

**Revista Internacional de
Contaminación Ambiental**

Revista Internacional de Contaminación

Ambiental

ISSN: 0188-4999

rvp@atmosfera.unam.mx

Universidad Nacional Autónoma de

México

México

MARCOS SOLORIO, Beatriz; MARTÍNEZ CAMPOS, Ángel Roberto; LÓPEZ URQUÍDEZ,
Guadalupe Alfonso; LÓPEZ ORONA, Carlos Alfonso; ARTEAGA REYES, Tizbe Teresa

LA BIOMASA DE LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS DE MAÍZ NATIVO (*Zea mays*)

COMO ALTERNATIVA A LA CAPTURA DE CARBONO

Revista Internacional de Contaminación Ambiental, vol. 32, núm. 3, 2016, pp. 361-367

Universidad Nacional Autónoma de México

Distrito Federal, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37046488010>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

LA BIOMASA DE LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS DE MAÍZ NATIVO (*Zea mays*) COMO ALTERNATIVA A LA CAPTURA DE CARBONO

Beatriz MARCOS SOLORIO¹, Ángel Roberto MARTÍNEZ CAMPOS¹,
Guadalupe Alfonso LÓPEZ URQUÍDEZ², Carlos Alfonso LÓPEZ ORONA^{2*} y
Tizbe Teresa ARTEAGA REYES¹

¹ Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales, Universidad Autónoma del Estado de México. El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México, México, C.P. 50090

² Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Sinaloa. Carretera Culiacán-Eldorado km. 17.5, Culiacán de Rosales, Sinaloa, México, C.P. 80398

*Autor para correspondencia: clopezorona@uas.edu.mx

(Recibido junio 2015; aceptado noviembre 2015)

Palabras clave: cambio climático, fijación de carbono, equivalentes de carbono, sistemas agrícolas, ambientes contrastantes

RESUMEN

Con la finalidad de obtener información cuantitativa sobre el potencial de fijación de carbono en cultivos de maíz, se evaluaron cuatro variedades nativas del mismo (negro, amarillo, blanco y cacahuacintle), bajo tres ambientes contrastantes (montaña, valle y planicie). En el ambiente de montaña (Jiquipilco, Estado de México) la temperatura y precipitación media durante el ciclo del cultivo fue de 16 °C y 818.5 mm respectivamente, y en el valle (Temoaya, Estado de México) fue de 16 °C y 768.8 mm respectivamente. Las parcelas fueron sembradas el 8 de mayo de 2013. Los cultivos de planicie (Culiacán, Sinaloa) se sembraron el día 19 de diciembre del 2013 y la temperatura y precipitación media en éstos fue de 23 °C y 44.1 mm respectivamente. El análisis estadístico indicó que la concentración de carbono entre variedades es estadísticamente diferente ($P < 0.05$), la variedad amarilla obtuvo el valor más alto (34.3 tCO₂eq/ha), mientras que las variedades negro y cacahuacintle registraron la capacidad más baja de fijación de carbono, con un promedio de 24.5 tCO₂ eq/ha para cada una. Los ambientes de montaña y de valle resultaron con los mayores valores de fijación de carbono (41.6 tCO₂eq/ha), comparados con los de planicie (11.4 tCO₂eq/ha) y fueron estadísticamente diferentes. Se concluye que los sistemas productivos de maíz con variedades nativas pueden considerarse como una alternativa para la fijación del carbono.

Key words: climate change, carbon sequestration, carbon equivalents, farming systems, contrasting environments

ABSTRACT

In order to obtain quantitative information on the carbon sequestration potential of corn, four native maize varieties (black, yellow, white and cacahuacintle) under three contrasting environments (mountain, valley and plain) were evaluated. In the mountain environment (Jiquipilco, State of Mexico) the temperature and rainfall during the crop cycle was 16 °C and 818.5 mm, respectively and in the valley (Temoaya, State of

