



AgEcon SEARCH

RESEARCH IN AGRICULTURAL & APPLIED ECONOMICS

The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library

This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.

Help ensure our sustainability.

Give to AgEcon Search

AgEcon Search

<http://ageconsearch.umn.edu>

aesearch@umn.edu

*Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*

No endorsement of AgEcon Search or its fundraising activities by the author(s) of the following work or their employer(s) is intended or implied.

RENDIMIENTO DE SEIS CULTIVARES DE *Cenchrus purpureus* (Schumach.) MORRONE CON POTENCIAL PARA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL

BIOMASS YIELD OF SIX CULTIVARS OF *Cenchrus purpureus* (Schumach.) MORRONE WITH POTENTIAL FOR BIOETHANOL PRODUCTION

Reyes-Castro, S.¹, Enríquez-Quiroz, J.F.^{2*}, Hernández-Garay, A.^{1†}, Esqueda-Esquivel, V.A.³, Gutiérrez-Arenas, D.A.⁴

¹Colegio de Postgraduados, Ganadería, Campus Montecillos. ²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo La Posta, Paso del Toro, Veracruz. ³Colegio de Postgraduados Ganadería, Campus Montecillos. ⁴Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo Cotaxtla, Medellín, Veracruz. [†]Universidad Autónoma de Guanajuato, Campus Irapuato-Salamanca.

*Autor de correspondencia: enriquez.javier@inifap.gob.mx

RESUMEN

Se evaluaron seis cultivares de *Cenchrus purpureus*: Taiwán, King grass, CT-115, Maralfalfa, Mott y Vruckwona, para determinar el rendimiento de biomasa en tres épocas del año, como materia prima para producción de bioetanol. Se midieron el rendimiento de materia seca (t MS ha), la altura de planta (m^{-2}) y la densidad (tallos m^{-2}) y se realizó una estimación teórica de la producción de etanol. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. El rendimiento difirió entre variedades en la época de lluvias ($P < 0.05$), siendo Mott el cultivar que produjo más MS ($46.8 t ha^{-1}$). En la época de nortes no hubo diferencias ($P > 0.05$). En la época seca, King grass mostró el rendimiento mayor ($4.8 t ha^{-1}$). La altura de planta fue menor durante la época seca que en la época de nortes ($P \geq 0.05$). La densidad de tallos no difirió entre épocas ($P > 0.05$). La producción de forraje se concentró en un 79% en lluvias, 13% en nortes y 8% secas. El cultivar Mott presentó la mayor producción teórica de etanol con $8,018 L ha^{-1} año^{-1}$.

Palabras clave: rendimiento de materia seca, densidad de tallos, bioetanol.

Agroproductividad: Vol. 11, Núm. 5, mayo, 2018, pp: 56-61.

Recibido: abril, 2018. Aceptado: mayo, 2018.

ABSTRACT

Six cultivars of *Cenchrus purpureus* were evaluated: Taiwan, King grass, CT-115, Maralfalfa, Mott and Vrokwona, to determine the biomass yield in three seasons of the year, as prime material for bioethanol production. The dry matter (DM) yield, plant height and number of stems per m² were measured, and a theoretical estimation of ethanol production was performed. An experimental design of complete random blocks with three repetitions was used. During the rainy season, differences were found ($P < 0.05$), in the production of DM, with Mott being the cultivar that produced more DM (46,761 kg ha⁻¹). During the season of north winds there were no differences ($P > 0.05$). In the dry season, King grass showed the highest yield (4,806 kg ha⁻¹). In the north winds and dry seasons there were differences ($P \geq 0.05$) in plant height between cultivars, with the dry season being when the lowest ones were obtained. In the stem density there were no differences in the three seasons. The seasonal distribution of fodder production was 79% with rains, 13% with north winds and 8% in the dry season. The Mott cultivar presented the highest theoretical production of ethanol with 8,018 L ha⁻¹ year⁻¹.

