



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS TABASCO

PROGRAMA PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO

**FERTILIZACIÓN MINERAL Y ABONO VERDE EN CAÑA DE
AZÚCAR, FASE SEMILLA.**

SELENE NARANJO LANDERO

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

H. CÁRDENAS, TABASCO, MÉXICO

2019



"2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata"

CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALÍAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, la que suscribe Selene Naranjo Landero, alumna de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta Institución, bajo la dirección del Profesor José Jesús Obrador Olán, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis "Fertilización mineral y abono verde en caña de azúcar, fase semilla" y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del Colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

H. Cárdenas, Tabasco, a 20 de Noviembre de 2019

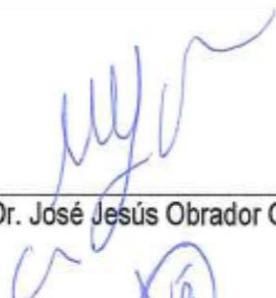
Firma

Vo. Bo. Profesor Consejero

La presente tesis, titulada: **Fertilización mineral y abono verde en caña de azúcar, fase semilla** realizada por la alumna Selene Naranjo Landero, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

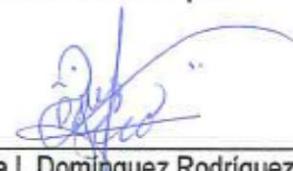
MAESTRA EN CIENCIAS

EN PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO CONSEJO
PARTICULAR

CONSEJERO: 
Dr. José Jesús Obrador Olán

ASESOR: 
Dr. Apolonio Valdez Balero

ASESORA: 
Dra. Eustolia García López

ASESORA: 
Dra. Verónica I. Domínguez Rodríguez

H. CÁRDENAS TABASCO, MÉXICO A 10 DE DICIEMBRE DEL 2019

Fertilización mineral y abono verde en caña de azúcar, fase semilla.

Selene Naranjo Landero, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2019

El suelo es esencial para generar alimentos y para la economía agrícola, pero existen actividades agrícolas que ocasionan pérdidas en el suelo, como erosión, disminución de materia orgánica, contaminación, pérdida de biodiversidad, salinización y otras que tienen un impacto negativo para el uso sostenible del suelo. El uso de fertilizantes en la agricultura es causa de efectos nocivos para el ambiente, en la salud y cultivos, se buscan alternativas que contribuyan al mejoramiento de la fertilidad del suelo y permitan mayor rendimiento en los cultivos. El objetivo general de esta investigación es evaluar el efecto de la fertilización mineral y abono verde de *Sesbania herbacea* (Mill) McVaugh sobre una plantación de caña de azúcar variedad COLPOSCTMEX 06-039, fase semilla. La investigación se llevó a cabo en los meses de Septiembre-Abril 2018-2019 en el Campo experimental de Colegio de Postgraduados, utilizando un diseño de bloques completos al azar con tres tratamientos y cuatro repeticiones y análisis de la varianza con el programa Statistica 2003, con pruebas de comparación múltiple de medias de Tukey para evaluar la fertilidad de suelos, el rendimientos y calidad de la caña de azúcar. También se evaluó la cantidad y diversidad de arvenses porque compiten por los nutrientes del suelo, el agua y la luz afectando los rendimientos; se calculó el índice de diversidad S, H, E y índice de valor de importancia de las arvenses con el abono verde y las dosis de fertilización 160-60-80 y 00-60-80 NPK, se realizaron cinco muestreos de arvenses durante el periodo de investigación utilizando el software Excel 2007.

Palabras claves: fertilidad, *Sesbania*, nitrógeno atmosférico.

Mineral fertilization and green manure in sugar cane, seed phase.

Selene Naranjo Landero, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2019

The soil is essential for generating food and for the agricultural economy, but there are agricultural activities that cause losses in the soil, such as erosion, decrease in organic matter, pollution, loss of biodiversity, salinization and others that have a negative impact on sustainable use ground. The use of fertilizers in agriculture is a cause of harmful effects on the environment, on health and crops, alternatives are sought that contribute to the improvement of soil fertility and allow greater crop yield. The general objective of this research is to evaluate the effect of mineral fertilization and green manure of *Sesbania herbacea* (Mill) McVaugh on a sugarcane plantation variety COLPOSCTMEX 06-039, seed phase. The research was carried out in the months of September-April 2018-2019 in the experimental field of Graduate College, using a randomized complete block design with three treatments and four repetitions and a analysis of variance with the Statistica 2003 program, with multiple comparison tests of Tukey averages to assess soil fertility, yields and quality. It was also evaluated the quantity and diversity of weeds because they compete of nutrients from soil, water and light, affecting yields; was calculated diversity index S, H, E and index of importance value of weeds were calculated with the green manure and fertilization doses 160-60-80 and 00-60-80 NPK, five samples of weeds were made during the Research period using Excel 2007 software.

Keywords: fertility, *Sesbania*, atmospheric nitrogen.

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

Le doy gracias a mis padres por apoyarme en todo momento por los valores que me han inculcado, y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida. Sobre todo, por ser un excelente ejemplo de vida a seguir

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento económico, para la realización de mis estudios de Postgrado.

Al Colegio de Postgraduados Campus Tabasco por haberme brindado la oportunidad de realizar mis estudios de Maestría.

Al Dr. José Jesús Obrador Olán, por compartir su experiencia, conocimientos, tiempo dedicado y su amistad.

A los Doctores que fueron partícipes de mi consejo particular: Dra. Eustolia García López, Dr. Apolonio Valdez Balero y la Dra. Verónica Isidra Domínguez Rodríguez a quienes agradezco sus conocimientos, motivación y todo el tiempo otorgado para la elaboración de este trabajo de investigación.

DEDICATORIA

A mis padres Marcela Landero y Julio Cesar Naranjo, quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

A mi pareja Wanderley Magaña Valenzuela por ser un pilar fundamental en mi vida, por tus conocimientos, el tiempo dedicado, por impulsarme y confiar en mí.

A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todas las metas.

A todas aquellas personas que directamente o indirectamente me impulsaron a seguir adelante, les doy las gracias.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1. OBJETIVOS	3
2. HIPÓTESIS.....	3
3. REVISIÓN DE LITERATURA	4
4. LITERATURA CITADA	14
CAPÍTULO I. RENDIMIENTO Y CALIDAD INDUSTRIAL DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR CON FERTILIZACIÓN MINERAL Y ABONO VERDE EN FASE SEMILLA.....	21
1.1 INTRODUCCIÓN	24
1.2 MATERIALES Y MÉTODOS	26
1.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
1.4 CONCLUSIONES.....	45
1.5 LITERATURA CITADA	46
CAPÍTULO II. ARVENSES EN UN SUELO CULTIVADO CON CAÑA DE AZÚCAR CON FERTILIZACIÓN MINERAL Y ABONO VERDE	54
2.1 INTRODUCCIÓN	57
2. 2 MATERIALES Y MÉTODOS	59
2.3 RESULTADO Y DISCUSIÓN	60
2.4 CONCLUSIONES.....	71
2.5 LITERATURA CITADA	72
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	77
1. Conclusiones.....	77
2. Recomendaciones.....	78

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Información Taxonomía de la evolución de <i>Sesbania herbacea</i> (Mill) McVaugh (Hanan y Mondragón, 2009).....	11
Cuadro 2. Diseño experimental en bloques completos al azar con aplicación de <i>S. herbacea</i> y fertilizantes comerciales.....	27
Cuadro 3. Análisis de la fertilidad del suelo con 15 submuestras antes de la siembra (0 a 30 cm de profundidad).....	35
Cuadro 4. Lista florística de las especies de arvenses en el cultivo de caña de azúcar fase semilla. Tratamientos: abono verde (AV), con fertilización nitrogenada 160-60-80 (N) y fertilización sin N 00-60-80 (P).	62
Cuadro 5. Valores relativos de los índices de Densidad (DeR), Frecuencia (FR) y Dominancia (DoR), y del índice de valor de importancia (IVI) de las cuatro principales especies de arvenses en el cultivo de caña. Tratamientos: abono verde (AV), con fertilización nitrogenada 160-60-80 (N) y fertilización sin N 00-60-80 (P).....	67

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. <i>Sesbania herbacea</i> (Mill) McVaugh: a) hoja, b) rama con flores, c) rama fructífera y d) semilla.	13
Figura 2. Rendimiento del peso fresco de biomasa (PFB) de <i>S. herbacea</i> AV y AV-PK, las barras verticales indican el intervalo de confianza (95%).	30
Figura 3. Altura promedio de <i>S. herbacea</i> en ambos tratamientos, las barras verticales indican los intervalos de confianza (95%).	30
Figura 4. Diámetro basal promedio de <i>S. herbacea</i> en ambos tratamientos, las barras verticales indican el intervalos de confianza (95%).	30
Figura 5. Rendimiento del peso seco de biomasa (PSB) de <i>S. herbacea</i> T1 y T3, las barras verticales indican el intervalo de confianza (95%).	31
Figura 6. Contenido de N en la biomasa aérea de <i>S. herbacea</i> obtenidos del tratamiento uno y tres, las barras verticales indican el intervalo de confianza (95%).	32
Figura 7. Contenido de P en la biomasa aérea de <i>S. herbacea</i> obtenidos del tratamiento uno y tres, las barras verticales indican el intervalo de confianza (95%).	33
Figura 8. Contenido de K en la biomasa aérea de <i>S. herbacea</i> obtenidos del tratamiento uno y tres, las barras verticales indican el intervalo de confianza (95%).	33
Figura 9. Contenido de MO en los tres tratamientos para el segundo y tercer muestreo, las barras verticales indican el intervalo de confianza (95%) en un suelo Cambisol de la Chontalpa.	37
Figura 10. Contenido de COS del suelo en dos fechas para los tres tratamientos, las barras verticales indican el intervalo de confianza (95%) en un suelo Cambisol de la Chontalpa.	37
Figura 11. Contenido de N del suelo en dos fechas para los tres tratamientos, las barras verticales indican el intervalo de confianza (95%) en un suelo Cambisol de la Chontalpa.	38
Figura 12. Relación C/N del suelo en dos fechas para los tres tratamientos, las barras verticales indican el intervalo de confianza (95%) en un suelo Cambisol de la Chontalpa.	38
Figura 13. Contenido de P del suelo en dos muestreos y para los tres tratamientos, las barras verticales indican el intervalo de confianza (95%) en un suelo Cambisol de la Chontalpa.	39
Figura 14. Contenido de K del suelo en dos muestreos y para los tres tratamientos, las barras verticales indican el intervalo de confianza (95%) en un suelo Cambisol de la Chontalpa.	40

Figura 15. Contenido de Ca del suelo en dos muestreos y para los tres tratamientos, las barras verticales indican el intervalo de confianza (95%) en un suelo Cambisol de la Chontalpa.	40
Figura 16. Contenido de Mg del suelo en dos muestreos y para los tres tratamientos, las barras verticales indican el intervalo de confianza (95%) en un suelo Cambisol de la Chontalpa.	41
Figura 17. Rendimiento de tallos molederos en t ha ⁻¹ de los tres tratamientos, las barras verticales indican el intervalo de confianza (95%).	42
Figura 18. °Brix de la variedad COLPOSCTMEX 06-039 en fase semilla en los tres tratamientos, las barras verticales indican el intervalo de confianza (95%).	43
Figura 19. Azúcares Reductores de la variedad COLPOSCTMEX 06-039 en fase semilla de los tres tratamientos, las barras verticales indican el intervalo de confianza (95%).	44
Figura 20. POL de la variedad COLPOSCTMEX 06-039 en fase semilla de los tres tratamientos, las barras verticales indican el intervalo de confianza (95%).	44
Figura 21. % Fibra de la variedad COLPOSCTMEX 06-039 en fase semilla de los tres tratamientos, las barras verticales indican el intervalo de confianza (95%).	44
Figura 22. Comportamiento de la riqueza (S) de especies de arvenses en caña de azúcar con tres tratamientos de fertilización: abono verde (AV), nitrogenada NPK (160-60-80) y AV-PK (00-60-80).	64
Figura 23. Comportamiento de la diversidad (H') de especies de arvenses en caña de azúcar con tres tratamientos de fertilización: abono verde (AV), nitrogenada NPK (160-60-80) y AV-PK (00-60-80).	65
Figura 24. Comportamiento de la uniformidad (E) de especies de arvenses en caña de azúcar con tres tratamientos de fertilización: abono verde (AV), nitrogenada NPK (160-60-80) y AV-PK (00-60-80).	66

INTRODUCCIÓN GENERAL

El suelo es un recurso esencial para generar alimentos y para la economía agrícola (Virto *et al.*, 2014). El cultivo de caña de azúcar (*Saccharum* sp.) es de importancia en el trópico y en 74 países, los principales son Brasil, India, China, Tailandia, Pakistán y México, ya que este cultivo es considerado uno de los más importante del mundo (Sundas *et al.*, 2017). El informe anual de la Organización Internacional del Azúcar (OIA, 2015) muestra que por cada t ha⁻¹ existe una recuperación de azúcar de 9.90 % en todo el planeta. En México, el cultivo de caña de azúcar cuenta con una superficie sembrada de 847,523.05 ha.

Todas las actividades agrícolas ocasionan perdidas en el suelo, tales erosión, disminución de materia orgánica (MO), contaminación, pérdida de biodiversidad, salinización y otras que tienen un impacto negativo para el uso sostenible del suelo (Blum, 2013). A nivel mundial la degradación del suelo es del 24% debido a que las prácticas que se realizan en el manejo agrícola no son adecuadas (Kassam *et al.*, 2014) y la reducción de la productividad se debe a cambios ambientales que conducen a la disminución en el rendimiento agrícola de hasta el 50 % durante el período 2000-2020 (Orchard *et al.*, 2017), aunque la fertilidad del suelo también limita el rendimiento de los cultivos en todo el mundo (Cao *et al.*, 2017).

