obtiene para la fertilización inorgánica en K-0 y K-165 respectivamente. En la fertilización orgánica el mayor contenido de hemicelulosa se obtiene del tratamiento 2000 Agua residual.

Cuadro 20. Cantidad de hemicelulosa producida (t/ha) a partir de la materia seca (t/ha) producida bajo diferentes dosis de fertilización orgánica e inorgánica del pasto *Pennisetum purpureum* cv. King grass en Zamorano, Honduras.

Tratamiento	Fertilización Inorgánica		Fertilización Orgánica		
	MS (t/ha)	Hemicelulosa (t/ha)	Tratamiento	MS (t/ha)	Hemicelulosa (t/ha)
K-0	4.5	0.15	2000 Agua Residual	6.7	0.17
K-165	10.4	0.14	2000 Agua Potable	4.4	0.13
K-330	8.3	0.05	3000 Agua Potable	5.1	0.15

En la producción de potencial de biogás, los resultados obtenidos son efecto principalmente de la producción de materia seca para cada tratamiento orgánico e inorgánico. Sin embargo, se espera que la producción de biogás y la velocidad de degradación del sustrato sean afectadas además por la composición de fibras del pasto (Cuadro 21). Se incluyen los datos de hemicelulosa obtenidos para cada tratamiento para una caracterización del sustrato utilizado en su potencial como productor de energía.

En la fertilización inorgánica se obtuvieron los mayores de rendimientos de MS, en donde K-165 tuvo en el mayor potencial de producción de biogás. Sin embargo, el aumento de la dosis de fertilización potásica inorgánica es inverso al porcentaje de hemicelulosa que el pasto acumula.

Cuadro 21. Producción de biogás (m³) estimado a partir de *Pennisetum purpureum* cv. King grass con diferentes dosis de fertilización inorgánica en Zamorano, Honduras.

Tratamiento	MS (t/ha)	Biogás (m ³)	Kw/h	Hemicelulosa (%)
K-0	4.5	770	954	3.3
K-165	10.4	1778	2205	1.4
K-330	8.3	1419	1760	0.6

En la fertilización orgánica, la cantidad de producción de biogás es similar entre los tratamientos al tener rendimientos similares de materia seca. A diferencia de la fertilización potásica inorgánica, el Biol aplicado no tuvo ningún efecto en el porcentaje de hemicelulosa en los tratamientos (Cuadro 22).

Cuadro 22. Producción de biogás (m³) estimado a partir de *Pennisetum purpureum* cv. King grass con diferentes dosis de fertilización orgánica en Zamorano, Honduras.

Tratamiento Biol (L/ha)	MS (t/ha)	Biogás (m ³)	Kw/h	Hemicelulosa (%)
2000 Agua Residual	6.7	1146	1421	2.6
2000 Agua Potable	4.4	752	933	3.0
3000 Agua Potable	5.1	872	1081	2.9

Se establecieron relaciones entre la cantidad de nitrógeno y potasio absorbidos (N y K kg/t) y el contenido de hemicelulosa (%) del material *Pennisetum purpureum* cv. King grass sin encontrar ninguna correlación (Cuadro 23).

Cuadro 23. Correlaciones entre contenido de nitrógeno y potasio con la cantidad hemicelulosa para la fertilización orgánica e inorgánica del pasto *Pennisetum purpureum* cv. King grass en Zamorano, Honduras.

Nutriente	Orgánico		Inorgánico	
	Hemicelulosa (%)	P	Hemicelulosa (%)	P
N (kg/t)	0.083	0.83	-0.097	0.80
K (kg/t)	0.048	0.90	-0.362	0.34

Se establecieron ecuaciones para determinar la cantidad de materia fresca (t/ha), materia seca (t/ha) y contenido de hemicelulosa (%) a partir de las dosis de fertilización potásica inorgánica y orgánica para un corte. Las ecuaciones se determinaron con los datos obtenidos en el experimento y para cada una de ellas se muestra la adecuación al modelo utilizado, donde únicamente la cantidad de hemicelulosa a partir de la dosis aplicada con fertilizante inorgánica puede ser utilizada (Cuadro 24).

Cuadro 24. Ecuaciones para la determinación del contenido de hemicelulosa % (H), materia fresca (MF t/ha) y materia seca (MS t/ha) a partir de dosis de fertilización potásica inorgánica (K kg/ha) y fertilización orgánica (Biol L/ha) en *Pennisetum purpureum* cv. King grass para un corte en Zamorano, Honduras.