Keywords: dry matter yield, stem density, biofuel.

mayor potencial de producción de biomasa en el mundo, debido a su hábito de crecimiento erecto, cepas vigorosas y porte alto, así como gran adaptabilidad a condiciones edafoclimáticas variables dentro de las regiones tropicales (López y Enríquez, 2011). El contenido de celulosa y hemicelulosa en los diversos cultivares de *C. purpureus*, varía de acuerdo a la morfología de cada cultivar y al estado de madurez. Por ejemplo, Elefante y King grass presentan contenidos de celulosa y hemicelulosa de 22.6 y 20.9% o 23.6 y 21.9%, respectivamente (Cardona *et al.*, 2013). Se reportan contenidos de 32.9 y 28.8% para el cultivar CT-115 (Valenciaga *et al.*, 2009), de 42.8 y 29.0% para Taiwán (Ventura, 2016), de 33.8 y 22.5% para Maralfalfa (Mateus *et al.*, 2012), y de 30.5 y 29.6% para CT-115 (de Dios, 2012). El promedio general de concentración de celulosa y hemicelulosa para estos cultivares fue de 31.0 y 25.5%. Estos datos son útiles para estimar la producción teórica de etanol de cada cultivar.

En las áreas tropicales del estado de Veracruz, México, se tienen grandes superficies con las condiciones agroecológicas adecuadas para la producción de *C. purpureus*, con las características requeridas para la generación de biocombustibles. Sin embargo, debido a la gran variación que existe entre los cultivares de esta especie, es necesaria una evaluación para seleccionar aquellos con el mayor potencial de producción de biocombustibles. El presente trabajo determinó el rendimiento anual de materia seca y el rendimiento teórico de etanol de seis cultivares de *C. purpureus* cosechados cada 90 días, en el estado de Veracruz, México.

INTRODUCCIÓN

La energía de biomasa es la energía contenida en la materia orgánica, la cual puede aprovecharse de diferentes maneras, según sea materia de origen animal o vegetal. El aprovechamiento de esta energía puede ser directo (combustión) o por transformación en otras sustancias que pueden aprovecharse más tarde como combustibles o alimentos (Escobar y Villamil, 2008). Una alternativa para la obtención de energía en las regiones tropicales es la producción de forraje de buena calidad y con rendimiento estable de biomasa durante el año (Mármol *et al.*, 2007; Martínez *et al.*, 2009). En los últimos años, en México, se han introducido especies forrajeras con alto potencial como forrajes de corte o pastoreo; entre ellas, diversos cultivares del pasto *Cenchrus purpureus* (Ortiz *et al.*, 2010). En la actualidad, el daño al ambiente que ha provocado el uso de combustibles fósiles, el llamado del Protocolo de Kioto a disminuir la contaminación por gases de efecto invernadero (González y Castañeda, 2008) y la necesidad de nuevas fuentes de energía renovable, hacen de los biocombustibles una gran opción para minimizar el impacto sobre el planeta por el uso de los combustibles tradicionales. El alza en los precios que se generó en 2007 y 2008 al producir biocombustibles de primera generación a partir de maíz (*Zea mays* L.) y caña de azúcar (*Saccharum* spp.), causó inestabilidad económica e incrementó el riesgo de causar una crisis alimentaria. Debido a lo anterior, los biocombustibles de biomasa lignocelulósica suponen una alternativa económicamente viable. Los combustibles lignocelulósicos más utilizados son residuos forestales y agrícolas, como árboles de crecimiento rápido, bagazo de caña de azúcar, olote y rastrojo de maíz, paja de trigo (*Triticum* sp.) o arroz (*Oryza sativa* L.), entre otros (Santiago-Ortega *et al.*, 2016). Otra opción para la producción de bioetanol son las poaceas, tales como el pasto *C. purpureus*, que tiene el

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se estableció en el Campo Experimental La Posta del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, ubicado en el km 22.5 de la carretera libre Veracruz-Córdoba, en Paso del Toro, municipio de Medellín, Veracruz, México (19° 02' N, 96° 08' O y 16 m de altitud). El clima de la región es cálido subhúmedo con lluvias en verano (Aw_1), con temperatura media de 25.4 °C, precipitación pluvial de 1,337 mm y evaporación de 1,379 mm (García, 1987). Los suelos son vertisoles, con pH de 5.4, textura arcillosa y 2.6% de materia orgánica. Las parcelas utilizadas para este estudio tuvieron dimensiones de 2.5 m de ancho x 5 m de largo, se establecieron el 22 de julio de 2012, colocando estacas a 50 cm de separación entre surcos. Se utilizó el diseño experimental de bloques al azar con seis tratamientos (cultivares) y tres repeticiones.