El uso de fertilizantes en la agricultura es causa de efectos nocivos para el ambiente, en la salud y cultivos (Tao *et al.*, 2017). Los nutrientes absorbidos en mayor cantidad en el crecimiento y desarrollo de las planta son el nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), estos deben agregarse en cantidades óptimas para mantener la fertilidad química del suelo y el buen rendimiento del cultivo. Se estima que los agricultores añaden entre 270 y 466 kg N ha⁻¹ año⁻¹ entre 135 y 160 kg P ha⁻¹ año⁻¹ como fertilizantes químicos para generar mayor producción (Wang *et al.*, 2014).

El uso de biocidas es otro factor que conlleva al desgaste del suelo alterando su equilibrio, se utilizan en la agricultura para eliminar los patógenos de las plantas y para el control de malezas (Bortoli *et al.*, 2012), ambos factores pueden llegar a causar una pérdida estimada en el rendimiento de alrededor del 43%, pero su uso forma indiscriminada atenta contra la salud del suelo (Lemessa y Wakjira, 2015).

Existe un gran número de arvenses que son componentes integrales de los agroecosistemas, que pueden ser nativas o introducidas que se han favorecido por las actividades agrícolas, la pérdida

del rendimiento en algunos cultivos es ocasionada a partir que las arvenses compiten por los nutrientes del suelo, el agua y la luz principalmente, son hospedantes de insectos y algunos patógenos son perjudiciales en los cultivos, además de que contribuyen a incrementar los costos de operaciones (Blanco-Valdes, 2016). Reducir los insumos externos es de gran importancia ya que permite plantear diversos sistemas sostenibles en diferentes cultivos, lo que contribuye a minimizar impactos ambientales.

ar impactos ambientales.

Existen tres justificaciones principales para el uso de abonos verdes (AV); limitar la lixiviación de N y el uso de maquinaria para la aplicación de herbicidas y fertilizantes, y para la supresión de malezas (Peyrard *et al.*, 2016). Los AV son residuos de plantas que se incorporan al suelo mientras aún están verdes o en su periodo de madurez (Grüter *et al.*, 2017), las plantas más utilizadas para esta práctica son las leguminosas (Fabáceas), porque inducen a una mineralización más rápida y de mayor proporción del N adquirido para que regrese al suelo, ya que una parte de este elemento que adquieren las leguminosas proviene de la Fijación Biológica de Nitrógeno (FBN), lo que significa que se agrega al agroecosistema, promoviendo una agricultura más sustentable (Couëdel *et al.*, 2018).

Estudios realizados con leguminosas como AV en caña de azúcar han mejorado la fertilidad del suelo; se encontró que existe una mayor conservación de este nutriente en el suelo, reduciendo pérdidas de N en el sistema (Vargas *et al.*, 2017). Estudios realizados en Brasil han mostrado incremento en el rendimiento del tallo de la caña de azúcar, si se cumple con la fertilización adecuada de N (Quassi de Castro, 2019). Salgado *et al.* (2017) indican que el rendimiento de la variedad COLPOSCTMEX 06-039 con diferentes dosis de fertilización de N es alto, considerando que el promedio para el área en estudio es 60 t ha⁻¹. Esta variedad se considera de maduración media alcanzando 106 t ha⁻¹, con porcentaje de sacarosa de 16.6% y alta pureza de jugo de 91.19 y 12.70% de contenido de fibra, además de ser resistente a algunas enfermedades.

1. OBJETIVOS

Evaluar el efecto de la fertilización mineral y abono verde de *Sesbania herbacea* (Mill) McVaugh sobre una plantación de caña de azúcar var. COLPOSCTMEX 06-039, fase semilla.

Particulares

- I. Estimar el aporte de nitrógeno del abono verde *Sesbania* a un suelo cultivado con caña de azúcar, fase semilla.
- II. Conocer el comportamiento de la fertilidad de suelo en los sitios donde se utiliza fertilización mineral y el abono verde *Sesbania*.
- III. Evaluar el rendimiento de la caña de azúcar (Var. COLPOSCTMEX 06-039) y la calidad de la semilla con fertilización mineral y el abono verde *Sesbania*.
- IV. Evaluar la calidad industrial de la caña de azúcar (Var. COLPOSCTMEX 06-039) con fertilización mineral y el abono verde *Sesbania*.
- V. Evaluar el efecto de *Sesbania* y la fertilización mineral sobre la comunidad de arvenses en caña de azúcar, fase semilla.

2. HIPÓTESIS

- I. El aporte nutrimental de nitrógeno del abono verde no es suficiente para cubrir la demanda del cultivo de caña en la fase semilla.
- II. La fertilidad del suelo es similar en los tratamientos estudiados
- III. El rendimiento de tallos de caña de azúcar (Var. COLPOSCTMEX-06-039) no varía en ninguno de los tratamientos estudiados.
- IV. La calidad industrial de la caña de azúcar (Var. COLPOSCTMEX-06-039) es similar en los tratamientos de fertilización utilizados.
- V. La presencia de *Sesbania* no afecta a la cantidad y diversidad de arvenses en un suelo cañero, fase semilla.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN TABASCO

La caña de azúcar se cultiva a lo largo de los trópicos y subtrópicos (Sentíes-Herrera *et al.*, 2016). En Tabasco el rendimiento agronómico promedio de la caña de azúcar es de 63.49 t ha⁻¹ y se cultiva en una superficie de 40,693.00 ha donde en los meses de diciembre y enero existen condiciones climáticas que favorecen el incremento de sacarosa (decremento de la temperatura) y la cosecha del cultivo inicia por estas fechas, coincidiendo con la disminución de la precipitación, y tiene una duración aproximada de seis meses (Salgado-García *et al.*, 2011; SIAP, 2018).

Se cree que el cultivo de caña tiene mayor producción en áreas donde a las condiciones climáticas, principalmente altas precipitaciones y temperaturas óptimas, sin embargo, el tipo de suelo, el manejo agronómico del cultivo, la variedad de caña, la fertilización y el manejo de nutrientes del suelo determinan en gran parte el rendimiento (Singh *et al.*, 2018). Tan solo para producir 100 tallos de caña de azúcar se utilizan aproximadamente entre 100 y 150 kg N ha⁻¹, y para mantener los nutrimentos esenciales la tasa de N aplicada a los retoños de caña de azúcar es de entre 120 y 200 kg N ha⁻¹ (Quassi de Castro, 2019).

Suma y Savitha, (2015) indican que por una hectárea de caña de azúcar se producen entre 7 y 12 t de residuos, cada tonelada contiene aproximadamente 5.4, 1.3 y 3.1 kg de N, P y K, respectivamente, los cuales son eliminados con la quema. Salgado *et al.*, (2013) mencionan que la quema de caña antes de la cosecha incrementa la combustión al tener un aumento en hojas, por lo que genera un impacto al ambiente. La incorporación de los residuos de cosecha al suelo puede aumentar a largo plazo el suministro de N y otros nutrientes, las hojas secas presentan los más altos rendimientos de biomasa y los menores contenidos de nutrientes en comparación con las puntas de caña de azúcar; alrededor de 75% de K₂O y 50% del N se acumula en ellas, de ahí la importancia que tiene para la fertilidad del suelo, el no quemar la basura (Trivelin *et al.*, 2013).

Nutrientes fundamentales en el cultivo de caña de azúcar

La caña de azúcar es un cultivo de larga duración que se caracteriza por tener metabolismo C₄ y exige grandes cantidades de humedad, nutrientes y luz solar para su productividad óptima (Gopalasundaram *et al.*, 2012). Pérez (2012) indica que existen 16 principales nutrientes para el cultivo de caña de azúcar: carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), N, P, K, calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), hierro (Fe), manganeso (Mn), Zinc (Zn), cobre (Cu), boro (B),

molibdeno (Mo) y cloro (Cl) en su mayoría obtenidos del suelo o de fertilizantes, otros como C, H y O, del agua y aire, aunque también habría que incluir al silicio (Si) que es un elemento benéfico para el cultivo. La falta del N en el cultivo se manifiesta en las hojas, que muestran amarillamiento y tallos delgados, pero se requiere de la mineralización del N orgánico, que está determinada por factores ambientales como la temperatura, la humedad, la aireación del suelo, el tipo y cantidad de N orgánico presente. Es uno de los nutrientes esenciales para satisfacer las necesidades nutricionales del cultivo de caña de azúcar que determina el comportamiento productivo de la planta y con ello su rendimiento agroindustrial.

Variedades

En los últimos 60 años más de 150 variedades mexicanas de caña se han liberado, ocupando el 55% de la superficie sembrada en el país; el 45% restante lo ocupan variedades extranjeras (CIDCA, 2016). Senties-Herrera *et al.* (2016), reportan la presencia de las siguientes variedades mexicanas: Mex 69-290, Mex 79-431, ITV 92-1424, Mex 68-P-23, Mex 57-473, ATEMEX 96-40, Mex 69-749, Mex 68-1345, Mex 55-32, Mex 73-1240 y Mex 80-1410 y las extranjeras: CP 72-2086, RD 75-11, My 55-14, NCo 310, SP 70-1284, Co 997, L 60-14 y CP 44-101, la más destacada es la CP 72-2086 que tuvo el primer lugar en superficie cultivada en la zafra 2010/2011. Para el estado de Tabasco existen 12 variedades con mayor productividad (González-Jiménez *et al.*, 2011).

Descripción de variedad COLPOSCTMEX 06-039

Tallos ligeramente en zig-zag, de color amarillento con tintes verdes cuando está cubierto por la vaina y verde con tintes amarillos cuando está expuesto al sol; corteza de dureza media y longitud moledera de 2.5 a 3.0 m, entrenudos cilíndricos, con diámetro medio de 2.3 a 2.8 cm; yema redonda abultada, no rebasa el anillo de crecimiento, tiene grietas de crecimiento; hoja de tamaño medio, erectas, con el ápice curvado, color verde claro. Por lo aserrado de sus bordes es muy cortante, collar deltoide verde aceituna, lígula deltoide; ambas aurículas son transitorias, oblicuas.

Es de maduración media, con un alto tonelaje, 106 t ha⁻¹, 16.6% de sacarosa en el mes de febrero, alta pureza de jugos, de 91.19; se debe cosechar en los meses de febrero a marzo; con regular contenido de fibra de 12.70%. Se considera resistente a las enfermedades del carbón y la roya café, y susceptible a la fumagina.

Suelos, nutrición y fertilización

Un suelo fértil permite la mayor producción, rendimiento y crecimiento del cultivo, permitiendo a las generaciones futuras generar esfuerzos para una seguridad alimenticia, aunque esto depende de la fertilidad, natural o mejorado del suelo (El-Ramady, 2013).

El cultivo de caña de azúcar tiene un periodo de crecimiento largo, por lo que requiere de grandes cantidades de nutrientes, se conoce que en algunas zonas suelen aplicarse grandes cantidades de fertilizantes que provocan la pérdida de la fertilidad física, química y biológica del suelo (Guerrero-Peña *et al.*, 2017). Entre las propiedades físicas se encuentra la textura, estructura, compactación, la profundidad efectiva y la densidad aparente, las químicas incluyen pH, nitrógeno total (Nt), nitratos, amonio, capacidad de intercambio catiónico (CIC), bases intercambiable (Ca, Mg, K y Na), la acidez (H y Al) al igual que los micronutrientes. Las propiedades biológicas son principalmente Carbono (C) y MO (Valdez *et al.*, 2009).

En la zona de abastecimiento del Ingenio Presidente Benito Juárez (IPBJ) la temperatura varía entre 32.3 y 20.9 °C, con una precipitación de 2065 mm (Salgado *et al.*, 2013); los suelos cañeros corresponden a tres unidades: Vertisoles (45.50%), Cambisoles (38.55%) y Gleysoles (13.84%), y ocho subunidades: Cambisol Flúvico (Arcílico Éútrico), Cambisol Endoglético (Arcílico Éútrico), Cambisol Estágnico Endoglético (Éútrico Férrico), Cambisol Estágnico (Arcílico Éútrico), Gleysol Háplico (Arcílico Éútrico), Vertisol Estágnico Glético (Éútrico) y Vertisol Estágnico (Éútrico) (Salgado-García *et al.*, 2011).

A través del tiempo estos suelos cañeros presentan contenidos nutrimentales que afectan el rendimiento del cultivo, muestran problemas de acidez y reducen los contenidos de algunos nutrientes como N, fósforo-Olsen (P), K, CIC y MO. El bajo contenido de éstos es ocasionado por las prácticas que se realizan durante el periodo de crecimiento del cultivo, como por ejemplo la quema y requema de residuos durante la cosecha, por lo que se deben buscar estrategias para la incorporación de residuos que contribuyan a la fertilidad del suelo y el alcance de niveles adecuados (Guerrero-Peña *et al.*, 2017). Los suelos de reciente incorporación aportan N por efecto de la mineralización de su MO, pero solo el 2% del Nt es inorgánico (Lemos *et al.*, 2019). Se ha estimado que el cultivo toma en promedio 208, 53, 280, 30, 3.4, 1.2, 0.6 y 0.2 kg N, P, K, Ca, S, Fe, Mn y Cu, respectivamente, del suelo para producir aproximadamente 100 t ha⁻¹ de caña, aunque esto varía por el suelo y la variedad (Gopaldasundaram *et al.*, 2012).

