



CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE NUEVE GENOTIPOS DE *Bouteloua curtipendula* CON DOS TAMAÑOS DE CARIÓPSIDE

SEEDLING GROWTH OF NINE GENOTYPES OF *Bouteloua curtipendula* WITH TWO CARYOPSIS SIZES

J. Elvira Ramírez-Meléndez¹, Filogonio J. Hernández-Guzmán², Cándido López-Castañeda¹,
Leonor Miranda-Jiménez¹, Ma. de Jesús Carrillo-Llanos¹ y Adrián R. Quero-Carrillo^{1*}

¹Colegio de Postgraduados, Postgrado en Ganadería, Campus Montecillo, Texcoco, Edo. México, México. ²Universidad Politécnica de Francisco I. Madero, Tepatepec, Francisco I. Madero, Hidalgo, México.

*Autor de correspondencia (queroadrian@colpos.mx)

RESUMEN

Establecer praderas en temporal árido representa un reto, por lo que un rápido desarrollo de la plántula implica ventajas. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el crecimiento inicial de *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr. proveniente de dos tamaños de cariósido. El material vegetal incluyó a las variedades NdeM-125, NdeM-303, NdeM-417, NdeM-La Resolana y los genotipos CP-62 (Coahuila), CP-Centauro (Durango), CP-Teloxtoc (Puebla), CP-Ñañú1 (Hidalgo) y CP-Mixe (Oaxaca), con tamaños de cariósido grande (CG) y chico (CCh). Cariósidos de cada tamaño se sembraron en almácigo en sustrato de suelo, tepezil (mineral inerte y liviano que facilita la aireación y capilaridad) y corteza molida de árbol a razón 2:1:1. Se realizó trasplante en tubetes de 70 cm³ 21 días después de siembra (dds) bajo un diseño completamente al azar. Se realizaron muestreos destructivos a los 43, 56, 67, 81 y 96 días después de siembra (dds) en condiciones de invernadero. Se determinó el peso de los componentes morfológicos en cada muestreo y se calculó la tasa absoluta de crecimiento (TAC), área foliar específica (AFE), tasa relativa de crecimiento (TRC) y tasa de asimilación neta (TAN). Se realizó análisis de varianza y prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). El rendimiento de materia seca (MS) de componentes morfológicos fue diferente ($P \leq 0.05$) a 56 dds y se observó que sembrar CG en NdeM-La Resolana resultó en mayor MS aérea y radical y mostró mayor peso de inflorescencia ($P \leq 0.05$) a 81 y 96 dds. Los valores máximos para TAN y TRC ocurrieron en etapas iniciales y disminuyeron a mayor edad de planta para todos los materiales. En TRC, NdeM-125 con CG fue mayor conforme avanzó la edad de la planta, mientras en TAN, CP-Ñañú1 mostró mayores valores ($P \leq 0.01$). El AFE fue mayor para todos los materiales a 81 y 96 dds y CP-Mixe con CCh fue el mejor tratamiento. Seleccionar por tamaño de cariósido resulta en desarrollo diferencial de plántula. Las plantas de NdeM-La Resolana a partir de ambos tamaños de cariósido mostraron producción de semilla precoz, lo que resulta valioso para auto-recuperación de agostaderos.

Palabras clave: *Bouteloua curtipendula*, cariósidos clasificadas, crecimiento al establecimiento, desarrollo de plántula.

SUMMARY

Establishing rainfed grasslands under arid conditions represents a challenge; thus, rapid seedling development has advantages. This study aimed to evaluate the initial growth of *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr. coming from two sizes of caryopsis. The plant material included the varieties NdeM-125, NdeM-303, NdeM-417, NdeM-La Resolana and genotypes CP-

62 (Coahuila), CP-Centauro (Durango), CP-Teloxtoc (Puebla), CP-Ñañú1 (Hidalgo) and CP-Mixe (Oaxaca) with large (LC) and small (SC) caryopsis sizes. Caryopses of each size were planted into seedbeds using soil, tepezil (an inert and light mineral that facilitates aeration and capillarity), and tree bark as substrate at a 2:1:1 ratio. The transplant was carried out into 70 cm³ tubes 21 days after sowing (DAS) under a completely randomized design. Destructive sampling was performed at 43, 56, 67, 81 and 96 DAS under greenhouse conditions. The weight of a morphological components at each sampling was determined, and the absolute growth rate (AGR), specific foliar area (SFA), relative growth rate (RGR) and net assimilation rate (NAR) were calculated. Analysis of variance and Tukey mean comparison test ($P \leq 0.05$) were performed. Dry matter (DM) production of morphological components was different ($P \leq 0.05$) at 56 DDS; also, planting LC of NdeM-La Resolana resulted in higher both aerial and root DM ($P \leq 0.05$) and inflorescence weight at 81 and 96 DAS. The maximum values for NAR and RGR occurred at the initial stages and decreased as plants got older in all materials. For RGR, NdeM-125 SC was higher as the age of the plant advanced, while for NAR, CP-Ñañú1 showed higher values ($P \leq 0.01$). SFA was highest for all materials at 81 and 96 DDS, and CP-Mixe with SC was the best treatment. Selection for caryopsis size results in differential seedling development. Plants of NdeM-La Resolana from both caryopsis sizes showed early seed production, which is valuable for self-recovering of rangelands.

Index words: *Bouteloua curtipendula*, classified caryopses, growth to establishment, seedling development.

INTRODUCCIÓN

Las zonas áridas y semiáridas en México representan más del 50 % de territorio y éstas se dividen en dos tipos de vegetación, los matorrales que cubren 85 % y los pastizales que representan 15 %, situación que era inversa hace 150 años (PMARP, 2012). El uso de gramíneas para la recuperación de la antigua condición y funcionalidad del pastizal representa una herramienta potencial para disminuir el avance de la desertificación al cubrir el suelo rápida y efectivamente (Sánchez-Arroyo *et al.*, 2018) para su conservación ecológica y utilización bajo pastoreo, para lo cual es importante inducir un elevado vigor de planta y alta densidad de macollos mediante buen manejo (Quero

et al., 2017a; Quero-Carrillo et al., 2014).