Los cultivares evaluados fueron: Taiwán, King grass, CT-115, Maralfalfa, Mott y Vruckwona. En el mes de julio de 2014 se realizó un corte de uniformidad a una altura de 30 cm.

Se usó una fórmula de fertilización de 300N-100P-00K kg ha⁻¹ año⁻¹. La fertilización fue dividida en dos aplicaciones, la mitad de la fórmula se aplicó una semana después del corte de uniformidad, y el resto un mes después de la primera aplicación. Las cosechas se llevaron a cabo a intervalos 90 d después del corte de uniformidad, desde julio de 2014 hasta julio de 2015. En cada parcela se midió la altura en cinco plantas utilizando una regla de pvc de 3 m graduada cada 5 cm y se estimó la densidad. Para determinar el rendimiento de materia seca se cosechó a 30 cm el forraje presente en 1 m⁻², se pesó en fresco; se cortó en segmentos de 5 cm y se llevó a peso constante a 55 °C por 96 h en una estufa aire forzado. Durante el periodo de evaluación se realizaron cuatro cortes: dos en la época lluviosa, uno en la época de nortes y uno en la época seca. Con el paquete estadístico SAS (SAS, 2002) se realizó un análisis de varianza y una prueba de Tukey ($P=0.05$) para la comparación de medias. Se calculó el rendimiento en bioetanol usando los contenidos de celulosa y hemicelulosa y el rendimiento de cada cultivar (Castaño, 2008).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el estudio la precipitación fue de 1,047 mm, de los cuales 967 mm correspondieron a la época de lluvias, 16 mm a la época de nortes y 64 mm a la época seca. La precipitación mayor se registró en el mes de septiembre (700 mm), y febrero fue el mes con menos lluvia (menos de 1 mm). Las temperaturas medias máximas y mínimas fueron más altas en las épocas de lluvia y seca y más bajas en la época de nortes.

En la época de lluvias no hubo diferencia en la altura de planta entre los cultivares antes del corte ($P \geq 0.05$), mientras que, en las épocas de nortes y secas, el cultivar Taiwán presentó mayor altura. Con respecto a la altura final promedio durante todo el experimento Taiwán fue el más alto (1.97 m), mientras que CT-115 y Mott fueron las de menor altura

(1.54 y 1.53 m; $P \leq 0.05$). El menor tamaño de CT-115 puede deberse a que presenta acortamiento de entrenudos a medida que avanza su edad (Rueda, 2015). La altura de la planta fue mayor durante la época de lluvias (2.66 m) y menor durante la época de secas (1.13 m) ($P \leq 0.05$). Existen diversos estudios donde se compara la altura de los cultiva-

res de *C. purpureus*, en diferentes épocas del año. En Isla, Veracruz, en el cultivar Maralfalfa, cosechado a los 150 días en la época de lluvias, Calzada *et al.* (2014) encontraron alturas de 2.30 m, mientras que en la misma época, en Cárdenas, Tabasco, con el cultivar CT-115 a los 90 días de edad de rebrote, De Dios (2012) reportó alturas de 1.65 m, lo cual difiere de lo encontrado en el presente estudio (2.60 m), y puede deberse a las condiciones de precipitación y temperatura predominantes en la zona durante el desarrollo del experimento, ya que para las épocas de nortes (vientos húmedos y fríos) y de sequía, reportó alturas de 1.39 y 1.56 m respectivamente, muy superiores a las reportadas en este estudio para dicho cultivar en esas épocas del año. Al trabajar con los cultivares CT-115, Caña Africana, Taiwán, King grass, Vruckwona, Roxo, OM-22 y Camerún en Isla, Veracruz, a los 185 días de edad, Rueda (2015) indicó que la mayor altura se tuvo con el cultivar King grass

Cuadro 1. Altura de plantas (m) de diversos cultivares de *C. purpureus* antes del corte en diferentes épocas.

