

CONCENTRACIÓN DE CARBONO EN VÁSTAGOS Y RAÍCES DE DIFERENTES ESPECIES DE PASTOS EN NUEVO LEÓN, MÉXICO

CARBON CONCENTRATION IN SHOOTS AND ROOTS OF DIFFERENT GRASS SPECIES IN NUEVO LEON, MEXICO

José I. Yerena-Yamallel*, Javier Jiménez-Pérez,
Eduardo Alanís-Rodríguez y Oscar A. Aguirre-Calderón

Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales, Linares, Nuevo León, México.

*Autor de correspondencia (israel.yerena@gmail.com)

RESUMEN

En México, los estudios sobre la evaluación del coeficiente de concentración de carbono en pastos son de gran importancia, pero no hay información al respecto. En el presente estudio, se determinó la concentración de C en vástagos y raíces de 21 especies de pastos. El estudio se realizó durante los meses de abril y mayo de 2018 en los municipios de Linares y Montemorelos, Nuevo León, México. Se analizó un total de 378 muestras provenientes de 21 especies, tres sitios por especie, dos componentes por sitio y las mediciones se realizaron por triplicado. La concentración de C se obtuvo con el equipo Solids TOC Analyzer. La concentración promedio de C en las especies varió de 32.5 % en *Paspalum notatum* Flüggé a 39.9 % en *Setaria viridis* (L.) P. Beauv., con media general de 36.4 %. La concentración de C en el componente raíz de todas las especies fue 36.0 % y en vástago 36.9 %. *Pennisetum ciliare* (L.) Link presentó la mayor concentración de C en el vástago (41.9 %) y *P. notatum* mostró el valor menor (33.2 %). El contenido promedio de C en la raíz entre las especies varió de 31.8 % en *P. notatum* a 39.8 % en *Cynodon plectostachyus* (K. Schumann.) Pilg. Utilizar un valor generalizado para la concentración de carbono total da como resultado una sobrestimación del carbono capturado en los pastos.

Palabras clave: *Paspalum notatum*, *Setaria viridis*, matorral espinoso tamaulipeco, pastizal inducido.

SUMMARY

In Mexico, studies on the evaluation of the carbon concentration coefficient in grasses are of great importance, but there is no information about it. In this study, the concentration of C in shoots and roots of 21 grass species was determined. The study was carried out during April and May 2018 in the municipalities of Linares and Montemorelos, Nuevo Leon, Mexico. A total of 378 samples was analyzed from 21 species, three sites per species, and two components per site; the measurements were made in triplicate. The concentration of C was obtained with the Solids TOC Analyzer. The average C concentration in the species ranged from 32.5% in *Paspalum notatum* Flüggé to 39.9 % in *Setaria viridis* (L.) P. Beauv., with an overall average of 36.4 %. The concentration of C in the root component of all the species was 36.0 % and 36.9 % in the shoot. *Pennisetum ciliare* (L.) Link showed the highest C concentration in the shoot (41.9 %), and *P. notatum* displayed the lowest value (33.22 %). The average percentages of root C content among the species ranged from 31.8 % in *P. notatum* to 39.8 % in *Cynodon plectostachyus* (K. Schumann.) Pilg. An overestimation of the carbon sequestered in grasses results from using a generalized value for total carbon concentration.

Index words: *Paspalum notatum*, *Setaria viridis*, induced grassland, Tamaulipan thorn scrub.

INTRODUCCIÓN

Las acciones preventivas que las políticas deben apoyar tienen que estar enfocadas en aumentar los beneficios de las medidas de adaptación y mitigación contra el cambio climático, mejorar los niveles de vida, los servicios de los ecosistemas y la seguridad alimentaria. Los pastizales están lejos de ser el eje de las negociaciones actuales del clima mundial, pero son importantes y merecen mayor atención. Los pastizales asumen potencial de mitigación (Dass *et al.*, 2018) y son relevantes en la salud humana y ambiental, por lo que su manejo inadecuado tendría consecuencias negativas en la subsistencia (FAO, 2009).

Los pastizales constituyen los ecosistemas más extensos del mundo, cubren más del 40 % de la superficie de la tierra (Hewins *et al.*, 2018), representan a los biomas más productivos y diversos, se caracterizan por contener vegetación abierta dominada por especies herbáceas y su producción primaria es aprovechada directamente por los herbívoros (Deguignet *et al.*, 2014; Newman, 2000; White *et al.*, 2000).