México es un centro de diversidad genética de muchas especies de pasto (Poaceae), entre ellas 57 del género *Bouteloua*, incluyendo al pasto Banderita (*Bouteloua curtipendula*), que se encuentra distribuida desde Canadá hasta Argentina (Peterson et al., 2015). Al respecto, se ha recolectado y evaluado germoplasma; sin embargo, esta actividad no se había realizado de manera sistemática (Morales et al., 2009). Para la rehabilitación de áreas degradadas de zonas semiáridas de México, Corrales et al. (2016) recomendaron el uso de especies nativas de pastos como Banderita, con el fin de no alterar el ecosistema de las zonas de escasa precipitación por ser tan vulnerable.

Para establecer praderas de temporal existen recomendaciones como usar las unidades de dispersión completas (glumas, lemas, paleas, aristas y ramillas modificadas) o cariósides, otro factor a considerar es la latencia dada por barreras hormonales y físicas para imbibición y germinación (Quero-Carrillo et al., 2016); por lo anterior, recomendaron no eliminar brácteas florales en pastos nativos, mientras que en pastos introducidos sí es importante eliminar éstas para incrementar la germinación. En zonas semiáridas las siembras se realizan al establecimiento del temporal (julio) y dado que las temperaturas congelantes ocurren en octubre, los pastos tienen poco más de 90 días para establecerse, periodo en que la evaluación es importante.

El tamaño de cariósido ha sido importante para obtener, a través de mayor tamaño de embrión y reservas del endospermo, mayor peso y vigor de plántula en cultivos como maíz (García-Rodríguez et al., 2018) y en pastos como *Lolium perenne* L. (Smith et al., 2003) y pasto Banderita (Quero et al., 2017b) y mayor velocidad de germinación a diversas profundidades de siembra (Corrales et al., 2016). Por tanto, es importante evaluar el comportamiento de nuevas variedades y genotipos de pastos de zonas semiáridas de México y determinar su posible potencial de crecimiento los días iniciales después de la siembra para seleccionar por su aptitud competitiva de manera eficiente contra la maleza y sequía intraestival severa, entre otros aspectos que afectan su establecimiento en temporal semiárido.

El análisis de crecimiento vegetal usa mediciones directas como la materia seca y área foliar con la finalidad de describir crecimiento, lo que puede apoyar con mayor certidumbre la decisión de seleccionar genotipos para mejor establecimiento de praderas, esto incluye: 1) tasa absoluta de crecimiento, definida como la capacidad vegetal para producir material nuevo en un tiempo determinado; Hunt (2017) y Barrera et al. (2010) la describieron como

incremento en peso por unidad de tiempo; 2) tasa relativa de crecimiento, definida como la eficiencia para producir materia seca en un tiempo dado expresada en $\text{g g}^{-1} \text{d}^{-1}$ (Di Benedetto y Tognetti, 2016), mientras que James y Drenovsky (2007) la definieron como la capacidad de producir material nuevo a partir de una unidad de peso; 3) área foliar específica, la cual establece la relación entre área foliar y peso foliar como medida de abundancia foliar, ésta disminuye con la edad por remoción de carbohidratos solubles desde la hoja hacia los cariósides (Pérez et al., 2004); 4) tasa de asimilación neta, definida como indicador de biomasa acumulada en función del aparato fotosintético y del tiempo (Álvarez-Holguín et al., 2017) o indicador de eficiencia del tejido asimilador de radiación solar para producir materia seca a través de fotosíntesis laminar (James, 2008). Los trabajos relacionados con las variables de crecimiento en pastos nativos como *B. curtipendula* con diferente tamaño de semilla son escasos; por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue analizar el crecimiento de plántulas provenientes de dos tamaños de cariósido en materiales de esta especie.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental y material genético

El estudio se llevó a cabo en condiciones de invernadero en el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México, del 31 de mayo al 4 de septiembre de 2017. La temperatura del invernadero, determinada con data logger cada media hora, en promedio fue de 22.5 °C, máxima de 41 °C y mínima de 13 °C.

Las semillas de *B. curtipendula* utilizadas provinieron de cosechas realizadas en 2016 (Cuadro 1), las cuales se mantuvieron en bolsas de manta en condiciones de laboratorio hasta su uso.

Cariósides de cada material fueron obtenidos mediante la eliminación de brácteas accesorias por fricción física manual, con almohadilla y tapete corrugado; posteriormente, se separaron por tamaño con ayuda de tamices de 6 mm y se eliminaron cariósides con cualquier daño físico mínimo visible; lo anterior, con auxilio de microscopio estereoscópico.

Tratamientos, diseño y unidad experimental

Los cariósides se clasificaron por peso para cada genotipo. Se consideraron como cariósides grandes aquellos en un intervalo de peso entre 0.0005 y 0.0010 g y como chicos a los inferior a 0.0005 g. Los tratamientos incluyeron nueve materiales genéticos de *B. curtipendula* con los dos tamaños de cariósido: grande (CG) y chico

Cuadro 1. Origen de la semilla de *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr. utilizada en el estudio.

Variedad/Genotipo	Identificación [†]	Lugar de cosecha	Fecha de cosecha
NdeM-125	SADER-SNICS: 1730	Chilcuautila, Hidalgo	marzo de 2016
Ndem-303	SADER-SNICS: 1729	Chilcuautila, Hidalgo	marzo de 2016
NdeM-417	SADER-SNICS: 1727	Chilcuautila, Hidalgo	marzo de 2016
NdeM-La Resolana	SADER-SNICS: 2164	Chilcuautila, Hidalgo	marzo de 2016
CP-62		Chilcuautila, Hidalgo	marzo de 2016
CP-Centauro		S. Juan del Río, Durango	octubre de 2016
CP-Teloxtoc		Teloxtoc, Tehuacán, Puebla	octubre de 2016
CP-Ñañú1		Chilcuautila, Hidalgo	octubre de 2016
CP-Mixe		Sierra Juárez, Oaxaca	octubre de 2016

[†]Identificación Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas.

(CCh); es decir, 18 tratamientos con tres repeticiones bajo un diseño completamente al azar. Se consideró a una planta en tubete como la unidad experimental.

