



Avances en Investigación Agropecuaria
ISSN: 0188-7890
revaia@ucol.mx
Universidad de Colima
México

Malezas invasoras globales en *Saccharum* spp. L. ex Mukherjee, S.K. 1957 después del impacto del cambio climático

Arévalo, Roberto Antonio; Córdova Sánchez, Samuel; Ambrosano, Edmilson José; Beroncini, Edna Ivani; Espinosa García, Francisco Javier; Arévalo Cordero, Lourdes Ársula; Chinae Martín, Antonio; Medina Pitalúa, Juan Lorenzo; Bovi Ambrosano, Guilherme

Malezas invasoras globales en *Saccharum* spp. L. ex Mukherjee, S.K. 1957 después del impacto del cambio climático

Avances en Investigación Agropecuaria, vol. 23, núm. 3, 2019

Universidad de Colima, México

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83762317003>

Malezas invasoras globales en *Saccharum* spp. L. ex Mukherjee, S.K. 1957 después del impacto del cambio climático

Roberto Antonio Arévalo
Agencia Paulista de Tecnologia de Agronegócios, Brasil

Redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83762317003>

Samuel Córdova Sánchez
Universidad Popular de Chontalpa, México

Edmilson José Ambrosano
Agencia Paulista de Tecnologia de Agronegócios, Brasil
ambrosano@apta.sp.gov.br

Edna Ivani Beroncini
Agencia Paulista de Tecnologia de Agronegócios, Brasil

Francisco Javier Espinosa García
Universidad Nacional Autónoma de México, México

Lourdes Ársula Arévalo Cordero
Centros Integrados de Educação Pública, Brasil

Antonio Chinea Martin
Estación de Investigaciones de la Caña de Azúcar, Cuba

Juan Lorenzo Medina Pitalúa
Universidad Autónoma Chapingo, México

Guilherme Bovi Ambrosano
Universidade de São Paulo, Brasil

Recepción: 11 Septiembre 2019
Aprobación: 16 Diciembre 2019

RESUMEN:

El presente trabajo informa sobre el comportamiento de las peores malezas invasoras globales en *Saccharum* spp. L. (PMIGS) con los cambios de clima del efecto invernadero (CCEI). Las PMIGS en América Latina y el Caribe fueron seleccionadas en el primero y segundo curso de caña en Tabasco, México, durante 2010 y 2013, respectivamente. Los resultados del primer curso fueron destacados por los participantes y corroborados en el segundo. Las especies seleccionadas fueron: 1) *ROOEX-Rottboellia exaltata* L.f. 1782; 2) *TRCYN.Digitaria insularis* (L.) Fedde, 1904; 3) *CYNDA.Cynodon dactylon* (L.) Pers. 1805; 4) *CYNPL.Cynodon plectostachyus* (K. Schum.) Pilg. 1907; 5) *CHRPO.Chloris elata* Desv, 1831; 6) *PANPU.Brachiaria mutica* (Forssk.) Stapf, 1919; 7) *DIGNU.Digitaria nuda* Schumach, 1827; 8) *DIGAD.Digitaria ciliaris* (Retz.) Koeler, 1802; 9) *PANMA.Panicum maximum* Jacq. 1781; 10) *SORHA.Sorghum halepense* (L.) Pers. 1805; 11) *CYPRO.Cyperus rotundus* L. 1753; 12) *SYNPO.Syngonium podophyllum* Schott, 1851. Fueron determinadas alturas de diez plantas de cada especie a los 100 días después de la germinación de un cultivo silvestre. Con el CCEI hubo incremento de 1.03°C desde 1981, lo que alteró el comportamiento biológico de las PMIGS y se volvieron más agresivas, con difícil y oneroso manejo. Con aparición de plantas enanas en *ROOEX*, *CHRPO*, *TRCIN*, *PANMA*, *SORHA*, *DIGNU* y *DIGAD*, de 0.10-1.30 m de altura en invierno, y producción normal de semillas en invierno, primavera y verano. El comportamiento de las PMIGS está directamente ligada a las altas temperaturas mínimas del invierno.

PALABRAS CLAVE: Caña de azúcar, agro-ecosistema, clima, manejo.

ABSTRACT:

The present paper has objective informer the compartment the Weeds Global Invasive in sugar cane crop *Saccharum*spp. L. (WWGIS) with climate change for Green House Effect. The WWGIS-Worst Weed Global Invasive in Latina American and Caribbean were selection in the I and II curse of weed biology and management in sugarcane, Tabasco sugarcane, 2010-2013. The results of the first course were highlighted by the participants and corroborated in the second. These plants growth in habitats worm and limited water available. The species selections are: 1) ROOEX.*Rottboellia exaltata* L.f.1782; 2) TRCYN.*Digitaria insularis* (L.) Fedde, 1904; 3) CYNDA.*Cynodon dactylon* (L.) Pers. 1805; 4) CYNPL.*Cynodon plectostachyus* (K. Schum.) Pilg.1907; 5) CHRPO.*Chloris elata* Desv, 1831; 6) PANPU.*Brachiaria mutica* (Forssk.) Stapf, 1919; 7) DIGNU.*Digitaria nuda* Schumach, 1827; 8) DIGAD.*Digitaria ciliaris* (Retz.) Koeler, 1802; 9) PANMA.*Panicum maximum* Jacq. 1781; 10) SORHA.*Sorghum halepense* (L.) Pers. 1805; 11)CYPRO.*Cyperus rotundus* L. 1753; 12) SYNPO.*Synгонium podophyllum* Schott, 1851.Ten plants per square meter of each species were height determined. The WWGIS excluded the total organisms in this habitat. With climate changes, there was an increase of 1.03 °C since 1981, alter their biological behavior, with difficult and onerous weed control. With appearance of dwarf plants and produced seeds in winter. After 2005 the biological comportment were graduates altered with normal seeds productions in spring, summer and winter, showed mini plants 0.10-1.30 m high. The behavior of PMIGS is directly linked to the highest minimum winter temperatures.