Carbono Orgánico Soluble (COS)

Los suelos constituyen la mayor fuente de carbono orgánico en los ecosistemas terrestres (Cotler *et al.*, 2016), contienen hasta casi tres veces más que el que hay en la vegetación y la atmósfera, además de retenerlo por largos periodos de tiempo (Delgado-Carranza *et al.*, 2017). El carbono orgánico soluble (COS) está muy relacionado con el proceso de descomposición, a través de la biomasa por la acción microbiana, por lo cual el carbono del suelo vuelve a la atmósfera mediante la mineralización del carbono orgánico (Burbano, 2018), que se encuentra en forma de residuos orgánicos poco alterados de microorganismos, animales y vegetales, en forma de humus y en formas condensadas de composición próximas al carbono elemental el cual corresponde al 58% de la MOS (Ayala *et al.*, 2018).

Los suelos ricos en COS favorecen la actividad de los microbios, que conducen a la mineralización y la disponibilidad de nutrientes para los cultivos, es importante ya que es parte de la MO e influye en las propiedades del suelo como la estructura, la CIC, la densidad aparente, la porosidad y la infiltración; se conoce que el cambio de uso de la tierra y la explotación agrícola intensiva con aplicación de fertilizantes y uso de maquinaria provoca la pérdida de la MO, que conlleva a la degradación y la disminución de la productividad de los suelos (Bojórquez *et al.*, 2015). El COS depende del clima, la topografía, la hidrología, el uso del suelo, el tipo de suelo y la vegetación, los cuales son factores importantes para determinar su distribución en cuanto a la profundidad (Ebrahim *et al.*, 2017).

Armida-Alcudia *et al.* (2005) mencionan que para los suelos cañeros del municipio de Cárdenas, Tabasco los principales indicadores sobre su productividad son la MO y el COS, para aumentar el contenido de C se pueden establecer prácticas al mantener una cobertura vegetal permanente sobre el suelo y promover la rotación de cultivos, además de generar numerosos beneficios agronómicos, como el control de malezas, plagas y, sobre todo, el enriquecimiento de nutrientes. El abono verde de la leguminosas *Sesbania*, el frijol (*Vigna radiata*) y la judía (*Vigna unguiculata*) aumentan el contenido de carbono y N del suelo después de la descomposición de la biomasa, lo que indica el mantenimiento de la fertilidad del suelo y la productividad de los cultivos (Shukla *et al.*, 2017).

ARVESES EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR

Una arvense es definida como “aquella especie, tanto nativa como exótica, que presenta tasas de crecimiento elevada, mecanismos eficientes de dispersión y tolerancia a una gran variedad de condiciones ambientales, capaz de producir cambios significativos en la estructura, la composición y los procesos del ecosistema” (Castillo-Argüero *et al.*, 2009). Algunas crecen en los campos agrícolas y tienen un efecto nocivo para los cultivos, por lo que se cree que deberían ser eliminadas por completo para evitar reducir el rendimiento y calidad de las cosechas (Ramos-Hernández *et al.*, 2011).

Muchas especies de arvenses, anuales y perennes, se encuentran en los cultivos de caña de azúcar, predominan durante ciertos períodos de año, en épocas y etapas diferentes, es necesario conocer su ciclo de vida, su etapas de reproducción, frecuencia de aparición y algunas otras características de su diversidad para considerar las pérdidas que pueden ocasionar en el rendimiento (Blanco *et al.*, 2016), ya que intervienen en el desarrollo normal del cultivo al competir por luz, agua y nutrientes, se considera que el desarrollo de las arvenses es más rápido que la caña de azúcar y la extracción y asimilación de nutrientes es más eficiente (Rodríguez *et al.*, 2019).

Blanco *et al.* (2016) encontraron, en campos dedicados al cultivo de caña de azúcar en Cuba, 19 especies distribuidas en ocho familias, 58 % pertenecientes a Poaceae, incluyendo las más dañinas y difíciles de controlar. En la Chontalpa, Tabasco, se encontró un total de 22 familias botánicas, las más representativas fueron Euphorbiaceae, Poaceae, Asteraceae, Scrophulariaceae, Convolvulaceae, Fabaceae, Cyperaceae, Lamiaceae y Onagraceae que, en conjunto agrupan al 80% (Obrador-Olán *et al.*, 2019).

IMPORTANCIA DE LOS ABONOS VERDES

La concepción actual de la agricultura tiene como objetivo el uso de prácticas orgánicas que permiten mejorar la composición de la materia orgánica del suelo, las propiedades físicas, químicas y biológicas y el funcionamiento del agroecosistema (Sharma *et al.*, 2017). El uso de Abonos Verdes (AV) contribuye a restaurar la fertilidad y aumentar el contenido de MO para mejorar el crecimiento de los cultivos posteriores, principalmente manteniendo la fertilidad y productividad del suelo; éstos son incorporados semanas antes del cultivo para permitir la descomposición y contribuir a mejorar el crecimiento y rendimiento, reducir la densidad aparente

del suelo, aumentar el N, P, K, Ca, Mg y MO, aunque estos efectos varían debido a la especie de leguminosa que se utilice (Adekiva *et al.*, 2019). Otros beneficios de los AV es interrumpir el ciclo de vida de insectos fitopatógenos, disminuir la necesidad de utilizar plaguicidas y suprimir el crecimiento de las arvenses a través de interacciones físicas, bióticas y alelopáticas (García-Hernández *et al.*, 2010).

Las plantas que son utilizadas como AV contribuyen al ambiente, son biodegradables sin deterioro del suelo, del agua, del aire y no son contaminantes (Adekiva *et al.*, 2019); las leguminosas utilizan el N de la atmósfera (N₂) para su crecimiento y desarrollo a través del proceso de fijación biológica de nitrógeno (FBN) mediante la creación de una simbiosis entre la planta y el *Rizobium*, activando los nódulos para otorgar beneficios agronómicos y económicos para una agricultura sostenible (Islam y Tetteh, 2018).

Los AV se consideraban una práctica principal antes que el uso de los fertilizantes químicos en el cultivo de la caña de azúcar, en el Instituto de Investigación de la Caña de Azúcar en India se obtuvo una producción de 418 kg de caña a través de AV con aporte de 150 kg N ha⁻¹; en donde las leguminosas más utilizadas son *Crotalaria juncea* L., *Sesbania aculeata* y *Melilotus alba*, con las que se pueden tener incrementos del 27–43% en el rendimiento de caña y contribuir con 41 a 71 kg de N ha⁻¹ a través de la FBN (Shukla *et al.*, 2017). García-Hernández *et al.*, (2010) mencionan que *Sesbania aculeata* L. como AV mejora la producción del cultivo de caña de azúcar en un 9.3 % en la primer cosecha y 6 % para el segundo corte.

Sundara (2011) menciona que en India a través del intercalados de cultivos con las leguminosas *Vigna unguiculata*, *Vigna radiata* y *Vigna mungo* en el cultivo de caña de azúcar en primavera, se suprimió la densidad de arvenses y redujo el peso seco significativamente durante la etapa temprana de crecimiento (60 días después de la siembra); además, como las labores se realizaron de forma manual a los 20, 40 y 60 días después de la siembra, dieron como resultado una densidad mínima de malezas, así como poca materia seca de arvenses, obteniéndose resultados altamente efectivos; el sistema de cultivo intercalado de caña de azúcar más *Vigna radiata* fue el que registró los rendimientos más altos de caña.

Usos e importancia económica del género *Sesbania*

Los usos de las especies del género *Sesbania* se ubican en ocho categorías: alimentos y nutrición para humanos y animales, venenos, medicamentos, usos ambientales, materiales, combustible y usos sociales; aunque los más comunes son medicamentos y alimentos (*S. grandiflora* y *S. javanica*) que son consideradas de gran importancia en varios países (Bunma y Balslev, 2019); las hojas y flores de *S. grandiflora* se venden en los mercados de Malasia, Camboya y Tailandia; algunas otras especies proporcionan grandes cantidades de vitaminas y proteínas en las semillas, en *S. bispinosa* se encuentran altos contenidos de β -sitosterol y estigmasterol (Kapoor y Purohit, 2013); A nivel mundial varias especies de *Sesbania* son utilizadas en su totalidad, tanto la parte aérea como la subterránea.

Uso como cultivo de cobertera

S. herbacea es una leguminosa de crecimiento rápido y con gran cantidad de nodulación, por lo que se utiliza principalmente para mejorar el suelo, produce 7.4 kg ha de biomasa seca, 100 a 145 kg N ha⁻¹ y de 67 a 168 kg N ha⁻¹ fijado, en 75 días en los meses de marzo y septiembre en zonas cálidas (Wang y Nolte, 2010). Sin embargo puede llegar a producir una biomasa húmeda de 5604 a 6725 kg ha⁻¹, altura de 1.27 a 1.32 m, tasa de siembra de 28 a 33 kg ha⁻¹ a una profundidad de siembra de 1.27-1.90 cm (NRCS, 2014). Como cultivo de cobertera se relaciona con plantaciones de cítricos y cultivos de algodón en California; en Sinaloa México, se encontró que existe un mayor rendimiento del cultivo de cobertera, requiere menos del uso del control de arvenses y es menos susceptible a las plagas que el frijol pelón (*Vigna unguiculata*). En clima cálido *S. herbacea* tiende a extenderse y contribuye a que el sorgo aumente en altura (Sheahan, 2013).

Se estima que *S. herbacea* cultivada bajo condiciones de inundación y sequía no muestra diferencias estadísticas en rasgos fisiológicos, pero si en la altura de la planta (3.61 ± 0.29 m), el diámetro basal del tallo (18.92 ± 3.49 mm) y la biomasa seca (7021 ± 633 kg ha⁻¹) cultivada en condiciones de inundación (Krishnan *et al.*, 2019).

Descripción botánica e información general de *S. herbacea*

Nombre científico: *Sesbania herbacea* (Mill.) McVaugh

Sinónimos: *Sesbania exaltata* (Raf.) Rydb.

Nombres comunes: Hemp sesbania, bigpod sesbania, peatree, Colorado river-hemp, coffee-bean, danglepod, coffeeweed y sesbania.

Cuadro 1. Taxonomía de *Sesbania herbacea* (Mill.) McVaugh (Hanan-Alipi y Mondragón-Pichardo, 2009).

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Rosidae
Orden	Fabales
Familia	Fabácea
Genero	<i>Sesbania</i>
Especie	<i>Sesbania herbacea</i>

Origen

Su origen geográfico es de Estados Unidos, México y América central; en México se ha registrado en los estados de Campeche, Chiapas, Guerrero, Jalisco, Nayarit, Oaxaca, Quintana Roo, Sinaloa, Tabasco, Veracruz y Yucatán (Hanan-Alipi y Mondragón-Pichardo, 2009). Se encuentra a lo largo de caminos, en sitios perturbados, campos de cultivo y zanjas, también se reporta de borde de ríos, arroyos, canales, pantanos y lagunas de agua dulce Novelo (2006).

Descripción

S. herbacea es una especie semi-leñosa, nativa y perenne, se puede cultivar durante todo el año en zonas libres de heladas y vivir hasta 20 años en condiciones óptimas, o como una leguminosa anual de temporada cálida. Tiene tallos lisos, verdes y afilados que se vuelven leñosos con la edad, puede crecer hasta 3 (-4!) m de altura. Las hojas de 30 cm dispuestas alternadamente son uniformemente compuestas. Puede haber de 2 a 6 flores acampanadas que se producen en una

inflorescencia alargada de 2–8 cm que crece desde la axila de la hoja, tiene pétalos amarillos o de color amarillo anaranjado que están rayados o manchados de púrpura. Su vaina es lineal de 10–20 cm de largo y 3–4 mm de ancho, lisa, articulada, curva de cuatro lados y está inclinada con un pico pequeño. Las semillas están moteadas de naranja, verde y marrón. La planta crece rápidamente en los meses de julio a agosto, el 50% del crecimiento ocurre entre 8 y 13 semanas después de la fecha de siembra (Sheahan, 2013).