Mexico) was 16 °C and 768.8 mm, respectively. Plots were seeded on may 8, 2013. The plain crops (Culiacan, Sinaloa) were seeded on december 19, 2013, and the average temperature and precipitation was 23 °C and 44.1 mm respectively. Statistical analysis indicated that the concentration of carbon between varieties is statistically different ($P < 0.05$). The yellow variety had the highest value (34.3 tCO₂eq/ha), while the black and cacahuacintle varieties had the lowest binding capacity, with an average of 24.5 tCO₂eq/ha for each. The mountain and valley environments presented the highest values of carbon fixing (41.6 tCO₂eq/ha) compared to those of plain (11.4 tCO₂eq/ha), and they were also statistically different. It is concluded that production systems with native corn varieties can be considered as an alternative to carbon fixation.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático es un problema ambiental que se ha agravado considerablemente en las últimas décadas debido a un aumento de los gases de efecto invernadero emitidos hacia la atmósfera como resultado de la actividad humana. Dentro de estos gases el que mayor aumento de concentración ha tenido es el dióxido de carbono (CO₂). Algunas alternativas para disminuir su concentración son a través del secuestro de carbono y de su fijación en el suelo o de su almacenado en forma de biomasa, la cual incluye todo tipo de vegetación y organismos vivos de todos los ecosistemas (Espinoza *et al.* 2012).

Los sistemas agrícolas, además de ser una fuente de alimento, han demostrado tener capacidad de captura de CO₂ (Robert 2002), lo cual depende de la productividad de los mismos sistemas y de las condiciones ambientales bajo las que se cultiva. En México los cultivos de maíz nativo poseen una gran diversidad genética. El 80 % de la superficie cultivada en el país corresponde a maíz nativo y el 20 % a maíces mejorados (Aragón *et al.* 2006). Estos cultivos se encuentran principalmente en condiciones de temporal y los agricultores generalmente disponen de más de una variedad nativa adaptada a su ambiente (Aceves *et al.* 2002).

En concreto, el cultivo de maíz por medio de la fotosíntesis asimila el CO₂ atmosférico, lo transforma en carbohidratos y lo fija en sus estructuras para aumentar su biomasa (Espinoza *et al.* 2012). El carbono orgánico del suelo (COS) está en función de la tasa de descomposición de los residuos de las cosechas, como raíces y otros materiales orgánicos que retornan al suelo en la misma cantidad y composición (Follett 2001). Parte de este COS regresa a la atmósfera a causa de la respiración celular y a la descomposición de la materia orgánica del suelo. Es así como los cultivos permiten incorporar el carbono atmosférico al ciclo biológico (Casanova *et al.* 2011).

El objetivo del presente trabajo fue determinar el potencial de fijación de CO₂ en la biomasa de los

sistemas productivos de cuatro variedades de maíz nativo del Estado de México en tres ambientes diferentes (montaña, valle y planicie).

MATERIALES Y MÉTODOS

Establecimiento de los cultivos

Cuatro variedades de maíz fueron evaluadas en cuanto a su capacidad de fijación de carbono: maíz blanco, amarillo, negro y cacahuacintle, las que tienen aproximadamente 70 años de cultivarse en Temoaya y Jiquipilco, Estado de México (Fig. 1). Los cultivos se sembraron en tres ambientes contrastantes: montaña, valle y planicie, bajo diferentes condiciones de manejo. La parcela de montaña se ubicó en el municipio de Jiquipilco, que se localiza en la parte central del Estado de México a una altitud de 2750 msnm, el clima fue templado subhúmedo con lluvias en verano, con temperatura y precipitación media durante el ciclo de cultivo de 16 °C y 818.5 mm, respectivamente (CONAGUA 2015). Los cultivos de valle se establecieron en el municipio de Temoaya, el cual se localiza en la parte centro norte del Estado de México a una altitud de 2680 msnm, el clima es templado