Manejo del experimento

Se utilizó un sustrato que incluyó suelo Vertisol del Valle del Mezquital de textura arcillosa, pH 6.9 y 2.4 % de materia orgánica, además de grava yesosa o tepezil y corteza molida de árboles de la zona en proporción 2:1:1, el cual una vez mezclado se esterilizó en autoclave de fabricación propia con capacidad de 1 m³ durante 4 h a 121 °C. La siembra se realizó en sustrato húmedo el 31 de mayo de 2017 en charolas-almácigo de 30 cm de diámetro por 15 cm de profundidad con drenaje, y 21 días después se trasplantó una plántula por tubete de 70 cm³. Los riegos, tanto en charola como en tubete, fueron a saturación conforme a los requerimientos de la plántula. No se presentaron plagas ni enfermedades y no se fertilizó.

Variables evaluadas

Se realizaron muestreos destructivos a los 43, 56, 67,

81 y 96 días después de la siembra (dds) en tres plantas por tratamiento. Las variables evaluadas para cada fecha de muestreo incluyeron área de las láminas foliares (cm²) con integrador de área foliar marca Li-COR (Lincoln, Nebraska, EUA), biomasa total (g MS/planta) incluyendo láminas foliares, raíces, tallos e inflorescencia, así como biomasa de las estructuras morfológicas por separado (g MS/planta); para ello, la planta completa se sacó de la maceta y se colocó en agua corriente hasta que el sustrato se desprendió de las raíces; posteriormente, la planta se separó en sus componente morfológicos: láminas foliares, tallos e inflorescencias. Se consideró a la corona como parte de la raíz y a las vainas como parte del tallo. Las estructuras morfológicas se colocaron en sobres de papel para su secado en estufa de aire forzado de 36 L de capacidad (Marca Dalvo, modelo Basic, Zelian S.A., Buenos Aires, Argentina) a 60 °C durante 48 h (peso constante) y se pesó con balanza eléctrica de precisión (± 0.001 g) (Sartorius, modelo 1984, Bohemia, New York, EUA).

Adicionalmente se determinaron variables de crecimiento, por la diferencia en días entre cortes: tasa de crecimiento relativo (TRC), tasa de asimilación neta (TAN) y área foliar

Cuadro 2. Índices de crecimiento evaluados en materiales de *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.

Índice	Fórmula	Unidad	Referencia
TAC	$(PS_2 - PS_1) / (T_2 - T_1)$	g d ⁻¹	(Hunt, 2003)
TRC	$(\ln PS_2 - \ln PS_1) / (T_2 - T_1)$	g g ⁻¹ d ⁻¹	(Di Benedetto y Tognetti, 2016)
AFE	AF / PSH	cm ² g ⁻¹	(Pérez <i>et al.</i> , 2004)
TAN	$[(PS_2 - PS_1) / (T_2 - T_1)] \times [(\ln AF_2 - \ln AF_1) / (AF_2 - AF_1)]$	g cm ⁻² d ⁻¹	(Álvarez-Holguín <i>et al.</i> , 2017)

TAC: tasa absoluta de crecimiento, TRC: tasa relativa de crecimiento, AFE: área foliar específica, TAN: tasa de asimilación neta, PS: peso seco planta completa, AF: área foliar, ln: logaritmo natural, PSH: peso seco de hojas, T: tiempo (días), T₁: medición inicial, T₂: medición final en cada intervalo de tiempo.

específica (AFE) (Cuadro 2). La TAN y AFE se obtuvieron con ayuda del peso de las láminas foliares y su área (cm²).

Análisis estadístico

Los datos se analizaron con el paquete estadístico SAS versión 9.2 (SAS Institute, 2009) y la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para separación de medias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Biomasa total

Aunque se observó diferencia significativa en peso de componentes morfológicos a partir de los 56 dds y total a los 43 dds ($P \leq 0.001$; Cuadro 3), CP-Mixe y CP-Ñañú1 de CG mostraron más de 0.02 g por planta, junto con NdeM-La Resolana de CCh, lo anterior es importante dado que, a mayor crecimiento a temprana edad, hay mayor oportunidad competitiva ante la maleza y sequía intraestival,

irregular y sempiterna en siembras de temporal en zonas áridas y semiáridas. La variedad NdeM-La Resolana en CG acumuló mayor biomasa total y fue predominante a partir de 67 dds.

La influencia de tamaño de cariósipide en el desarrollo de plántulas ha sido discutida por varios autores, en pastos como *Lolium perenne* (Smith *et al.*, 2003) y nativos de México (Quero *et al.*, 2017b), quienes mencionan que a mayor tamaño de cariósipide se alcanza mayor tamaño de raíz y parte aérea en menor tiempo; lo anterior se observó en el presente experimento, con excepción de NdM-125, donde CCh fue más competitivo con respecto a CG; sin embargo, predomina el efecto del CG sobre el desarrollo en el resto de los materiales evaluados.

Composición morfológica

Se observaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) por fecha para componentes morfológicos y tamaño de

Cuadro 3. Biomasa total (g/planta) en muestreos destructivos de nueve genotipos de *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., desarrollados en condiciones de invernadero.

Genotipos	T	dds					Total
		43	56	67	81	96	
NdeM-125	CG	0.0062	0.021 c	0.036 e	0.108 f	0.323 de	0.495 f
	CCh	0.0085	0.126 ab	0.212 abc	0.310 abc	0.467 bc	1.124 b
NdeM-417	CG	0.0083	0.081 bc	0.121 cde	0.187 ef	0.290 e	0.687 cde
	CCh	0.0075	0.057 bc	0.087 de	0.169 ef	0.273 e	0.594 ef
NdeM-303	CG	0.0050	0.049 bc	0.103 de	0.167 ef	0.375 cde	0.698 cde
	CCh	0.0125	0.048 bc	0.104 de	0.184 ef	0.310 de	0.659 def
NdeM-La Resolana	CG	0.0093	0.105 ab	0.262 a	0.384 a	0.853 a	1.614 a
	CCh	0.0200	0.078 bc	0.131 cd	0.164 ef	0.416 bcd	0.809 cd
CP-62	CG	0.0128	0.072 bc	0.114 de	0.215 de	0.335 de	0.748 cde
	CCh	0.0152	0.074 bc	0.149 bcd	0.283 bcd	0.334 de	0.855 c
CP-Centauro	CG	0.0189	0.084 bc	0.144 cd	0.240 cde	0.339 de	0.826 cd
	CCh	0.0157	0.057 bc	0.106 de	0.205 de	0.294 e	0.677 cde
CP-Teloxtoc	CG	0.0064	0.100 abc	0.209 abc	0.339 ab	0.501 b	1.156 b
	CCh	0.0047	0.080 bc	0.168 abcd	0.297 abcd	0.500 b	1.050 b
CP-Ñañú1	CG	0.0229	0.087 abc	0.127 cde	0.185 ef	0.372 cde	0.794 cd
	CCh	0.0058	0.061 bc	0.083 de	0.163 ef	0.296 e	0.609 ef
CP-Mixe	CG	0.0236	0.169 a	0.227 ab	0.328 abc	0.414 bcd	1.161 b
	CCh	0.0144	0.077 bc	0.114 de	0.252 bcde	0.334 de	0.791 cd
DSH (0.05)		0.0198	0.0816	0.0944	0.0927	0.1148	0.1796
Significancia		NS	**	**	**	**	**

