

Producción intensiva de biomasa con especies cultivadas para obtención de abonos orgánicos y bioenergía

Intensive biomass production using plant species grown to obtain organic fertilizer and bioenergy

Rigoberto Rosales Serna¹, Julio César Ríos Saucedo^{1*}, Itzel Escobedo Ramos², Saúl Santana Espinoza¹, Pablo Alfredo Domínguez Martínez¹, Ixchel Abby Ortiz Sánchez² y Artemio Carrillo Parra³

¹INIFAP-Durango. Campo Experimental Valle del Guadiana. km 4.5 Carr. Durango-El Mezquital, Durango, Dgo. México. C. P. 34170.

²Tecnológico Nacional de México – Campus Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana. Carretera Durango – México km 22.5. Villa Montemorelos, Durango, México. C. P. 34371.

³Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera, UJED, Blvd. del Guadiana Núm 501. Col. Torre de Institutos

* Autor para correspondencia: rios.julio@inifap.gob.mx

RESUMEN

Existe demanda de biomasa para abastecer requerimientos bioenergéticos e incorporar materia orgánica a suelos agrícolas. El objetivo fue evaluar la producción intensiva de biomasa con especies vegetales útiles en la elaboración de abonos orgánicos y generación de bioenergía. Se plantaron cinco especies: higuera (*Ricinus communis*), maralfalfa (*Pennisetum* sp.), acacia (*Acacia retinoides*), álamo blanco (*Populus alba*) y sauce (*Salix* sp.). El sitio experimental está ubicado en Durango, México (23° 59' 14" N, 104° 37' 19" O), a una altitud de 1,880 m. La plantación se realizó el 6 y 7 de junio de 2018, en un diseño completamente aleatorio con arreglo en parcelas divididas y ocho repeticiones. Se utilizaron las densidades de plantación: baja (4,934 plantas ha⁻¹, en hilera sencilla) y alta (8,902 plantas ha⁻¹, en hilera doble). Se instaló riego presurizado por goteo y la parcela experimental consistió de una hilera de 7.2 m de longitud y 3.0 m de separación. Se evaluó mensualmente la altura de planta, diámetro de copa (DC), diámetro basal del tallo (DAC) y a los 126 días después del trasplante (DDT), se midió el rendimiento de biomasa fresca y seca. La maralfalfa mostró la altura mayor (356 cm a 360 cm); mientras que los valores más altos del DAC (35-42 mm) y DC (114 cm-190 cm) se alcanzaron en higuera a los 106 DDT. Se detectaron diferencias significativas, entre densidades y especies, para el rendimiento de biomasa fresca y seca. En densidad alta se incrementó significativamente (40 %) el rendimiento medio de biomasa fresca (25,480 kg ha⁻¹) y seca (5,215 kg ha⁻¹). La maralfalfa, en densidad alta, registró el rendimiento más alto de biomasa fresca (81,496 kg ha⁻¹) y seca (14,461 kg ha⁻¹). En el corto plazo, la maralfalfa, higuera y acacia mostraron producción alta de biomasa en plantaciones con densidad alta.

Palabras Clave: crecimiento, productividad, densidad de plantación, selección, sostenibilidad.



SUMMARY

Demand for biomass has been observed in order to satisfy requirements for bioenergy and to incorporate organic matter into agricultural soils. The objective was to evaluate the intensive biomass production using plant species useful to obtain bioenergy and organic fertilizers. Five plant species were used: castor bean (*Ricinus communis*), maralfalfa (*Pennisetum* sp.), acacia (*Acacia retinoides*), white poplar (*Populus alba*) and willow (*Salix* sp.). The experimental site is located in Durango, México (23° 59' 14" N, 104° 37' 19" W), at an altitude of 1,880 m. The plantation was carried out on June 6th and 7th 2018, under a completely randomized design with a split-plot arrangement and eight replications. Two planting densities were included: low (4,934 plants ha⁻¹, in a single row) and high (8,902 plants ha⁻¹, in a double row). Pressurized drip irrigation was installed and the experimental plot consisted of a row 7.2 m in length and 3.0 m apart. Monthly, data were registered for plant height, basal stem diameter (BSD) and crown diameter (CD), the yield of fresh and dry biomass was also determined at 126 days after planting (DAP). Higher values for plant height were observed in maralfalfa (356 cm a 360 cm); while higher values for BSD (35-42 mm) and CD (114 cm-190 cm) were observed 106 DAP in castor bean. Significant differences were observed, between densities and plant species, for the yield of fresh and dry biomass. High plant density favored significant increments (40 %) for the mean yield of fresh (25,480 kg ha⁻¹) and dry (5,215 kg ha⁻¹) biomass. Maralfalfa, in the high-density system, showed the highest yield for fresh (81,496 kg ha⁻¹) and dry biomass (14,461 kg ha⁻¹). In the short term, maralfalfa, castor bean, and acacia showed high biomass production in high-density plantations.

Key Words: growth, productivity, planting density, selection, sustainability.