Cultivar	Lluvias 9/oct/2014	Nortes 7/ene/2015	Secas 7/abr/2015	Promedio
Taiwán	2.52 ^{a1}	1.93 ^a	1.47 ^a	1.97 ^a
King grass	2.69 ^a	1.65 ^{ab}	1.27 ^{ab}	1.87 ^{ab}
CT-115	2.60 ^a	1.01 ^b	1.02 ^{ab}	1.54 ^b
Maralfalfa	2.73 ^a	1.24 ^b	1.13 ^{ab}	1.70 ^{ab}
Mott	2.67 ^a	1.14 ^b	0.78 ^b	1.53 ^b
Vruckwona	2.75 ^a	1.69 ^{ab}	1.13 ^{ab}	1.86 ^{ab}
Promedio ²	2.66 ^A	1.44 ^B	1.13 ^C	

^{a, b} Medias con literales minúsculas iguales en columnas, no presentan diferencias significativas. ^{A, B} Medias con literales mayúsculas iguales en las filas, no presentan diferencias estadísticas.

(4.2 m) y la menor con el cultivar CT-115 (3.5 m). En la época de lluvias en Nayarit, Gómez-Gurrola *et al.* (2015) cuantificaron alturas de 3.39 m con el cultivar Maralfalfa. En Tabasco, De Dios (2012) reportó alturas en el cultivar CT-115 de 1.56 y 1.39 m para las épocas de seca y nortes respectivamente.

No hubo diferencias significativas ($P \geq 0.05$) en la densidad de población de tallos entre cultivares en ninguna de las épocas evaluadas (Cuadro 2), aunque sí diferencias numéricas entre los cultivares en las diferentes épocas del año. El cultivar Taiwán tuvo la menor cantidad de tallos por m^2 en las tres épocas del año, mientras que, en la época de lluvias, CT-115 y Mott produjeron la mayor cantidad de éstos, y en la época de nortes, en los cultivares Maralfalfa y Mott, se cuantificaron 52 tallos por m^2 ; a su vez, en la época seca el cultivar Maralfalfa desarrolló la mayor cantidad de tallos.

Los resultados de rendimiento de biomasa (Cuadro 3), muestran que en la época de lluvias se registraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre cultivares, donde el cultivar Mott presentó el mayor rendimiento de materia seca, y CT-115 el rendimiento más bajo. Para la época de nortes no hubo diferencias ($P \geq 0.05$) entre cultivares; sin embargo, en la época seca sí se presentaron diferencias ($P \leq 0.05$), siendo el cultivar King grass el más rendidor, mientras que el de menor rendimiento fue el cultivar Mott. Lo anterior es un indicativo de que este último tiene poca tolerancia a la sequía, ya que durante la época de lluvias mostró alta producción de materia seca. Sin embargo, presenta una importante recuperación en la época de lluvias, tanto en crecimiento como en

Cuadro 2. Densidad poblacional de tallos por m^2 de diferentes variedades de *C. purpureus* cosechadas cada 90 días en diferentes épocas.

Cultivar	Lluvias 9/oct/2014	Nortes 7/ene/2015	Secas 7/abr/2015
Taiwán	27 ^{a1}	30 ^a	31 ^a
King grass	36 ^a	45 ^a	37 ^a
CT-115	51 ^a	44 ^a	46 ^a
Maralfalfa	42 ^a	52 ^a	51 ^a
Mott	51 ^a	52 ^a	39 ^a
Vruckwona	39 ^a	33 ^a	40 ^a
Promedio ²	41 ^A	43 ^A	41 ^A

¹Medias con literales minúsculas iguales en columnas, no presentan diferencias significativas (Tukey $P \leq 0.05$). ²Medias con literales mayúsculas iguales en las filas, no presentan diferencias estadísticas.

diferencia significativa con el cultivar Mott, que mostró el mejor rendimiento de MS.