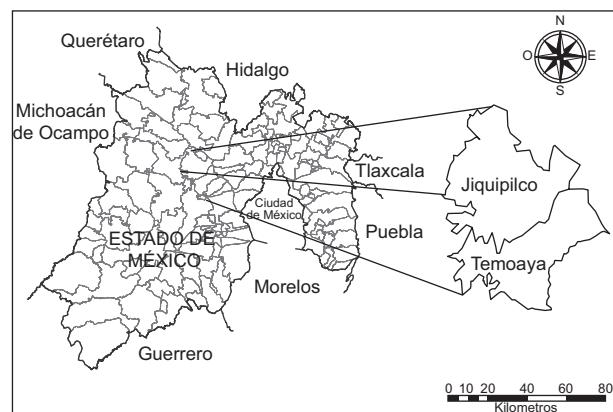


Fig. 1. Localización de los municipios de Jiquipilco y Temoaya

subhúmedo con lluvias en verano, con temperatura y precipitación media durante el cultivo de 16 °C y 768.8 mm, respectivamente (CONAGUA 2015). Los cultivos de montaña y valle fueron establecidos el 8 de mayo de 2013 en una superficie de 1 ha para cada ambiente. Se mantuvieron como cultivos de temporal con un riego de auxilio. La distancia entre surcos fue de 80 cm, distancia entre plantas de 20 cm y se aplicó una fertilización química en la presiembra de 136 kg de nitrógeno (300 kg urea). Para el caso de los cultivos de valle, adicionalmente se aplicaron 150 t de estiércol de bovino. El ambiente de planicie se estableció en el campo experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa, localizado en el municipio de Culiacán (Fig. 2) a una altitud de 19 msnm, el clima predominante fue seco-cálido, con temperatura y precipitación media durante el ciclo del cultivo de 23 °C y 44.1 mm, respectivamente (CONAGUA 2015). Este cultivo se sembró el 19 de diciembre de 2013 en una superficie de 1 ha. Se mantuvo la misma densidad de plantación descrita anteriormente. Se realizó una fertilización química orgánica en la presiembra con 80 kg de urea y 50 kg de fósforo, utilizando como fuente de los nutrientes urea y fosfato monoamónico. Asimismo, también se empleó una tonelada de compost. Se aplicó una segunda fertilización a los 40 días posteriores a la siembra de 200 kg de nitrógeno. Los riegos se realizaron a través de un sistema de multicompuertas, el primer riego de auxilio se aplicó a los 45 días después de la siembra, el segundo a los 65, el tercero a los 85 y el cuarto a los 105 días después de la siembra.

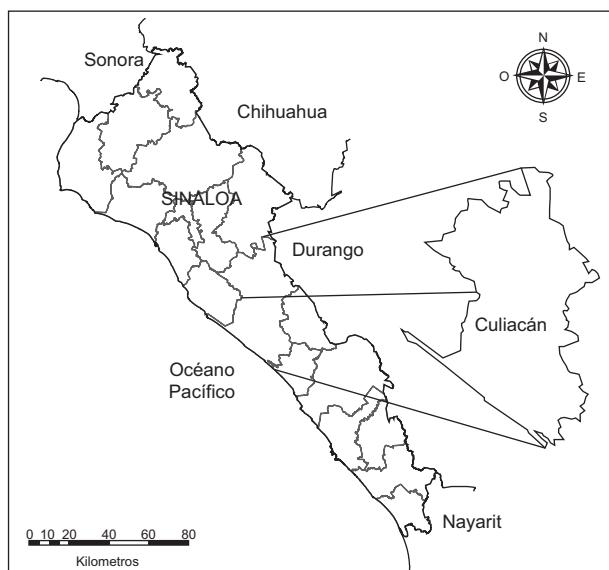


Fig. 2. Localización del municipio de Culiacán

La siembra se hizo de manera manual en las tres zonas, se mantuvo la densidad de 62 000 plantas por ha, con un índice de pérdida del 5 %, el cual fue obtenido mediante una prueba de germinación. En los cultivos sembrados en el ambiente de planicie se aplicó una dosis de 150 mL/ha del producto Denim 19 CE de Syngenta (benzoato de emamectina 2.12 %) para el control del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*). La fumigación fue dirigida al cogollo de la planta con una bomba de aspersión manual. En los cultivos de montaña y valle no se presentó la plaga de este gusano cogollero.

Muestreo y evaluaciones morfométricas

Se hicieron muestreos aleatorios de 36 plantas por cada ambiente y variedades cuando alcanzaron su madurez fisiológica (140 días después de la siembra), para determinar la altura de la planta, la longitud del tallo, de la raíz, de la espiga y de la mazorca, así como el peso de las hojas. La altura se midió desde la base del tallo hasta la punta de la última hoja expuesta de la planta, con una regla de medición. La longitud del tallo se midió desde la base del tallo hasta donde inicia la espiga, finalmente la longitud de la espiga se consideró como la parte restante. La raíz fue extraída completamente del suelo y se limpió con agua para medir su longitud con una regla de medición. La mazorca fue cortada del tallo y después se le desprendieron las hojas protectoras para medir su longitud y masa. Se colocó el total de las hojas por planta en una bolsa de papel y se secaron en una estufa a 70 °C por 24 h para determinar la pérdida de peso.

Composición química del maíz

La estimación del carbono fijado se realizó a partir la composición química proximal de cada estructura. Esta composición química fue determinada mediante análisis bromatológicos (AOAC 2006), que incluyeron contenidos de humedad, proteína, fibra y ceniza del material vegetal colectado en campo. Para el caso del grano, adicionalmente se determinó almidón por la técnica de textura por disección (Pérez *et al.* 2007).

Equivalentes de CO₂ fijados en la biomasa

Para determinar el porcentaje correspondiente a carbono en cada compuesto, se utilizaron las siguientes expresiones:

$$\%C = PMC/PMDC *100 \quad (1)$$

$$CT = ((\%C) * (gCM)/100)* \quad (2)$$

$$EqCO_2 = (CT*44)/12 \quad (3)$$

dónde: % C = porcentaje de carbono correspondiente a cada compuesto, (12 almidón, 24 proteína y 72 para fibra) PMC = peso molecular del carbono contenido en cada compuesto determinado a partir de la fórmula mínima, PMDC = Peso molecular de la fórmula mínima de cada compuesto (almidón 30 g/mol, proteína 75 g/mol, fibra 162 g/mol), CT = carbono total, gCM = gramos del compuesto (almidón, proteína, fibra) en la muestra, PS = peso seco de la muestra, EqCO₂ = equivalentes de CO₂. La determinación del carbono fijado se presenta en toneladas de equivalentes de CO₂ por hectárea (tCO₂ eq/ha).

Análisis estadístico

El diseño experimental empleado para el análisis de los resultados fue bloques completamente al azar, donde cada ambiente fue considerado un tratamiento y cada variedad un bloque. Se realizaron pruebas de Kolmogorov-Smirnov para identificar desviaciones respecto a la distribución normal. Una vez que se comprobó la normalidad en los datos, se realizó un análisis de varianza y posteriormente una prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). Se utilizó el programa estadístico SAS (Statistical Analysis System 1998).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluaciones morfométricas por ambiente

Los valores medios de las longitudes del tallo, raíz, mazorca y peso de las hojas cultivadas en el valle y en la montaña fueron 1.4, 1.8, 1.4, 2.0 veces más que los alcanzados en las plantas de planicie y fueron estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$; **Cuadro I**). Estos resultados son consistentes con los mayores rendimientos de grano obtenidos en los cultivos de montaña y valle 8.40 y 9.00 t/ha, respectivamente, al compararlos con los de planicie (1.69 t/ha),

CUADRO I. MEDIDAS MORFOMÉTRICAS EN PLANTAS DE MAÍZ EN TRES AMBIENTES DIFERENTES

Tipo de ambiente	LT (cm)	LR (cm)	LM (cm)	PH (g)	PG (g)
Planicie	218.0 a	16.7 a	10.8 a	30.8 a	28.1 a
Valle	308.0 b	30.6 c	15.2 b	61.7 b	149.9 b
Montaña	295.7 b	25.7 b	16.4 b	61.5 b	139.9 b

Valores con la misma letra por columna son estadísticamente iguales, significancia de 0.05. LT = Longitud de tallo, LR = Longitud de raíz, LM = Longitud de mazorca, PH = Peso de hojas, PG = Peso de grano.

ya que el rendimiento está asociado a la longitud de la raíz, el tallo y las hojas (Paliwal 2001). Lo anterior coincide con lo reportado por Pecina *et al.* (2011), quienes encontraron que a mayor altitud y menor temperatura se incrementa el rendimiento de grano del maíz. Observaron que los cultivos de valles altos superaron a los de transición y éstos a los de trópico seco, probablemente por problemas de adaptación, lo que implica una menor capacidad para las plantas de expresar su máximo potencial de rendimiento.