INTRODUCCIÓN

El bosque templado y las áreas de matorral semidesértico muestran perturbación considerable debido a la presión ejercida por el cambio en el uso del suelo y la extracción de madera, leña y materia orgánica, ésta última usada como abono (humus) (SEMARNAT, 2012). Con base en lo anterior, se inició la búsqueda de materia prima para la elaboración de biocombustibles de alternativa (Hoogwijk *et al.*, 2005), como es el caso de pélets y briquetas (Ortiz, 2008; Forero *et al.*, 2012; Ríos *et al.*, 2018). En el caso de suelos agrícolas, se ha observado una cantidad baja de materia orgánica (Rosales *et al.*, 2019), lo que ocasionó degradación físico-química, productividad baja y dependencia de fertilizantes químicos. Por ello, se inició el estudio sistemático de especies vegetales, de crecimiento rápido (Álvarez, 2009), las cuales son de utilidad en la producción intensiva de biomasa y elaboración industrial de

productos orgánicos, como composta y Bocashi (FAO, 2011, Rosales *et al.*, 2018), sin competir directamente con la alimentación humana y ganado doméstico. Se requieren especies con productividad alta de materia seca, para lograr que en espacios pequeños se obtengan cantidades altas de insumos para elaborar biocombustibles y abonos orgánicos.

Se carece de estudios sistemáticos de fuentes alternativas para la producción de la biomasa que será utilizada en la elaboración de biocombustibles sólidos. Además, existe desconocimiento de la utilidad de la biomasa para la elaboración de abonos orgánicos que permitan el enriquecimiento del suelo agrícola. La disponibilidad de combustibles con poder calorífico alto, combustión eficiente y niveles bajos para la producción de ceniza mejorará la eficiencia de diferentes actividades económicas. Además, es necesario considerar la obtención de biocombustibles que reduzcan la emisión de

gases de efecto invernadero y sirvan de complemento para el uso de carburantes de origen fósil (REMBIO, 2011). En el caso de la biomasa utilizada en la elaboración de abono orgánico, se requiere materia prima con un balance carbono: nitrógeno (C:N) cercano de 25:1 (USDA, 2011).

México es un país megadiverso, donde es posible encontrar especies vegetales, endémicas e introducidas, que son útiles en la producción de biocombustibles (Reveles *et al.*, 2010) y abonos agrícolas. El álamo blanco (*Populus alba*), acacia (*Acacia retinoides*), higuera (*Ricinus communis*), maralfalfa (*Pennisetum* sp.) y sauce (*Salix* sp.) son especies con potencial para la producción de biomasa en sistemas intensivos (Maslin y McDonald, 2004). El presente estudio establecerá la productividad de especies utilizadas en las plantaciones para la producción intensiva de biomasa. Como resultado, se espera contar con la información necesaria para seleccionar especies vegetales que muestren producción alta de biomasa y eficiencia en la transformación de ésta en abonos orgánicos y biocombustibles. Con ello, se fortalecerá el desarrollo industrial y las actividades agropecuarias y forestales, todo dentro de un marco de sostenibilidad de la producción primaria. El objetivo fue evaluar la producción intensiva de biomasa con especies vegetales cultivadas para la obtención de abonos orgánicos y generación de bioenergía.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del Área de Estudio. Se plantaron cinco especies de crecimiento rápido en el Campo Experimental Valle del Guadiana-INIFAP, en Durango, Dgo., México. Las especies incluidas fueron de tipo herbáceo: (higuera y maralfalfa), arbustivo-arbóreo (acacia) y arbóreo (álamo blanco y sauce). La acacia (*Acacia retinoides*) se propagó por medio de semilla, la cual fue germinada en una cámara con condiciones controladas de temperatura (25 °C) y humedad (80 %). En el caso de higuera

(*Ricinus communis*) se plantaron semillas directamente en la maceta con sustrato y éstas fueron obtenidas en una población local perteneciente a una colecta conocida como “Rosita”. Las especies propagadas vegetativamente fueron maralfalfa (*Pennisetum* sp.), álamo blanco (*Populus alba*) y sauce (*Salix* sp.). En la reproducción vegetativa se utilizaron rizomas (maralfalfa) y brotes tiernos con raíz (álamo blanco y sauce). En vivero se utilizaron macetas de 5 kg de capacidad y 4 kg de sustrato de reúso, el cual se preparó a base de suelo, turba y vermiculita en la proporción (50:25:25). El vivero se estableció en febrero de 2018 y se aplicó riego en forma regular (cada cuatro días) para evitar el estrés de humedad de las plantas en crecimiento.

Descripción del Sitio de Plantación. El experimento está ubicado en el municipio de Durango, en las coordenadas geográficas 23° 59' 14" latitud N, 104° 37' 19" longitud O y una altitud de 1,880 m. El suelo predominante es del tipo franco (arenoso y arcilloso), el cual tiene capacidad intermedia para la retención de humedad, profundidad media, pendiente de 0 a 2 %, pH de 7.9 y es pobre en materia orgánica, fósforo y nitrógeno. El clima predominante en la región es templado semiárido [BS₁ kw (w) (e)], con régimen de lluvias en verano, variación fuerte de temperatura y la media anual para dicha variable es de 17.1 °C (García, 1987). La lluvia acumulada durante el año alcanza un promedio de 476 mm, con valores altos entre junio y septiembre (Medina *et al.*, 2005).

Manejo Agronómico. La preparación del suelo, previa a la plantación, consistió en un subsoleo cruzado, un paso de rastra, surcado, riego y un segundo paso de rastra. Después, se efectuó el trazo de la plantación y se inició el trasplante en hoyos realizados con palas poceras que mostraron el ancho suficiente para introducir el cepellón completo. Después, se cubrió el cepellón con tierra y se apisonó el suelo para asegurar el trasplante correcto de las plantas.