KEYWORDS: Sugar cane, agro-ecosystem, climate, management.

INTRODUCCIÓN

Las peores malezas invasoras globales en *Saccharum* spp. L. (PMIGS) son las únicas plagas constantes de la agricultura de *Saccharum* spp. L. ex Mukherjee, S.K. 1957 de América Latina y el Caribe (Arévalo y Sanomya, 2015; Arévalo *et al.*, 2018), contaminan ambientes perturbados donde el equilibrio ecológico fue destruido para implantar la agricultura (Gliessman, 2002; Odum, 1988). Su presencia causa problemas ambientales como destrucción de la biodiversidad de los habitats invadidos, hacen perder el área cultivada por efectos alelopáticos y compiten por factores ambientales eco fisiológicos escasos (Radosevich *et al.*, 1997).

El registro PMIGS tiene prioridades para el manejo, no tiene enemigos naturales, se reproducen y multiplican rápidamente, sus diseminulos tienen alta resistencia al estrés ambiental y alta capacidad de invasión de nuevos habitats; actúa sobre el desplazamiento de especies originales de flora y fauna local por competencia directa, depredación, transmisión de enfermedades, modificación del hábitat, cambio en los niveles tróficos debidos a los regímenes de incendios (Pagad *et al.*, 2018; March-Mifsut y Martínez-Jiménez, 2007).

Más de 1,000 especies de malezas infestan el cultivo de la caña de azúcar en el mundo (Arévalo y Bertoncini, 2008). Solamente unas 12 especies son las PMIGS, que invaden el agro-ecosistema, se apoderan del mismo y ocasionan grandes pérdidas del área cultivada, donde es necesario hacer nuevas plantaciones de la sacarífera (ISSG- Invasive Species Specialist Group, 2018; Arévalo *et al.*, 2018; Arévalo y Sanomya, 2015; Arévalo *et al.*, 2013; Holm *et al.*, 1977).

El reino *Plantae* está compuesto por 500,000 especies (Margulis y Schwartz, 2001), el cual tiene tres tipos de fotosíntesis: 1) Plantas de fotosíntesis C₃; 2) Plantas de fotosíntesis C₄ y 3) Plantas de fotosíntesis CAM (Metabolismo Ácido de *Crassulaceae*).

El presente trabajo tiene por objetivo informar sobre los cambios de comportamiento y crecimiento de las PMIGS en caña de azúcar después del impacto del cambio climático.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el cultivo de caña de azúcar fueron seleccionadas las 12 PMIGS con base en el primero y segundo Curso Internacional de Biología y Manejo de Malezas en *Saccharum* spp, realizado en el Colegio de Postgraduados campus Tabasco, México, durante los años 2010 y 2013, respectivamente.

La metodología para llegar a establecer que estas eran las malezas de mayor impacto en la caña, se realizó preguntando a los participantes de ambos cursos sobre qué malezas se manejaron en el cultivo de la caña de azúcar, así como también basándose en la literatura (Arévalo y Sanomya, 2015).

El curso de posgrado en Tabasco estuvo compuesto por casi 30 profesores e investigadores, y más de 10 estudiantes por año. Los resultados del primer curso fueron destacados por los participantes y corroborados en el segundo.

Las plantas estudiadas fueron tomadas de un cultivo silvestre, y los datos de altura de 10 plantas (de las doce especies) fueron tomados a los 100 días después de la germinación (véase cuadro 1); las malezas estudiadas crecieron en forma natural.

La altura de las plantas fue tomada desde el nivel del suelo hasta el collar del hipsófilo florífero, esto es denominado en morfología de basípeta.

Durante el periodo de enero-agosto de 2018 fueron registrados los datos de temperatura y lluvias, en la estación experimental de la Agencia Paulista de Tecnología dos Agro (APTA) negocios do Estado de São Paulo, Polo Centro Sul, Piracicaba-SP., Brasil (CIIAGRO, 2018). El 30 de junio de 2018 fueron fotografiadas las 12 PMIGS de la caña de azúcar, las malezas tenían aproximadamente 100 días, tiempo suficiente para que entraran en período reproductivo.

Se consideró que los registros de lluvia y temperatura para el año 2018 tenían un parámetro, en comparación con las series históricas de temperatura.

No se evaluó el comportamiento en las PMIGS en la serie de tiempo del año 2018, ya que tenía plantas enanas y la floración con semillas viables se había observado en un área de 100 hectáreas de caña de azúcar plantadas por APTA, en São Paulo, Brasil.

Las temperaturas y lluvias fueron analizadas por regresión linear en una serie histórica de 37 años (02/01/1981 - 04/09/2018) (figura 8). Los datos se obtuvieron del portal web de meteorología de superficie y energía solar (SSE, por sus siglas en inglés) del Centro de datos de Ciencia Atmosférica de la NASA Langley, respaldado por el Proyecto LaRC Power de la NASA (2018). Además, la prueba t de Student se usó para comparar la altura promedio de la planta en verano e invierno. Todos los análisis se realizaron con el software R para estadísticas (R Core Team, 2019), considerando un nivel de significación $\alpha = 5\%$.