Letras iguales por columna indican promedios estadísticamente iguales (Tukey, $P \leq 0.05$). T: tamaño de cariósipide, dds: días después de siembra, CG: tamaño de cariósipide grande, CCh: tamaño de cariósipide chico, *: $P \leq 0.05$, **: $P \leq 0.01$, NS: no significativo, DSH: diferencia significativa honesta.

cariópside a 56, 67, 81 y 96 dds. A los 43 dds, destacó el genotipo CP-Mixe en CG al mostrar mayor biomasa de hoja, raíces y total ($P \leq 0.01$); similarmente, para el último muestreo (96 dds), solamente en biomasa de raíz no fue diferente al genotipo NdeM-La Resolana en CG y CCh, los cuales fueron superiores. Por otro lado, el CG fue determinante para que NdeM-La Resolana a 56 y 96 dds produjera mayor MS ($P < 0.05$), mayor biomasa de láminas foliares y raíz; similarmente, desde 81 dds, las plantas originadas de CG mostraron tejido de inflorescencia (Figura 1); al respecto, Castañeda-Saucedo *et al.* (2009) indicaron al tamaño de semilla como fundamental en el desarrollo de cultivos básicos como cebada y trigo.

Alcanzar la madurez fisiológica a temprana edad de planta (producción de semilla el mismo año de siembra) es importante en praderas de temporal, debido a que en dichas condiciones de temporal en combinación con latencia de la semilla, las praderas siguen mostrando plántulas al segundo y tercer año después de siembra y se considera que éstas alcanzan su mayor densidad poblacional y productividad al tercer año (Quero-Carrillo *et al.*, 2014). Se ha demostrado que en siembras con cariósides grandes en pasto Banderita se presenta mayor velocidad de germinación y emergencia de plántulas (Hernández-Guzmán *et al.*, 2015; Quero *et al.*, 2017a); por

tanto, la producción temprana de semilla indica mayor capacidad de establecimiento y cobertura potencial del agostadero, dado que al siguiente periodo de lluvias puede ocurrir germinación de semilla al año de establecimiento, atributo encontrado únicamente en NdeM-La Resolana. Las plantas de CG asignaron mayor cantidad de asimilados al desarrollo de la parte aérea con respecto a la raíz en comparación con lo sucedido en plantas generadas a partir de CCh.

En promedio, los materiales de CCh resultaron con menor biomasa total (Figura 1a). Durante etapas tempranas (43 y 56 dds), las plantas de NdeM-La Resolana, como genotipo de mayor producción, no mostraron grandes diferencias en biomasa total por efecto del tamaño de cariópside; sin embargo, las plantas originadas de CG mostraron consistentemente mayor asignación de fotosintatos hacia la parte aérea con respecto a la raíz: 0.49, 0.60, 0.5, 0.4 y 0.37 g, respectivamente, para cada fecha de muestreo en este material (Figura 1b). Esta relación se mantuvo hasta los últimos cuatro muestreos y fue superior a la obtenida con la utilización de CG.

Al inicio de los muestreos, los materiales con mayor rendimiento de biomasa total (CP-Mixe-CG; 0.0236 g/planta) asignaron mayores recursos al desarrollo de