Los ecosistemas forestales en general adquieren enorme potencial al funcionar como sumidero terrestre de carbono (Graciano-Ávila *et al.*, 2019), y dentro de ellos, los pastizales son de especial importancia, pues se estima que secuestran de 0.1 a 0.6 Mg por hectárea al año, lo que disminuye la acumulación del CO₂ en la atmósfera e impacta en la temperatura del planeta (Jones y Donnelly, 2004). Según Costanza *et al.* (1997), si se otorgara un valor económico al servicio ambiental que generan los pastizales sobre el clima, éste sería de 1.2 US dólares por hectárea por año, y si se multiplica por el total de la superficie que ocupan en el mundo, se alcanzaría la cifra de 4677 millones de US dólares. Con un manejo adecuado, este tipo de ecosistema terrestre podría almacenar a nivel mundial entre 100 y 800 Mt de CO₂, y un total de 1752 a

2385 Gt de C al año; de esta cantidad, 71 % se encuentra debajo de la superficie del suelo (IPCC, 2007) y tiene el potencial biofísico para secuestrar de 1.3 a 2.0 Gt de CO₂ para el año 2030 (Smith *et al.*, 2008), lo que proporcionaría importantes beneficios para la mitigación del cambio climático.

En México no hay estudios orientados a evaluar la concentración de carbono en especies de pastizales (Pompa-García y Sigala-Rodríguez, 2017). Si se tiene en cuenta que existen áreas extensas de pastizales en el noreste del país, es necesario realizar trabajos encaminados a la medición y dinámica del carbono en el ecosistema que exponga los beneficios al ambiente. En el presente estudio se planteó determinar la concentración de carbono en vástagos y raíces de 21 especies de pastos presentes en el matorral espinoso tamaulipeco, pastizal inducido, matorral submontano y bosque de encino. Las hipótesis planteadas fueron 1) que existen diferencias significativas en la concentración de carbono entre las especies y 2) entre los componentes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en cuatro comunidades vegetales (matorral espinoso tamaulipeco, pastizal inducido, matorral submontano y bosque de encino) de los municipios de Linares y Montemorelos, Nuevo León, México (coordenadas geográficas 24° 47' 23" a 25° 02' 08" N y 99° 31' 37" a 99° 54' 38" O, con un intervalo altitudinal de 350 a 700 m).

En los sitios estudiados hay ausencia de ganado doméstico, pero se observaron indicios de fauna silvestre. El clima es (A)C(x')w"a(e) correspondiente a un clima extremoso semi-cálido sub-húmedo, básicamente debido a la posición geográfica en la zona subtropical de altas presiones, con influencia de los vientos alisios húmedos y vientos fríos del norte durante el invierno. La precipitación pluvial anual oscila entre 400 y 1850 mm, con valor promedio de 805 mm. La temperatura promedio anual es de 22.4 °C con temperaturas mayores a los 40 °C en verano e inferiores a 0 °C en invierno. Los suelos de la zona corresponden al típico vertisol de origen aluvio-coluvial.

Selección de sitios de muestreo

Mediante recorridos de campo se seleccionaron 21 especies de pastos (Cuadro 1) con base en su abundancia y con las características siguientes: 1) bien conservado, con poca o nula vegetación indicadora de disturbio, 2) con 100 % de cobertura vegetal, 3) con presencia de especies

características del tipo de vegetación, y 4) con condiciones que permitan efectuar las mediciones correspondientes. El tipo de muestreo en campo fue dirigido; es decir, solamente se recolectó la especie de interés, se seleccionaron tres sitios de muestreo por especie a una distancia mínima de separación de 100 m, lo que sumó 63 sitios en todo el experimento. Los sitios se establecieron en un espacio de forma cuadrangular de 30 × 30 cm.