La plantación se realizó el 6 y 7 de junio, lo cual correspondió con el ciclo Primavera-Verano de 2018. Se utilizó un diseño completamente aleatorio (franjas apareadas) con arreglo en parcelas divididas (Densidades y Especies) y ocho repeticiones. Se utilizaron dos densidades de plantación: baja en hilera sencilla (4,934 plantas ha⁻¹) y alta en hilera doble (8,902 plantas ha⁻¹). En densidad baja la distancia entre hileras fue de 3 m y entre plantas de 0.60 m; mientras que en el caso de la densidad alta se utilizó una distancia entre plantas de 0.75 m y 0.60 m.

Se instaló el sistema de riego presurizado por goteo con cintilla de 16 mm, dispersores cada 20 cm y un gasto de 1 L h⁻¹. La parcela experimental consistió de una hilera (sencilla y doble) de 7.2 m de longitud, con 12 plantas en hilera sencilla y 24 plantas en el caso de hilera doble. Se fertilizó 35 días después del trasplante (DDT), mediante la incorporación de fertilizante granulado con la dosis 35-50-00 para nitrógeno (N), fósforo (P₂O₅) y potasio (K₂O). El control de la maleza se realizó mediante tres pasos de rastra por los callejones y tres deshierbes manuales realizados con azadón. Se aplicó insecticida en dos ocasiones (una con clorpirifos + gamma cyhalotrina: Látigo ® y otra con spinetoram: Palgus®) para el control de insectos plaga.

Se aplicaron ocho riegos de auxilio, además de la lluvia acumulada, para evitar el estrés hídrico en las plantas de todas las especies incluidas en el estudio. Con ello, se pretendió lograr una expresión alta del potencial genético para la producción de biomasa. Los riegos fueron ligeros, con una duración de 4 h y un gasto por gotero de 1 L h⁻¹. La lámina de riego acumulada

(L_{RA}) fue de 48 L m⁻² en hilera sencilla y 86 L m⁻² en hilera doble.

Variables Evaluadas. Las variables morfológicas se evaluaron mensualmente, como fue el caso del incremento en la altura de la planta, diámetro de copa y diámetro basal del tallo (DAC). Además, se analizaron los registros diarios de las temperaturas máximas y mínimas (CONAGUA, 2018; INIFAP, 2018); así como, la lluvia durante el periodo entre la plantación y cosecha de biomasa (126 DDT). Después, se calcularon los promedios (temperaturas máximas y mínimas) y la lluvia acumulada en periodos de cinco días (Figura 1).

Se determinó el rendimiento de biomasa fresca y seca a los 126 DDT (16 de octubre de 2018), para lo cual, inicialmente se cortaron cuatro plantas individuales por parcela. En campo se obtuvo el peso fresco de cada planta por separado y luego se introdujeron en bolsas de papel a una estufa de aire forzado para obtener el peso seco. Después, se cortaron parcelas útiles de 6 m lineales en cuatro repeticiones de la plantación a hilera sencilla (20.3 m²) e hilera doble (22.5 m²). La biomasa fresca, obtenida en cada parcela útil, se ajustó con la proporción media de materia seca determinada a nivel de planta.

Análisis Estadístico. En primera instancia se realizó un análisis de varianza (ANOVA). En los casos en los que el ANOVA mostró significancia se realizó un análisis con base a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). El análisis de varianza y la prueba de medias se obtuvieron con el programa de cómputo SAS® ver. 9.4.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Condiciones Agroclimáticas. En el ciclo Primavera-Verano de 2018, el valor para la lluvia acumulada fue alto en Durango (Cuadro 1; Figura 1) y se acumularon 444 mm. A pesar de lo anterior, su distribución fue irregular y se hizo necesaria la aplicación de ocho riegos de auxilio,

para evitar estrés hídrico en las plantas durante la etapa vegetativa y el periodo reproductivo (higuerilla). La temperatura mínima registrada durante el ciclo de cultivo fue alta y alcanzó un valor promedio de 14.1 °C, lo que favoreció el crecimiento y desarrollo de las especies, aunque también la incidencia de enfermedades e insectos plaga, como diabrotica (*Diabrotica* sp.),



catarina negra (*Triplax* sp.) y gusano elotero (*Heliothis zea*). Lo anterior, influyó directamente sobre el rendimiento de biomasa obtenido en sauce y en menor medida en las demás especies.

La temperatura máxima mostró valores altos al inicio del ciclo biológico del cultivo (25.6 °C a 31.6 °C), después se mantuvo el resto del ciclo

entre 22.5 °C y 28.3 °C. El descenso en la temperatura mínima registrado a finales de septiembre (9.8 °C), en combinación con las lluvias abundantes registradas en septiembre (75.2 mm) y octubre (64.0 mm), favorecieron la acumulación de biomasa antes del corte y el descenso drástico de las temperaturas (heladas).

Cuadro 1. Variables climáticas registradas en el ciclo primavera-verano de 2018. Durango, México.

Sitio	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)	Lluvia Acumulada (mm)
Durango, 2018*	26.9	14.1	444

*Primavera-Verano, 2018. CONAGUA, 2018 e INIFAP, 2018.