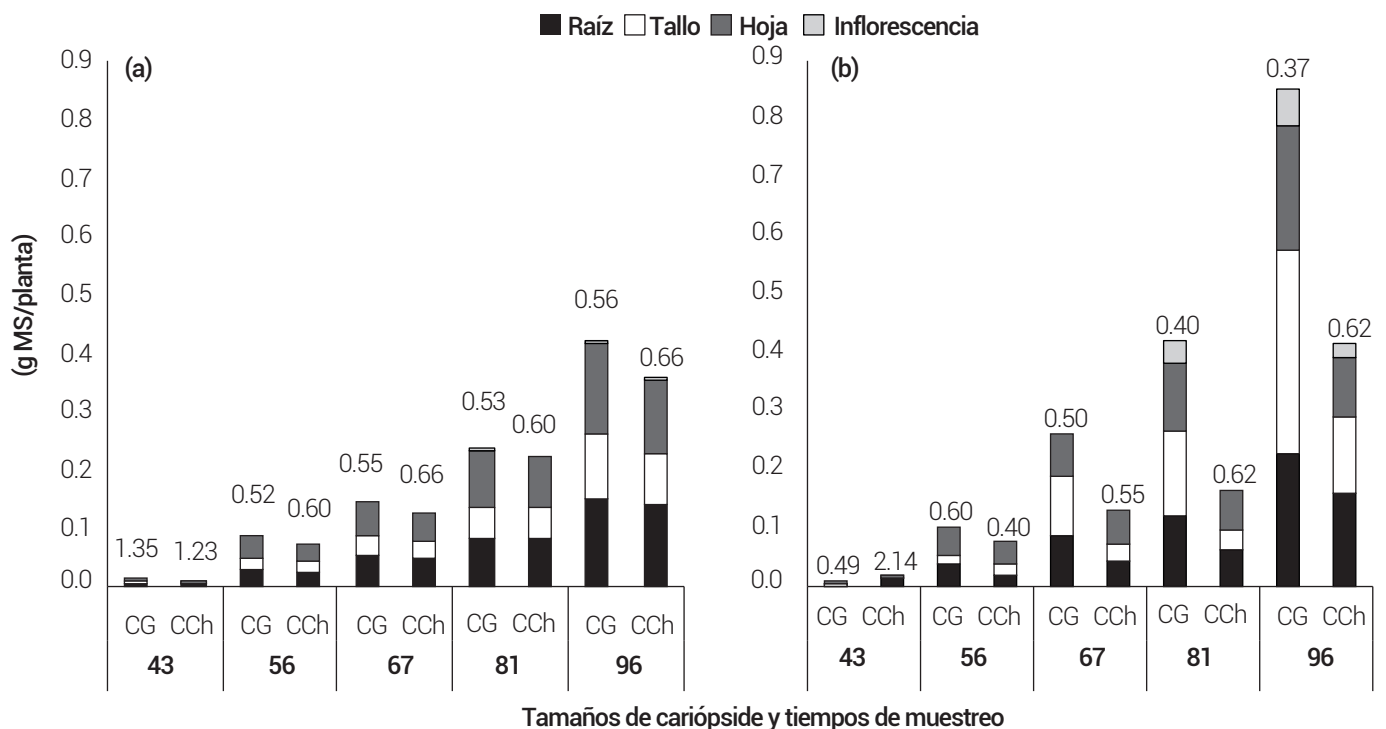


Figura 1. Composición morfológica de materiales de *Bouteloua curtipendula* (a) y la variedad NdeM-La Resolana (b) de cariósides grandes (CG) y chicos (CCh) en muestreos destructivos secuenciales bajo condiciones de invernadero. Valores sobre las barras indican la relación raíz:parte aérea.

Cuadro 4. Tasa absoluta de crecimiento (g d⁻¹) en genotipos de *Bouteloua curtipendula* provenientes de carióspside de diferente tamaño a través de muestreos (dds) en invernadero.

Genotipos	Tamaño de carióspside	Muestreos (dds)			
		56	67	81	96
NdeM-125	G	0.0011 c	0.0015	0.0056 bcde	0.0153 bc
	Ch	0.0084 ab	0.0095	0.0076 abcde	0.0112 bcd
NdeM-417	G	0.0056 abc	0.0040	0.0051 bcde	0.0074 bcd
	Ch	0.0039 bc	0.0030	0.0063 bcde	0.0074 bcd
NdeM-303	G	0.0035 bc	0.0053	0.0047 cde	0.0149 bc
	Ch	0.0027 bc	0.0056	0.0059 bcde	0.0090 bcd
NdeM-La Resolana	G	0.0074 abc	0.0157	0.0123 a	0.0308 a
	Ch	0.0044 bc	0.0054	0.0025 e	0.0180 b
CP-62	G	0.0045 bc	0.0042	0.0077 abcde	0.0086 bcd
	Ch	0.0050 abc	0.0068	0.0103 abc	0.0036 d
CP-Centauro	G	0.0050 abc	0.0060	0.0074 abcde	0.0071 cd
	Ch	0.0032 bc	0.0049	0.0076 abcde	0.0064 cd
CP-Teloxtoc	G	0.0072 abc	0.0109	0.0100 abcd	0.0116 bcd
	Ch	0.0058 abc	0.0088	0.0099 abcd	0.0145 bc
CP-Ñañú1	G	0.0049 abc	0.0039	0.0045 de	0.0134 bcd
	Ch	0.0042 bc	0.0022	0.0061 bcde	0.0095 bcd
CP-Mixe	G	0.0111 a	0.0059	0.0077 abcde	0.0062 cd
	Ch	0.0048 abc	0.0037	0.0106 ab	0.0059 cd
DSH (0.05)		0.0066	0.0155	0.0057	0.0107
Significancia		**	NS	***	***

Letras iguales por columna indican medias estadísticamente similares ($P \leq 0.05$). dds: días después de la siembra, G: tamaño de carióspside grande, Ch: tamaño de carióspside chico, **: $P \leq 0.01$, ***: $P \leq 0.001$, DSH: diferencia significativa honesta, NS: no significativo.

raíz que a la hoja, mientras que el genotipo de mayor rendimiento de biomasa al final del experimento (NdeM-La Resolana-CG) mostró menor relación raíz:parte aérea (R:PA), lo que indica que se asignaron más fotosintatos a la hoja y tallo con R:PA de 0.37 (Figura 1b), no así para CCh donde se derivó mayor proporción a la raíz, misma que se mantuvo durante el periodo de evaluación (0.62, Figura 1b); lo anterior es valioso para seleccionar para capacidad de establecimiento.

Índices de crecimiento vegetal

La TAC expresa la velocidad de incremento de MS en pasto Banderita; Álvarez-Holguín *et al.* (2017) encontraron valores de 0.458 g d⁻¹ en condiciones de invernadero; no existen en la literatura reportes de este indicador a partir de plantas clasificadas por tamaño de carióspside. En el presente estudio se observaron diferencias de 43 a 56

dds para TAC ($P \leq 0.01$; Cuadro 4), donde CP-Mixe con CG mostró valores superiores (0.0111 g d⁻¹); sin embargo, no se observó así para el intervalo de 57 a 67 dds, en el cual ningún material fue diferente ($P > 0.05$).

En el intervalo de 68 a 81 dds el genotipo NdeM-La Resolana de CG mostró mayor TAC (0.0123 g d⁻¹) y continuó con este comportamiento hasta el último intervalo, de 82 a 96 dds ($P \leq 0.001$); lo anterior puede estar relacionado con el inicio de incremento importante en el desarrollo de biomasa radical (Figura 1b) a partir de esta edad, lo que indica la consolidación de la biomasa aérea para apoyar el desarrollo de la planta, ya que tanto CP-Mixe como NdeM-La Resolana de CG presentaron mayor TAC ($P \leq 0.01$; Cuadro 4), al igual que tejido de raíces, como fue consignado por Cruz *et al.* (2017), quienes mencionaron que plantas eficientes invierten mayor parte de su crecimiento en expandir al área foliar y mejorar la captación de radiación solar.