Preparación de las muestras

Para la colecta de cada muestra se utilizó el método destructivo aplicado por Castro *et al.* (2011), el cual estima con precisión el rendimiento de forrajes. El muestreo en campo se realizó en los meses de abril y mayo de 2018, momento en que las plantas alcanzan el desarrollo y crecimiento completo de la parte aérea y radical; para extraer esta última del suelo se utilizó una pala recta, cuidando de no cortar las raíces; se retiró el resto de tierra y se lavaron las raíces; la plantas completas se introdujeron en bolsas de papel con etiquetas de identificación y fueron trasladadas al laboratorio de carbono de la Facultad de Ciencias Forestales de la UANL, se colocaron a la sombra por 24 h para un pre-secado de la muestra (Quispe *et al.*, 2015); el vástago se separó de la raíz haciendo un corte a nivel del cuello de la planta con tijeras de podar de mano.

Cada componente de la planta se pesó por separado y colocó en una estufa de secado marca VWR® modelo 1305U (WR International, Leuven, Bélgica) a 76 °C hasta alcanzar peso constante; a continuación, cada componente por planta se trituró en un molino pulverizador marca Fritsch® modelo Pulverisette 2 (Fritsch Inc, Oberstein, Alemania) hasta quedar en fracciones menores de 10 µm, las cuales fueron depositadas en bolsas de plástico, previa identificación; para evitar contaminación entre muestras se limpió el tazón al moler cada componente (Jiménez *et al.*, 2013).

Determinación de carbono

La concentración de carbono se determinó con el equipo analítico Solids TOC Analyzer (OI Analytical-SRA Instruments, Cernusco sul Naviglio, Italia), que actúa mediante la combustión completa de la muestra sólida a temperaturas de 900 °C; los gases producto de la combustión pasan por una cámara con detector infrarrojo no dispersivo que contabiliza las moléculas de carbono contenidas en estos gases. Esta metodología fue utilizada por Rodríguez-Laguna *et al.* (2009) para especies maderables en un estudio de estimación de carbono almacenado en el bosque de pino-encino en la reserva de la biosfera El Cielo, Tamaulipas, México. El intervalo de detección de concentración de carbono en las muestras

Cuadro 1. Especies de pasto presentes en el matorral espinoso tamaulipeco, pastizal inducido, matorral submontano y bosque de encino en Linares y Montemorelos, Nuevo León, México.

Nombre científico	Nombre común
<i>Dichanthium annulatum</i> (Forssk.) Stapf	Zacate angleton pretoria
<i>Panicum maximum</i> Jacq.	Zacate guinea
<i>Bothriochloa wrightii</i> (Hackel) Henrard.	Popotillo cola de coyote
<i>Cenchrus echinatus</i> L.	Zacate cadillo
<i>Panicum hallii</i> Vasey	Panizo rizado
<i>Sorghum halepense</i> (L.) Pers.	Zacate johnson
<i>Eustachys petraea</i> (Sw.) Desv.	Pasto del dedo
<i>Pennisetum ciliare</i> (L.) Link	Zacate buffel
<i>Bouteloua curtipendula</i> (Michx.) Torr.	Banderilla
<i>Bothriochloa ischaemum</i> (L.) Keng	Tallo azul de kingranch
<i>Brachiaria brizantha</i> (Hochst. ex A. Rich.) Stapf	Insurgente
<i>Setaria viridis</i> (L.) P. Beauv.	Almorejo
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	Zacate bermuda
<i>Eleusine indica</i> (L.) Gaertn.	Pata de gallo
<i>Paspalum notatum</i> Flügge	Pasto bahía
<i>Aristida adscensionis</i> L.	Tres barbas
<i>Andropogon gerardii</i> Vitman.	Tallo azul
<i>Cynodon plectostachyus</i> (K. Schumann.) Pilg.	Pasto estrella
<i>Cyperus esculentus</i> L.	Coquillo amarillo
<i>Melinis repens</i> (Willd.) Zizka	Pasto rosado
<i>Cyperus rotundus</i> L.	Coquillo rojo

oscila de 50 µg a 30 mg de carbono, con una precisión de $\pm 15 \mu\text{g}$. Se realizaron tres análisis por especie para cada componente de vástago y raíz, con la finalidad de obtener el valor promedio (Yerena *et al.*, 2012). En total se analizaron 378 muestras, las cuales se obtuvieron de muestreos de tres sitios por cada una de las 21 especies y de los dos componentes morfológicos mencionados, además de que las determinaciones se realizaron por triplicado.

Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos se efectuó mediante el programa Statistica Advanced. Dos factores se consideraron: especie y componente; dentro del factor especie hubo 21 niveles, y en el factor componente dos niveles (vástago y raíz). Cuando los datos cumplieron con los criterios de normalidad y homocedasticidad se realizó análisis de varianza ($P \leq 0.05$) bajo un modelo completamente aleatorio. A las variables que presentaron diferencias significativas se les aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Concentración de carbono por especie

La concentración de C presente en la planta completa mostró diferencias significativas ($P \leq 0.0001$) entre especies, por lo cual la primera hipótesis se acepta. Los pastos conocidos como almorejo y zacate johnson (*Setaria viridis* y *Sorghum halepense*) presentaron los mayores valores, con 39.9 y 39.5 %, respectivamente; en cambio, el pasto bahía (*Paspalum notatum*) registró la menor concentración de carbono con 32.5 %; la media general fue de 36.4 % (Cuadro 2); dicha diferencia se atribuye a que las especies tienen variación en sus contenidos de proteína, celulosa, hemicelulosa y lignina (Del Pozo, 2002). El intervalo de variación en la concentración de carbono entre las especies fue de 7.4 %, mientras que para hierbas de pastizales en otras regiones del país, como la Sierra Norte de Oaxaca, se reportó una diferenciación superior de 17.3 puntos porcentuales, de 25.1 a 42.4 % (Figueroa-Navarro *et al.*, 2005), al igual que para herbáceas del

bosque de oyamel del Parque Nacional el Chico en el estado de Hidalgo, el intervalo fue de 38 a 50 % (Razo *et al.*, 2015), debido a las condiciones climáticas, latitud, edad de la planta, capacidad fotosintética, composición química y tipo de suelo (Irving, 2015; Ma *et al.*, 2018).

La concentración de carbono por especie resultó en todos los casos inferior al valor de 50 % sugerido por el IPCC (2006) para los tejidos vegetales. Gasca *et al.* (2014) reportaron 37 % para el pasto *Brachiaria brizantha* en Colombia, porcentaje similar al del presente estudio. Andrade *et al.* (2008) reportaron 43.7 % para la misma especie en Costa Rica. Es probable que las causas de esta variación entre las regiones geográficas sean que la especie de este estudio se desarrolló en una zona semiárida, mientras que la de Costa Rica se estableció en zona tropical, ambientes discrepantes en temperatura, iluminación y disponibilidad de agua, lo que causó diferencias en sus características anatómicas, en procesos fisiológicos como la fotorrespiración, carboxilación y oxigenación, así como en las actividades de las enzimas (Gliessman,

2002); sin embargo, fue inconsistente con los resultados de un estudio para diferentes regímenes climáticos donde la concentración de carbono en hierbas y pastos presentó una tendencia similar, seco 42.1 %, frío 42.0 % y húmedo 41.6 % (Jain *et al.*, 2010). Los datos de especies en particular contribuyeron a mejorar la precisión en las estimaciones del balance de carbono en los ecosistemas terrestres, lo que redujo la incertidumbre en los inventarios de carbono (Pompa-García *et al.*, 2017)

Concentración de carbono por componente

El análisis de varianza presentó diferencias no significativas ($P \leq 0.080352$) en la concentración de carbono entre los componentes de la planta, por lo que la segunda hipótesis se rechaza. El componente radical presentó en promedio $36.0 \pm 2.8 \%$ y el vástago $36.9 \pm 2.7 \%$. La manera en que las plantas distribuyen los compuestos de carbono derivados de la fotosíntesis y los destinan para los diferentes procesos fisiológicos y componentes vegetales es descrita mediante el término repartición de

Cuadro 2. Concentración de carbono en especies de pasto presentes en el matorral espinoso tamaulipeco, pastizal inducido, matorral submontano y bosque de encino, en Linares y Montemorelos, Nuevo León, México.