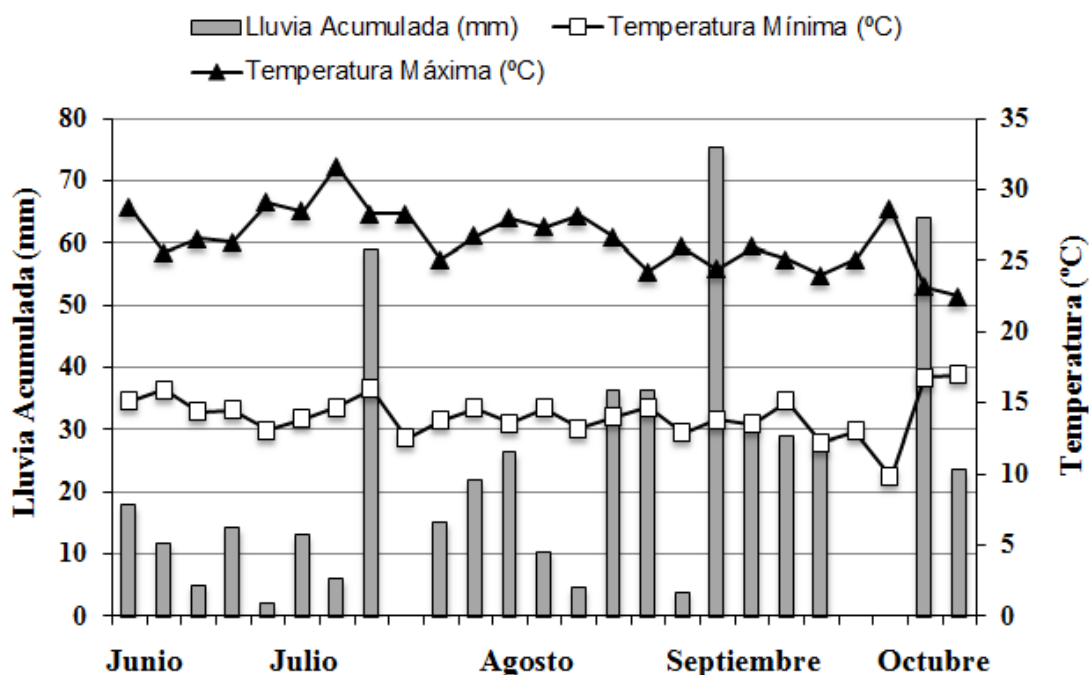


Figura 1. Lluvia acumulada y promedios de temperatura máxima y mínima en periodos de cinco días. Estación Agrometeorológica Durango (CEVAG y CONAGUA, 2018).

Variables Morfológicas. En lo referente a la maralfalfa se observaron plantas con mayor altura en hilera doble (360 cm) y sencilla (356 cm), con variación baja entre densidades de plantación (Figuras 2 y 3). En contraste, las especies arbóreas, especialmente sauce, mostraron altura inferior de la planta, durante el periodo de evaluación, con 132 cm en hilera doble y 111 cm en hilera sencilla. Lo anterior, a

pesar de mostrar altura de planta similar durante el trasplante con respecto a otras especies como higuera y acacia, las cuales mostraron altura mayor al término del periodo de evaluación. La higuera, redujo la altura de la planta por efecto de la densidad de población en hilera doble (231 cm) en comparación con hilera sencilla (274 cm). Lo anterior, debido a la competencia establecida rápidamente entre plantas que muestran copa

amplia, hojas palmatilobuladas- anchas y difirieron de los obtenidos en otros estudios con sombreado entre individuos, lo que afecta la acumulación de biomasa y morfología de la planta (Martins *et al.*, 2011). Los resultados de la planta (Oliveira *et al.*, 2017).

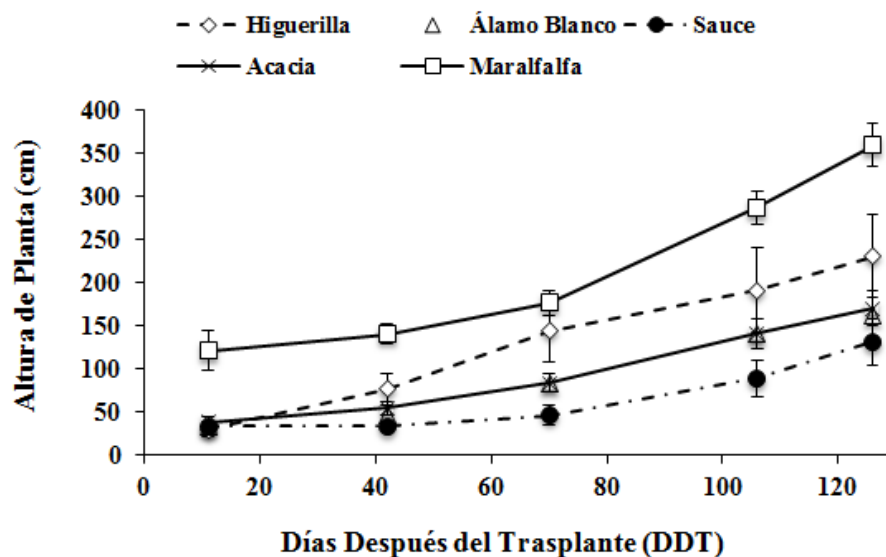


Figura 2. Incremento de altura de la planta en especies cultivadas para la producción de biomasa en hilera doble. Durango, 2018.