Variable	Orgánico		Inorgánico	
	Dosis (L/ha)	R ² (%)	Dosis (kg/ha)	R ² (%)
Hemicel(%)	H= 2.68667+0.00005667d	1.33	H= 3.11833-0.00678d	93
MF (t/ha)	MF= 34.83167 +0.00242d	1.28	MF= 44.08444+0.04052d	33
MS (t/ha)	MS= 5.70833+0.00016833d	0.28	MS= 6.10056 +0.00669d	42

4. CONCLUSIONES

- La producción de materia seca del pasto King grass aumenta significativamente con el aumento de la dosis de potasio hasta 165 kg/ha en la fertilización inorgánica, su producción es menor y con dosis mayores a los 80 días de edad de corte.
- La dosis de fertilización recomendada con la utilización de Biol como fuente nutritiva del pasto King grass es de 2,000 L/ha con el uso de agua residual. El aumento de la dosis de fertilización orgánica no aumenta significativamente la producción de materia seca (kg/ha).
- El aumento de la dosis de fertilización potásica inorgánica en el cultivo de King grass aumenta la producción de materia seca (t/ha) del cultivo pero es inverso al porcentaje de hemicelulosa que el cultivo acumula y por tanto mayor dificultad de degradación y mayor tiempo de retención hidráulica.
- Para la fertilización orgánica no existe un efecto de aumento en la acumulación de hemicelulosa del material King grass con el aumento de la dosis de Biol.
- Teóricamente se estimó, basados en la producción de materia seca, que la mayor cantidad potencial de biogás (m^3) a partir de la digestión del pasto King grass como materia prima para producción energética se obtiene para la fertilización inorgánica con dosis de 165 kg/ha de potasio y con dosis de 2,000 L/ha agua residual para la fertilización orgánica.
- El rendimiento de materia seca (kg/ha) del pasto King grass es mayor al utilizar dosis de Biol de 2000 L/ha en combinación con agua residual. Sin embargo no es significativamente diferente al utilizar 2,000 y 3,000 L/ha de Biol con agua potable.

5. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios de respuesta a la fertilización nitrogenada del pasto King grass con fines de producción energética para evaluar la respuesta a este nutriente y el estudio de la especie bajo condiciones pobres de fertilidad.
- Utilizar diferentes relaciones en la composición de la mezcla de preparación del Biol para obtener fertilizante orgánico con diferentes concentraciones de minerales y evaluar respuesta del pasto a otras dosis de fertilización.
- Evaluar la respuesta del pasto para producción energética a la fertilización orgánica en combinación con dosis de fertilización inorgánica.
- Determinar el efecto de la edad de corte en la producción de biomasa para generación de biogás del pasto King grass.
- Realizar estudios de caracterización del pasto King grass y su contenido de fibras celulosa y lignina para la producción energética.
- Evaluar el comportamiento del pasto King grass como sustrato en un biodigestor para validar información estimada de la producción potencial de biogás, determinando los m³ de biogás generados por kg materia seca y estableciendo una relación con el contenido de fibra presente.

6. LITERATURA CITADA

Arévalo, G.; Gauggel, C. 2006. Manual de Laboratorio de Ciencia de Suelos y Aguas. Zamorano, Honduras. 104 p.

Arévalo, G.; Gauggel, C. 2007. Manual de Laboratorio. Clase Manejo de Suelos y Nutrición Vegetal. Zamorano, Honduras. 75 p.

Barney, J; DiTomaso, J. 2011. Global Climate Niche Estimates for Bioenergy Crops and Invasive Species of Agronomic Origin: Potential Problems and Opportunities. PLOS ONE 6(3).

Bertsch, F. 2005. Estudios de absorción de nutrientes como apoyo a las recomendaciones de fertilización. Inpofos. Quito, Ecuador. 10 p.

Djomo, S; Blumberga, D. 2011. Comparative life cycle assessment of three biohydrogen pathways. Bioresource Technology 102: 2684-2694.

Energy, Utility & Environment Conference (2012, Phoenix, AZ). 2012. Giant King Grass– Dedicated Crop for Bioenergy & Biofuels. California, USA. 43 p.

Espinosa J; Bernal J. 2003. Manual de Nutrición y Fertilización de pastos. IPNI. 93 p.