RESULTADOS

Las especies seleccionadas fueron: 1) ROOEX-*Rottboellia exaltata* L.f. 1782; 2) TRCYN-*Digitaria insularis* (L.) Fedde, 1904; 3) CYNDA-*Cynodon dactylon* (L.) Pers. 1805; 4) CYNPL-*Cynodon plectostachyus* (K. Schum.) Pilg. 1907; 5) CHRPO-*Chloris elata* Desv. 1831; 6) PANPU-*Brachiaria mutica* (Forssk.) Stapf, 1919; 7) DIGNU-*Digitaria nuda* Schumach, 1827; 8) DIGAD-*Digitaria ciliaris* (Retz.) Koeler, 1802; 9) PANMA-*Panicum maximum* Jacq. 1781; 10) SORHA-*Sorghum halepense* (L.) Pers. 1805; 11) CYPRO-*Cyperus rotundus* L. 1753; 12) SYNPO-*Syngonium podophyllum* Schott, 1851.

Se proporciona información sobre la altura promedio de 10 plantas obtenidas durante el período de crecimiento más alto registrado en primavera-verano y el período de crecimiento más bajo en otoño-invierno (cuadro 1).

CUADRO 1
Media desviación estándar* de las alturas de las PMIGS en función de la
temporada y el valor p de la prueba t que compara las alturas entre estaciones
del año de 2018 en la estación experimental APTA São Paulo Brasil

PMIGS**	Estaciones del año de 2018***		P-valor
	Otoño-invierno	Primavera-verano	
ROOEX	0.84 (0.55)*	1.75 (0.75)	0.0636
TRCYN	0.45 (0.11)	0.75 (0.36)	0.1415
CYNDA	0.15 (0.04)	0.40 (0.07)	0.0004
CYNPL	0.15 (0.04)	0.45 (0.15)	0.0107
CHRPO	0.25 (0.05)	0.81 (0.43)	0.0424
PANPU	0.66 (0.05)	1.41 (0.71)	0.0771
DIGNU	0.16 (0.04)	0.75 (0.19)	0.0017
DIGAD	0.45 (0.17)	0.56 (0.10)	0.2641
PANMA	0.45 (0.15)	1.55 (0.37)	0.0014
SORHA	0.45 (0.15)	1.55 (0.37)	0.0014
CYPRO	0.23 (0.15)	0.35 (0.15)	0.2451
SYNPO	0.45 (0.04)	0.91 (0.07)	<0.0001

**ROOEX-*Rottboellia exaltata* L.f. 1782; TRCYN-*Digitaria insularis* (L.) Fedde, 1904; CYNDA -*Cynodon dactylon* (L.) Pers. 1805; CYNPL- *Cynodon plectostachyus* (K. Schum.) Pilg. 1907; CHRPO-*Chloris elata* Desv, 1831; PANPU-*Brachiaria mutica* (Forssk.) Stapf, 1919; DIGNU-*Digitaria nuda* Schumach, 1827; DIGAD-*Digitaria ciliaris* (Retz.) Koeler, 1802; PANMA- *Panicum maximum* Jacq. 1781; SORHA-*Sorghum halepense* (L.) Pers. 1805; CYPRO- *Cyperus rotundus* L. 1753; SYNPO-*Synгонium podophyllum* Schott, 1851.

***Estaciones del año en Brasil: Otoño: 20 de marzo de 2019 a las 6:58 p.m.; Invierno: 21 de junio de 2019 a las 12:54 p.m.; Primavera: 23 de septiembre de 2019 a las 4:50 a.m.; Verano: 22 de diciembre de 2019 a las 1:19 a.m.

A partir del año 2005 se observaron cambios de comportamiento biológico de las 12 PMIGS, con germinación, rebrotes, florecimientos y producciones normales de semillas en invierno, primavera y verano (figura 1-6), mientras que la información es de un periodo del 2018 y las fotos del 30 de junio 2018, fue entonces cuando los autores tomaron la decisión de informar a la comunidad científica de este nuevo comportamiento de las malezas, ya que en invierno la mayoría de ellos murieron o ni siquiera produjeron semillas.



1) ROOEX- *Rottboellia exaltata* L.f. 1782, enanas de 0.3 a 1.3 m de altura.



2) TRCYN-*Digitaria insularis* (L.) Fedde, 1904, enanas de 0.3 m de altura.

FIGURA 1

Aspecto de una población de plantas de invierno.

Fotografía: Bertoncini, E. I. Estação Experimental de APTA Pólo Centro Sul Piracicaba-SP. Brasil (30 agosto de 2018).



3) CYNDA-*Cynodon dactylon* (L.) Pers. 1805.



4) CYNPL-*Cynodon plectostachyus* (K. Schum.) Pilg. 1907.

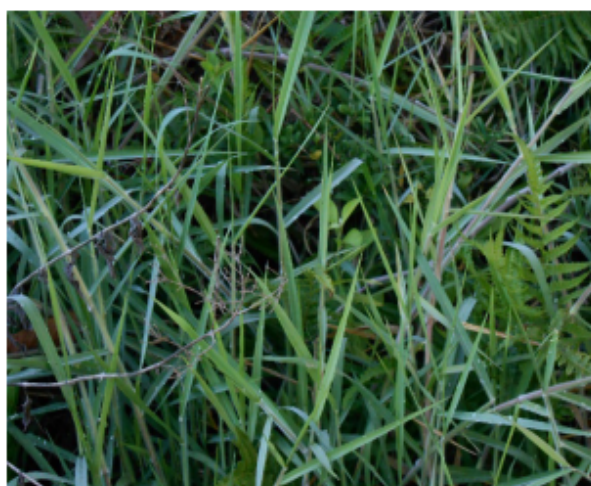
FIGURA 2

Aspecto de una población enana de plantas de invierno de 0.10 m de altura en ambas especies.