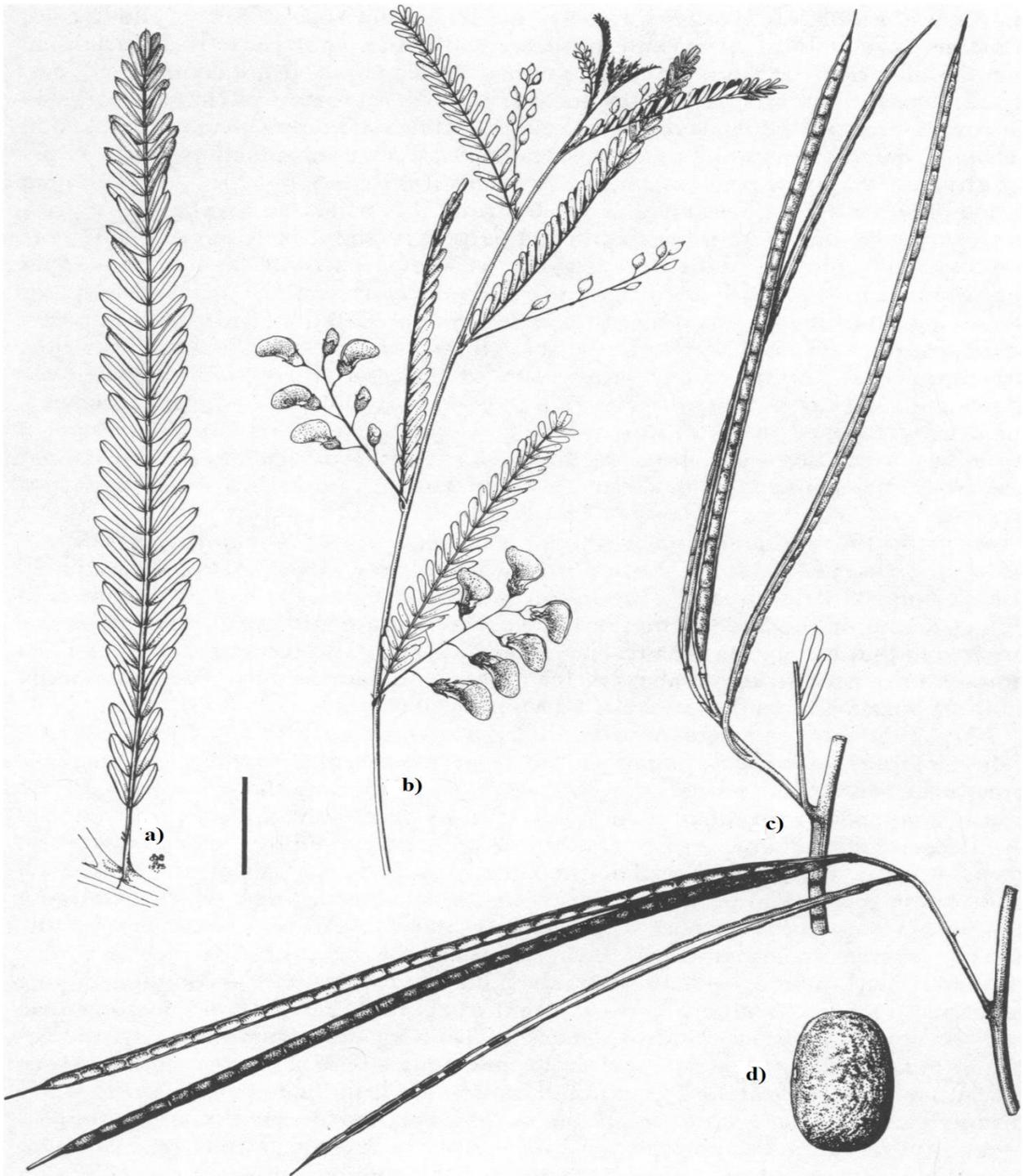


Figura 1. *Sesbania herbacea* (Mill) McVaugh: a) hoja, b) rama con flores, c) rama fructífera y d) semilla.

Tomada de: Lavin y Sousa; (1995).

4. LITERATURA CITADA

- Adekiya A.O., M. Agbede T., M. Aboyeji C., O. Dunsin, and O. Ugbe J. 2019. Green manures and NPK fertilizer effects on soil properties, growth, yield, mineral and vitamin C composition of okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 18(2): 218-223.
- Armida-Alcudia L., D. Espinosa-Victoria D.J. Palma-López A. Galvis-Spinola y S. Salgado-García. 2005. Carbono en biomasa microbiana y carbono soluble como indicadores de calidad de Vertisoles cultivados con caña azucarera. *Terra Latinoamericana* 23(4): 545-551.
- Ayala, N. F., Maya, D. Y. y Troyo, D. E. 2018. Almacenamiento y flujo de carbono en suelos áridos como servicio ambiental: Un ejemplo en el noroeste de México. *Terra Latinoamericana* 36(2): 93-104.
- Blanco-Valdes Y. 2016. El rol de las arvenses como componente en la biodiversidad de los agroecosistemas. *Cultivos Tropicales* 37(4): 34-53.
- Blanco F.V., O. Cruz C., H. Aragón L., C. Cruz E., y R. Rábago. 2016. Diversidad y evolución de especies arvenses en caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en la provincia Sancti Spiritus. *Centro Agrícola*, 43 (2): 23-27.
- Blum W. E.H. 2013. Soil and Land Resources for Agricultural Production: General Trends and Future Scenarios-A Worldwide Perspective. *International Soil and Water Conservation Research* 1(3):1-14.
- Bojórquez S. J.I., L.A. Castillo P., A. Hernández J., J.D. García P., y A. Madueño M. 2015. Cambios en las reservas de carbono orgánico del suelo bajo diferentes coberturas. *Cultivos tropicales* 36(4):63-96.
- Bunma S. y H. Balslev. 2019. A Review of the Economic Botany of *Sesbania* (Leguminosae). *The Botanical Review* 1-67.
- Burbano-Orjuela H. 2018. El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. *Rev.Cienc. Agr.* 35(1):82-96.

- Cao H., Z. Wang, G. He, J. Dai, M. Huang, S. Wang, L. Luo, O.V. Sadras, M. Hoogmoed, and S.S Malhi. 2017. Tailoring NPK fertilizer application to precipitation for dryland winter wheat in the Loess Plateau. *Field Crops Research* 209:88–95.
- Castillo-Argüero S., Y. Martínez-Orea, A.J. Meave, M. Hernández-Apolinar, O. Nuñez-Castillo, G. Santibañez-Andrade, y P. Guadarrama-Chávez. 2009. Flora: susceptibilidad de la comunidad a la invasión de malezas nativas y exóticas. *Diversidad biológica e inventarios* 107-133.
- CIDCA 2016. Centro de Investigación y Desarrollo de la Caña de Azúcar. Obtenido de <http://www.camaraazucarera.org.mx/Cidca.Aspx>. Consultado 13/04/2019.
- Couëdel A., L. Alletto, H. Tribouillois, and É. Justes. 2018. Cover crop crucifer-legume mixtures provide effective nitrate catch crop and nitrogen green manure ecosystem services. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 254: 50–59.
- Cotler H., M. Martínez, y D. Etchevers J. 2016. Carbono orgánico en suelos agrícolas de México: Investigación y políticas públicas. *Terra Latinoamericana* 34: 125-138.
- Delgado-Carranza, C., Bautista-Zúñiga, F., Calvo-Irabien, L. M., Aguilar-Duarte, Y. G. y Martínez-Tellez, J. G. 2017. El carbono orgánico en Leptosols con distribución discontinua en la península de Yucatán. *Ecosist. Recur. Agropec.* 4(10):31-38.
- El-Ramady H.R. 2013. Integrated Nutrient Management and Postharvest of Crops (Chapter 4. Degradation of Soil Fertility Versus Soil Fertility Management. In: Lichtfouse E. (eds) *Sustainable Agriculture Reviews*, 13: 163-274.
- Ebrahim M., M. Farahat S. and S. Kamal H. 2017. Effect of the different types of land-use on the distribution of soil organic carbon in north Nile Delta, Egyp. *Rendiconti Lincei* 28(3):481-495.
- Grüter R., B. Costerousse, A. Bertoni, J. Mayer, C. Thonar, E. Frossard, R. Schulin, and S. Tandy. 2017. Green manure and long-term fertilization effects on soil zinc and cadmium availability and uptake by wheat (*Triticum aestivum* L.) at different growth stages. *Science of the Total Environment* 599–600:1330–1343.
- García-Hernández J.L., B. Murillo-Amador, A. Nieto-Garibay, M. Fortis-Hernández, C.

- Márquez-Hernández, E. Castellanos-Pérez, J.J. Quiñones-Vera, y N.Y. Avila-Serrano. 2010. Avances en investigación y perspectivas del aprovechamiento de los abonos verdes en la agricultura. *Terra Latinoamericana* 28(4): 391-399.
- González-Jiménez V., A. Valdez-Balero, F.C. Gómez-Merino, H.V. Silva R., J. Pérez F., y C.F. Ortiz G. 2011. Caracterización molecular de variedades de caña de azúcar cultivadas en el estado de Tabasco, México. *Biotecnología Vegetal* 11(2):107-113.
- Guerrero-Peña A., A. Cruz-Pons, y J. Velasco-Velasco. 2017. Interpretación del análisis de suelos cañeros basado en las relaciones entre propiedades y elementos. *Agroproductividad* 10(11): 87-92.
- Gopalasundaram P., A. Bhaskaran, and P. Rakkiyappan. 2012. Integrated Nutrient Management in Sugarcane. *Sugar Tech* 14(1). 3-20.
- Hanan-Alipi, A.M. y Mondragón,-Pichardo, J. 2009. Malezas de México. *Sesbania herbacea* (P. Mill.) McVaugh. Obtenido de <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/fabaceae/sesbania-herbacea/fichas/ficha.htm>. Consultado el 28/06/19.
- Islam A. and A. Tetteh A. 2018. In: Amanullah and Fahad S. Nitrogen in Agriculture. Chapter 6: Nitrogen Fixation and Transfer in Agricultural Production Systems. *InTech* 1:95-110.
- Kassam A., R. Derpsch, and T. Friedrich. 2014. Global achievements in soil and water conservation: The case of Conservation Agriculture. *International Soil and Water Conservation Research* 2(1): 5–13.
- Kapoor B. B.S. and V. Purohit. 2013. Sterol contents from some fabaceous medicinal plants of Rajasthan desert. *Indian Journal of Pharmaceutical and Biological Research (IJPBR)* 1(4):13-15.
- Krishnan B. H., O. Oehrle W., A. Alaswad A. G. Stevens W. M.M. John, K. and S. Natarajan, S. 2019. Biochemical and Anatomical Investigation of *Sesbania herbacea* (Mill.) McVaugh Nodules Grown under Flooded and Non-Flooded Conditions. *International Journal of Molecular Sciences* 20(8):1-20.
- Lavin M. and S. Sousa. 1995. Phylogenetic Systematics and Biogeography of the Tribe

- Robinieae (Leguminosae). American Society of Plant Taxonomists (ASPT). Systematic Botany Monographs 45: 1-165.
- Lemessa F. and M. Wakjira. 2015. Cover Crops as a Means of Ecological Weed Management in agroecosystems. *Journal of Crop Science and Biotechnology* 18(2): 123–135.
- Lemos Dos S.R., J. Freire F., E.C. Almeida O., P.C. Ocheuze T., F.M. B. Galvão, S. P. Da Costa B., I. De Oliveira R., and M.B. Da Costa, S. 2019. Changes in Biological Nitrogen Fixation and Natural-Abundance N Isotopes of Sugarcane Under Molybdenum Fertilization. *Sugar Tech* 21(6):925- 935.
- NRCS (Natural Resources Conservation Service). 2014. Summer Cover Crop Species Adapted to North-Central West Texas and Southwestern Oklahoma. Technical Note: TX-PM-14-01. United States Department of Agriculture 1-20.
- Novelo R.A. 2006. Descripción de Taxas: Dicotiledóneas. Plantas acuáticas de la reserva de la biosfera pantanos de Centla. *Espacios Naturales y Desarrollo Sustentable A. C. (ENDESU)*. 1:113.
- Orchard E.S., L. Stringer C., and A. Manyatsi M. 2017. Farmer Perceptions and Responses to Soil Degradation in Swaziland. *Land Degradation and Development* 28(1):46–56.
- OIA (Organización Internacional del Azúcar). 2015. Perspectiva Trimestral de Mercado 2014-15. Informe ejecutivo. 1-54. https://www.academia.edu/11837307/Perspectiva_Trimestral_de_Mercado_Organizaci%C3%B3n_Internacional_del_Az%C3%BAcar. Consultado 25/11/19
- Obrador-Olán J.J., E. García-López, L.E. Almeyda-Santos, M. Castelán-Estrada, y E. Carrillo-Ávila. 2019. Weeds in a Sugar Cane Soil Cultivated with *Crotalaria juncea*. *Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas* 37:1-10.
- Peyrard C., B. Mary, P. Perrin, and G. Véricel. 2016. N₂O emissions of low input cropping systems as affected by legume and cover crops use. *Agriculture Ecosystems and Environment* 224:145-156.
- Pérez O. 2012. VII. Nutrición y fertilización En M. Melgar, A. Meneses, H. Orozco, O. Pérez, y R. Espinosa. *El Cultivo de la Caña de Azúcar en Guatemala*. CENGICAÑA (Centro

- Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar). Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, Guatemala. Artemis Edinter, S.A. 149-176.
- Quassi de Castro S.G., R. Neto J., O. Kölln T., M.B. Borges N., and C.H. Junqueira F. 2019. Decision-making on the optimum timing for nitrogen fertilization on sugarcane ratoon. *Sci. Agric.* 76(3): 237-242.
- Ramos-Hernández E., A. Sol-Sánchez, Á. Guerrero-Peña, J.J. Obrador-Olán, y E. Carrillo-Ávila. 2011. Efecto de *Arachis pintoi* sobre las arvenses asociadas al plátano macho (*Musa AAB*), Cárdenas, Tabasco, México. *Agronomía mesoamericana* 22(1):51-62.
- Rodríguez T.D., R.N. Barbosa G., y E. Rodríguez V. 2019. Manejo de arvenses en caña de azúcar, impacto ambiental, efectividad económica y de control. *Centro Agrícola* 46(2):64-71.
- Sheahan C.M. 2013. Plant guide for bigpod sesbania (*Sesbania exaltata*). USDA-Natural Resources Conservation Service, Cape May Plant Materials Center 1-4. <https://plants.usda.gov/core/profile?symbol=SEHE8>. Consultado el 25/11/2019
- Sharma P., Y. Laor M. Raviv S. Medina I. Saadi A. Krasnovsky M. Vager J. Levy G., A. Bartal, and M. Borisover. 2017. Green manure as part of organic management cycle: Effects on changes in organic matter characteristics across the soil profile. *Geoderma* 307:197-207.
- Shukla S.K., K. Singh K., D. Pathak A., P. Jaiswal V. y S. Solomon. 2017. Crop Diversification Options Involving Pulses and Sugarcane for Improving Crop Productivity, Nutritional Security and Sustainability in India. *Sugar Tech* 19(1):1-10
- STATISTICA. 2003. Software popular creado por StatSoft.
- Salgado-García S., J. Izquierdo-Hernández, L.C. Lagunes Espinoza, D.J. Palma-López, S. Córdova Sánchez, H. Ortiz-Laurel, y M. Castelán-Estrada. 2017. Consumo de nitrógeno por cultivos de caña de azúcar en Tabasco, México. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias* 49(1):45-59.
- Salgado G.S., L.C. Lagunes, R. Nuñez E., C.F. Ortiz G., L. Bucio A., y E.M. Aranda I. 2013. Caña de azúcar: producción sustentable; fisiología de la caña de azúcar. Colegio de Postgraduados, México-Texcoco. 1-524.