Especie	Media \pm DE	Agrupación Tukey
<i>Paspalum notatum</i>	32.5 \pm 0.6	a
<i>Panicum maximum</i>	33.4 \pm 1.3	ab
<i>Eleusine indica</i>	34.0 \pm 0.5	abc
<i>Cyperus rotundus</i>	34.6 \pm 1.0	abcd
<i>Dichanthium annulatum</i>	34.9 \pm 1.0	abcdf
<i>Cenchrus echinatus</i>	34.9 \pm 0.8	abcdf
<i>Bothriochloa wrightii</i>	35.1 \pm 1.1	abcdfg
<i>Melinis repens</i>	35.3 \pm 1.1	abcdfgh
<i>Bothriochloa ischaemum</i>	35.8 \pm 0.6	bcdcfghi
<i>Panicum hallii</i>	36.8 \pm 1.1	cdcfghij
<i>Aristida adscensionis</i>	36.9 \pm 0.9	dfcfghij
<i>Andropogon gerardii</i>	36.9 \pm 0.3	dfcfghij
<i>Cyperus esculentus</i>	37.1 \pm 1.1	dfcfghijk
<i>Brachiaria brizantha</i>	37.3 \pm 1.6	dfcfghijk
<i>Cynodon dactylon</i>	37.5 \pm 0.6	fghijk
<i>Eustachys petraea</i>	37.9 \pm 1.2	ghijk
<i>Cynodon plectostachyus</i>	38.0 \pm 0.4	hijk
<i>Bouteloua curtipendula</i>	38.5 \pm 0.6	ijk
<i>Pennisetum ciliare</i>	38.6 \pm 0.01	ijk
<i>Sorghum halepense</i>	39.5 \pm 0.0	jk
<i>Setaria viridis</i>	39.9 \pm 0.7	k

DE: desviación estándar. Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$).

carbono, que involucra la fuente, la vía y un destino (Del Pozo, 2002; Irving, 2015). Durante el crecimiento, varias estructuras de la planta compiten entre sí para obtener parte del carbono fijado por las hojas, y como resultado, algunas partes acumulan más biomasa que otras (Gliessman, 2002).

Concentración de carbono en el vástago

Para la concentración de carbono en el vástago de las plantas la diferencia fue significativa ($P \leq 0.0001$) entre especies. Las especies de pasto *Setaria viridis*, *Sorghum halepense*, *Cyperus esculentus*, *Cynodon dactylon* y *Pennisetum ciliare* tuvieron mayor concentración de carbono en el vástago, con valores desde 40.0 hasta 41.9 %; en contraste, las especies *Paspalum notatum*, *Panicum maximum*, *Cyperus rotundus*, *Eleusine indica*, *Melinis repens*, *Brachiaria brizantha*, *Bothriochloa ischaemum*, *Dichanthium annulatum*, *Cynodon plectostachyus*, *Bothriochloa wrightii*, *Eustachys petraea* y *Panicum hallii* tuvieron los valores menores, desde 33.2 hasta 36.7 % (Cuadro 3).

Existen diferencias entre especies que poseen vías bioquímicas similares para la fotosíntesis en cuanto a la actividad fotosintética, crecimiento y desarrollo, atribuyéndose ésto a las diferentes características anatómicas, metabólicas y asimilación del carbono que presentan los follajes en las plantas de pastos (Del Pozo, 2002).

La concentración de carbono en el vástago de las 21 especies fue mayor a lo reportado por Yaranga y Custodio (2013) para cuatro especies de pastos naturales altoandinos de la provincia de Huancayo, Junín, Perú, con valores entre 29.1 y 32.1 %.

Concentración de carbono en la raíz

La concentración promedio de carbono en la raíz de los pastos presentó diferencias significativas ($P \leq 0.0001$) entre especies. La concentración de carbono en la raíz de *Paspalum notatum*, *Cenchrus echinatus*, *Panicum maximum*, *Dichanthium annulatum*, *Cyperus esculentus*,

Cuadro 3. Concentración de carbono en el vástago de especies de pasto presentes en el matorral espinoso tamaulipeco, pastizal inducido, matorral submontano y bosque de encino, en Linares y Montemorelos, Nuevo León, México.