El rendimiento de biomasa fue marcadamente estacional. En la época de lluvias se obtuvo el mayor rendimiento de materia seca en comparación con las épocas de nortes y seca. Este comportamiento se debe a que durante la época de lluvias los cultivares tuvieron disponible el agua necesaria y la temperatura adecuada para su desarrollo, mientras que, en la época de nortes, la precipitación pluvial fue escasa, lo cual, junto con las bajas temperaturas inhibió el crecimiento. Aunque en la época seca la precipitación pluvial fue de 64 mm, esta no fue suficiente para promover el crecimiento acelerado, por lo que el rendimiento es menor. La distribución estacional en la producción de biomasa fue de 79% en la época de lluvias, 13% en la época de nortes y 8% en la época seca, lo cual fue igual a los rendimientos estacionales reportados por Martínez *et al.* (2008). Por otra parte, en

rendimiento de biomasa; aunque es un cultivar de porte bajo, presenta un excelente comportamiento productivo, y, además, su porte le ayuda a resistir el acame en la época de nortes, cuando se presentan fuertes vientos. Aunque el cultivar Taiwán tuvo las alturas mayores, el menor número de tallos afectó su rendimiento de MS, aunque la prueba de medias no mostró

diferencia significativa con el cultivar Mott, que mostró el mejor rendimiento de MS. Isla, Veracruz, con el pasto *Brachiaria humidicola*, Cruz *et al.* (2011), determinaron proporciones de 83, 9 y 8% para las épocas de lluvias, nortes y secas respectivamente. Sin embargo, en Tabasco, con el cultivar Mulato (*Brachiaria* Híbrido), los mismos autores obtuvieron una distribución del rendimiento de materia seca del 55, 28 y 17% en las épocas de lluvias, nor-

Cuadro 3. Rendimiento estacional de biomasa ($t MS ha^{-1}$) de seis variedades de *C. purpureus* cosechado a 90 días edad.

Cultivar	Lluvias	Nortes	Seca
	9/oct/2014	7/ene/2015	7/abr/2015
Taiwán	22.4 ^{ab1}	5.4 ^a	2.8 ^{ab}
King grass	30.0 ^{ab}	7.2 ^a	4.8 ^a
CT-115	18.3 ^b	3.0 ^a	1.8 ^{ab}
Maralfalfa	26.9 ^{ab}	4.9 ^a	3.0 ^{ab}
Mott	46.8 ^a	3.3 ^a	1.3 ^b
Vruckwona	30.8 ^{ab}	5.7 ^a	3.0 ^{ab}
Promedio ²	29,191 ^A	4,920 ^B	2,781 ^B

¹Medias con literales minúsculas iguales en columnas, no presentan diferencias significativas. ²Medias con literales mayúsculas iguales en las filas, no presentan diferencias estadísticas.

tes y secas respectivamente. A su vez, con el cultivar Mulato, Cab (2007), encontró una distribución de 65, 21 y 14% para las épocas de lluvias, nortes y secas respectivamente. Al evaluar diferentes especies de gramíneas en Quintana Roo, Sosa *et al.* (2008), también reportaron un mayor rendimiento en la época de lluvias. Los resultados muestran que los mayores rendimientos de biomasa se obtienen en los meses de junio a octubre (época de lluvias), ya que según Velasco *et al.* (2006), con el inicio de las lluvias y el incremento de las temperaturas se alcanzan los picos máximos en las tasas de crecimiento de los forrajes tropicales, dando como resultado una alta producción de materia seca. A pesar de que la época seca recibió mayor cantidad de precipitación en comparación con la época de nortes, no se observaron diferencias en el rendimiento entre las dos épocas, lo cual puede deberse a que aunque en la época de nortes la temperatura fue menor y se presenta una alta nubosidad, las altas temperaturas en la época seca provocan mayor demanda de agua por parte de la planta para regulación de temperatura, así mismo la cantidad de agua que se evapora no permite a la planta tener disponible la cantidad suficiente para su crecimiento.