- Salgado-García S., D.J. Palma-López, J. Zavala-Cruz, L.C. Lagunes-Espinoza, M. Castelán-Estrada, C.F. Ortiz-García, J.F. Juárez-López, O. Ruiz-Rosado, L. Armida-Alcudia, J.A. Rincón-Ramírez, y S. Córdova-Sánchez. 2011. Un programa de fertilización sustentable para el Ingenio "Presidente Benito Juárez" en Tabasco, México. *Avances en Investigación Agropecuaria* 15(3):45-65.
- Sentíes-Herrera H.E., C.F. Gómez-Merino, y R. Loyo. 2016. El Mejoramiento genético de la Caña de Azúcar (*Saccharum* spp.) en México: Una historia de éxito con nuevos desafíos. *Agroproductividad* 9(7):8-13.
- SIAP (Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera). 2018. Cierre de la producción agrícola por cultivo. Anuario estadístico de la producción agrícola. Obtenido de <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> Consultado 23/09/2019.
- Singh I., R.R. Verma y T.K. Srivastava. 2018. Growth, Yield, Irrigation Water Use Efficiency, Juice Quality and Economics of Sugarcane in Pusa Hydrogel Application Under Different Irrigation Scheduling. *Sugar Tech* 20(1):29–35.
- Sundara B. 2011. Agrotechnologies to Enhance Sugarcane Productivity in India. *Sugar Tech* 13(4):281-298.
- Sundas S., S. Shokat, N. Fiaz, and A. Hameed. 2017. Impact of yield and quality-related traits of son sugar recovery. *Journal of Crop Science and Biotechnology* 20(1): 1–7.
- Suma R. and M. Savitha C. 2015. Integrated sugarcane trash management: A Novel Technology for sustaining soil health and sugarcane yield. *Avances en Ciencias de Cultivos y Tecnología* 3(1):1-4.
- Trivelin P. C.O., C.J. Franco H., R. Otto, A. Ferreira D., C. Vitti A., C. Fortes, E. Faroni C., C.A. Oliveira E. and H. Cantarella. 2013. Impact of sugarcane trash on fertilizer requirements for São Paulo, Brazil. *Sciencia Agrícola* 70(5):345–352.
- Vargas T.O., R. Diniz E., L.V. Pacheco A., H.S. Santos R., and S. Urquiaga. 2017. Green manure-15N absorbed by broccoli and zucchini in sequential cropping. *Scientia Horticulturae* 214: 209–213.

- Valdez B.A., A. Guerrero P., E. García L. E., y J.J. Obrador O. 2009. Manual para el cultivo y producción de caña de azúcar. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. H. Cárdenas Tabasco. Mexico. 52.
- Virto I., M. Imaz, O. Fernández-Ugalde, N. Gartzia-Bengoetxea, A. Enrique, and P. Bescansa. 2014. Soil Degradation and Soil Quality in Western Europe: Current Situation and Future Perspectives. *Sustainability* 7(1):313–365.
- Wang J., D. Wang, G. Zhang, Y. Wang, C. Wang, Y. Teng, and P. Christie. 2014. Nitrogen and phosphorus leaching losses from intensively managed paddy fields with straw retention. *Agricultural Water Management* 141:66–73.
- Wang G. and K. Nolte. 2010. Summer cover crop use in Arizona vegetable production systems. The University of Arizona. College of Agriculture and Life Sciences Tucson, Arizona. <https://extension.arizona.edu/sites/extension.arizona.edu/files/pubs/az1519.pdf>
Consultado el 20/08/19.

CAPÍTULO I. RENDIMIENTO Y CALIDAD INDUSTRIAL DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR CON FERTILIZACIÓN MINERAL Y ABONO VERDE EN FASE SEMILLA.

Resumen

El objetivo de este trabajo es valorar el efecto de la fertilización mineral y el abono verde sobre una plantación de caña de azúcar variedad COLPOSCTMEX 06-039, fase semilla. Las leguminosas fijan biológicamente nitrógeno para restaurar la fertilidad y aumentar el contenido de materia orgánica (MO) en suelos cañeros debido que al pasar los años estos han disminuido sus nutrientes principales N, P y K resultado de la quema excesiva de los residuos antes y después de la cosecha de la caña de azúcar. Se uso un diseño de bloques completos al azar con tres tratamientos y cuatro repeticiones y análisis de la varianza con el programa Statistica 2003, con pruebas de comparación múltiple de medias de Tukey, con un nivel de significancia de 0.05. El T1 consiste en utilizar el abono verde (AV) *Sesbania herbacea* (Mill) McVaugh, el T2 la dosis NPK (160-60-80) y el T3 AV con la dosis de PK (00-60-80). Se evaluó el aporte nutrimental del AV, la fertilidad del suelo a través de muestras compuestas de suelo al inicio, después de la incorporación del AV y al final del experimento para realizar análisis químicos así como el rendimiento de la caña y la calidad industrial. Los peso fresco y seco de biomasa de *S. herbacea* para los dos tratamientos no mostraron diferencia estadística significativa, el comportamiento de la fertilidad después de la incorporación del abono y en la fertilidad mineral se observa un incremento en MO, N, P y K, para el rendimientos de tallos fue mayor con la aplicación de NPK y los valores de calidad industrial se encuentran en los rasgos óptimos.

Palabras claves: leguminosas, fertilidad, materia orgánica, degradación física y química.

Abstract

The objective of this work is to assess the effect of mineral fertilization and green manure on a sugarcane plantation variety COLPOSCTMEX 06-039, seed phase. Legumes biologically fix nitrogen to restore fertility and increase the content of organic matter (MO) in cane soils because over the years their main nutrients N, P and K decreased resulting from excessive burning of waste before and after of the sugarcane crop. A randomized complete block design was considered with three treatments and four repetitions and analysis of variance with the Statistica 2003 program, with Tukey's multiple means comparison tests, with a significance level of 0.05. In T1 green manure (AV) *Sesbania herbacea* (Mill.) McVaugh was used, in T2 the NPK dose (160-60-80) and in T3 AV with dose (00-60-80). nutritional input of the AV was evaluated, the soil fertility through chemical analyzes of samples composed of soil at the beginning, after the incorporation of the AV and at the end of the experiment, as well as the yield of the cane and the industrial quality. The fresh and dry weight of biomass of *S. herbacea* for the two treatments did not show significant statistical difference, the fertility behavior after the incorporation of the fertilizer and in the mineral fertility there is an increase in MO, N, P and K, for the yields of stems it was higher with the application of NPK and the industrial quality values are in the optimal features.

Keywords: legumes, fertility, organic matter, physical and chemical degradation.

1.1 INTRODUCCIÓN

Los principales fertilizantes usados a nivel mundial son Nitrógeno (N), Fósforo (P_2O_5) y Potasio (K_2O), los cuales en el año 2015 alcanzaron un uso de 186.6 millones de toneladas y se prevé un aumento de 1.6 % anual y para 2019 se cree que pueden alcanzar 199 millones de toneladas (FAO, 2016a). El uso de fertilizantes nitrogenados se ha vuelto excesivo, tan solo el uso agrícola fue equivalente a 1,455,988,930 kg en el año 2017 (FAOSTAT, 2019), provocando contaminación del suelo y pérdida de nutrientes, que conduce a la degradación de la tierra y la disminución de los rendimientos (FAO, 2015).

En México, la actividad agropecuaria ocupa 57% del suelo, y solo en 15.9% se realizan actividades agrícolas; sin embargo, ambas actividades tienen efectos en la degradación de dicho recurso (SAGARPA, 2013a). Los suelos agrícolas con cultivos intensivos ocasionan una disminución en el contenido de MO (Párraga-Aguado *et al.*, 2017), pérdida de biodiversidad y problemas de calidad del agua (Merten y Minella, 2013). Se denomina degradación del suelo a la pérdida de producción del cultivo debido a la disminución de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Almeida-Santos *et al.*, 2019), debilitando la estabilidad y sustentabilidad de la producción de alimentos y generando hambre y pobreza (SAGARPA, 2013b).

La fertilidad del suelo, las actividades microbianas y el crecimiento de las pueden verse limitadas por la falta de carbono orgánico, nitrógeno y fósforo en el suelo, llevando a la baja productividad (Xie *et al.*, 2018). Uno de los cultivos agrícolas más importantes a nivel global es la caña de azúcar, que proporciona una materia prima esencial (Tukaew *et al.*, 2016). El cultivo se encuentra en 130 países, principalmente en zonas tropicales y subtropicales, cubre un área de 27 millones de hectáreas, lo que nos da un 1.9% de superficie cultivada a nivel mundial. México es el sexto productor de caña y el séptimo de azúcar a nivel global, genera dos millones de empleos y se desarrolla en 15 entidades federativas y 258 municipios (Gómez-Merino *et al.*, 2017).

Durante las zafras 2013-14 y 2014-15 la caña de azúcar mostró un crecimiento de 1.4%, en el ciclo 2014/15 se alcanzaron 812.756 ha, valor histórico más alto (Sentíes-Herrera *et al.*, 2017). Se han detectado ciertas variables que influyen en el rendimiento y mala calidad de jugo de la caña de azúcar, como el clima, la variedad, densidad de siembra, el riego, plagas, tipo de suelo y la asociación de arvenses con el cultivo: así como factores que permiten conocer que tan rentable puede ser el cultivo durante la cosecha, el traslado hacia los ingenios azucareros, la cosecha

prematura, robo de caña, quemas accidentales, quema de residuos y altos costos (Figuerola *et al.*, 2015).

La quema y requema de los residuos de la caña de azúcar se realiza para disminuir la cantidad de paja, facilitar la zafra y el transporte del producto al ingenio azucarero, además de permitir que la cosecha se realice de forma segura (CEC, 2014), aunque se alteran las funciones principales de las propiedades del suelo, la densidad, la porosidad, disminuye la MO y aumenta la compactación, lo que conlleva a la degradación (Cabrera y Zuaznábar, 2010; De Araújo *et al.*, 2018). Se estima que la reserva de MOS puede acumular hasta $1 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ a través de los residuos de los cultivos, siempre y cuando haya una mineralización efectiva (Shukla *et al.*, 2017). El aumento de la productividad y la calidad industrial de la caña de azúcar están determinados por el suministro equilibrado de nutrientes del suelo, la cantidad requerida por el cultivo y la fertilización racional, los fertilizantes en exceso pueden influir negativamente en la calidad del jugo, la concentración de sacarosa y el contenido de fibra (Nobre *et al.*, 2019).

La eficiencia de los nutrientes principales N, P y K es de gran importancia, el P tiene la capacidad de mantener el crecimiento y el rendimiento de la caña al permitir el aumento de la producción de macollos y de tallos molederos, aunque la eficiencia de la fertilización con P es normalmente muy baja debido a la dinámica compleja del P en el suelo (Bachiega, 2015). El K es necesario para la regulación del agua y el transporte de nutrientes en la planta, su eficiencia depende grandemente del tipo de arcilla porque la difusión intra-partícula se da con arcillas expandibles (White *et al.*, 2018), el mayor porcentaje N absorbido por la caña de azúcar es a través de fuentes minerales, extrayendo alrededor de $100 \text{ kg de N ha}^{-1} \text{ año}$ para tener rendimientos de 80 t ha^{-1} , la eficiencia de los fertilizantes nitrogenados suele ser de alrededor del 50%; sin embargo, este valor puede variar dependiendo del método de aplicación (Lemos *et al.*, 2019). Mejorar la eficiencia del uso de fertilizantes con N es vital para lograr y mantener altos rendimientos de los cultivos y reducir las pérdidas de N que pueden deteriorar la calidad del ambiente (Thind *et al.*, 2010), es así que para disminuir costos en la producción de caña de azúcar se ha implementado la tecnología del uso de bacterias que tienen la capacidad de fijar nitrógeno, obteniendo, con bajo contenido de N, rendimientos de 180 t ha^{-1} de caña de azúcar (Xing *et al.*, 2016). Esta importante actividad agrícola la llevan a cabo las leguminosas, lo que permite suministrar y almacenar N, a través de la producción de nódulos con la bacteria *Rhizobium*, que infecta los pelos radicales de

las raíces de las leguminosas para crear nódulos que pueden fijar entre 30 y 40 kg N atmosférico por ha⁻¹, permitiendo el crecimiento vegetal, las leguminosas pueden ser aplicadas como AV, en rotación de cultivos o cultivos de cobertera, permitiendo enriquecer los suelos (FAO, 2016b).

1.2 MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en el Campo Experimental del Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, que se ubica geográficamente en las coordenadas 18° 01'N y 93° 03'W, a 21 kilómetros de la ciudad de Cárdenas por la carretera federal 180 a Coatzacoalcos. De acuerdo al sistema de Köppen, el clima se clasifica como Am(g)''w'', tropical húmedo con lluvias abundantes en el verano y sequía prolongada en los meses de marzo-abril, se presentan nortes a finales del año (García, 1988).

Diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres tratamientos y cuatro repeticiones (Cuadro 2). En el Tratamiento 1 se aplicó el AV *Sesbania herbácea*, en el T2 la dosis de fertilización 160-60-80 NPK y T3 el AV más la dosis 00-60-80. Se realizó el análisis de varianza con el programa Statistica (2003) y pruebas de comparación múltiple de medias de Tukey, con un nivel de significancia de 0.05.

Cuadro 2. Diseño experimental en bloques completos al azar con aplicación de *S. herbacea* y fertilizantes comerciales.