La TRC indica la capacidad de la planta para producir material nuevo; al respecto, en maíz (*Zea mays* L.) Rincón *et al.* (2007) reportaron valores de $0.01 \text{ g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$ a los 55 dds. En el presente estudio se observaron diferencias significativas solamente en el intervalo de 68 a 81 dds ($P \leq 0.001$) y de 82 a 96 dds ($P \leq 0.01$; Cuadro 5). NdeM-125 con CG mostró los valores mayores (0.0846 y $0.0781 \text{ g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$). El resto de los genotipos mostró valores elevados en los primeros días, de 43 a 56 y 57 a 67; sin embargo, no fueron significativos ($P > 0.05$); lo anterior puede deberse a factores que determinan el cálculo de la TRC como limitado crecimiento radical debido al tamaño limitado del contenedor, calidad de sustrato para liberar el máximo tejido subterráneo por muestreo, entre otros.

Los valores de TRC son mayores en los primeros estadios de crecimiento y disminuyen conforme la planta

aumenta de tamaño (Di Benedetto y Tognetti, 2016). Reich *et al.* (2003) reportaron en pasto Banderita valores de $0.105 \text{ g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$, similares a los encontrados en el presente estudio a los 43 dds. Valores altos en TRC se relacionan con incremento en TAN para NdeM-125 de CG ($0.0055 \text{ g cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$), ambos índices proporcionan evidencias para evaluar el crecimiento de la planta entera y sus componentes (Fernández *et al.*, 2002). En este sentido, valores altos en TRC indican un comportamiento similar en TAN debido al desarrollo del aparato asimilador.

Una elevada AFE puede indicar mayor valor nutritivo; en pasto Mulato (*Brachiaria* cv. híbrido) el valor más alto en AFE ($0.016 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$) se observó a los 28 dds (Pérez *et al.*, 2004); en el presente estudio, los valores máximos se alcanzaron después de 68 dds, CP-Mixe CCh mostró un incremento y fue predominante a 81 dds, con 151.88 cm^2

Cuadro 5. Tasa relativa de crecimiento ($\text{g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$) en genotipos de *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr. provenientes de cariósipos de diferente tamaño a través de muestreos, en invernadero.

Genotipos	Tamaño de cariósipos	Muestreos (dds)			
		56	67	81	96
NdeM-125	G	0.0940	0.0541	0.0846 a	0.0781 a
	Ch	0.2173	0.0598	0.0294 bc	0.0292 bcd
NdeM-417	G	0.1783	0.0411	0.0330 bc	0.0320 bcd
	Ch	0.1790	0.0428	0.0512 abc	0.0341 bcd
NdeM-303	G	0.1886	0.0725	0.0371 bc	0.0580 abc
	Ch	0.1154	0.0767	0.0444 bc	0.0370 abcd
NdeM-La Resolana	G	0.1857	0.0910	0.0377 bc	0.0503 abcd
	Ch	0.1062	0.0523	0.0170 c	0.0665 ab
CP-62	G	0.1373	0.0463	0.0488 abc	0.0318 bcd
	Ch	0.1370	0.0600	0.0504 abc	0.0118 d
CP-Centauro	G	0.1158	0.0535	0.0395 bc	0.0248 bcd
	Ch	0.0996	0.0595	0.0508 abc	0.0271 bcd
CP-Teloxtoc	G	0.2103	0.0826	0.0376 bc	0.0281 bcd
	Ch	0.2174	0.0824	0.0441 bc	0.0372 abcd
CP-Ñañú1	G	0.1065	0.0375	0.0286 bc	0.0502 abcd
	Ch	0.1810	0.0319	0.0518 abc	0.0426 abcd
CP-Mixe	G	0.1520	0.0302	0.0282 bc	0.0167 cd
	Ch	0.1292	0.0393	0.0608 ab	0.0202 cd
DSH (0.05)		0.163	0.127	0.037	0.0422
Significancia		NS	NS	***	**

Letras iguales por columna indican medias estadísticamente similares ($P \leq 0.05$). dds: días después de la siembra, G: tamaño de cariósipos grande, Ch: tamaño de cariósipos chico, ** $P \leq 0.001$, ***: $P \leq 0.001$, DSH: diferencia significativa honesta, NS: no significativo.

Cuadro 6. Área foliar específica (cm² g⁻¹) en genotipos de *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., provenientes de cariósides de diferente tamaño a través de muestreos, en invernadero.

Genotipos	Tamaño de cariósipe	Muestreos (dds)			
		56	67	81	96
NdeM-125	G	1.76 ab	1.86 b	110.48 ab	95.05
	Ch	2.66 ab	6.54 ab	115.29 a	105.43
NdeM-417	G	9.87 a	9.92 ab	76.15 ab	101.60
	Ch	0.38 b	1.74 b	100.55 ab	108.23
NdeM-303	G	0.45 b	12.04 ab	76.70 ab	108.28
	Ch	7.28 ab	29.91 a	68.65 ab	72.07
NdeM-La Resolana	G	2.70 ab	18.93 ab	106.57 ab	72.48
	Ch	1.29 b	2.04 b	68.95 ab	82.59
CP-62	G	1.59 ab	9.71 ab	106.52 ab	107.46
	Ch	0.77 b	4.45 ab	105.59 ab	119.34
CP-Centauro	G	2.71 ab	3.68 ab	102.94 ab	110.58
	Ch	7.16 ab	11.43 ab	70.74 ab	66.13
CP-Teloxtoc	G	1.86 ab	18.14 ab	137.42 a	93.70
	Ch	0.64 b	1.16 b	74.63 ab	65.59
CP-Ñañú1	G	1.19 b	13.57 ab	115.01 ab	82.75
	Ch	1.98 ab	2.32 b	29.04 b	67.66
CP-Mixe	G	6.79 ab	9.95 ab	64.93 ab	88.73
	Ch	1.48 ab	4.38 ab	151.88a	135.43
DSH (0.05)		8.473	27.27	97.25	75.09
Significancia		*	*	*	NS

Letras iguales por columna indican medias estadísticamente similares ($P \leq 0.05$). dds: días después de la siembra, G: tamaño de cariósipe grande, Ch: tamaño de cariósipe chico, *: $P \leq 0.05$, DSH: diferencia significativa honesta, NS: no significativo.

g⁻¹ (Cuadro 6); lo anterior difiere de lo reportado por Pérez *et al.* (2004), al mencionar que la AFE disminuye con la madurez; así mismo, que los valores de este índice pueden variar de acuerdo con factores como luz interceptada y edad de rebrote. Khurana y Singh (2000) relacionaron valores altos de AFE con TRC, debido a que asigna alta interceptación de luz y captura de carbono por unidad de masa interceptada, lo cual concuerda con lo encontrado en CP-Mixe CCh y CP-125 CG.