De acuerdo a los rendimientos obtenidos, el cultivar Mott produciría la mayor cantidad de etanol, seguido de King grass y Vruckwona, cuyas producciones fueron menores en 18.4 y 23.1%, respectivamente. Debido a que la producción de etanol está en función de la producción de biomasa de estas poáceas, las que producen más biomasa, tendrán una mayor producción de etanol. Ventura (2016) encontró un rendimiento teórico de etanol de 3,373 L ha⁻¹ año⁻¹ con el cultivar Taiwán, al obtener 18 t de biomasa con 36.0% de celulosa y 28.0% de hemicelulosa; este rendimiento fue 29.3% menor a lo encontrado en este trabajo. Utilizando la fórmula de Badger (2002), en pasto Toledo (*B. brizantha*) cosechando cada 90 días, Santiago-Ortega *et al.* (2016) reportaron un rendimiento de etanol de 4,858.3 L ha⁻¹ año⁻¹, lo cual es similar a lo que se obtendría con el cultivar Taiwán. Al utilizar modelos de simulación para los procesos de pretratamiento, hidrólisis y producción de etanol, Forero *et al.* (2015) reportaron rendimientos de 126.41 L de etanol t⁻¹ con bagazo de caña, cuyo contenido de celulosa fue de 46.7% y de hemicelulosa de 23.6%. Estas diferencias ponen de manifiesto la necesidad de seguir trabajando en mejorar

Cuadro 4. Rendimiento teórico de etanol de seis cultivares de *Cenchrus purpureus* cosechados cada 90 días.

Cultivar	Rendimiento t MS ha ⁻¹	Celulosa total (t)	Hemicelulosa total (t)	Etanol (L ha ⁻¹ año ⁻¹)
Taiwan	30.6	9.5	7.8	4,771
King grass	41.9	13.0	10.7	6,547
CT-115	23.1	7.2	5.9	3,611
Maralfalfa	34.8	10.8	8.9	5,438
Mott	51.4	15.9	13.1	8,018
Vruckwona	39.5	12.3	10.1	6,167

las actuales técnicas para producir etanol de manera que se pueda aprovechar el potencial que los materiales lignocelulósicos ofrecen para este fin.

CONCLUSIONES

El cultivar Mott produjo el mayor rendimiento de biomasa en conjunto, por lo que de los diferentes cultivares de *C. purpureus* podría ser la mejor opción para la producción de etanol en las áreas tropicales del centro del estado de Veracruz, México.

LITERATURA CITADA

- Badger P.C. 2002. Ethanol from cellulose: A general review. In: Janick J., Whipkey A. (eds.). Trends in New Crops and New Uses. pp: 17-21.
- Cab J.F.E. 2007. Potencial Productivo de Gramíneas del Género *Brachiaria* en Monocultivo y Asociadas con *Arachis pintoi*. Tesis Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados.
- Calzada M.J.M., Enríquez Q.J.F., Hernández G.A., Ortega J.E., y Mendoza P.S.I. 2014. Análisis de crecimiento del pasto maralfalfa (*Pennisetum* sp.) en clima cálido subhúmedo. Rev. Mex. Cienc. Pecu. 5 (2): 247-260.
- Cardona E., Rios, J., Pena, J., Rios L. 2013. Pre tratamiento alcalino de pasto elefante (*Pennisetum* sp.) y King grass (*Pennisetum hybridum*) cultivados en Colombia para la producción de Bioetanol. Información Tecnológica 24(5):69-80.
- Castaño P.H.I. 2008. La yuca como alternativa para la producción de alcohol carburante. Revista Politécnica 6:25-38.
- Cruz H.A., Hernández G.A., Enríquez Q.J.F., Gómez V.A., Ortega J.E., Maldonado G.N.M. 2011. Producción de forraje y composición morfológica del pasto Mulato (*Brachiaria* híbrido 36061) sometido a diferentes regímenes de pastoreo. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias 2(4):429-443.
- De Dios G.E. 2012. Producción de Biomasa y Valor Nutritivo del Pasto Cuba CT-115 (*Pennisetum purpureum*) en un Suelo Cambisol. Tesis Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados.
- Escobar C. L. y Villamil E. L. 2008. Gestión sobre los recursos bioenergéticos (biomasa vegetal) y la importancia de regulación de las áreas de producción. Monografía. Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Ciencias Ambientales.
- Forero H., García C., Cardona C. 2015. Aplicación de la termodinámica en la síntesis óptima de procesos químicos y biotecnológicos. Revista de la Facultad de Ciencias Químicas. Octubre-diciembre. Núm. 13.