REPETICIONES	R4	T3-AV-PK C1	T2-NPK B1	T1-AV A1
	R3	T2-NPK B1	T3-AV-PK C1	T1-AV A1
	R2	T3-AV-PK C1	T1-AV A1	T2-NPK B1
	R1	T1-AV A1	T2-NPK B1	T3-AV-PK C1
BLOQUES				

Preparación del terreno

El experimento se llevó cabo en un suelo cañero que se volteó debido a una baja en su productividad, para resembrar nuevamente caña de azúcar. El suelo se mecanizó realizando un barbecho y dos pasos de rastra cruzados a 40 cm de profundidad (CONADESUCA, 2016).

Para el diagnóstico de suelo se tomaron muestras compuesta de 15 submuestras tomadas aleatoriamente en zig-zag, abarcando todo el terreno, con barrena tipo holandesa a una profundidad de 0-30 cm, una muestra de suelo (NRCCA, 2008), al inicio del experimento, a los 30 días de haber incorporado el AV y antes de la cosecha de caña de azúcar en cada una de las parcelas. Las muestras se prepararon para realizar los siguientes análisis químicos: pH en agua relación 1:2, materia orgánica (MO), textura, capacidad de intercambio catiónico (CIC), nitrógeno total (Nt), fósforo Olsen (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg). Las metodologías utilizadas son las sugeridas por la Norma Oficial Mexicana (NOM-021-RECNAT-2000).

Se consideró el análisis de COS en cada muestreo de suelo para evaluar la relación existente entre éste y la MO, que consiste en usar 2.5 g de suelo tamizado, utilizando la solución de bicarbonato de sodio 0.5 molar pH 8.5, se agrega al tubo de polipropileno asegurando que no hubiera escurrimiento, se colocó en la centrifuga durante 30 minutos a 180 RPM. Después de la agitación

se pasa por el papel filtro (papel Whatmman No. 42), para recibir el contenido del tubo en un matraz Erlenmeyer, se toma una alícuota de 5 ml con pipeta volumétrica (clase as) y se afora con agua destilada en un matraz volumétrico de vidrio (clase A) de 25 ml, se leyeron las muestras en absorbancia (espectrofotometría) a 260 Nm con el espectrofotómetro (Thermo scientific Gnesys 105 UV-VIS) (Galvis, 1998).

Seguimiento del abono verde

La leguminosa *S. herbacea* se asoció con el cultivo de caña de azúcar cultivándose entre hileras, a los 35 días de emergida la planta (en la floración) se estimó, en los tratamiento 1 y 3, el rendimiento total y el de sus componentes (tallo y hojas) en peso seco, tomando muestras de 1 m² de la parte central de cada bloque (Baker y Thomson, 1992). Las muestras vegetales se pesaron en fresco y luego fueron sometidas a una limpieza previa con agua destilada durante unos segundos, para eliminar residuos de tierra (Kalra, 1998).

Después del lavado, las muestras se dejaron sobre papel para eliminar el exceso de agua, se colocaron en bolsas de papel con su respectiva identificación para secarse en un horno con aire de circulación forzada a 75°C, hasta peso constante y se pesaron para determinar el peso seco, para después molerlas en un molino Wiley y llevar las muestras al laboratorio (CAPASO) para realizarles los análisis vegetales de N, P, K, Ca y Mg (Kalra, 1998) y con ello estimar el aporte de nitrógeno y los demás elementos.

Seguimiento de la caña de azúcar

La siembra de caña de azúcar se realizó de forma convencional, se surcó el terreno con una distancia entre surcos de 1.3 m (Salgado *et al.*, 2017), el surcado se realizó perpendicular a la ubicación de los bloques. La siembra se realizó con tallos acomodados en el centro del surco a cordón doble de 40 cm, cada parcela consistió de ocho surcos de diez metros de largo, a fin de evitar el “efecto de orilla” para evaluar el rendimiento de caña se tomaron en cuenta los cuatro surcos centrales, dejando un metro en cada extremo para que el área útil quedara al centro de cada unidad experimental, es decir, cuatro surcos de ocho metros de largo. La variedad cultivada fue COLPOSCTMEX 06-039 porque tiene características productivas sobresalientes y se siembra en la actualidad en alrededor de 4000 ha del área de abastecimiento del Ingenio Presidente Benito Juárez.

La fertilización de T2 y T3 se realizó de forma manual, se aplicaron las dosis de fertilizante NPK 160-60-80 y 00-60-80 a los dos meses de edad del cultivo, usando los fertilizantes comerciales: Urea como fuente de N, Superfosfato triple (SPT) y Cloruro de potasio (KCl).

A los ocho meses de edad de la caña se evaluó su rendimiento en cada tratamiento, se contó el número de macollos y tallos útiles. De manera manual, con machete, se cortaron nueve macollos (por tratamiento), los tallos fueron pesados en una balanza portátil TOR-REY EQM-400/800. Para facilitar el trabajo se pesaron mazos de caña cargados por los jornaleros a los que se descontó posteriormente su peso, realizándose la operación tantas veces como mazos de caña había en la unidad experimental. Para cada tratamiento se registró el peso de la caña cosechada, que sirvió para estimar el rendimiento en toneladas de caña por hectárea (Valdez-Balero *et al.*, 2009).

El día de la cosecha del experimento se estimaron las variables: Porcentaje de sacarosa (%), grados brix, contenido de fibra (%) y contenido de azúcares reductores (%) utilizando la metodología utilizada por el Ingenio Presidente Benito Juárez (IPBJ) para evaluar la calidad de jugo.

1.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento de la biomasa aérea del abono verde *S. herbacea*

El promedio de biomasa fresca aérea del AV en T1 fue de 2579.50 kg ha⁻¹, para el T3, AV-PK es de 2132.5 kg ha⁻¹, en la Figura 2 se observa que no hubo diferencia estadística significativa entre tratamientos. Los rendimientos encontrados en el presente estudio fueron menores a los reportados por la NRCS (2014) donde el rendimiento de biomasa fresca fue de 5604-6725 kg ha⁻¹ y también menores a los reportados por Naranjo-Landero *et al.* (2017) para AV, 22 731 kg ha⁻¹ y para la dosis PK, 26 166.0 kg ha⁻¹, lo cual muestra a ésta como una planta prometedora como abono verde, dado que presenta altos rendimientos sin la utilización de fertilizantes minerales.

En la Figuras 3 y 4 se muestran el promedio de altura (m) y diámetro de tallo (mm) del AV, 1.85 m y 10.59 mm, y del AV-PK, 1.66 m y 11.11 mm, no muestras hubo diferencias estadísticas significativas. NRCS (2014) reportó una altura de 1.27-1.32 m, a una tasa de siembra de 28 a 33 kg ha⁻¹ y profundidad de siembra de 1.27-1.90; y Krishnan *et al.* (2019) bajo condiciones de inundación reportan que la altura de la planta puede alcanzar 3.61 m y diámetro basal del tallo de

18.92 mm esto es posible debido a que Novelo (2006) la considera como una especie que se desarrolla bajo condiciones de humedad.

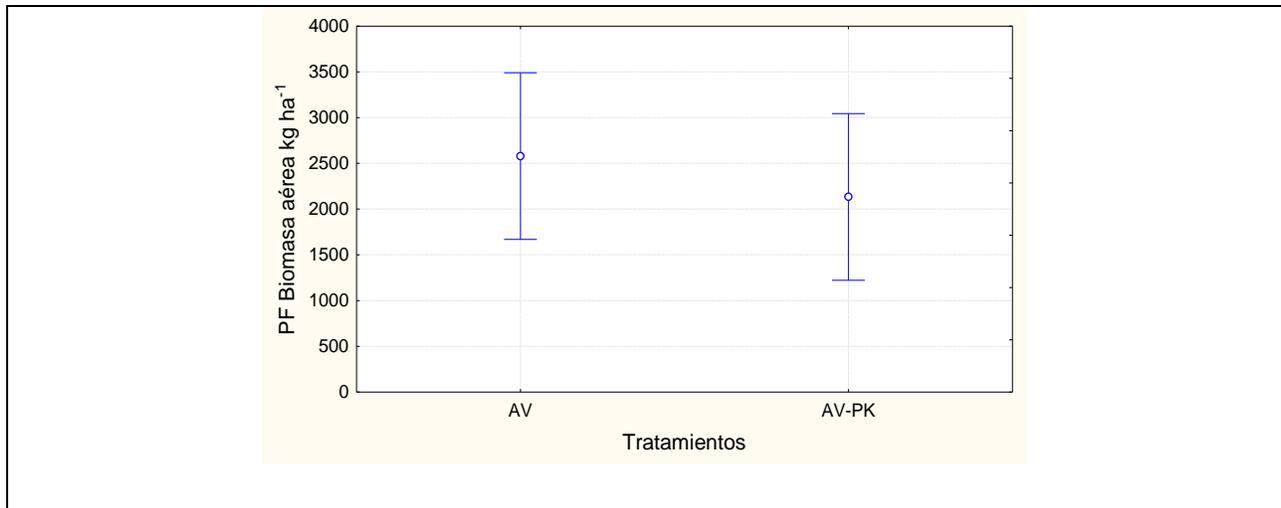


Figura 2. Rendimiento del peso fresco de biomasa (PFB) de *S. herbacea* AV y AV-PK, las barras verticales indican el intervalo de confianza (95%).

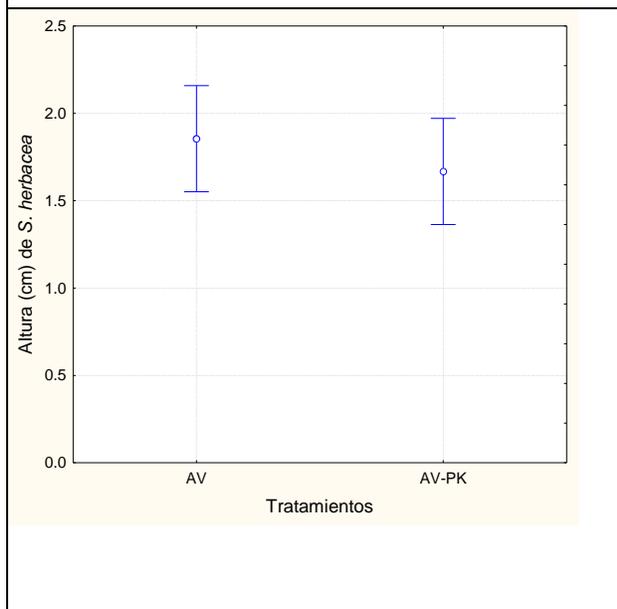


Figura 3. Altura promedio de *S. herbacea* en ambos tratamientos, las barras verticales indican los intervalos de confianza (95%).

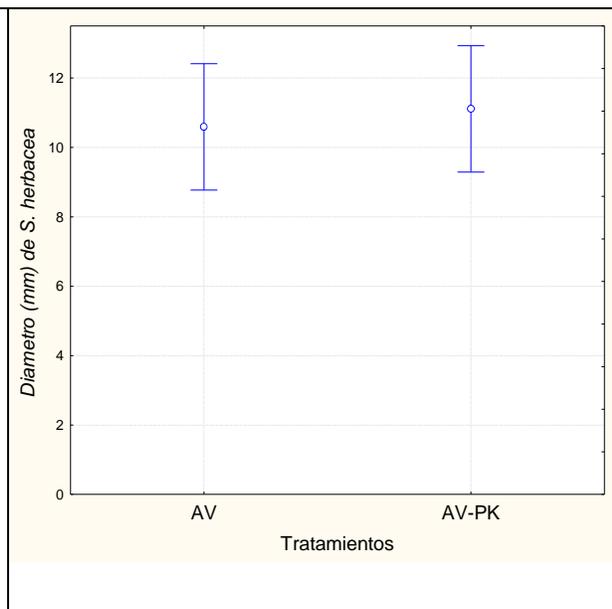


Figura 4. Diámetro basal promedio de *S. herbacea* en ambos tratamientos, las barras verticales indican los intervalos de confianza (95%).

La producción de biomasa seca del AV (Figura 5), muestra que entre los tratamientos con AV y AV-PK no hubo diferencias estadísticas significativas. El promedio de la biomasa seca aérea fue de 761.98 kg ha⁻¹ en el AV y 751.10 kg ha⁻¹ para el AV-PK, Wang y Nolte, (2010) mencionan que *S. herbacea* produce 4942.00 kg ha⁻¹ a 7413.15 kg ha⁻¹ de biomasa seca durante 75 días. En condiciones de inundación la biomasa seca se encuentra en 7021 a 633 kg ha⁻¹ (Krishnan *et al.*, 2019). Se cree que las condiciones climatológicas no permitieron que *S. herbacea* tuviera una alta expresión de rendimiento, ya que en el mes de septiembre de 2018 en Tabasco las precipitaciones estuvieron por debajo del promedio, con solo 135.5 mm (CONAGUA, 2018); González *et al.*, (2014) reportan que la precipitación media anual mayor para Tabasco es de 2 000 mm y esta leguminosa necesita de gran cantidad de humedad durante las primeras semanas de crecimiento (Sheahan, 2013).

S. herbacea se ha utilizado como cultivo de cobertura por productores en cítricos y algodón en California, como rotación de cultivos de vegetales o cereales, durante el periodo de cinco años los rendimiento de la cebada (*Hordeum vulgare*) aumentó después de incorporar *S. herbacea* (Sheahan, 2013). En Sinaloa México, se encontró que existe un mayor rendimiento utilizándose como cultivo de cobertera en cítricos (Sheahan, 2013).