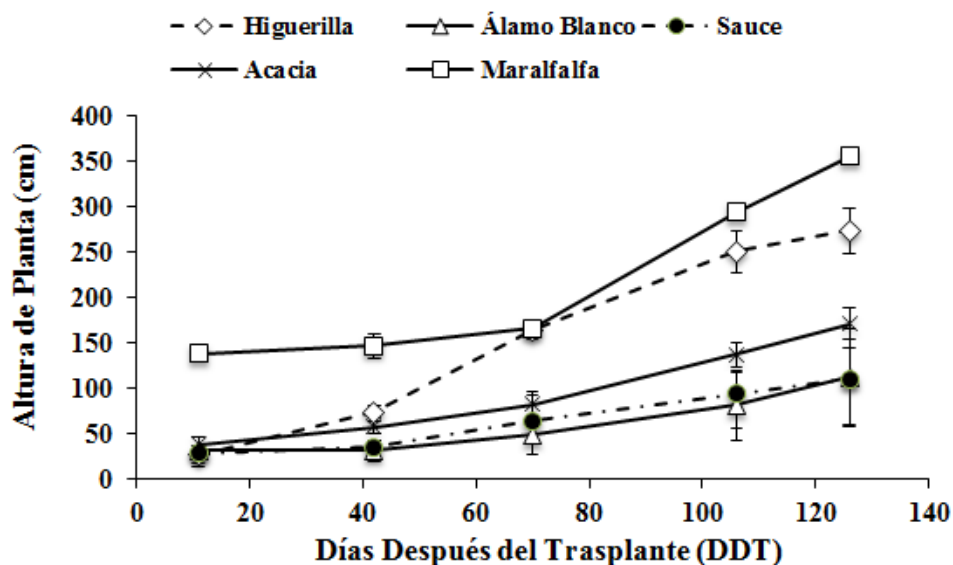


Figura 3. Incremento de altura de la planta en especies cultivadas para la producción de biomasa hilera sencilla. Durango, 2018.

El mayor diámetro del tallo (DAC) se alcanzó en higuera a hilera sencilla 106 DDT (42 mm) y se mantuvo en las fechas de evaluación posterior (Figura 4). En hilera doble se mantuvo la tendencia, aunque los valores fueron inferiores 34.8 mm, debido a la competencia ejercida entre plantas (Figura 5). Lo anterior, concuerda con los resultados obtenidos por De Souza-Schlick *et al.*, 2014, donde evaluaron el crecimiento de la higuera en altas densidades, estos autores

reportan una reducción del diámetro basal del tallo a medida que se incrementó la densidad de población. La maralfalfa alcanzó el valor máximo con 20 mm, a los 70 DDT en ambas densidades de plantación y luego mantuvo el DAC en las fechas posteriores de evaluación. Aunque en esta especie se observó igualdad en el DAC de

los tallos, se incrementó el diámetro del macollo alcanzando 26.7 cm en hilera sencilla y 21.4 cm en hilera doble. Las especies arbustivas (acacia) y arbóreas (sauce y álamo blanco) mostraron valores bajos del DAC, en ambas densidades de plantación.

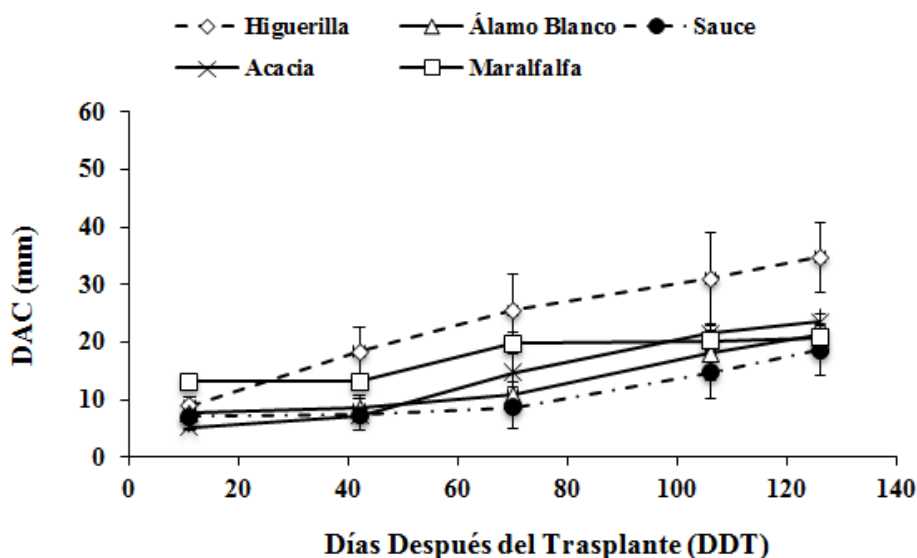


Figura 4. Incremento del diámetro a la altura de la corona (DAC) en especies cultivadas para la producción de biomasa en hilera doble. Durango, 2018.