La TAN indica la cantidad de biomasa acumulada en función del área foliar; al respecto, Díaz-López *et al.* (2013) reportaron en maíz valores de 0.0102 g m⁻² d⁻¹ a los 34 dds, la cual posteriormente se redujo a 0.0018 g m⁻² d⁻¹ a los 63 dds; este comportamiento de valores altos en etapas iniciales se observó en el presente experimento (Cuadro 7), donde se presentaron diferencias significativas de 68 a 81 dds y el genotipo CP-Ñañú1 de CCh mostró un valor superior (0.0119 g cm⁻² d⁻¹; $P \leq 0.01$); sin embargo, no fue diferente de CP-Teloxtoc CCh, NdeM-125 CG y NdeM-303

Cuadro 7. Tasa de asimilación neta ($\text{g cm}^{-2} \text{d}^{-1}$) en genotipos de *Bouteloua curtipendula* provenientes de diferente tamaño de cariósipide y cuatro intervalos de muestreo, en condiciones de invernadero.

Genotipos	Tamaño de cariósipide	Intervalos de muestreo (dds)			
		43 - 56	57 - 67	68 - 81	82 - 96
NdeM-125	G	0.097	0.089	0.0055 ab	0.0019
	Ch	0.217	0.088	0.0024 b	0.0008
NdeM-417	G	0.060	0.010	0.0026 b	0.0009
	Ch	0.673	0.201	0.0041 b	0.0008
NdeM-303	G	0.534	0.050	0.0017 b	0.0014
	Ch	0.075	0.018	0.0052 ab	0.0025
NdeM-La Resolana	G	0.090	0.023	0.0016 b	0.0015
	Ch	0.570	0.198	0.0038 b	0.0019
CP-62	G	0.252	0.031	0.0025 b	0.0008
	Ch	0.419	0.131	0.0040 b	0.0003
CP-Centauro	G	0.151	0.060	0.0031 b	0.0006
	Ch	0.058	0.020	0.0041 b	0.0009
CP-Teloxtoc	G	0.301	0.028	0.0016 b	0.0006
	Ch	0.548	0.258	0.0056 ab	0.0014
CP-Ñañú1	G	0.223	0.016	0.0014 b	0.0016
	Ch	0.198	0.033	0.0119 a	0.0027
CP-Mixe	G	0.118	0.009	0.0022 b	0.0005
	Ch	0.317	0.057	0.0027 b	0.0003
DSH (0.05)		0.7948	0.4133	0.002	0.0034
Significancia		NS	NS	**	NS

Letras iguales por columna indican medias estadísticamente similares ($P \leq 0.05$). dds: días después de la siembra, G: tamaño de cariósipide grande, Ch: tamaño de cariósipide chico, **: $P \leq 0.01$, DSH: diferencia significativa honesta, NS: no significativo.

CCh, lo cual indica que son los materiales con mayor aprovechamiento de la radiación solar; así mismo, puede indicar que estos materiales son capaces de producir mayor cantidad de materia seca debido a que la TAN indica eficiencia del tejido fotosintético, estos resultados son superiores a los señalados por Álvarez-Holguín *et al.* (2017), quienes reportaron valores de $0.00495 \text{ g cm}^{-2} \text{d}^{-1}$ en ecotipos de pasto Banderita a los 70 dds y condiciones de invernadero.

CONCLUSIONES

NdeM-La Resolana con cariósipide grande mostró mayor peso de inflorescencia desde 86 dds, lo que le confiere potencial para su establecimiento rápido en campo. NdeM-125 fue el único genotipo que no mostró diferencias para desarrollo vegetal por tamaño de cariósipide. NdeM-La Resolana y CP-Mixe destacan en crecimiento para TAC y AFE, respectivamente. La selección por tamaño de cariósipide presenta potencial para lograr plántulas con mayor crecimiento temprano.

AGRADECIMIENTO

A CONACyT por el apoyo financiero brindado para el desarrollo de este trabajo a través de la beca de Maestría en Ciencias otorgada a la primera autora. Al proyecto de Problemas Nacionales Clave: 248252 "Colecta, Salvaguarda y Evaluación de Forrajeras (Poaceae) para Pastoreo Extensivo, Nativas de México Semiárido".

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez-Holguín A., C. R. Morales-Nieto, R. Corrales-Lerma, J. S. Sierra-Tristán y F. Villarreal-Guerrero (2017) Análisis del crecimiento de cinco genotipos de pasto banderita [*Bouteloua curtipendula* (Mich.) Torr.], bajo condiciones de invernadero. *Tecnociencia Chihuahua* 11:25-32.
- Barrera J., D. Suárez y L. M. Melgarejo (2010) Análisis de crecimiento en plantas. In: Experimentos en Fisiología Vegetal. L. M. Melgarejo (ed.). Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. pp:25-38.
- Castañeda-Saucedo M. C., C. López-Castañeda, M. T. B. Colinas-De León, J. C. Molina-Moreno y A. Hernández-Livera (2009) Rendimiento y calidad de la semilla de cebada y trigo en campo e invernadero. *Interciencia* 34:286-292.