Fotografía: Arévalo R. A. Estação Experimental de APTA Pólo Centro Sul Piracicaba-SP. Brasil (30 agosto de 2018).



5) CHRPO-*Chloris elata* Desv, 1831, plantas de 0.20 m de altura.



6) PANPU-*Brachiaria mutica* (Forssk.) Stapf, 1919, plantas de 0.50 m de altura.

FIGURA 3

Aspecto de una población enana de plantas de invierno.

Fotografía: Arévalo R. A. Estação Experimental de APTA Polo Centro Sul Piracicaba-SP. Brasil (30 agosto de 2018).



7) DIGNU- *Digitaria nuda* Schumach, 1827.



8) DICAD- *Digitaria ciliaris* (Retz.) Koeler, 1802.

FIGURA 4

Aspecto de una población de plantas enanas de invierno, de 0.1 m de altura en ambas especies.

Fotografía: Arévalo R. A. Estação Experimental de APTA Polo Centro Sul Piracicaba-SP. Brasil (30 agosto de 2018).



9) PANMA- *Panicum maximum* Jacq. 1781.



10) SORHA- *Sorghum halepense* (L.) Pers. 1805.

FIGURA 5

Aspecto de una población de plantas enanas de invierno de 0.3 m de altura en ambas especies.

Fotografía: Arévalo R. A. Estação Experimental de APTA Polo Centro Sul Piracicaba-SP. Brasil (30 agosto de 2018).



11) CYPRO- *Cyperus rotundus* L. 1753, de 0.1 m de altura.



12) SYNPO-*Syngonium podophyllum* Schott, 1851, de 0.3 m de altura.

FIGURA 6

Aspecto de una población de plantas enanas de invierno

Fotografía: Arévalo R. A. Estação Experimental de APTA Polo Centro Sul Piracicaba-SP. Brasil (30 agosto de 2018).

Los datos de temperaturas y lluvias para el año 2018 se presentan en la figura 7; se considera que, en comparación con las series de temperatura histórica y para monitorear las medidas de altura de las plantas PMIGS obtenidas en 2018, hubo incremento de temperatura de 1.5 °C sobre los niveles pre-industrial y de 1.0 °C desde 1981 (figuras 8 y 9). La temperatura media del año 1981 fue de 20.9 °C; mientras que la de 2018 fue de 21.2 °C.

Se indica la fórmula: Temperatura = $-33.200286 * 0.027216 \text{ años}$ (p-valor = 0.000767; $R^2 = 0.2527$) aumento de 0.027 °C la temperatura media a cada año (figura 8). Estos datos se obtuvieron del portal web de meteorología de superficie y energía solar (SSE, por sus siglas en inglés) del Centro de Datos de Ciencia Atmosférica de la NASA Langley, respaldado por el Proyecto LaRC Power.

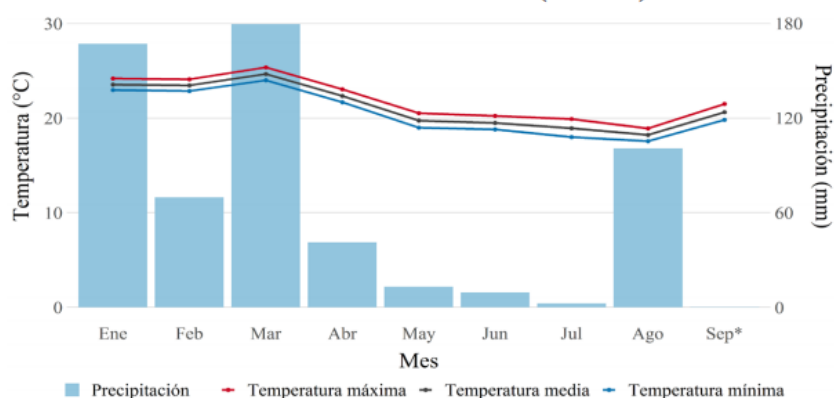


FIGURA 7
Temperaturas y lluvias para año 2018* en Estação Experimental do Polo Centro Sul, Piracicaba-SP (APTA)

*Estaciones del año en Brasil: Otoño: 20 de marzo de 2019 a las 6:58 p.m.; Invierno: 21 de junio de 2019 a las 12:54 p.m.; Primavera: 23 de septiembre de 2019 a las 4:50 a.m.; Verano: 22 de diciembre de 2019 a las 1:19 a.m.
Fuente: CIIAGRO, 2018