- García E. 1987. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köpen (para Adaptarlo a las Condiciones de la República Mexicana). 4a ed. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F. 130 p.
- Gómez-Gurrola A., Loya O.J.L., Sanginés G.L. 2015. Composición química y producción del pasto *Pennisetum purpureum* en la época de lluvias y diferentes estados de madurez. Revista Educateconciencia 6(7):68-74.
- González M.A., Castañeda Z.Y. 2008. Biocombustibles, biotecnología y alimentos. Impactos sociales para México. Argumentos (Mex) 21(57):55-83.
- López G.I., Enríquez Q.J.F. 2011. Paquete Tecnológico Zacate *Pennisetum purpureum*. INIFAP. Programa Estratégico para el Desarrollo Rural Sustentable de la Región Sur-Sureste de México; Trópico Húmedo. Folleto técnico. Campo experimental La Posta. Veracruz, México. 7 p.
- Mármol F. J., González B., Chirinos Z. 2007. Producción forrajera de cuatro germoplasmas de *Pennisetum purpureum* en sistemas intensivos bajo corte. ITEA 28(I):360-362.
- Martínez M.D., Hernández G.A., Enríquez Q.J.F., Pérez P.J., González M.S.S., Herrera H.J.G. 2008. Producción de forraje y componentes del rendimiento del pasto *Brachiaria humidicola* CIAT 6133 con diferente manejo de la defoliación. Técnica Pecuaria México 46(4):427-438.
- Martínez R.O., Herrera R.S., Tuero R., Padilla C.R. 2009. Hierba Elefante, variedades Cuba CT-115, Cuba CT-169 y Cuba OM-22 (*Pennisetum* sp.). Revista ACPA 2(44).
- Mateus L., Hernandez O., Velásquez M., Díaz J.J. 2012. Evaluación del pretratamiento con ácido diluido del pasto Maralfalfa (*Pennisetum glaucum* x *Pennisetum purpureum*) para la producción de etanol. Revista Colombiana de Biotecnología XIV(1):146-156.
- Ortiz R.B., Sosa R.E., Zavaleta C. 2010. Manual del Pasto Morado. Folleto Técnico No. 1. Coordinadora Nacional de las Fundaciones Produce, A. C. INIFAP. Campo Experimental Chetumal. Chetumal, Q.R., México. 12 p.
- Rueda B.J.A. 2015. Evaluación agronómica de ocho variedades de *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone con potencial para producción de bioetanol o forraje. Tesis Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados.
- Santiago-Ortega M.A., Honorato-Salazar J.A., Quero-Carrillo A.R., Hernández-Garay A., López-Castañeda C., López-Guerrero I. 2016. Biomasa de *Urochloa brizantha* cv. Toledo como materia prima para producción de bioetanol. Agrociencia 50:711-726.
- SAS. 2002. Statistical Analysis System. The SAS System Release 9.0. for Windows, SAS Institute.
- Sosa R.E.E., Cabrera T.E., Pérez R.D., Ortega R.L. 2008. Producción estacional de materia seca de gramíneas y leguminosas forrajeras con cortes en el estado de Quintana Roo. Técnica Pecuaria México 46(4):413-426.
- Valenciaga D., Chongo B., Herrera R.S., Verena T., Oramas A., Cairo J.G., Herrera M. 2009. Efecto de la edad de rebrote en la composición química de *Pennisetum purpureum* cv. Cuba CT-115. Revista Cubana de Ciencia Agrícola 43(1):73-79.
- Velasco Z.M.E., Hernández A.G., Perezgrovas G.R., A., Sánchez M.B. 2006. Producción y Manejo de los Recursos Forrajeros Tropicales. Universidad Autónoma de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez Chis., México. pp: 75-97.
- Ventura R.J. 2016. Producción de bioetanol de segunda generación con biomasa de dos cultivares de *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone. Tesis Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados.