

Sección II

Sustentabilidad y cambio climático en la agricultura



Capítulo 3

Estimación del carbono capturado por caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en el área de abastecimiento del ingenio Constanica, S. A.

*Estimation of carbon captured by sugar cane (*Saccharum officinarum*) in the supply area of Ingenio Constanica, S. A.*

*Ixyeyekolis yen tekolli mokitski' itech tzopelik ohuatl (*Sacharum officinarum*) itech tlatoknechikolli' yen tekipanol Constanica, S.A.*

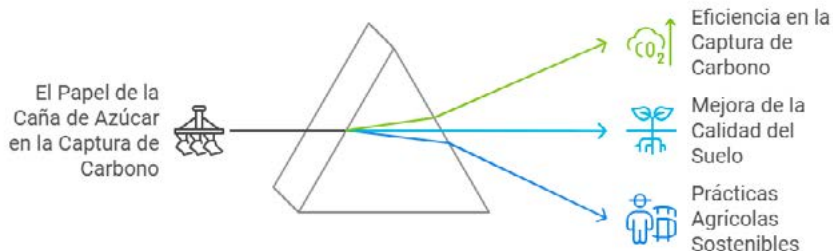
Carlos E. Rasgado Ayala¹ / Alejandro Llaguno Aguiñaga¹ / Jasiel Valdivia Sánchez¹ / Emmanuel de J. Ramírez Rivera¹ / Gregorio Hernández Salinas¹ / José M. Sánchez Orea¹

Autor de correspondencia: Alejandro Llaguno Aguiñaga /
llaguno.agronomo@zongolica.tecnm.mx

<https://doi.org/10.61728/AE20252687>



¹ Innovación Agrícola Sustentable. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Zongolica, Km. 4 Carretera S/N Tepetitlanapa. 95005 Zongolica, Veracruz, México.



Resumen

El estudio sobre la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en el área de abastecimiento del Ingenio Constancia, S. A., destaca su importancia en la captura de carbono, crucial para mitigar el cambio climático. Gracias a su metabolismo C4, la caña de azúcar es altamente eficiente en la asimilación de CO_2 , convirtiéndose en un cultivo estratégico para reducir gases de efecto invernadero. Se midió la biomasa aérea y subterránea utilizando métodos destructivos y no destructivos, y se analizó el contenido de carbono en las muestras, así como el carbono orgánico del suelo antes y después del cultivo. Los resultados mostraron una alta capacidad de captura de carbono en la biomasa y un incremento significativo en el carbono orgánico del suelo, mejorando su calidad a largo plazo. El cultivo de caña de azúcar se presenta como una herramienta eficaz para la captura de carbono, y las prácticas agrícolas sostenibles pueden maximizar estos beneficios, mejorando la productividad y la salud del suelo.

Abstract

The study on sugarcane (*Saccharum officinarum*) in the supply area of Ingenio Constancia, S. A., highlights its importance in carbon capture, crucial for mitigating climate change. Thanks to its C4 metabolism, sugarcane is highly efficient in CO_2 assimilation, making it a strategic crop for reducing greenhouse gases. The aerial and underground biomass was measured using destructive and non-destructive methods, and the carbon content in the samples, as well as the soil organic carbon before and after cultivation, was analyzed. The results showed a high capacity for carbon capture in the biomass and a significant increase in soil organic carbon, improving its quality in the long term. Sugarcane cultivation is presented as an effective tool for carbon capture, and sustainable agricultural practices can maximize these benefits, improving productivity and soil health.

Sepanoltlatolli'

Tla'ikxitokilis itech tzopelik ōhuatl (*Saccharum officinarum*) itech tlalnechikolli' yen tekípanol Cosntancia, S.A., ixpankisa' itekiyo' itech mokitski' tekolli', tlen moneki' pampa moh tzakuilis ahmo' mā mōkuepa' tlaltikpakyotl. ika' imahuiso' itekípanoltlakual C4, tzopelik ohuatl melahka' yek kualli tlen kih chichina' yen CO₂, mōkuepa' seh tlatok yehyēkol pampa sek tepitzintilis pokyo' yen "Efecto invernadero". omoh tomachi' yoltixtli' huehkanan ihuan itlampatlatli' omoh tlanahuatihkeh tlachihualolmeh tlaxitinkeh ihuan amoh tlaxitinkeh, ihuan omoh ikxitokak tlen mopía' yen tekolli' itech ihtitilmeh, ikoni' kemah palanki'tekolli' itech tlalli' achtoh ihuan satepan tlatoktli'. Kisasmeh okixpan-tihkeh seh huehkanantik chichahualis yen motzakuilía' tekolli' itech yoltixtli' ihuan seh mahkotilli' yeknestok itech palanki'tekolli' yen tlali', kih yektlalih-tok ikualitian hue'kahual. Tlatoktli' yen tzopelik ohuatl moh ixpantia' kemah seh tepoztekípanol kualli' pampa moh tzakuilis tekolli' ihuan tlatekípanolmeh huehkahualmeh huelitis kih ahkotiliskeh ininkeh kualnekilmeh, kiyektlalihtok tlamochihualis ihuan ih sehuilis tlaltikpak.

Introducción

A lo largo de las últimas décadas, los esfuerzos para controlar el cambio climático se han centrado en estrategias de mitigación y adaptación discutidas en diversos foros internacionales. Desde el informe Brundtland (ONU, 1987), que introdujo el concepto de sustentabilidad, hasta la Cumbre de la Tierra en 1992 en Río de Janeiro, el Protocolo de Kioto (ONU, 1998) y el Acuerdo de París de la COP 21 (ONU, 2015).

El cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), una planta C4, puede contribuir a la mitigación del cambio climático cuando se acompaña de buenas prácticas de manejo. Este trabajo busca aportar elementos para conocer las condiciones físicas y químicas de los suelos cañeros de Veracruz y estimar la magnitud de la captura de carbono que contribuye el cultivo de la caña (Melgar et al., 2014).

Es importante aclarar los conceptos de captura y secuestro de carbono. Ordoñez (2008) define la captura de carbono como la cantidad de carbono fijado en la biomasa de organismos vivos que se gana año con año (es decir, su crecimiento). Por otro lado, el secuestro de carbono en el suelo es el proceso de transformación del carbono presente en el aire a carbono orgánico, que debe ser almacenado por largos periodos en el suelo, árboles o sus productos (Jiménez et al., 2011).

La quema de la caña de azúcar es un problema ambiental porque libera grandes cantidades de dióxido de carbono (CO_2) y otros contaminantes al aire, contribuyendo al calentamiento global y la contaminación del aire. Además, la quema destruye la materia orgánica del suelo, reduciendo su fertilidad y capacidad de retener carbono. En contraste, la cosecha en verde, que evita la quema, tiene más ventajas en términos de captura de CO_2 y conservación del suelo (Salgado et al., 2001; Zermeño et al., 2012).

En este contexto, el objetivo general de este trabajo es estimar la cantidad neta de carbono capturado por el cultivo de la caña de azúcar en los suelos del área de abastecimiento del ingenio azucarero Constanica, en la región de Tezonapa, Veracruz.

II. Materiales y métodos

El presente trabajo se desarrolló en un área que comprende los límites entre el municipio de Cosolapa, Oaxaca, y Tezonapa, Veracruz; la región es clave en la producción de azúcar y es el área de abastecimiento del ingenio Constanica. Para ello, se hizo una estimación de la condición de fertilidad de las muestras compuestas de suelos de la zona de abastecimiento del ingenio azucarero Constanica, en particular su contenido de materia orgánica. Se cuantificó la concentración de carbono en las muestras de suelos de caña de azúcar en un transecto que comprende el área de abastecimiento. Se estimaron las capturas de carbono por la biomasa aérea de las plantas de caña de azúcar correspondiente a un ciclo soca 2016-2017 en parcelas elegidas al azar y, con base en la cuantificación del número total de hectáreas cultivadas, se realizó la estimación de la captura de carbono que ocurriría en el área de abastecimiento de caña al ingenio Constanica.

Muestreo de suelos

Se definió un transecto con 15 puntos de muestreo (Coordenadas en la Tabla 1). Durante octubre de 2017 se recolectaron 15 muestras compuestas de 1 kg de suelo de la profundidad 0 a 30 cm.

Muestreo de biomasa

Durante octubre de 2017, en los mismos puntos de muestreo de suelo, se extrajeron 15 plantas de caña de azúcar mediante un arreglo aleatorio. Los tallos se separaron en hojas, tallo, punta y raíz, resultando un total de 60 muestras.

Análisis de suelos

Las muestras de suelo se secaron al aire y, a temperatura ambiente, se tamizaron para pasar un tamiz con abertura de 2 mm. Se midieron pH, P-Olsen, conductividad eléctrica, materia orgánica, nitrógeno total, macroelementos, y microelementos y textura.

El pH se midió en una relación suelo: solución 1:2 con H₂O. El aparato utilizado fue un pH-metro Conductronic PC45. El fósforo se extrajo con el método Olsen (NaHCO₃) y el color desarrollado (azul de molibdeno) al tratar el extracto con molibdato de amonio se leyó en espectrofotómetro DR 5000 (HACH).

Para evaluar la conductividad eléctrica se utilizó una celda de conductividad con K = 1.0/cm y un aparato Model 31 Conductivity BRIDGE. La materia orgánica se determinó por el método de Walkley y Black consistente en la oxidación del carbono fácilmente oxidable con dicromato de potasio en medio ácido y su posterior evaluación del exceso de este oxidante.

El nitrógeno total se determinó por el método semi micro Kjeldahl que consiste en una digestión y la posterior evaluación del amonio en ácido bórico más un indicador ad hoc. El aparato utilizado para la evaluación fue titulado TITRONIC (SCHOOT). Los cationes intercambiables se determinaron mediante una extracción con acetato de amonio (CH₃COONH₄ 1N pH 7) y cuantificación mediante espectrometría por absorción atómica (Ca y Mg) y fotometría de llama (K y Na). Con un espectro fotómetro: SpectrAA 220.

Los microelementos Fe, Cu, Zn y Mn se determinaron por extracción con DTPA y se evaluaron mediante espectrometría de absorción atómica con llama de aire y acetileno.

La textura se determinó con el método del hidrómetro de Bouyoucos.

Para determinar la concentración de carbono orgánico (%) se tamizó a malla 100 empleando un analizador total de carbono TOC 5050 A Shimadzu de acuerdo con el procedimiento de Etchevers-Barra, 1992.

Con los resultados del análisis de carbono, materia orgánica, (MO) y nitrógeno total se procedió a estimar la cantidad de carbono, de los suelos con la siguiente fórmula:

$$\text{Cantidad de C, N o MO} = \text{Valor del análisis} * 3\,450\,000 / 100 \dots \dots \dots (1)$$

Donde:

Análisis = Porcentaje de carbono en laboratorio.

3 450 000 = masa de suelo en kg en una hectárea (se consideró que la densidad aparente del suelo = 1.15 (este es un valor medio de la densidad de los suelos agrícolas).

100 = porque los resultados de los análisis están expresados en porcentaje.

Análisis de biomasa

A las muestras de hojas, tallo y punta se les registró el peso fresco de sus componentes, se introdujeron en bolsas de papel, se metieron en un horno con circulación forzada de aire a 70 grados para evaluar su peso seco y determinar el porcentaje de humedad. Posteriormente se pasaron por un molino (Laboratory Mill Modelo 4) hasta que toda la muestra pasara por una malla de 2 mm. Posteriormente, se pasaron por un segundo molino (Mixer/Mill 8000) para lograr una finura de malla 100. A las 60 muestras se les midió carbono orgánico (%) en un aparato analizador automatizado de carbono modelo TOC 5050 Shimatzu.

Dado que no se realizó una excavación completa para obtener una información de la cantidad de raíz asociada a una planta, se usó información consignada en Subirós, 2000.

Para estimar la captura total de carbono por la caña de azúcar se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Captura de C /ha} = \text{Ps-T} * \text{P-Mp} / 100 * 100\,000 \dots\dots\dots(2)$$

Donde:

Ps-T = peso seco (gr) promedio de una planta (incluye hoja, tallo y punta)

P-Mp = promedio medias ponderadas (53.5)

100 = el porcentaje

100 000 = promedio de tallos por ha

III. Resultados y discusión

Los análisis de fertilidad general de las parcelas seleccionadas de la zona de abastecimiento del ingenio azucarero Constanica se presentan en la Tabla 1.

Interpretación de los resultados del análisis de la fertilidad de los suelos

Los suelos experimentales presentan un pH una media de 5.05; es decir, entre fuerte y moderadamente ácidos (Letelier, 1967). La conductividad eléctrica fue de 0.04 a 0.10, esto menor a 2.0 dS m⁻¹, lo cual indica que su salinidad es casi muy baja y no representa ningún peligro para el desarrollo de los cultivos (Richard, 1954).

Los contenidos de MO son en general altos (1.3 a 5.6%). De acuerdo con una de las interpretaciones (Etchevers, 1992) la mayoría de estos suelos se ubicarían principalmente en la clase alta en materia orgánica (MO). Una suposición con base en la experiencia acumulada nos indicaría de manera preliminar que la caña de azúcar es un cultivo que, dado su extenso sistema radical, tiene una elevada capacidad para almacenar carbono en el suelo que puede persistir con el tiempo. Los valores de nitrógeno total corresponden en su mayoría a valores que se ubican en las clases altas (0.06 a 0.28 % N) (Tavera, 1985). La riqueza de nitrógeno se supone ser una consecuencia de las concentraciones elevadas de materia orgánica y de las prácticas regulares de fertilización nitrogenada a la que se somete la caña planta y sus socas.

La fertilización fosfatada aplicada a lo largo de los años se refleja en los elevados valores extraíbles de P-Olsen, clasificados en su mayoría como clase muy alta (19 a 256 ppm con una media de 78.4 ppm P) se encuentra entre el rango (Horta do Carmo & Torrent, 2007).

Los cationes intercambiables por ser de suelos ácidos 0.25 a 1.75 en K, 0.79 a 20.79 en Ca y 0.41 a 3.69 en Mg meq /100 g de suelo, corresponden a clase alta y los dos últimos a clase media respectivamente (Etchevers-Barra, 1988). El Na intercambiable, por su parte, resulta ser bajo. Los suelos son tipo arcillosos, aunque hay algunos arenosos hasta franco-arcillosos.

El rango de microelementos fue (24 a 186, 0.5 a 17.2, 0.4 a 17.2 y 5 a 149 para Fe, Cu, Zn y Mn respectivamente). De acuerdo con Viets y Lindsay (1974) entran en la clase: adecuado.

Tabla 1.

Resultados analíticos de las muestras de suelos de la zona de abastecimiento del ingenio Constanza

No	Latitud	Longitud	pH	CE dS m-1	M.O %	C %	N* %	P ppm	K	Ca Cmoles-	Mg kg-1	Arena	Limo	Arcilla	Clasificación	Fe	Cu	Zn	Mn	Na	Nt %
1	18.5869	96.7057	4.4	0.05	1.3	0.8	0.06	9	0.28	0.79	0.50	16	21	63	Arc	24	0.7	0.6	5	0.10	0.14
2	18.5875	96.6995	5.3	0.05	2.8	1.6	0.14	19	0.60	8.59	2.18	48	25	27	Fr/arc/arc	104	1.0	1.5	50	0.13	0.13
3	18.5868	96.7014	4.8	0.05	3.4	2.0	0.17	6	0.34	4.20	1.43	28	29	43	Arc	27	0.5	0.6	10	0.02	0.13
4	18.5863	96.7029	4.9	0.07	4.0	2.3	0.20	181	0.41	6.88	1.32	26	33	41	Arc	186	5.3	1.5	22	0.16	0.12
5	18.5857	96.7043	6.1	0.05	2.6	1.5	0.13	33	0.67	16.1	2.62	44	31	25	Fr	29	1.1	0.4	35	0.11	0.08
6	18.5853	96.7056	5.5	0.07	5.6	3.2	0.28	256	0.41	20.8	3.69	18	25	57	Arc	81	17.2	17.2	33	0.06	0.16
7	18.5859	96.7078	4.8	0.04	4.3	2.5	0.21	22	0.51	5.57	2.06	36	29	35	Fr/arc	106	3.6	3.0	37	0.04	0.11
8	18.5855	96.7095	4.1	0.08	4.8	2.8	0.24	121	0.25	3.88	2.05	10	21	69	Arc	117	1.7	2.8	32	0.04	0.19
9	18.5824	96.7114	4.5	0.04	4.8	2.8	0.24	60	0.41	4.99	1.74	14	21	65	Arc	86	1.8	9.9	29	0.04	0.19
10	18.5814	96.7104	4.5	0.05	3.2	1.9	0.16	190	1.75	19	3.65	22	25	53	Arc	75	3.6	9.3	83	0.08	0.17
11	18.5838	96.7094	4.2	0.04	3.7	2.1	0.18	37	0.27	1.01	0.41	16	21	63	Arc	38	0.6	1.5	5	0.00	0.13
12	18.5843	96.7073	5.6	0.10	4.4	2.6	0.22	178	1.67	14.63	3.64	16	21	63	Arc	109	9.3	9.4	149	0.08	0.13
13	18.5841	96.7032	4.9	0.05	3.7	2.2	0.13	17	0.39	4.22	1.47	27	30	43	Arc	37	1.5	1.9	25	0.12	0.09
14	18.5860	96.6997	6.4	0.06	2.4	1.7	0.19	36	0.69	9.0	2.32	29	27	44	Arc	89	5.6	1.7	34	0.15	0.06
15	18.5873	96.6971	5.8	0.04	2.6	1.9	0.17	11	0.40	8.59	2.18	22	30	45	Arc	59	2.1	1.4	65	0.23	0.20
$\bar{x}$			5.05	0.06	3.57	2.13	0.18	78.4	0.60	8.54	2.08	16	21	63		77.80	3.71	4.18	41	0.09	0.14
s			0.70	0.02	1.13	0.61	0.05	83.4	0.47	6.28	1.02	48	25	27		44.21	4.45	4.92	36.5	0.06	0.04

Concentración de carbono en el suelo

Las muestras promediaron 3.2 % de C lo que equivale a 109 toneladas de carbono por hectárea en los primeros 30 cm del perfil, lo anterior se puede explicar por la gran cantidad de raíces de la planta de caña (Tabla 2).

Tabla 2.*Concentración de carbono correspondiente en un total de 15 puntos de muestreo (0-30 cm)*

Número de muestra	C (%)	C ta/ha
1	2.8	96
2	2.9	100
3	2.6	91
4	3.8	130
5	3.5	121
6	3.5	120
7	4.1	142
8	5.0	174
9	3.4	116
10	3.3	115
11	2.2	75
12	1.8	62
13	3.1	107
14	2.4	82
15	3.2	109
Promedio	3.2	109
Desviación estándar	0.8	27.7

Carbono en biomasa de caña de azúcar, soca 2016-2017

La producción de biomasa fresca estimada para la zona fue de 114.4 ton/ha, de las cuales un 59 %, esto es, 67.6 ton/ha, correspondieron al tallo industrializable de la caña. Este valor es muy similar al reportado por el ingenio como el promedio de producción: 62 ton/ha de caña cosechada en la zafra, 2016-2017 ton/ha (Espinoza, 2017). Las 114.4 toneladas de biomasa equivalen a 49.22 toneladas de carbono capturado por cada hectárea (Tabla 3). Si consideramos que el ingenio Constancia cuenta con un área de abastecimiento de las 10 105 hectáreas BSM (Grupo Beta San Miguel). (2017), entonces el área de abastecimiento del ingenio captura por ciclo de cultivo un estimado de $36.78 \times 10105 = 497\,368$ toneladas de carbono. Sin embargo, se debe considerar que es práctica común quemar antes de la cosecha para facilitar el corte y después de la cosecha para limpiar el terreno y facilitar las actividades y combatir plagas y enfermedades para el siguiente ciclo de cultivo.

En el proceso de quema se regresa el carbono capturado en hojas y puntas lo que equivale a una emisión de $5.6 + 6.69 = 12.29$ toneladas por hectárea y un estimado de $12.29 \times 10\,105 = 124\,190.45$ toneladas para la zona de abasto de referencia.

Restando 124 190.45 de las 497 368 toneladas iniciales quedan 373 177.55 entre tallos industriales y raíces. Los tallos, después de un proceso de extracción de jugos quedan reducidos a bagazo, que actualmente se utiliza para calentar las calderas del Ingenio por tanto el carbono se divide en el contenido del azúcar y el emitido nuevamente a la atmósfera. Finalmente, las 1.66 toneladas de carbono que se localiza en las raíces se incorpora al suelo como materia orgánica y aportando carbono a los repositorios estables del suelo. Otra parte de la materia orgánica es utilizada como fuente de energía de los organismos descomponedores y el carbono es liberado nuevamente a la atmósfera como CO₂ como parte de los procesos respiratorios.

Tabla 3.

Carbono capturado por la biomasa aérea de plantas de caña de azúcar

Datos	Peso fresco (kg/25m2)	% del total	% de hu- medad	Peso seco	C %	C (ton/ha)
Hoja	37	12.9	68.2	11.77	43.01	5.06
Punta	65	22.7	76.5	15.27	43.81	6.69
Tallo	169	59	68.2	53.71	43.53	23.37
Raíz	15	5.4	67.3	4.9	33.84	1.66
Total	286	100				36.78

IV. Conclusiones

El estudio realizado en el área de abastecimiento del Ingenio Constanca, S. A., demuestra que la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) tiene un significativo potencial para capturar carbono, contribuyendo así a la mitigación del cambio climático. La capacidad de la caña de azúcar para asimilar CO₂ a través de su metabolismo C4 y su alta tasa de fotosíntesis la posiciona como un cultivo estratégico en la reducción de gases de efecto invernadero.