Evaluaciones morfométricas por variedad

Las longitudes medias de tallo, raíz, mazorca, espiga y peso de las hojas fueron de 270 cm, 23.7 cm, 14.1 cm, 24.2 cm y 50.3 g, respectivamente y no presentaron diferencias estadísticas entre variedades ($P \leq 0.05$). Estos valores son superiores a los reportados por Espinosa *et al.* (2013) en plantas de variedades criollas amarillas en valles altos de 2.2 m con una longitud de mazorca de 13.7 cm.

Además, estas variedades nativas superan en longitud a los maíces híbridos de valles altos (2200-2274 msnm), cuyo rango es de 190 a 262 cm (Arellano *et al.* 2010, Tadeo *et al.* 2012).

Elizondo y Boschini (2002) reconocen que el cultivar maíz criollo permite obtener una mayor producción de forraje verde y seco (> 30 %) por ha, ya que la altura promedio de la planta del maíz criollo puede superar a las plantas de variedades híbridas en 1.7 m.

Análisis de composición química por variedad

El mayor porcentaje de proteína se encontró en el grano de la variedad amarilla con 7.71 % y el menor porcentaje fue de 2.60 % en la hoja de la mazorca de la misma variedad (**Cuadro II**). Sin embargo, el porcentaje de proteína obtenido en el grano es menor a lo reportado por Vera *et al.* (2012) quienes encontraron porcentajes de proteína de 11.9 % para grano en maíz amarillo.

En cultivos de maíz criollo forrajero, Amador *et al.* (2000) registraron porcentajes de proteína en tallo de 7.3 %, estos valores superan a los obtenidos en el presente estudio, ya que el tallo de la variedad negra obtuvo 6.24 % de proteína y fue superior al resto de las variedades con diferencias significativas ($P \leq 0.05$). El valor medio del porcentaje de proteína en hoja, raíz y hoja de mazorca fue 4.3 % y no se encontraron diferencias entre variedades ($P \leq 0.05$).

En contraste, los porcentajes de fibra en tallo fueron superiores a los reportados por Amador *et al.* (2000), quien obtuvo 67.03 %, en nuestro estudio la

CUADRO II. PORCENTAJE DE PROTEÍNA Y FIBRA DE CADA ESTRUCTURA DE LA PLANTA EN DIFERENTES VARIEDADES DE MAÍZ NATIVO

Variedad	Estructuras de la planta									
	Tallo		Hoja		Raíz		Hoja de mazorca		Grano	
	Proteína	Fibra	Proteína	Fibra	Proteína	Fibra	Proteína	Fibra	Proteína	Fibra
Negro	6.2 b	83.2 b	6.3 a	80.2 b	3.9 a	72.6 ab	2.7 a	80.7 a	6.9 ab	9.4 a
Cacahuacintle	5.7 ab	81.9 b	6.8 a	80.1 b	3.6 a	71.9 ab	3.0 a	78.7 a	6.7 a	8.3 a
Blanco	4.0 a	84.2 b	5.5 a	74.3 a	2.8 a	69.0 a	2.8 a	78.2 a	7.2 ab	13.3 a
Amarillo	5.91 ab	75.7 a	6.9 a	78.6 ab	4.1 a	75.2 b	2.6 a	80.7 a	7.7 b	10.3 a

Valores con la misma letra por columna son estadísticamente iguales, significancia de 0.05

variedad blanca registró 84.28 %. De igual forma el porcentaje de fibra en grano blanco (13.39 %) superó los porcentajes de 7.1 y 13.1 % reportados por Méndez *et al.* (2005) en variedades híbridas y 10.10 % en maíz criollo (**Cuadro II**). Estas diferencias en composición química se deben a la gran diversidad genética del maíz, que se refleja en sus diferentes propiedades y utilización.

Análisis de composición química por ambiente

Los porcentajes de proteína del tallo, hoja, raíz, hoja de la mazorca y grano de las plantas cultivadas en el valle fueron 1.2, 2.3, 3.5, 2.4 y 1.2 veces mayores y estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$) a las obtenidas en los cultivos de planicie. Sin embargo, los porcentajes de fibra disminuyeron (**Cuadro III**). Estos resultados son consistentes con lo señalado por Zepeda *et al.* (2009) quienes hacen referencia a un estudio realizado por Zhang *et al.* (1993), donde en maíces cultivados con dosis altas de nitrógeno se modificó la composición del grano. Dichos autores evaluaron el efecto de 0, 90 y 180 kg/ha de nitrógeno por tres años, en cuatro localidades y encontraron que los porcentajes de fibra y celulosa disminuyeron al aumentar las dosis de nitrógeno.

Los mayores porcentajes de fibra se presentaron en los cultivos de montaña, con excepción de la hoja de mazorca y grano donde los cultivos de valle y planicie obtuvieron los mayores porcentajes (81.65 % y 18.29 % respectivamente) (**Cuadro III**).

Fijación de carbono por variedad

El análisis de varianza mostró que existen diferencias significativas entre la fijación de equivalentes de CO₂ en las diferentes variedades ($P \leq 0.05$). Las que obtuvieron el porcentaje menor fueron las variedades negra y cacahuacintle con 24.77 y 24.26 tCO₂eq/ha, respectivamente comparadas con la variedad amarilla que obtuvo 1.4 veces más (34.37 tCO₂eq/ha; **Cuadro IV**).

Fijación de carbono por ambiente

En los cultivos de montaña se encontró la mayor cantidad de equivalentes de CO₂ fijado con más de 41 tCO₂ eq/ha, 1.4 veces más que los cultivos de valle y 3.6 veces más que los de planicie. El mayor contenido de carbono fijado fue en el tallo, en cultivos de montaña esta estructura fijó 4.9 veces más de equivalentes de carbono que los tallos de los cultivos de planicie (3.80 tCO₂ eq/ha; **Cuadro V**).

CUADRO III. PORCENTAJE DE PROTEÍNA Y FIBRA DE CADA ESTRUCTURA EN PLANTAS DE MAÍZ NATIVO PRODUCIDO EN DIFERENTES AMBIENTES

Ambiente	Estructuras de la planta									
	Tallo		Hoja		Raíz		Hoja de mazorca		Grano	
	Proteína	Fibra	Proteína	Fibra	Proteína	Fibra	Proteína	Fibra	Proteína	Fibra
Planicie	5.5 a	81.3 b	3.9 a	75.8 a	1.5 a	70.3 a	1.5a	78.4a	6.6a	18.2b
Valle	7.0 b	75.9 a	8.9 c	76.8 a	5.4 c	72.2 ab	3.7 b	81.6b	7.7 b	4.9a
Montaña	4.6 a	84.5 b	7.2 b	82.9 b	4.6 b	74.8 b	3.3 b	79.6ab	7.1 ab	5.7a

Valores con la misma letra por columna son estadísticamente iguales, significancia de 0.05

CUADRO IV. EQUIVALENTES DE CO₂ FIJADOS POR CADA ESTRUCTURA DE LA PLANTA Y VARIEDAD DE MAÍZ NATIVO (tCO₂ eq/ha)

Variedad de maíz	Tallo	Hoja	Raíz	Hoja de la mazorca	Grano	Total
Cacahuacintle	8.1 a	4.4 a	1.8 a	1.8 a	8.4 a	24.7 a
Negro	8.3 a	3.9 a	2.0 ab	1.7 a	8.1 a	24.2 a
Blanco	11.0 a	3.8 a	2.3 ab	2.1 a	7.0 a	26.4 b
Amarillo	13.9 a	4.2 a	3.0 b	2.0 a	11.0 a	34.3 c

Valores con la misma letra por columna son estadísticamente iguales, significancia de 0.05

CUADRO V. EQUIVALENTES DE CO₂ FIJADOS POR CADA ESTRUCTURA DE PLANTAS DE MAÍZ NATIVO PRODUCIDA EN DIFERENTES AMBIENTES (tCO₂ eq/ha)

Ambiente	Tallo	Hoja	Raíz	Hoja de la mazorca	Grano	Total
Planicie	3.7 a	2.3 a	1.4 a	1.1 a	2.7 a	11.4 a
Valle	8.1 b	5.0 b	2.3 b	1.9 b	12.8 b	30.2 b
Montaña	18.5 c	5.3 b	3.1 b	2.7 c	11.9 b	41.6 c

Valores con la misma letra por columna son estadísticamente iguales, significancia de 0.05