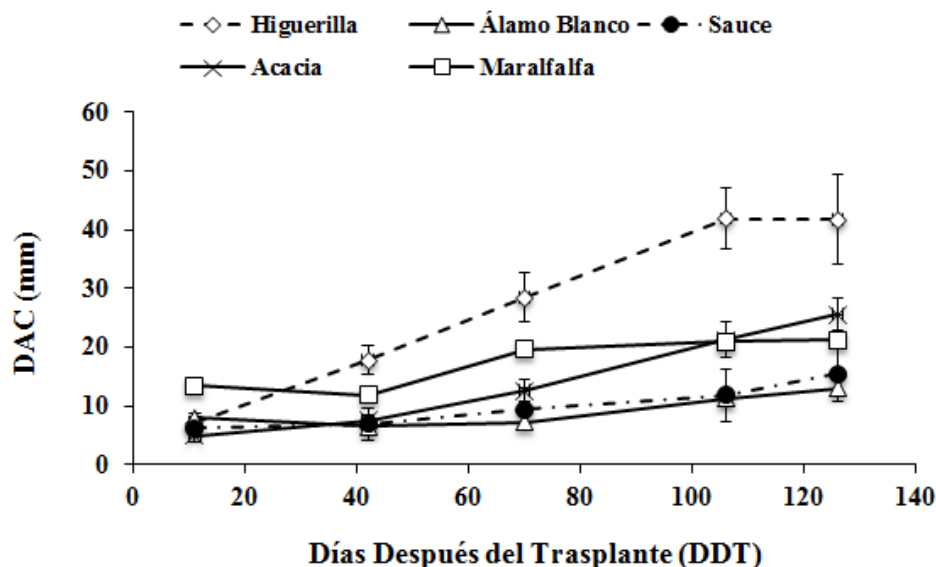


Figura 5. Incremento del diámetro a la altura de la corona (DAC) en especies cultivadas para la producción de biomasa en hilera sencilla. Durango, 2018.

El diámetro de copa fue mayor en higuera en hilera sencilla (190 cm), el cual se alcanzó 106 DDT y luego decreció 173 cm a los 126 DDT (Figura 6). En el caso de hilera doble se observó

incremento constante, hasta los 126 DDT (114 cm) y el valor fue bajo en comparación con la densidad inferior (Figura 7). En hilera doble sobresalió también álamo blanco con 131 cm a los 126 DDT, aunque los valores entre las dos últimas fechas de muestreo fueron similares. En las especies herbáceas se observó efecto de

competencia considerable entre plantas, lo cual influyó en forma negativa sobre el diámetro de copa. En contraste, en las especies arbóreas se observó incremento constante para esta variable, debido al menor nivel de crecimiento y ramificación de las plantas.

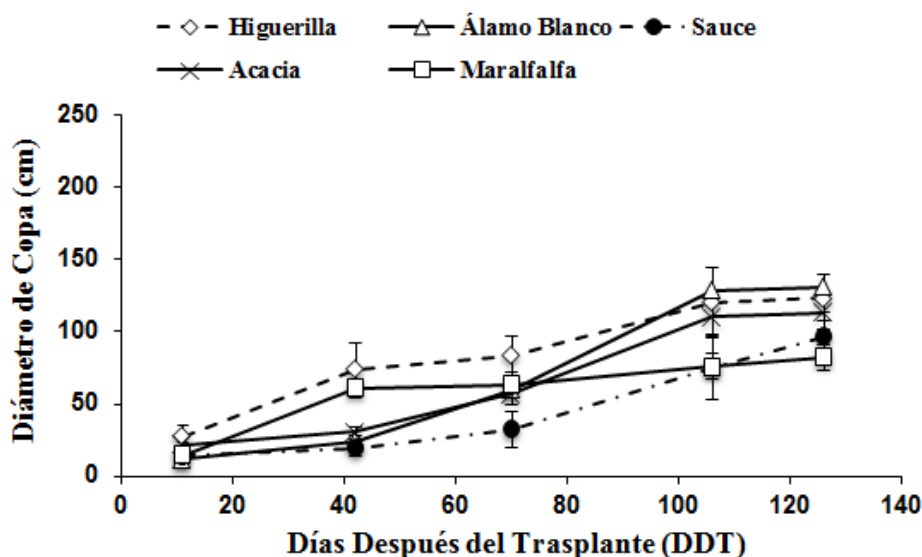


Figura 6. Incremento del diámetro de copa en especies cultivadas para la producción de biomasa en hilera doble. Durango, 2018.