- Corrales L. R., C. R. Morales N., A. Melgoza C., J. S. Sierra T., J. Á. Ortega G. y G. Méndez Z. (2016) Caracterización de variedades de pasto banderita [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.] recomendadas para rehabilitación de pastizales. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 7:201-211, <https://doi.org/10.22319/rmcp.v7i2.4174>
- Cruz T. J. M., J. V. Ray R., J. L. Ledea R. y R. C. Arias P. (2017) Establecimiento de nuevas variedades de *Cenchrus purpureus* en un ecosistema frágil del valle del Cauto, Granma. *Revista de Producción Animal* 29:29-35.
- Di Benedetto A. y J. Tognetti (2016) Técnicas de análisis de crecimiento de plantas: su aplicación a cultivos intensivos. *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 42:258-282.
- Díaz-López E., J. M. Loeza-Corte, J. M. Campos-Pastelín, E. J. Morales-Rosales, A. Domínguez-López y O. Franco-Mora (2013) Eficiencia en el uso de la radiación, tasa de asimilación neta e integral térmica en función del fósforo en maíz (*Zea mays* L.). *Agrociencia* 47:135-146.
- Fernández R. J., M. Wang and J. F. Reynolds (2002) Do morphological changes mediate plant responses to water stress? A steady-state experiment with two *C₄* grasses. *New Phytologist* 155:79-88, <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2002.00438.x>
- García-Rodríguez J. J., M. A. Ávila-Perches, F. P. Gámez-Vázquez, M. De la O-Olán y A. J. Gámez-Vázquez (2018) Calidad física y fisiológica de semilla de maíz influenciada por el patrón de siembra de progenitores. *Revista Fitotecnica Mexicana* 41:31-37, <https://doi.org/10.35196/rfm.2018.1.31-37>
- Hernández-Guzmán F. J., A. R. Quero-Carrillo, P. Pérez-Rodríguez, M. Velázquez-Martínez y G. García-de los Santos (2015) Germinación y emergencia de propágulos de pasto en respuesta a pruebas de vigor. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6:1519-1532, <https://doi.org/10.29312/remexca.v6i7.546>
- Hunt R. (2017) Growth analysis. Individual plants. In: Encyclopedia of Applied Plant Sciences. B. Thomas, B. G. Murray and D. J. Murphy (eds.). 2nd edition. Academic Press. London. pp:421-429, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394807-6.00226-4>
- James J. J. (2008) Effect of soil nitrogen stress on the relative growth rate of annual and perennial grasses in the Intermountain West. *Plant and Soil* 310:201-210, <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9645-x>
- James J. J. and R. E. Drenovsky (2007) A basis for relative growth rate differences between native and invasive forb seedlings. *Rangeland Ecology and Management* 60:395-400, [https://doi.org/10.2111/1551-5028\(2007\)60\[395:ABFRGR\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2111/1551-5028(2007)60[395:ABFRGR]2.0.CO;2)
- Khurana E. and J. S. Singh (2000) Influence of seed size on seedling growth of *Albizia procera* under different soil water levels. *Annals of Botany* 86:1185-1192, <https://doi.org/10.1006/anbo.2000.1288>
- Morales N. C. R., A. Quero C., A. Melgoza C., M. Martínez S. y P. Jurado G. (2009) Diversidad forrajera del pasto banderita [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.], en poblaciones de zonas áridas y semiáridas de México. *Técnica Pecuaria en México* 47:231-244.
- Pérez A. J. A., E. García M., J. F. Enríquez Q., A. R. Quero C., J. Pérez P. y A. Hernández G. (2004) Análisis de crecimiento, área foliar específica y concentración de nitrógeno en pasto "mulato" (*Brachiaria hibrida*, cv.). *Técnica Pecuaria en México* 42:447-458.
- Peterson P. M., K. Romaschenko and Y. Herrera A. (2015) Phylogeny and subgeneric classification of *Bouteloua* with a new species, *B. herrera-arrietae* (Poaceae: Chloridoideae: Cynodonteae: Boutelouinae). *Journal of Systematics and Evolution* 53:351-366, <https://doi.org/10.1111/jse.12159>
- PMARP, Plan Maestro de la Alianza Regional para la Conservación de los Pastizales (2012) Plan Maestro de la Alianza Regional para la Conservación de los Pastizales del Desierto Chihuahuense 2011-2016. J. C. Guzmán-Aranda, J. Hoth y H. Berlanga (eds.). Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal, Canadá. 64 p.
- Quero C. A. R., L. Miranda J. y J. F. Villanueva-Ávalos (2017a) Recursos genéticos de gramíneas para el pastoreo extensivo. Condición actual y urgencia de su conservación ante el cambio climático. *Avances en Investigación Agropecuaria* 21:63-85.
- Quero C. A. R., F. J. Hernández G., P. Pérez R., A. Hernández L., G. García S., P. Landa S. y S. E. Ramírez S. (2017b) Germinación de cariopsides clasificados por tamaño y diásporas de cuatro pastos para temporal semiárido. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8:489-502, <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i3.26>
- Quero-Carrillo A. R., L. Miranda-Jiménez, F. J. Hernández-Guzmán y F. A. Rubio A. (2014) Mejora del establecimiento de praderas de temporal. Folleto Técnico. Colegio de Postgraduados. Texcoco, Estado de México, México. 31 p, <https://doi.org/10.13140/2.1.5101.2161>
- Quero-Carrillo A. R., F. J. Hernández-Guzmán, M. Velázquez-Martínez, H. G. Gámez-Vázquez, P. Landa-Salgado y P. Aguilar-López (2016) Métodos de establecimiento de pasturas en zonas áridas de México utilizando semillas crudas o cariopsides. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales* 4:29-37, [https://doi.org/10.17138/TGFT\(4\)29-37](https://doi.org/10.17138/TGFT(4)29-37)
- Reich P. B., C. Buschena, M. G. Tjoelker, K. Wrage, J. Knops, D. Tilman and J. L. Machado (2003) Variation in growth rate and ecophysiology among 34 grassland and savanna species under contrasting N supply: a test of functional group differences. *New Phytologist* 157:617-631, <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2003.00703.x>
- Rincón A., G. A. Ligarreto y D. Sanjuanelo (2007) Crecimiento del maíz y los pastos (*Brachiaria* sp.) establecidos en monocultivo y asociados en suelos ácidos del piedemonte llanero colombiano. *Agronomía Colombiana* 25:264-272.
- Sánchez-Arroyo J. F., C. Wehenkel, F. Ó. Carrete-Carreón, M. Murillo-Ortiz, E. Herrera-Torres and A. R. Quero-Carrillo (2018) Establishment attributes of *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr. populations native to Mexico. *Revista Fitotecnica Mexicana* 41:237-243, <https://doi.org/10.35196/rfm.2018.3.237-243>
- SAS Institute (2009) SAS/STAT User's Guide Version 9.2. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina, USA. 5136 p.
- Smith K. F., N. M. McFarlane, V. M. Croft, P. J. Trigg and G. A. Kearney (2003) The effects of ploidy and seed mass on the emergence and early vigour of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) cultivars. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 43:481-486, <https://doi.org/10.1071/EA01130>