Especie	Media \pm DE	Agrupación Tukey
<i>Paspalum notatum</i>	33.2 \pm 0.1	a
<i>Panicum maximum</i>	33.5 \pm 0.3	ab
<i>Cyperus rotundus</i>	33.7 \pm 0.6	abc
<i>Eleusine indica</i>	33.8 \pm 0.5	abcd
<i>Melinis repens</i>	34.2 \pm 1.1	abcde
<i>Brachiaria brizantha</i>	35.1 \pm 0.7	abcde
<i>Bothriochloa ischaemum</i>	36.0 \pm 1.4	abcde
<i>Dichanthium annulatum</i>	36.2 \pm 1.9	abcde
<i>Cynodon plectostachyus</i>	36.3 \pm 1.6	abcde
<i>Bothriochloa wrightii</i>	36.3 \pm 1.8	abcde
<i>Eustachys petraea</i>	36.5 \pm 0.8	abcdef
<i>Panicum hallii</i>	36.7 \pm 1.0	abcdefg
<i>Aristida adscensionis</i>	37.1 \pm 1.9	bcdefgh
<i>Andropogon gerardii</i>	37.4 \pm 0.4	cdefgh
<i>Cenchrus echinatus</i>	37.4 \pm 0.2	defgh
<i>Bouteloua curtipendula</i>	37.6 \pm 0.3	efgh
<i>Setaria viridis</i>	40.0 \pm 1.7	fghi
<i>Sorghum halepense</i>	40.3 \pm 1.7	ghi
<i>Cyperus esculentus</i>	40.6 \pm 2.0	hi
<i>Cynodon dactylon</i>	40.8 \pm 1.2	hi
<i>Pennisetum ciliare</i>	41.9 \pm 0.2	i

DE: desviación estándar. Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$).

Bothriochloa wrightii, *Cynodon dactylon*, *Eleusine indica*, *Pennisetum ciliare*, *Cyperus rotundus*, *Bothriochloa ischaemum*, *Andropogon gerardii*, *Melinis repens* y *Aristida adscensionis* varió desde 31.8 hasta 36.6 % (Cuadro 4). La concentración de carbono promedio en la raíz de la especie *Paspalum notatum* fue menor que la reportada por Yaranga y Custodio (2013) para *Stipa ichu* en Perú, de 32.2 %. La variación de la concentración de carbono entre los órganos se asocia con diferencias en sus composiciones químicas, los componentes de las plantas están desarrollados de varios compuestos orgánicos con diferentes concentraciones de C, como lignina con 63 %, celulosa con 44 % y carbohidratos no estructurales con 44 % (Ma et al., 2018).

CONCLUSIONES

La concentración de carbono en plantas de 21 especies de pastos presentes en el matorral espinoso tamaulipeco, pastizal inducido, matorral submontano y bosque de encino, en Linares y Montemorelos, Nuevo León, México

fueron significativamente diferentes entre ellas; la media general de concentración de carbono fue de 36.4 % y el intervalo en plantas completas fue desde 32.5 a 39.9, en pasto bahía (*Paspalum notatum*) y pasto almorejo (*Setaria viridis*), respectivamente. Al comparar la concentración de carbono del vástago y la raíz los resultados fueron similares, pero al analizar la concentración de carbono entre las especies, el vástago y la raíz mostraron valores significativamente diferentes. Generalizar la concentración de carbono total proporciona sobrestimación del carbono capturado en los pastos, por lo cual se deben utilizar valores para cada especie.

AGRADECIMIENTOS

Al Programa de Apoyo a la Investigación Científica y Tecnológica de la Universidad Autónoma de Nuevo León, por el apoyo financiero otorgado al proyecto “Concentración de carbono en pastos de diferentes sistemas de uso de suelo”.

Cuadro 4. Concentración de carbono en la raíz de especies de pasto presentes en el matorral espinoso tamaulipeco, pastizal inducido, matorral submontano y bosque de encino, en Linares y Montemorelos, Nuevo León, México.