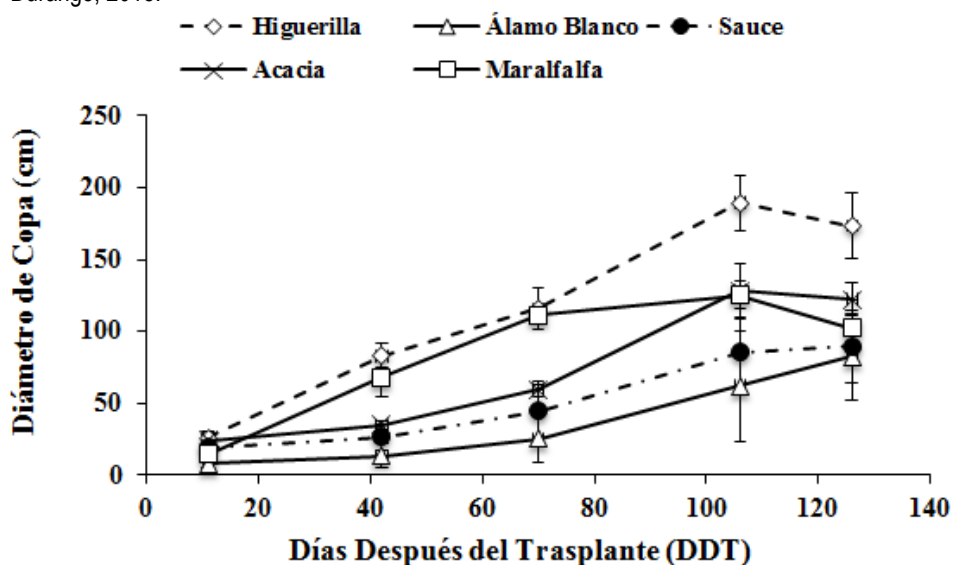


Figura 7. Incremento del diámetro de copa en especies cultivadas para la producción de biomasa en hilera sencilla. Durango, 2018.

Rendimiento de Biomasa. Se observaron de biomasa fresca y seca (Cuadro 2). Además, diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$), se observó significancia para la interacción entre densidades y especies, para el rendimiento Densidad x Especie, lo que se relacionó con la

modificación de la respuesta de las especies evaluadas entre las dos densidades de población incluidas en el estudio. La producción significativamente mayor de biomasa se observó en la plantación en hilera doble, con 25,480 kg ha⁻¹ para el peso fresco y 5,215 kg ha⁻¹ para peso seco. La densidad alta de población (hilera doble) favoreció el incremento de 40 % en la producción media de biomasa para todas las especies incluidas en el estudio (Cuadro 3). La especie con rendimiento significativamente superior de biomasa fresca fue maralfalfa con 81,496 kg ha⁻¹ en hilera doble y 49,193 kg ha⁻¹

en hilera sencilla (Cuadro 3). En contraste, las especies arbóreas mostraron los rendimientos de biomasa fresca significativamente inferiores (740 kg ha⁻¹ a 5,882 kg ha⁻¹). La producción de biomasa seca fue significativamente mayor en hilera doble (5,215 kg ha⁻¹) y la maralfalfa mostró los valores significativamente más altos, con 14,461 kg ha⁻¹ en hilera doble y 10,809 kg ha⁻¹ en hilera sencilla. La higuera mostró también producción alta de biomasa seca, en ambas densidades de plantación, aunque ésta fue inferior a la observada en maralfalfa.

Cuadro 2. Cuadrados medios del análisis de varianza para la producción de biomasa en especies evaluadas en dos densidades de población.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Biomasa Fresca (kg ha ⁻¹)	Biomasa Seca (kg ha ⁻¹)
Densidad (D)	1	1054113917**	38738506.0**
Repetición	3	4859934	221296.5
Especie (E)	4	5510218536**	189111397.2**
D x E	4	303828200**	1775388.4**
Error	27	21847604	1775388.4
¹ C. V. (%)		23	20
Promedio		20,346	4,231

¹C. V. = coeficiente de variación.

Cuadro 3. Rendimiento de biomasa fresca y seca en diferentes especies cultivadas en dos densidades de plantación. 2018.

Especie	Biomasa Fresca kg ha ⁻¹	Biomasa Seca kg ha ⁻¹	
		Hilera Doble	
Higuera	24,106 ^b		4,774 ^b
Alamo Blanco	5,296 ^c		1,761 ^d
Sauce	5,882 ^c		1,810 ^d
Acacia	10,618 ^c		3,269 ^c
Maralfalfa	81,496 ^a		14,461 ^a
Promedio	25,480 ^A		5,215 ^A
		Hilera Sencilla	
Higuera	18,882 ^b		3,288 ^b
Alamo Blanco	740 ^c		239 ^d
Sauce	818 ^c		213 ^d
Acacia	6,430 ^c		1,684 ^c
Maralfalfa	49,193 ^a		10,809 ^a
Promedio	15,213 ^B		3,247 ^B
Promedio General	20,346		4,231

La maralfalfa es una opción productiva para la obtención de cantidades altas de biomasa, fresca y seca, en el corto plazo (126 días) (Jiménez *et al.*, 2014; Santos *et al.*, 2018). Otras opciones productivas son higuera y acacia, aunque la producción de biomasa es inferior. En el caso de las especies arbóreas mostraron nivel

bajo de producción de biomasa, aunque es posible que dicha situación cambie en el largo plazo. Lo anterior, debido a la posibilidad de continuar su crecimiento durante la época seca y fría del año, en la cual se observó daño completo por helada en maralfalfa, higuera y acacia.

CONCLUSIONES

La evaluación semi-comercial de producción de biomasa en altas densidades de plantación de diferentes especies, mostró la capacidad alta que tienen maralfalfa, higuera y acacia para este fin. Otro factor importante en la respuesta de la producción de biomasa de estas especies fue la temperatura, precipitación pluvial y riego influyeron positivamente en todas las variables evaluadas. Por otro lado, el álamo blanco y sauce requieren más de un ciclo de cultivo para producir cantidades altas de biomasa. Las gestiones de cultivos de rápido crecimiento en altas densidades de plantación pueden ser utilizadas en la producción de biomasa para la utilización de abonos orgánicos y dendroenergía.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo parcial, obtenido a través del proyecto: "Opciones tecnológicas para el desarrollo integral y sostenible de la producción agropecuaria y forestal en Durango", el cual fue financiado con recursos fiscales INIFAP (Número 9573834038).