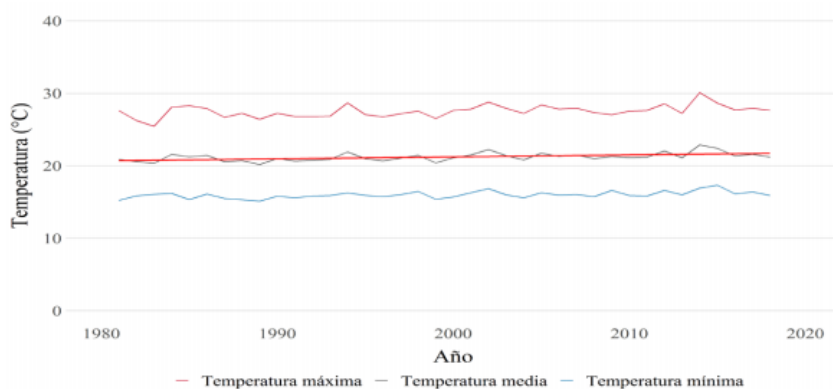


FIGURA 8
Temperaturas y regresión linear en una serie histórica de 37 años 02/01/1981 - 04/09/2018
Estos datos se obtuvieron del portal web de Meteorología de Superficie y Energía Solar (SSE, por sus siglas en inglés) del Centro de Datos de Ciencia Atmosférica de la NASA Langley, respaldado por el Proyecto LaRC Power.

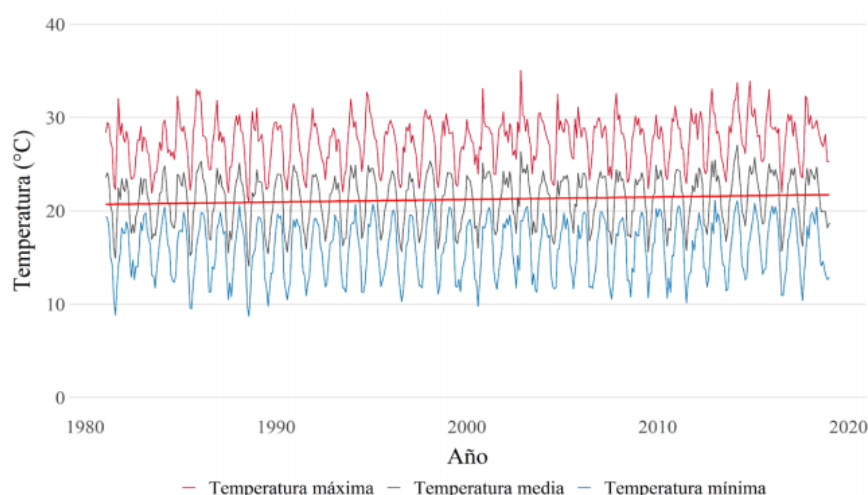


FIGURA 9

Series históricas de temperatura de 1981 a 2019 indicando que hubo incremento de temperatura

Estos datos se obtuvieron del portal web de meteorología de superficie y energía solar (SSE, por sus siglas en inglés) del Centro de Datos de Ciencia Atmosférica de la NASA Langley, respaldado por el Proyecto LaRC Power.

DISCUSIÓN

La temperatura y la humedad son los principales factores de la distribución de plantas y sus rendimientos en la agricultura. Estos factores tienen gran efecto en la actividad fisiológica de las plantas que influyen los rendimientos de los cultivos (Sage y Kubien, 2007).

En general, la fotosíntesis se establece entre 0 y 30 °C en plantas adaptadas al frío, que son activas en invierno y al comienzo de la primavera. En plantas cultivadas de hábitats cálidos, la fotosíntesis se produce entre 7 y 40 °C. En especies tropicales de desierto la fotosíntesis opera entre 15 y 45 °C sin problemas (Sage y Kubien, 2007).

Las PMIGS, antes de 2005 crecían y fructificaban en primavera y verano, en otoño e invierno las poblaciones de malezas morían por el frío; a partir de 2005, esas plantas comenzaron a crecer y producir semillas también en invierno (Arévalo *et al.*, 2010, 2013 y 2018). Ese nuevo fenómeno biológico fue atribuido al efecto invernadero (IPCC-International Panel Climated Change, 2017a, b; NASA, 2018). La reacción de fotosíntesis de las plantas consiste en captar CO₂ atmosférico para producir azúcar y liberar oxígeno.

Se puede ver en el cuadro 1 que la mayoría de las plantas presentaron, en promedio, alturas significativamente más bajas en el período otoño-invierno, lo que puede estar relacionado con el aumento de la temperatura promedio del año (figuras 8 y 9). Este comportamiento de las malezas hace que su crecimiento sea prácticamente constante, no disminuye en el otoño-invierno y dificulta su manejo, lo que hace que el cultivo de caña de azúcar sea más costoso debido a esto.

Sin embargo, la floración presente y las semillas viables alteran su comportamiento habitual de detener su crecimiento durante este período. La producción de semillas en invierno es un hecho nuevo en la bibliografía de las PMIGS de la agricultura (Arévalo *et al.*, 2018, Arévalo y Sanomya, 2015).

En el reino *Plantae*, 85% de las especies son de fotosíntesis C₃, como arroz, trigo, soya y árboles. No tienen características especiales para controlar la fotorespiración. El primer paso del ciclo de Calvin es la fijación de CO₂ mediante la enzima Rubisco, en las células del mesófilo. Las plantas utilizan solamente este mecanismo de fijación de carbono en un compuesto de tres carbonos el ácido fosfo glicérico, que produce la reacción. El ciclo de Calvin es la fase oscura de la fotosíntesis que ocurre en el estroma del cloroplasto; es decir, la masa amorfa del cloroplasto que envuelve los tilacoides.