Especie	Media ± DE	Agrupación Tukey
<i>Paspalum notatum</i>	31.8 ± 1.2	a
<i>Cenchrus echinatus</i>	32.3 ± 1.5	ab
<i>Panicum maximum</i>	33.4 ± 2.4	ab
<i>Dichanthium annulatum</i>	33.6 ± 0.6	ab
<i>Cyperus esculentus</i>	33.7 ± 0.6	ab
<i>Bothriochloa wrightii</i>	33.8 ± 0.7	abc
<i>Cynodon dactylon</i>	34.2 ± 1.7	abc
<i>Eleusine indica</i>	34.2 ± 0.6	abc
<i>Pennisetum ciliare</i>	35.3 ± 0.2	abcd
<i>Cyperus rotundus</i>	35.5 ± 2.1	abcd
<i>Bothriochloa ischaemum</i>	35.6 ± 0.2	abcd
<i>Andropogon gerardii</i>	36.4 ± 0.4	abcd
<i>Melinis repens</i>	36.5 ± 1.2	abcd
<i>Aristida adscensionis</i>	36.6 ± 0.3	abcd
<i>Panicum hallii</i>	36.9 ± 2.0	bcd
<i>Sorghum halepense</i>	38.7 ± 0.4	cd
<i>Eustachys petraea</i>	39.2 ± 3.0	d
<i>Bouteloua curtipendula</i>	39.7 ± 1.3	d
<i>Brachiaria brizantha</i>	39.39 ± 3.8	d
<i>Setaria viridis</i>	39.7 ± 1.7	d
<i>Cynodon plectostachyus</i>	39.8 ± 0.9	d

DE: desviación estándar. Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey, P ≤ 0.05).