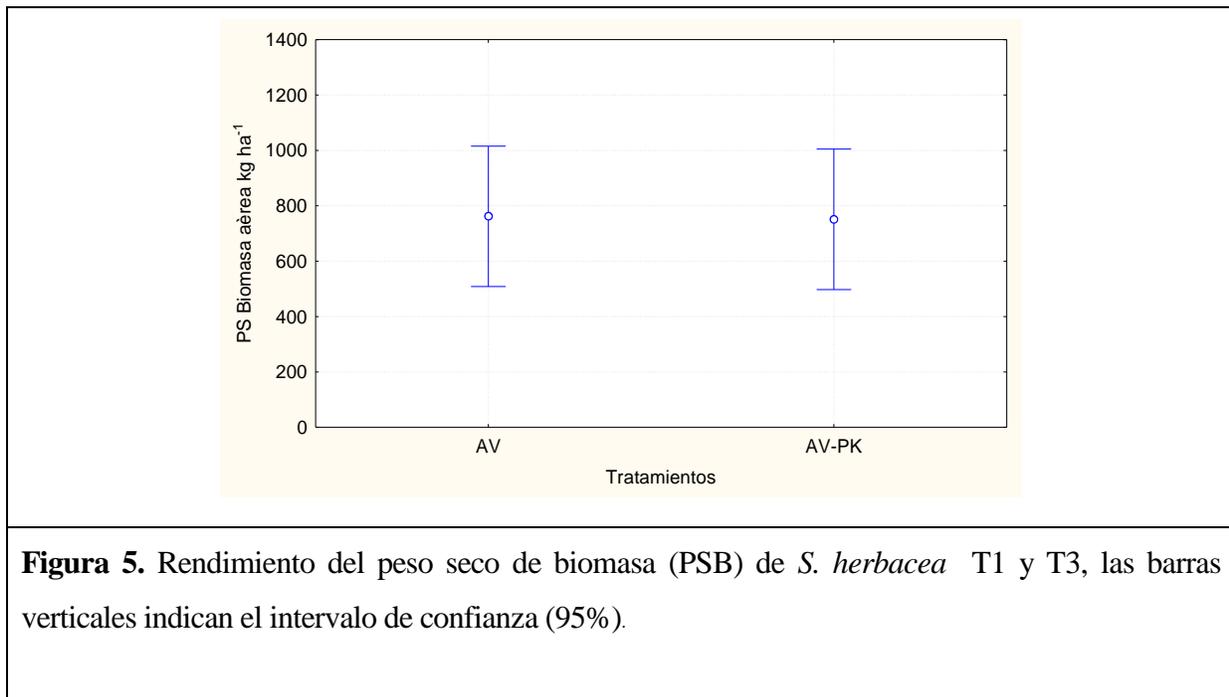


Figura 5. Rendimiento del peso seco de biomasa (PSB) de *S. herbacea* T1 y T3, las barras verticales indican el intervalo de confianza (95%).

Estado nutrimental del abono verde

La concentración de N en la biomasa aérea no mostró diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos AV y AV-PK (figura 6); la cantidad de biomasa producida en el presente estudio indica que *S. herbacea* fijó biológicamente cantidades poco importantes de N. La acumulación promedio del tratamiento AV fue 7.3 kg N ha⁻¹ y para AV PK fue de 6.917 kg N ha⁻¹. Datos bajos comparados con los de Sharma *et al.* (1994) donde utilizaron *S. aculeata* como abono verde en asociación con arroz y trigo, quienes reportaron que la biomasa aérea de esta leguminosa fijó 78.1 kg N ha⁻¹. En la india la utilización de los abonos verdes es una práctica que les permite obtener una producción de 418 kg de caña de azúcar con aporte de 150 kg N ha⁻¹ (Shukla *et al.*, 2017). En un estudio con la leguminosa *C. juncea* en un suelo cañero en la Chontalpa, Tabasco, se observó la acumulación promedio en dos cortes 151.61 y 176.37 kg N ha⁻¹, lo que permitió mejorar la fertilidad de los suelos cañeros de la región (Almeida-Santos *et al.*, 2019). Córdova-Gamas *et al.* (2016) reportaron una concentración foliar 2.19% y 2.40% N con las leguminosas *Canavalia ensiformis* L. y *Cajanus cajan* L., y menciona que las fabáceas aportan más nitrógeno que el requerido por el cultivo de caña de azúcar.

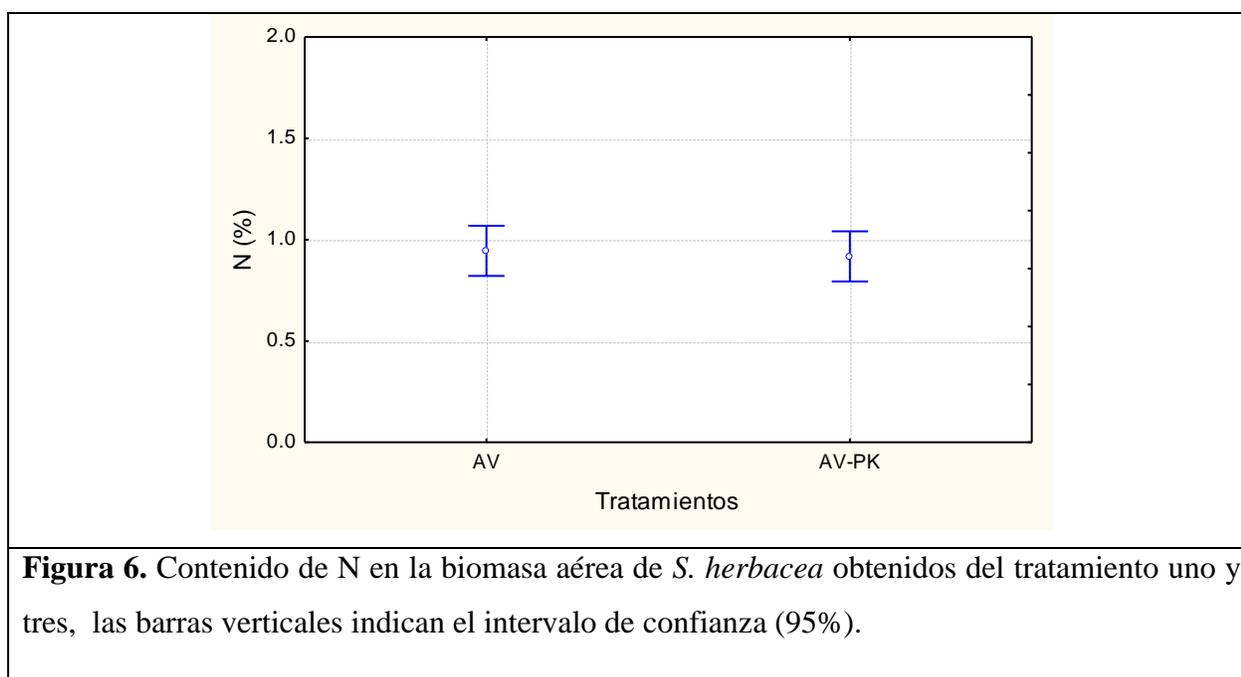


Figura 6. Contenido de N en la biomasa aérea de *S. herbacea* obtenidos del tratamiento uno y tres, las barras verticales indican el intervalo de confianza (95%).

El promedio de P y K no mostraron diferencia estadística significativa en ambos tratamientos (figuras 7 y 8), T1 con aplicación del *S. herbacea* es de 1.04 kg P ha⁻¹ y 1.57 kg K ha⁻¹; el tratamiento tres 1.09 kg P ha⁻¹ y 1.79 kg K ha⁻¹ promedio. García *et al.* (2001) dan a conocer que la leguminosa *S. rostrata* como AV sembrada en condiciones de lluvia en Cuba presentó un desarrollo vigoroso, acumulando grandes cantidades de biomasa seca y nutrientes que podrían sustituir las necesidades parciales de algunos cultivos; 141, 11, 101 kg ha⁻¹ N, P y K. Almeida-Santos *et al.* (2019) obtuvieron un promedio de P y K de 5.93, 20.86 y 8.8, 53 kg ha⁻¹ para el primer y segundo corte, cantidades que revelan que para el manejo de las leguminosas el periodo de floración es el momento donde se obtiene un mayor aporte de N, P y K para *C. juncea*. Rivero *et al.*, (2016) señalan que la cantidad de K en ocasiones suele ser alta pero menor que el N porque tiene gran movilidad dentro de la planta y no se encuentra formando parte de ningún compuesto específico pero interviene en muchos procesos fisiológicos de la planta.

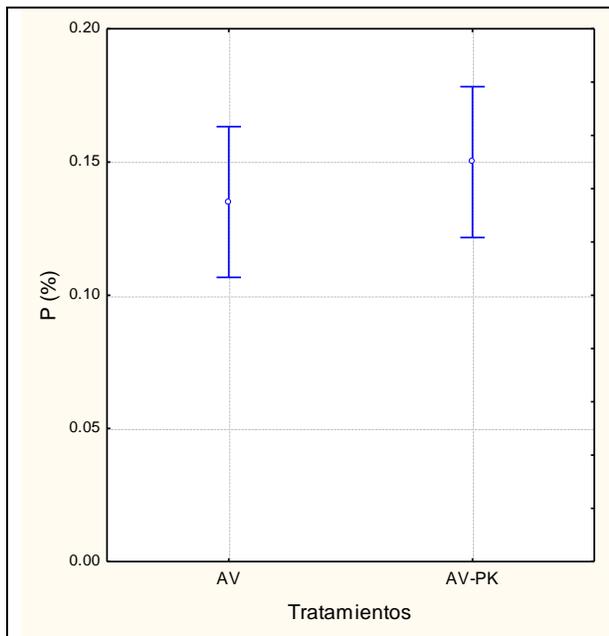


Figura 7. Contenido de P en la biomasa aérea de *S. herbacea* obtenidos del tratamiento uno y tres, las barras verticales indican el intervalo de confianza (95%).

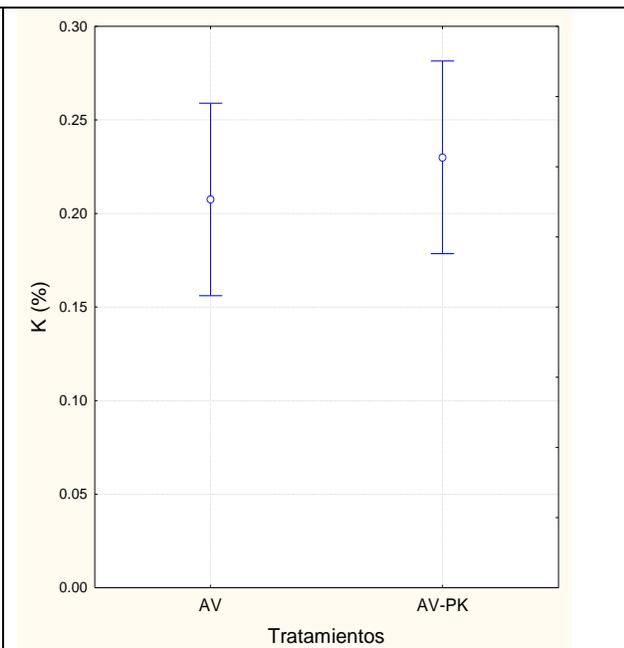


Figura 8. Contenido de K en la biomasa aérea de *S. herbacea* obtenidos del tratamiento uno y tres, las barras verticales indican el intervalo de confianza (95%).

Comportamiento de la fertilidad del suelo

Los resultados de los análisis químicos del suelo antes de la incorporación del AV y siembra de la caña se muestra en el Cuadro 3, el suelo en estudio (Cambisol) es un suelo usado comúnmente para el cultivo de caña (Palma *et al.*, 2019). Los resultados del diagnóstico de su fertilidad, con base en la NOM-021-RECNAT-2000 (2002), mostraron un pH moderadamente ácido, que no afecta el crecimiento y desarrollo del cultivo (ECOCROP, 2007). Con valores de pH entre 5 y 8, estos suelos franco-arcillosos, de origen aluvial, pueden generar altas producciones de cultivo (Izquierdo, 2015). El contenido de MO y N son bajos debido a las prácticas que se realizan en el periodo de crecimiento del cultivo que, junto con la quema y requema de residuos durante la cosecha a través de los años, ocasionan que los suelos cañeros de la región presenten valores de MO de bajos a medios (Guerrero-Peña *et al.*, 2017).

El contenido de P-Olsen que presentó el suelo es medio, esto debido a las constantes aplicaciones de fertilizante realizadas por el productor. El historial de fertilización en caña de azúcar en la Chontalpa determina que haya buena disponibilidad de fósforo, aunque las dosis deben ajustarse dependiendo de la potencialidad del cultivo en cada tipo de suelo (Salgado-García *et al.*, 2013a; Obrador *et al.*, 2019). Almeida-Santos *et al.* (2019) encontraron valores similares, lo que permite confirmar que para los rendimientos obtenidos, hay un buen manejo de la fertilización fosfórica. Para K se encontró que su contenido es muy bajo, esto concuerda con lo reportado por Salgado-García *et al.* (2013b) y Carrillo *et al.* (2008), quienes conciden en que se debe aumentar el contenido debido a la importancia en el rendimiento de los tallos. La CIC se clasifica como media y, respecto a las bases intercambiables, el Ca es alto y el Mg muy bajo, esto concuerda con la clasificación de Salgado-García *et al.* (2013b). Pascual-Córdova *et al.* (2017) reporta contenidos similares en suelos cultivados con cacao, caña de azúcar, maíz y pastos, debido probablemente a que la mineralización esté siendo condicionada por la humedad del sitio, por eso los contenidos bajos y medios.