En plantas de fotosíntesis C_4 , la asimilación del carbono se refleja en la actividad de la Rubisco-ribulosa-1.5-bisfosfato carboxilasa/oxigenasa, como lo hacen las plantas C_3 (Sage y Kubien, 2007). Bajo CO_2 , la capacidad de fosfoenolpiruvato PEP/Carboxilasa-PEP/Casa para fijar carbonato y mueve dentro del haz de la lámina como parte de fotosíntesis C_4 . La actividad de PEP/Casa en sí, independiente de la temperatura a bajo CO_2 en estas plantas, es largamente insensible a la temperatura, excepto en condiciones de frío, donde los daños ocurren. Como resultado, el punto de compensación de CO_2 no sube significativamente con la temperatura, como las plantas C_3 .

La fotosíntesis C_4 se utiliza en cerca de 3% de todas las plantas vasculares; algunos ejemplos son caña de azúcar, maíz y las PMIGS, que infestan el agro ecosistema de la caña de azúcar y otros cultivos.

Los rendimientos de las cosechas son muy importantes para asegurar los alimentos y también para mantener activa la economía. Si hay reducción de la producción de alimentos, crea una preocupación especial, porque el factor principal de pérdidas es la fotorespiración. Esta vía metabólica derrochadora comienza cuando la Rubisco gasta carbono fijo, desperdicia energía, y sucede cuando las plantas cierran sus ostiolas de las estomas para reducir la pérdida de agua en altas temperaturas.

En plantas de fotosíntesis C_4 convierte en azúcares a través del ciclo de Calvin, exactamente como en la fotosíntesis C_3 (Sage y Kubien, 2007). En la fotosíntesis C_4 , la fijación de carbono inicial se lleva a cabo en las células del mesófilo, mientras que el ciclo de Calvin tiene lugar en las células del haz vascular. La enzima PEP carboxilasa fija una molécula entrante de CO_2 a la molécula de tres carbonos PEP, y produce oxaloacetato (una molécula de cuatro carbonos).

El plano de saturación de CO_2 en fotosíntesis C_4 corresponde a elevación con temperaturas por sobre del termal óptimo de 38 a 45 °C, produce oxaloacetato y se transforma en malato- $(O_2OC-CH_2-CH(OH)-COO_2)$, que es la forma iónica del ácido málico. El malato se descompone, luego entra en el ciclo de Calvin. En este paso también se produce piruvato, el cual regresa a la célula del mesófilo donde se convierte en PEP, una reacción que convierte ATP-Adenosina Trifosfato y Pi-Fosfato inorgánico en AMP- Adenosina 3',5'-Monofosfato cíclico y PPi- Pirofosfato. Este proceso gasta energía del ATP para que la molécula de tres carbonos regrese a la célula del haz vascular y quede lista para recoger otra molécula de CO_2 atmosférico.

Las plantas C_4 son más sensibles a los cambios del ambiente que las C_3 , pueden manifestar transformaciones de la tasa fotosintética e incluso causar cambios en características morfológicas determinadas por interacción de su genotipo con el medio externo (Sage y Kubien, 2007; Martínez, 1995). Las especies de plantas, que dependen unas de otras, pueden perder la sincronización, como podrían florecer antes de que los insectos que las polinizan sean activos (National Geographic, 2018).

Las plantas de fotosíntesis C_4 tienen anatomía foliar Kranz, con el parénquima clorofílico rodea a los haces vasculares. Esta estructura permite incrementar la captura de CO_2 , consecuentemente incrementa la tasa fotosintética y tiene mayor eficiencia del uso del agua. Estas plantas crecen en ambientes más cálidos y con baja disponibilidad de agua. Las invasiones biológicas pueden causar enormes pérdidas económicas, no sólo por su impacto directo en la producción de bienes, sino también debido a los recursos mayores que se necesitan para controlar a las especies más invasoras (FAO, 2017a, b).

Las plantas C_4 , son comunes en hábitats cálidos, pero son menos abundantes en zonas más frescas. En condiciones cálidas, los beneficios de una menor fotorespiración probablemente superan el costo en ATP al pasar CO_2 de las células del mesófilo a las células del haz vascular.

Como consecuencia de altas temperaturas y escasez de lluvias, los rendimientos de la caña de azúcar sufrieron pérdidas significativas en las últimas zafas en Brasil (Brasil, 2018a). La falta de lluvias está significativamente asociada al uso de combustible fósil en la flota de vehículos en Brasil (Brasil, 2018b). Los combustibles fósiles son muy perjudiciales para el ambiente y para la salud humana, por eso la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2018); la Agencia Francesa de Seguridad Sanitaria Medioambiental (AFSSE, 2004) y la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2016), informan de serios problemas con las malezas de difícil manejo.

El cambio de clima afecta la seguridad alimentaria y los efectos de los gases tóxicos en el ambiente, perjudica la vida al causar serios problemas de salud (IPCC, 2017a, b; Arévalo *et al.*, 2014). El uso de energía renovable recupera el ambiente (IPCC, 2014; Santos, 2012). La FAO (2017a, b) destaca la importancia del agua en la agricultura, inmigración y seguridad alimentaria, así como medidas de adaptación al cambio climático, para asegurar la producción de alimentos.

Las plantas de fotosíntesis CAM reducen al mínimo la fotorrespiración y ahorran agua mediante la separación de estos pasos, entre el día y la noche, sino que también usan el agua de forma muy eficiente. Sus estomas solamente se abren por la noche, cuando la humedad tiende a subir y la temperatura a bajar, y ambos factores reducen la pérdida de agua de los monofilos. Las plantas CAM suelen predominar en zonas muy cálidas y secas, como los desiertos.