El total de carbono fijado en el ambiente de montaña fue de 13 tC/ha anual, por lo tanto, estos sistemas superan a lo reportado por Chacón *et al.* (2007), quienes encontraron que los bosques secundarios de 15 años tienen una tasa de fijación de 3.1 t/ha de C por año. Asimismo, Ordóñez *et al.* (2001) reportan que los bosques de *Pinus pseudostrobus* tienen un potencial de captura de 0.8 t/ha de C por año, ya que en 250 años han logrado capturar 217 tC/ha. Estos resultados indican que los sistemas de cultivo de maíz nativo superan las capacidades de fijación de carbono de los sistemas forestales, por lo que se constituyen en adecuados sumideros de carbono. Lo anterior concuerda con lo reportado por García *et al.* 2006, quienes mencionan que al ser el maíz una planta C4, posee altas tasas de actividad fotosintética, por lo que puede almacenar y mantener una gran cantidad de energía y biomasa, además de presentar muy poca o nula fotorrespiración (García *et al.* 2006, Hernández *et al.* 2008).

Jumilla *et al.* (2010), mencionan que el tiempo de permanencia del carbono retirado de la atmósfera es un aspecto fundamental del comportamiento de los reservorios agrícolas y de los sumideros en general. Reconocen que por muy pequeño que sea el periodo en el que el CO₂ permanece almacenado en la vegetación agrícola, no invalida a ésta como reservorio, por lo que los cultivos de maíz nativo funcionan

como una alternativa de fijación de carbono y, por ello, representan un servicio ambiental.

CONCLUSIONES

Los cultivos de maíz nativo producidos en montaña y en específico la variedad amarilla tienen una alta fijación de CO₂ en sus estructuras (34.37 tCO₂ eq/ha). Las características genéticas y las condiciones ambientales modifican el desarrollo, crecimiento, composición química y capacidad de fijación de carbono.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca de estudios de posgrado otorgada a Marcos Solorio y por el financiamiento del trabajo experimental a través del proyecto “El maíz mesoamericano y sus escenarios en el desarrollo local” No. de registro 130947. A la Universidad Autónoma de Sinaloa por el financiamiento a los trabajos experimentales realizados en la Facultad de Agronomía de dicha Universidad.

REFERENCIAS

- Aceves R. E., Turrent F. A., Cortés F. J. I. y Volke H. V. (2002). Comportamiento agronómico del híbrido H-137 y materiales criollos de maíz en el valle de puebla. Rev. Fitotec. Mex. 25, 339-347.
- Amador R. A. L. y Boschini F. C. (2000). Fenología productiva y nutricional de maíz para la producción de forraje. Agron. Mesoam. 11, 171-177.
- AOAC. (2006). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists International. 13a Ed. The Association of Official Analytical Chemists. Arlington, EUA, 1038 pp.
- Aragón C. F., Taba S., Hernández C. J. M., Figueroa C. J.D. y Serrano A. V (2006). Actualización de la información sobre los maíces criollos de Oaxaca.

- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México, México, 133 pp.
- Arellano V. J. L., Virgen V. J. y Ávila P. M. A. (2010). H-66 híbrido de maíz para los valles altos de los estados de México y Tlaxcala. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 1, 257-262.
- Bolaños G. Y., Bolaños G. M. A., Paz P. F., Gonalez W. J. y Barrales B. E. (2015). Estimación de carbono almacenado en dos bosques de referencia del Monte Tláloc en Texcoco, Estado de México. Memorias. Simposio Internacional del Carbono en México. Villahermosa, Tabasco. 20 al 22 de mayo. CD-ROM.
- Casanova L. F., Petit A. J. y Solorio S. J. (2011). Los sistemas agroforestales como alternativa a la captura de carbono en el trópico mexicano. Rev. Chapingo Ser. Cienc. For. Am. 17, 5-118.
DOI: 10.5154/r.rchscfa.2010.08.047.
- Chacón P., Leblanc H.A. y Russo R.O. (2007). Fijación de carbono en un bosque secundario de la región tropical húmeda de Costa Rica. Tierra Trop. 3, 39-49.
- CONAGUA (2015). Temperatura y lluvia. Resúmenes mensuales: consulta de tabla nacional por entidad federativa y mapas. Comisión Nacional del Agua. [en línea]. http://smn.conagua.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=12&Itemid=77 05/02/2015
- Elizondo J. y Boschini C. (2002). Producción de forraje con maíz criollo y maíz híbrido. Agron. Mesoam. 13, 13-17.
- Espinosa C. A., Tadeo R. M., Turrent F. A., Sierra M. M., Gómez M. N. y Zamudio G. B. (2013). Rendimiento de variedades tempranas de maíz grano amarillo para valles altos de México. Agron. Mesoam. 24, 93-99.
- Espinoza D. W., Krishnamurthy L., Vázquez A. A. y Torres R. A. (2012). Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales con café. Rev. Chapingo Ser. Cienc. For. Am. 18, 57-70. DOI: 10.5154/r.rchscfa.2011.04.030.
- Follett R.F. (2001). Soil management concepts and carbon sequestration in cropland soils. Soil Tillage Res. 61, 77-92. DOI: 10.1016/S0167-1987(01)00180-5.
- García F., Roselló J. y Santamarina M. (2006). Introducción al funcionamiento de las plantas. Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España, 184 pp.
- Jumilla F. V., Costa G. I., Castro C. T., García C. R., Rojas C.C y Mesa del Castillo N. L. (2010). Balance de carbono en cultivos de agricultura intensiva. En: Iniciativas para una economía baja en carbono. (F. V. Jumilla, Ed.). Consejería de Agricultura y Agua. Murcia, España, pp. 214-276.
- Méndez M. G., Solorza F. J., Velázquez V. M., Gómez M. N., Paredes L. O. y Bello P. L. A. (2005). Composición química y caracterización calorimétrica de híbridos y variedades de maíz cultivadas en México. Agrociencia 39, 267-274.
- Ordóñez J. A., Bernardus H. J. J. y Masera O. (2001). Almacenamiento de carbono en un bosque de *Pinus pseudostrobus* en Nuevo San Juan, Michoacán. Madera Bosques 72, 27-47.
- Paliwal R. L. (2001). Morfología del maíz tropical. En: El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción. (R.L. Paliwal, G. Granados, H. R. Lafitte, A. D. Violic y J. P. Marathée, Eds). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Departamento de Agricultura, Roma, Italia, 376 pp.
- Pecina M. J. A., Mendoza C. M.C., López S. J. A., Castillo G. F., Mendoza R. M. y Ortiz C. J. (2011). Rendimiento de grano y sus componentes en maíces nativos de Tamaulipas evaluados en ambientes contrastantes. Rev. Fitotec. Mex. 34, 85-92.
- Pérez C. F.J., Carballo C. A., Santacruz V. A., Hernández L. A. y Molina M. J. C. (2007). Calidad fisiológica en semillas de maíz con diferencias estructurales. Agric. Téc. Méx. 33, 53-61.
- Robert M. (2002). Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia, 70 pp.
- SAS (1998). SAS/STAT User's guide. Release 6.03 edition. Statistical Analysis Software Institute Inc. Cary, Carolina del Norte, EUA, 364 pp.
- Sierra D. C. (2010). Relación de la captura de carbono en *Saccharum officinarum* con otros factores ambientales para el cultivo de caña panelera. Tesis de Maestría. Instituto de Ciencias Ambientales. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 83 pp.
- Tadeo R.M., Espinosa C. A., Zaragoza E. J., Turrent F. A., Sierra M. M. y Gómez M. N. (2012). Forraje y grano de híbridos de maíz amarillo para valles altos de México. Agron. Mesoam. 23, 281-288.
- Vera G. A. M., Chávez S. J. L. y Carrillo R. J. C. (2012). Proteína, lisina y triptófano en poblaciones nativas de maíz mixteco. Rev. Fitotec. Mex. 35, 07-13.
- Zepeda B. R., Carballo C. A., Muñoz O. A., Mejía C. J. A., Figueroa S. B., González C. F. V. y Hernández A. C. (2009). Proteína, triptófano y componentes estructurales del grano en híbridos de maíz (*Zea mays* L.) producidos bajo fertirrigación. Agrociencia 43, 143-152.
- Zhang F., Mackenzie A. F. y Smith D. L. (1993). Corn yield and shifts among corn quality constituents following application of different nitrogen fertilizer sources at several times during corn development. J. Plant Nutr. 16, 1317-1337. DOI: 10.1080/01904169309364615.