Espinoza, F; Argenti, P; Gil, J; León, L; Perdomo, E. 2001. Evaluación del pasto king grass (*pennisetum purpureun* cv. king grass) en asociación con leguminosas forrajeras. Zootecnia Tropical 19(1): 59-71.

Espinoza L. 2003. Manual de Nutrición y Fertilización de pastos. Inpofos. Quito, Ecuador. 94 p.

Fish, W; Russo, V. 2012. Biomass, extracted liquid yields, sugar content or seed yields of biofuel feedstocks as affected by fertilizer. Industrial Crops and Products 36: 555-559.

Fuisa, R; Juscelino, B; Leite, J; Barros, L; Rodriguez, B; Boddley, R; Urquiaga, S. 2009. Elephant grass genotypes for bioenergy production by direct biomass combustion. Pesquisa Agropecuaria Brasilia 4(2):133-140.

Ge, X; Burner, D; Xu, J; Phillips, G; Sivakumar, G. 2011. Bioethanol production from dedicated energy crops and residues in Arkansas, USA. Biotechnology Journal 6: 66-73.

Herrera, R; Fortes, D; García, M; Cruz, A; Romero, A. 2008. Estudio de la composición mineral en variedades de *Pennisetum purpureum*. Revista Cubana de Ciencia Agrícola 42(4):395-401.

Knoll, J; Anderson, W; Strickland, T; Hubbard, R; Malik, R. 2011. Low-Input Production of Biomass from Perennial Grasses in the Coastal Plain of Georgia, USA. Bioenergy. Res. 5:206-214.

León, R; Gilbert, R; Korndorfer, P; Comstock, J. 2010. Selection Criteria and Performance of Energycane Clones (*Saccharum* spp. × *S. spontaneum*) for Biomass Production Under Tropical and Sub-tropical Conditions. Ceiba 51(1): 11-16.

Lukehurst, C; Frost, P; Al Seadi, T. 2010. Utilisation of digestate from biogas plants as biofertiliser. IEA Bioenergy. 37: 22p.

Martínez, C; Valverde, M; López, C. 2009. Biocombustibles: biomasa lignocelulósica y procesos de producción. CONCYTEG 4(54): 1246-1270.

Muñoz, R; Lardizabal, R. 2011. Manejo Agronómico de King grass para producción de biomasa en Honduras. Secretaría de Relaciones Exteriores. 29 p.

Qiabi, A; Rigal, L; Gaset, A. 1994. Comparative studies of hemicellulose hydrolysis processes: application to various lignocellulosic wastes. Industrial Crops and Products 3: 95-102.

Ra, K; Shiotsu, F; Abe, J; Morita, S. 2012. Biomass yield and nitrogen use efficiency of cellulosic energy crops for ethanol production. Biomass and Bioenergy 37: 330-334.

Ramirez, J; Verdencia, D; Leonard, I. 2008. Rendimiento y caracterización química del *Pennisetum* Cuba CT 169 en un suelo pluvisol. REDVET Revista electrónica Veterinaria 9(5):1-10.

Rodriguez, R. 1985. Producción de biomasa de poró gigante (*Erythrina poeppigiana* (Walpers) O.F.Cook) y king grass (*Pennisetum purpureum* × *P. typhoides*) intercalados en función de la densidad de siembra y la frecuencia de poda del poró. Turrialba 1985. 96 p.

Strezov, V; Evans, T; Hayman, C. 2008. Thermal conversion of elephant grass (*Pennisetum Purpureum Schum*) to bio-gas, bio-oil and charcoal. Bioresource Technology 99: 8394-8399.

Tran, N; Illukpitiya, P; Yanagida, J; Ogoshi, R. 2011. Optimizing biofuel production: An economic analysis for selected biofuel feedstock production in Hawaii. Biomass and Bioenergy 35: 1756 – 1764.

Viquez J. 2009. Biogas: energía recuperable. Análisis energético y económico de su potencial en fincas lecheras. ECAGInforma 50(24).

XI Seminario de Pastos y Forrajes en Sistemas de Producción Animal (2007, Barquisimeto, Venezuela). 2007. Utilización eficiente de las pasturas tropicales en la alimentación del ganado lechero. Ed. J Sánchez. Barquisimeto, Venezuela. 23 p.

Xi, X; Zhang, X; Dong, Z; Guo, H. 2011. Dynamic changes of lignin contents of MT-1 elephant grass and its closely related cultivars. *Biomass and Bioenergy* 35: 1732-1738.