El incremento de la temperatura obliga a las PMIGS adaptarse, crecer y producir semillas en pleno invierno (Kulasekaran *et al.*, 2017; Espinosa-García *et al.*, 2009; Gualbert, 2016). Las plantas C₄ contienen Rubisco y PEPCase, lo que permite adaptarse para defenderse de las variaciones ambientales, como en sequías, temperaturas extremas y alta irradiación, pueden repercutir en la fijación de altas concentraciones de CO₂. Este fenómeno obliga a las plantas a cambios fisiológicos y bioquímicos para adaptarse a las distintas presiones ecológicas.

CONCLUSIONES

De las 12 peores malezas invasoras globales de *Saccharum* spp. L. ex Mukherjee, S.K. 1957, más de 50% presentaron una altura significativamente menor en el otoño-invierno que en primavera-verano.

En invierno de 2018, poblaciones enanas de PMIGS, iniciada con la especie *ROOEX*, comenzaron aparecer en los campos.

El comportamiento de las PMIGS está directamente ligada a las altas temperaturas mínimas del invierno.

LITERATURA CITADA

- Agencia Francesa de Seguridad Sanitaria Medioambiental (AFSSE). (2004). *Según un estudio, los combustibles fósiles causan decenas de miles de muertos al año*. Disponible en: https://cordis.europa.eu/news/rcn/22113_es.html. Consultado el 19 de setiembre de 2018).
- Arévalo, R. A.; Ambrosano, E. J.; Chinea-Martin, A.; Arévalo-Cordero, L. U.; Olea, I.; Sánchez-Ducca, A.; Chaila, S. y González-Perigó, Y. (2018). *I Taller internacional de biología y manejo de malezas invasoras globales. 1- Rottboellia exaltata L.f. 1782 en Saccharum spp. Mukherjee, 1957. De Enseñanza Universitaria y Investigaciones*. Editora Degaspari. Piracicaba-SP. Brasil. 159 p. ISBN: 978-85-7904632-5. CDD: 631-87.
- Arévalo, R. A.; Bertoincini, E. I. y Arévalo-Cordero, L. U. (2014). *Interacciones de desastres naturales en la agricultura*. España EAE Publishing. España. 100 p. ISBN: 978-3-659-06107-3.
- Arévalo, R. A. y Sanomya, R. M. (2015). *Rottboellia exaltata L.f. 1782. Peor maleza invasora global de agricultura del continente americano. Rottboellia exaltata L.f. 1782. Worst Weed Global Invasive the Agriculture in American Continent*. Editora Degaspari. Piracicaba-SP. Brasil. 250 p. ISBN: 978-85-7904-631-4. CDD: 631-86.
- Arévalo, R. A.; García-López, E.; Bertoincini, E. I.; Arévalo-Cordero, L. U.; Córdova Sánchez, S.; Sirombra, M. G.; Chaila, S.; Leyva-Galán, A. y Sanomya, R. M. (2013). *Biología y manejo de malezas en caña de azúcar (Saccharum spp.)*. En: II Curso Internacional de Biología y Manejo de Malezas en *Saccharum spp.* Parte I. Colegio de Postgraduados. Campus Tabasco. Tabasco, México. Pp. 7-47.
- Arévalo, R. A.; Bertoincini, E. I. y Arévalo-Cordero, L. U. (2010). *I Curso Internacional de Biología y Manejo der Malezas en Saccharum spp. Parte I*. Tabasco México. Colegio de Postgraduados. Campus. Tabasco. Pp. 1-32.