LITERATURA CITADA

Álvarez M., C. 2009. Biocombustibles: desarrollo histórico-tecnológico, mercados actuales y comercio internacional. *Economía Informa* 359: 63-89.

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2018. Dirección local Durango. Observaciones meteorológicas 2018. Durango, Méx. 3 p.

de Souza-Schlick, G. D., R. P. Soratto, and M. D. Zanotto. 2014. Optimizing row spacing and plant population arrangement for a new short-height castor genotype in fall-winter. *Maringá* 36(4): 475-481.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2011. Elaboración y uso del Bocashi. El Salvador. 12 p. Consultado en línea 30/05/2019. <http://www.fao.org/3/a-at788s.pdf>.

Forero N., C. A., C. A. Guerrero F., y P. E. Sierra V. 2012. Producción y uso de pellets de biomasa para la generación de energía térmica: una revisión a los modelos de gasificación. *ITECKNE* 9(1): 21-30.

García M., E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 4a. ed. Enriqueta García de Miranda. México, D. F. 217 p.

Hoogwijk M., A. P. C. Faaij, B. Eickhout, B. de Vries, and W. C. Turkenburg. 2005. Potential of biomass energy out to 2100, for four IPCC SRES land-use scenarios. *Biomass and Bioenergy* 29(4): 225-257.

INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). 2018. Consultado en línea 15/11/2018.

Jiménez O., R., P. A. Domínguez M., R. Rosales S., C. A. Nava B., y F. O. Carrete C. 2014. Rendimiento y calidad del forraje de maralfalfa. 1er. Congreso Internacional de Investigación Agropecuaria y Forestal. Edo. Méx. Méx. pp. 188-195.

- Martins, V. F., C. R. B. Haddad, and J. Semir. 2011. Responses of the invasive *Ricinus communis* seedlings to competition and light. *New Zealand Journal of Botany* 49(2): 263-279.
- Maslin, B. R. and M. W. McDonald. 2004. Evaluation of *Acacia* as a woody crop option for Southern Australia. CSIRO. Canberra, Australia. 30 p.
- Medina G., G., G. Díaz P., J. López H., J. A. Ruiz C., y M. Marín S. 2005. Estadísticas climatológicas básicas del estado de Durango (Periodo 1961-2003). Libro Técnico Núm. 1. SAGARPA-INIFAP-CIRNOC-Campo Experimental Valle del Guadiana. Durango, Dgo. México. 224 p.
- Oliveira B., A., J. F. de Brito N., G. D. Cardoso and L. Silva do V. 2017. Growth and yield of castor bean (*Ricinus communis* L.) CV. 'BRS Energia' under different spacings. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 20(2017): 289-295.
- Ortiz T., L. 2008. Producción de biocombustibles sólidos de alta densidad en España. *Boletín del CIDEU* 5: 107-123. Consultado en línea 08/08/2019. Dialnet-ProduccionDeBiocombustiblesSolidosDeAltaDensidadEn-2718831.pdf
- REMBIO (Red Mexicana de Bioenergía, A. C.). 2011. La bioenergía en México, situación actual y perspectivas. Cuaderno Temático Núm. 4. REMBIO, México. 42 p.
- Reveles S., F. O., R. Rosales S., C. A. Nava B., E. Delgado L., E. I. Cuéllar R., F. O. Carrete C., y J. C. Ríos S. 2010. Identificación de especies vegetales con potencial para la producción de biocombustibles líquidos en Durango, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 1(1): 45-54.
- Ríos S., J. C., R. Rosales S., R. Jiménez O., P. A. Domínguez M., y A. Carrillo P. 2018. Calidad de pélets elaborados mediante la densificación de material lignocelulósico de maralfalfa producida en Durango. Memoria de la XXX Semana Internacional de Agronomía FAZ-UJED. Gómez Palacio, Dgo. Méx. pp. 861-867.
- Rosales S., R., J. C. Ríos S., R. Jiménez O., A. Carrillo P., C. A. Nava B., y P. A. Domínguez M. 2018. Rendimiento y calidad de biomasa en especies cultivadas para obtención de energía y abonos en Durango. *Revista Agro FAZ Edición Especial INIFAP-CELALA*: 139-153.
- Rosales S., R., C. M. Reyes R., S. B. Rosales A., J. C. Ríos S., I. A. Ortiz S., and S. Valdez O. 2019. Common bean monocrop effects on soil chemical degradation in Durango, México. *The Annual Report of the Bean Improvement Cooperative* 62(1): 93-94.
- Santos R. L., F. J. Freire, A. T. Rocha, J. A. A. Silva, J. A. Tavares, E. G. B. Sousa Ferreira, E. C. A. Oliveira. 2015. Elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum.) biomass production as a promising alternative source of energy in Brazil's semiarid area using gypsum. *Australian Journal of Crop Science* 9(11): 1082-1088.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2012. Ecosistemas terrestres. pp. 40-117. Consultado en línea 08/08/2019. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12/pdf/Cap2_ecosistemas.pdf
- USDA (United States Department of Agriculture). 2011. Carbon to nitrogen ratios in cropping systems. USDA NRCS East National Technology Support Center, Greensboro, N. C. 2 p. Consulted on line 15/06/19. https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcseprd331820.pdf