BIBLIOGRAFÍA

- Andrade H. J., R. Brook and M. Ibrahim (2008) Growth, production and carbon sequestration of silvopastoral systems with native timber species in the dry lowland of Costa Rica. *Plant and Soil* 308:11-22, <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9600-x>
- Castro R. R., A. Hernández G., G. Aguilar B. y O. Ramírez R. (2011) Comparación de métodos para estimar rendimiento de forraje en praderas asociadas. *Naturaleza y Desarrollo* 9:38-46.
- Costanza R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, ... and M. van den Belt (1997) The value of the world's ecosystems services and natural capital. *Nature* 387:253-260, <https://doi.org/10.1038/387253a0>
- Dass P., B. Z. Houlton, Y. Wang and D. Warlind (2018) Grasslands may be more reliable carbon sinks than forests in California. *Environmental Research Letters* 13:074027, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aac39>
- Deguignet M., D. Juffe-Bignoli, J. Harrison, B. MacSharry, N. Burgess and N. Kingston (2014) 2014 United Nations List of Protected Areas. United Nations Environment Programme-World Conservation Monitoring Centre. Cambridge, UK. 30 p.
- Del Pozo R. P. P. (2002) Bases ecofisiológicas para el manejo de los pastos tropicales. *Pastos* 32:109-137.
- FAO, Food and Agriculture Organization (2009) Grasslands: enabling their potential to contribute to greenhouse gas mitigation. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. <http://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/climate/FinalUNFCCCgrassland.pdf> (February 2018).
- Figueroa-Navarro C., J. D. Etchevers-Barra, A. Velázquez-Martínez y M. Acosta-Mireles (2005) Concentración de carbono en diferentes tipos de vegetación de la Sierra Norte de Oaxaca. *Terra Latinoamericana* 23:57-64.
- Gasca S. C., E. H. Pérez y A. Figueroa C. (2014) Evaluación del potencial de captura de carbono en un sistema pastoril de *Brachiaria brizantha*, en la subcuenca alta del río Las Piedras y el municipio de Popayán. *Suelos Ecuatoriales* 44:42-50.
- Gliessman S. R. (2002) Agroecología: Procesos Ecológicos en Agricultura Sostenible. LITOCAT. Turrialba, Costa Rica. 359 p.
- Graciano-Ávila G., E. Alanís-Rodríguez, O. A. Aguirre-Calderón, M. A. González-Tagle, E. J. Treviño-Garza, A. Mora-Olivo y E. Buendía-Rodríguez (2019) Estimación de volumen, biomasa y contenido de carbono en un bosque de clima templado-frío de Durango, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 42:119-127, <https://doi.org/10.35196/rfm.2019.2.119-127>
- Hewins D. B., M. P. Lyseng, D. F. Schoderbek, M. Alexander, W. D. Willms, C. N. Carlyle, ... and E. W. Bork (2018) Grazing and climate effects on soil organic carbon concentration and particle-size association in northern grasslands. *Scientific Reports* 8:1336, <https://doi.org/10.1038/s41598-018-19785-1>
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (2006) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge, UK and New York, USA. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/> (January 2018).
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (2007) Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of the Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller (eds.). Cambridge University Press. New York, USA. 996 p.
- Irving L. J. (2015) Carbon assimilation, biomass partitioning and productivity in grasses. *Agriculture* 5:1116-1134, <https://doi.org/10.3390/agriculture5041116>
- Jain T. B., R. T. Graham and D. Adams (2010) Carbon concentrations and carbon pool distributions in dry, moist, and cold mid-aged forests of the Rocky Mountains. In: Integrated Management of Carbon Sequestration and Biomass Utilization Opportunities in a Changing Climate. T. B. Jain, R. T. Graham and J. Sandquist (eds.). Proceedings of the 2009 National Silviculture Workshop, 15-18 June 2009. Department of Agriculture, Forest Service. Rocky Mountain Research Station. Fort Collins, Colorado, USA. pp:39-59.
- Jiménez P. J., E. J. Treviño G. y J. I. Yerena Y. (2013) Concentración de carbono en especies del bosque de pino-encino en la Sierra Madre Oriental. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 4:50-61, <https://doi.org/10.29298/rmcf.v4i17.420>
- Jones M. B. and A. Donnelly (2004) Carbon sequestration in temperate grassland ecosystems and the influence of management, climate and elevated CO₂. *New Phytologist* 164:423-439, <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2004.01201.x>
- Ma S., F. He, D. Tian, D. Zou, Z. Yan, Y. Yang, ... and J. Fang (2018) Variations and determinants of carbon content in plants: a global synthesis. *Biogeosciences* 15:693-702, <https://doi.org/10.5194/bg-15-693-2018>
- Newman E. I. (2000) Applied Ecology and Environmental Management. Second edition. Wiley-Blackwell. London, UK. 408 p, <https://doi.org/10.1002/9780470698723>
- Pompa-García M. and J. A. Sigala -Rodríguez (2017) Variation of carbon uptake from forest species in Mexico: a review. *Madera y Bosques* 23:225-235, <https://doi.org/10.21829/myb.2017.2321512>
- Pompa-García M., J. A. Sigala-Rodríguez, E. Jurado and J. Flores (2017) Tissue carbon concentration of 175 Mexican forest species. *iForest - Biogeosciences and Forestry* 10:754-758, <https://doi.org/10.3832/for2421-010>
- Quispe N. C. M., F. Quispe C. y R. M. Yaranga C. (2015) Almacenamiento de carbono en pastos naturales de la subcuenca del Canipaco, Huancayo. *Apuntes de Ciencia y Sociedad* 5:218-227, <https://doi.org/10.18259/acs.2015032>
- Razo Z. R., A. J. Gordillo M., R. Rodríguez L., C. C. Maycotte M. y O. A. Acevedo S. (2015) Coeficientes de carbono para arbustos y herbáceas del bosque de oyamel del Parque Nacional El Chico. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 6:58-67, <https://doi.org/10.29298/rmcf.v6i31.195>
- Rodríguez-Laguna R., J. Jiménez-Pérez, O. A. Aguirre-Calderón, E. J. Treviño-Garza y R. Razo-Zárate (2009) Estimación de carbono almacenado en el bosque de pino-encino en la Reserva de la Biosfera el Cielo, Tamaulipas, México. *Ra Ximhai* 5:317-327, <https://doi.org/10.35197/rx.05.03.2009.06.rr>
- Smith P., D. Martino, Z. Cai, D. Gwary, H. Janzen, P. Kumar, ... and J. Smith (2008) Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 363:789-813, <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2184>
- White R. P., S. Murray and M. Rohweder (2000) Pilot Analysis of Global Ecosystems: Grassland Ecosystems. World Resources Institute. Washington, DC, USA. 70 p.
- Yaranga C. R. M. y M. Custodio V. (2013) Almacenamiento de carbono en pastos naturales altoandinos. *Scientia Agropecuaria* 4:313-319, <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2013.04.05>
- Yerena Y. J. I., J. Jiménez P., O. A. Aguirre C. y E. J. Treviño G. (2012) Contenido de carbono total en los componentes de especies arbóreas y arbustivas en áreas con diferente uso, en el matorral espinoso tamaulipeco, en México. *Bosque* 33:145-152, <https://doi.org/10.4067/S0717-92002012000200004>