Los resultados indican que la caña de azúcar no solo captura carbono durante su crecimiento, sino que también contribuye a la mejora del contenido de carbono orgánico en el suelo. Este proceso es crucial para el balance de carbono, ya que el carbono almacenado en el suelo puede permanecer allí por

largos periodos, ayudando a estabilizar el ciclo del carbono.

Además, la implementación de prácticas agrícolas sostenibles en el cultivo de caña de azúcar puede maximizar la captura de carbono y mejorar la salud del suelo. Estas prácticas incluyen la rotación de cultivos, el uso de bioestimulantes y la gestión adecuada de residuos de cosecha.

En resumen, la caña de azúcar en el área de abastecimiento del Ingenio Constanica, S. A., no solo es una fuente importante de producción de azúcar, sino que también juega un papel vital en la captura de carbono, contribuyendo a los esfuerzos globales para mitigar el cambio climático.

V. Bibliografía

- BSM (Grupo Beta San Miguel). (2017). *Ingenio Constanica*. <http://www.bsm.com.mx/constancia.html>.
- Espinoza, D. N., & Santamarina, J. C. (2017). CO₂ breakthrough—Caprock sealing efficiency and integrity for carbon geological storage. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 66, 218-229.
- Etchevers-Barra, J. D. (1988). Manual de métodos de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados.
- Etchevers, J. D. (1992). *Manual de métodos para análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes. Análisis rutinarios en estudios y programas de fertilidad. Laboratorio de Fertilidad, Centro de Edafología*. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas.
- Horta, M. D. C., & Torrent, J. (2007). The Olsen P method as an agronomic and environmental test for predicting phosphate release from acid soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 77, 283-292.
- Jiménez, A., Reyes, J., y Silveira, M. (2011). Secuestro y Distribución de Carbono Orgánico del Suelo Bajo Diferentes Sistemas de Manejo de Pasturas. *Soil and Water Science*. 1-3.
- Melgar, M.; Meneses, A.; Orozco, H.; Pérez, O.; y Espinosa, R. (eds.). (2014). El cambio climático y el cultivo de la caña de azúcar. *El Cultivo de la Caña de Azúcar en Guatemala*. Artemis Edinter. 480-506.
- ONU. (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development. Our Common Future*. file:///C:/Users/Mac/Downloads/our_common_futurebrundtlandreport1987.pdf
- ONU. (1997). *Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo: aplicación y ejecución*. Recuperado de: <http://www.cinu.org.mx/eventos/conferencias/johannesburgo/documentos/declaracrio.pdf>

- ONU. (1998). *Protocolo de Kyoto sobre Cambio Climático*. <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>
- ONU. (2015). *Aprobación del Acuerdo de París*. <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/spa/l09s.pdf>
- Ordoñez, J. (2008). Cómo entender el manejo forestal, la captura de carbono y el pago de servicios ambientales. *Ciencias*, (90):37-42.
- Salgado, S; Buero, L.; Riestra, D. y Laguries-Espinoza, L. C. (2001). *Caña de azúcar, hacia un manejo sustentable*. Colegio de Posgraduados Campus Tabasco, ISPROYAB. Fundación Produce. 2001. 394 p.
- Subirós, F. (2000). *Morfología de la caña de azúcar*. Universidad Estatal a Distancia. (ed). El cultivo de la Caña de Azúcar. 17-34.
- Tavera G. G. (1985) .*Criterios para la interpretación y aprovechamiento de los reportes de laboratorio para las áreas de asistencia técnica*. Publicación 3. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, Delegación de la Laguna, Matamoros, Coahuila. 258 pp.
- Viets Jr., F. G. y Lindsay, W. L. (1974). Testing soils for zinc, copper, manganese, and iron. En L.M. Walsh y J.D. Beaton. *Soil Testing and Plant Analysis*. Soil Science Society of America, Inc.
- Zermeño, A; Villatoro, S; Cortés, J; Cadena, M; Catalán, E; García, M; y Munguía, J. (2012). “Estimación del intercambio neto de CO₂ en un cultivo de caña de azúcar durante el ciclo de plantilla”. *Agrociencia* 46 (6), 579-59.