- Arévalo, R. A. y Bertoncini, E. I. (2008). *Manejo sostenible de malezas (matospecies) en Saccharum spp. (caña de azúcar)*. Congreso Nacional de la Ciencia de la Maleza -ASOMECEMA. Tapachula, Chiapas, México. Memoria CD-ROM. Pp.72-109.
- Brasil. (2018a). *Safra de cana-de-açúcar 2017/2018 é estimada em 647,6 milhões de toneladas*. Disponible en: <http://www.agricultura.gov.br/noticias/safra-de-cana-de-acucar-2017-2018-e-estimava-em-647-6-milhoes-de-toneladas>. (Consultado el 28 de junio de 2018).
- Brasil. (2018b). *Real frota circulante no brasil é de 65,8 milhões de veículos. Sendo 50,7 milhões de auto veículos e 15,1 milhões de motocicletas*. Disponible en: <https://ibpt.com.br/noticia/2640/>. (Consultado el 02 de julio de 2018).
- CIAGRO. (2018). *Red meteorológica automática. Datos horarios-CIAGRO*. Disponible en: www.ciiagro.org.br/ema/. (Consultado el 17 de setiembre de 2018).
- Espinosa-García, F. J.; Correa, J. M. y Ramírez del Ángel, M. (2009). *La configuración de la flora mexicana del futuro: Cambio climático, invasiones biológicas y las vías del cambio*. Congreso Nacional de la Ciencia de la Maleza -ASOMECEMA, 30. Culiacán Rosales. Sinaloa, México. Memoria ASOMECEMA.
- FAO. (2017a). *La FAO participa do 8º fórum mundial da água destacando a importância da água na agricultura, imigração e segurança alimentar*. Disponible en: <http://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/en/c/1107315/>. (Consultado 03 de julio de 2018).
- FAO. (2017b). *Medidas de adaptación al cambio climático*. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/017/i2498s/i2498s05.pdf>. (Consultado el 23 de julio de 2018).
- Gliessman, S. R. (2002). *Agroecología. Procesos ecológicos en agricultura sostenible*. Turrialba. CATIE. 359 p.
- Gualbert, G. (2016). *Impact of Climate Change on the Invasive Traits of Weeds. Weed Biology and Management*. Wiley online Library Online ISSN: 1445-6664. <https://doi.org/10.1111/wbm.12096>. (Consultado el 23 de julio de 2018).
- Holm, L. G.; Plucknett, D. L.; Pancho, J. V. y Herberger, J. P. (1977). *The World's Worst Weeds. Distribution and Biology*. Estados Unidos: The East-West by the University Press of Hawaii. 609 p.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014). *Tercer reporte IPCC AR5 WG3: Eliminación de combustibles fósiles uso de energías renovables frenaría el cambio climático*. Disponible en <http://www.terram.cl/2014/04/tercer-reporte-ipcc-ar5-wg3-eliminacion-de-combustibles-fosiles-y-uso-de-energias-renovables-frenaria-el-cambio-climatico/>. (Consultado 02 de julio de 2018).
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2017a). *Climate Change and Land: And IPCC Special Report and Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse, Gas Fluxes and Terrestrial Ecosystems*. Disponible en: <http://www.ipcc.ch/report/sr2/>. (Consultado el 29 de junio de 2018).
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2017b). *Global Greenhouse Gas Emissions Data*. Disponible en: <https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data>. (Consultado 13 de julio de 2018).
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2018). *Special Report on Climate Change and Land (SRCCL)*. The 48th Session of the IPCC Will Take Place in Incheon, Republic of Korea, October 1-5, 2018. Disponible en: https://www.google.com.br/search?q=Intergovernmental+Panel+on+Climate+Change.+2018.&rlz=1C1WPZA_enBR711BR711&oq=Intergovernmental+Panel+on+Climate+Change.+2018.&aqs=chrome.69i57j0l2.2900j0j8&sourceid=chrome&ie=UTF-8. (Consultado el 20 de septiembre de 2018).
- Invasive Species Specialist Group (ISSG). (2018). *Weed global invasive*. Disponible en: <https://www.natureindex.com/supplements/nature-index-2018-earth-and-environmental-science/index>. (Consultado el 21 de julio de 2018).
- Kulasekaran, R.; Amar, M.; Farhena, A.; Singarayer, K. F. and Bhagirath, S. C. H. (2017). Weeds in a Changing Climate: Vulnerabilities, Consequences, and Implications for Future Weed Management. *J. List Front Plant Sci.* 8: 95.
- Margulis, L. y Schwartz, K. V. (2001). *Cinco Reinos. Um guia ilustrado dos filhos da vida na terra*. 3ª ed. Trad. De Cecilia Bueno y Lena Geise. Rio de Janeiro, Brasil: Guanabara Koogan. 497 p.

- March-Mifsut, I. J. y Martínez-Jiménez, M. (2007). *Especies invasoras de alto impacto a la biodiversidad: Prioridades en México*. México: IMTA-Conabio-GECIARidAmérica-The Nature Conservancy. Conservancy. 73 p. ISBN 978-968-5536-92-9.
- Martínez, F. (1995). *Elementos de fisiología vegetal. Relaciones hídricas. Nutrición mineral. Transporte. Metabolismo*. Madrid, España: Mundi prensa. 1147 p.
- Mukherjee S. K. (1957). Origin and Distribution of Saccharum. *Bot. Gaz.*, 119: 55-61.
- NASA. (2018). *La NASA estudiará el impacto del calentamiento global en las plantas*. Disponible en: <http://www.yucatan.com.mx/imagen/nasa-estudiara-impacto-del-calentamiento-global-las-plantas>. (Consultado el 07 de septiembre de 2018).
- National Geographic. (2018). *El declive de los insectos polinizadores y el cambio climático*. Disponible en: <https://abejas.org/el-declive-de-los-insectos-polinizadores-y-el-cambio-climatico/>. (Consultado el 20 de septiembre de 2018).
- Odum, E. P. (1988). *Ecología*. Trad. de Ricardo Iglesias Rios e Cristopher J. Tribe. Rio de Janeiro: Editora Guanabara. 434 p.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2018). *Nuevo récord de CO₂ en la atmósfera*. Disponible en: https://elpais.com/elpais/2017/10/30/ciencia/1509359304_347557.html. (Consultado el 01 de julio de 2018).
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2016). *Problemas de salud por contaminaciones del aire ambiental*. Disponible en: https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=12918:2017-ambient-air-pollution&Itemid=42246&lang=es. (Consultado el 19 de setiembre de 2018).
- Pagad, S.; Genovesim, P.; Carnevali, L.; Schigel, D.; Macgeach, M. A. (2018). *Introducing the Global Register of Introduced and Invasive Species*. Disponible en: Scientific DataPY - 2018/01/23/online. (Consultado el 21 de setiembre de 2018).
- Radosevich, S.; Holt, J. y Ghera, C. (1997). *Weed Ecology: Implications for Management*. 2 ed. New York, EU: Wiley. 588 p.
- R Core Team. (2019). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria: Foundation for Statistical Computing.
- Sage, R. F. y Kubien, D. S. (2007). *The Temperature Response of C3 and C4 Photosynthesis*. Wiley online Library. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2007.01682.x>. (Consultado el 16 de septiembre de 2018).
- Santos, S. M. A. (2012). *Perspectiva para a contribuição do uso do etanol no transporte público urbano, visando à redução da poluição atmosférica – estudo de caso: Projeto Best*. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Faculdade de Economia e Administração. Instituto de Electrónica e Energía. Instituto de Física. Brasil.