Cuadro 3. Análisis de la fertilidad del suelo antes de la siembra (0 a 30 cm de profundidad).

pH (H ₂ O)	CE dS m ⁻¹	MO %	Nt	P mg kg ⁻¹	K mg kg ⁻¹	Ca	Mg	CIC	Cu	Zn	Mn	Ar	Li	Are	Clasif. Textural
5.35	0.02	1.5	0.12	6.67	0.12	12.1	0.30	20.7	1.9	1.11	7.92	40	55	5	Franco Limoso- Arcilloso

Valor
de
refer.

Ma EDS B M M Mb A Mb M A A A

Nt=nitrógeno total; P: fósforo-Olsen; Ar=arcilla; Li=limo; Are=arena; Ma;moderadamente ácido; EDS:efectos despreciables de salinidad; B:bajo; M:medio; Mb:muy bajo; A:Alto.

Fuente: NOM-021-RECNAT-2000.

En la (figura 9), se muestra el contenido de MO en dos fechas posteriores, después de la incorporación del AV y la fertilización mineral y el tercer muestreo el día de la cosecha con de los diferentes tratamientos. El análisis estadístico mostró diferencias significativas entre los tratamientos y las dos fechas de muestreo. Se presentaron valores promedio entre 1 y 2%, de acuerdo con Salgado-García *et al.* (2013b) es el comportamiento de un suelo pobre, lo que evidencia que se necesita evitar la quema de la caña de azúcar (Salgado *et al.*, 2013a). El AV en el segundo muestreo tiene promedio de 1.56 % y en el tercero 1.67 %; esto concuerda con lo mencionado por Lopes *et al.* (2014), que las leguminosas como AV incrementan los contenidos de MO, misma que beneficia la capacidad amortiguadora de los suelos (Ortiz y Ortiz, 1980). Algunos estudios muestran que la incorporación de leguminosas como AV aumenta el contenido de MO de 0.54 a 0.75% a largo plazo, García-Hernández *et al.* (2010) y Meena *et al.* (2018) mencionan que mejora las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo, principalmente para restaurar la fertilidad, mejorar el crecimiento de los cultivos posteriores y mantener la productividad de los cultivos (Adekiya *et al.*, 2019). El mayor aumento se localizó en el tratamiento AV-PK con 1.83% en el tercer muestreo, McFarlane *et al.* (2009) reportan que este incremento ocurre en los sistemas de cultivos perennes, debido a que se incorporan los residuos orgánicos (hojas, ramas y malezas) al suelo.

La relación COS/MO no se encontró correlación en ninguno de los tratamientos en las dos fechas de muestreo. El contenido de COS en el primer muestreo revela una absorbancia de 0.133 A, para los dos siguientes no se observó diferencia estadística significativa entre los tratamientos pero si

en los dos muestreos (figura 10), la absorbancia fue más alta en el segundo para todos los tratamientos, con mayor promedio en AV-PK (0.128 A). Para el tercer muestro en todos los tratamientos no muestran diferencias con promedios de 0.032-0.034 A. Se considera que la MO permitió la descomposición de los residuos vegetales (hojarasca y AV), debido a factores como la temperatura del suelo y el contenido de agua (condiciones climáticas), que favorecieron a la actividad microbiana. La FAO (2017) menciona que la transformación de MO es el resultado una mezcla biogeoquímica compleja de residuos vegetales y productos de la descomposición microbiana en varias etapas, asociadas a los minerales y agregados del suelo permitiendo la persistencia del COS durante siglos.

Meena *et al.* (2018) mencionan que la incorporación de abonos verdes y el uso fertilizantes minerales mejora el COS, la disponibilidad de nutrientes en el suelo para los cultivos y, a su vez, el rendimiento, en especial, las raíces de las especies *S. bispinosa* y *C. juncea* mantiene el COS y evitan la erosión del suelo. En suelos cañeros la MO y COS se asocian con las prácticas de manejo agrícola (quema de residuos, barbecho y subsoleo), el cambio de uso del suelo y el tiempo de permanencia del cultivo están altamente asociados a la pérdida de rendimiento del cultivo, junto con una deficiencia de N, que puede llegar a disminuir hasta el 40% (Armida-Alcudia *et al.*, 2005).

El porcentaje de N no mostró diferencia estadísticamente significativa para los tratamientos (Figura 11), sin embargo, en el segundo muestreo se obtuvieron los contenidos de N más altos para todos los tratamientos. El T3 (AV-PK) presentó el mayor aumento de N para el segundo muestreo, pero a su vez fue el que más disminuyó en el tercer muestreo. El T1 presentó el menor aumento de N para el segundo muestreo pero con una menor disminución en el tercer muestreo, es decir con el AV el contenido de N se mantuvo. Diacono y Montemurro (2010) mencionan que el uso de AV disminuye la capacidad de lixiviación de los nutrimentos, además de incrementar el contenido de N en el suelo debido a su capacidad de fijar nitrógeno atmosférico. Los valores de N estadísticamente son iguales, por lo que se considera que el uso de *S. herbacea* tiene el potencial para mantener el contenido de N en el suelo, algunas leguminosas como *C. juncea*, *S. aculeata* y *Melilotus alba* permiten proporcionar a la caña un aumento del 27 a 43% en el rendimiento y contribuyen de 41 a 71 kg de N ha⁻¹ a través de la fijación biológica de nitrógeno (Shukla *et al.*, 2017). García-Hernández *et al.* (2010) mencionan que la leguminosa *S. aculeata* como AV

mejora la producción del cultivo de caña de azúcar en un 9.3 % en la primer cosecha y 6 % para el segundo corte.

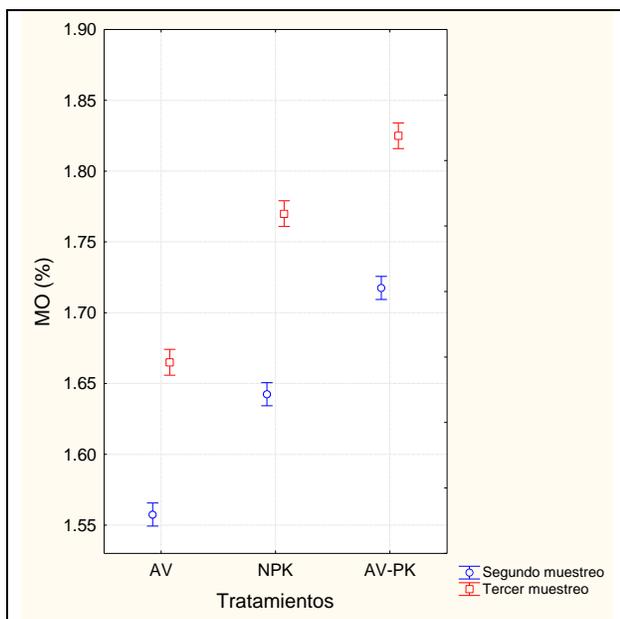


Figura 9. Contenido de MO en los tres tratamientos para el segundo y tercer muestreo, las barras verticales indican el intervalo de confianza (95%) en un suelo Cambisol de la Chontalpa.

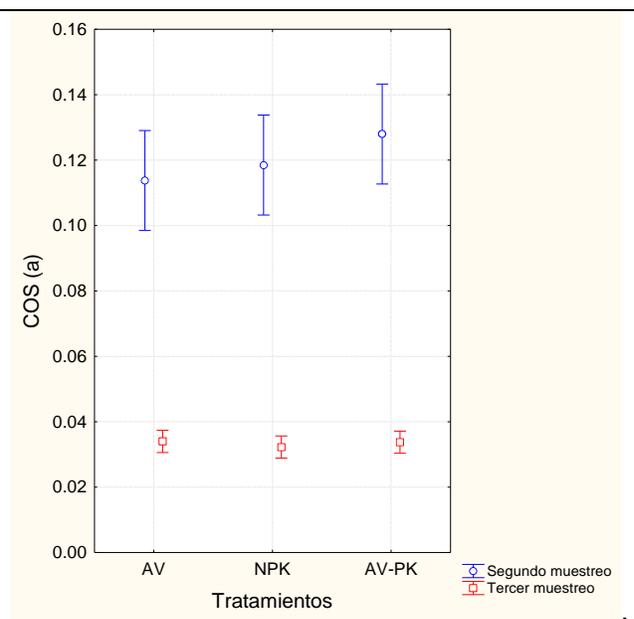


Figura 10. Contenido de COS del suelo en dos fechas para los tres tratamientos, las barras verticales indican el intervalo de confianza (95%) en un suelo Cambisol de la Chontalpa.

La relación C/N no mostró diferencia estadísticamente significativa (Figura 12), los promedios se encuentran entre 7.24-7.27% para el segundo muestreo y 7.23-7.29 % en el tercero, los cuales son calificados de clase muy baja por Salgado-García *et al.* (2013b), esto quiere decir que habrá mineralización y disponibilidad de N orgánico. Rivero *et al.* (2016) indican que la utilización de residuos con mayor relación C/N permite una descomposición más lenta, con incrementos en la disponibilidad de MO en el suelo y en la liberación del nitrógeno para los cultivos sucesivos en la producción agroecológica. La aplicación del AV permite la reducción de la erosión del suelo debido a que las leguminosas tienen mayor contenido de N y más alta relación C/N en la que ayudan en la descomposición rápida de MO, mejorando las propiedades físicas del suelo y las sustancias orgánicas, además de aumentar el desarrollo de raíces, el contenido de agua en el suelo y la eficiencia de los nutrientes (Meena *et al.*, 2018). Puede ser incorporadas en etapas de pre-

floración o floración y la relación C/N se considera media a baja (10 a 20), convirtiéndolas en biomasa rápidamente ciclada por los organismos del suelo (Prager *et al.*, 2012).

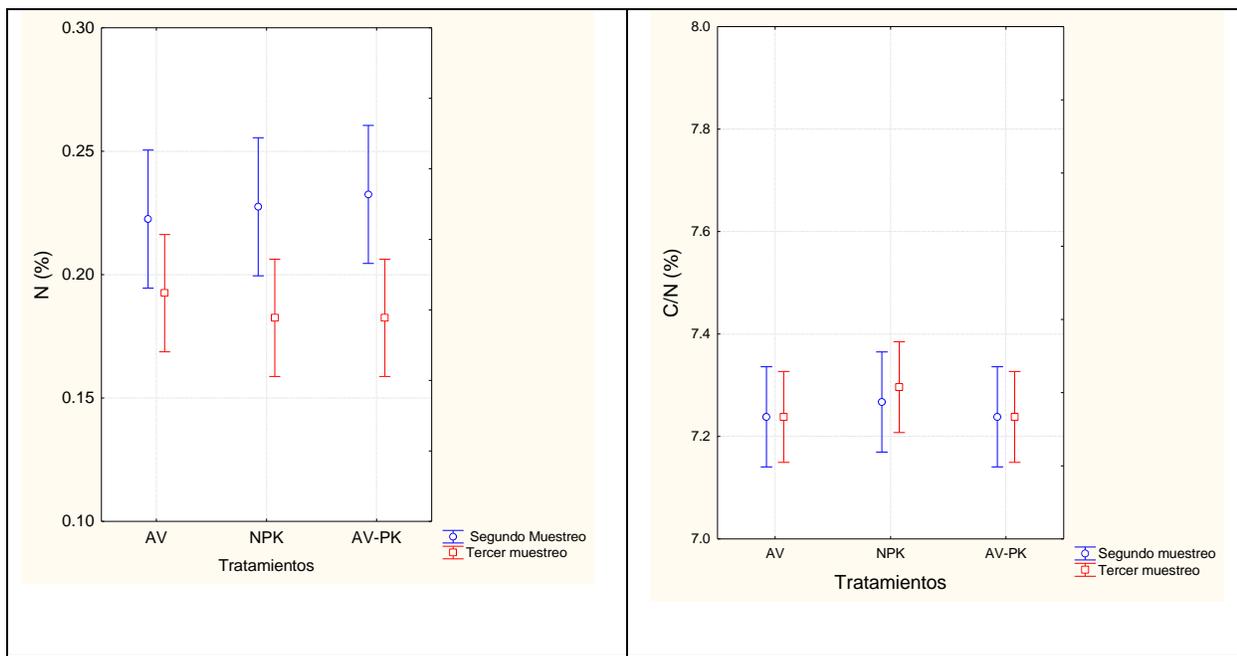


Figura 11. Contenido de N del suelo en dos fechas para los tres tratamientos, las barras verticales indican el intervalo de confianza (95%) en un suelo Cambisol de la Chontalpa.

Figura 12. Relación C/N del suelo en dos fechas para los tres tratamientos, las barras verticales indican el intervalo de confianza (95%) en un suelo Cambisol de la Chontalpa.

El promedio de fósforo (figura 13) para el segundo y tercer muestreo no revela diferencias estadísticas significativas, el cual se clasifica como un suelo medio con intervalos de 5.5.-11 ppm de acuerdo a la norma. Sin embargo el T1 (AV) en el segundo y tercer muestreo obtuvieron promedios de 8.14 y 5.55 ppm es decir que existen diferencias significativas entre ellos. ECHO (2017) mencionan que las leguminosas además de ser ricas en nitrógeno, en su biomasa pueden acumular nutrientes como fósforo y potasio para evitar la erosión y aumentar la fertilidad. García *et al.*, (2000) mencionan que el aumento de los contenidos de nutrientes asimilables en el suelo, P y K es por los aportes del abono verde en el reciclaje y movilización de nutrientes, convirtiéndolos en formas asimilables para las plantas; fundamentales en el proceso de solubilización de minerales del suelo. Aunque el bajo contenido en el tercer muestreo se debe a que el cultivo experimentó una consecutiva extracción de P durante su crecimiento y maduración (Rengel *et al.*, 2011). Es un elemento que se encuentra de manera natural en concentraciones bajas o medias y

depende de la mineralización de la MO por la baja actividad microbiana (Guerrero-Peña *et al.*, 2017).

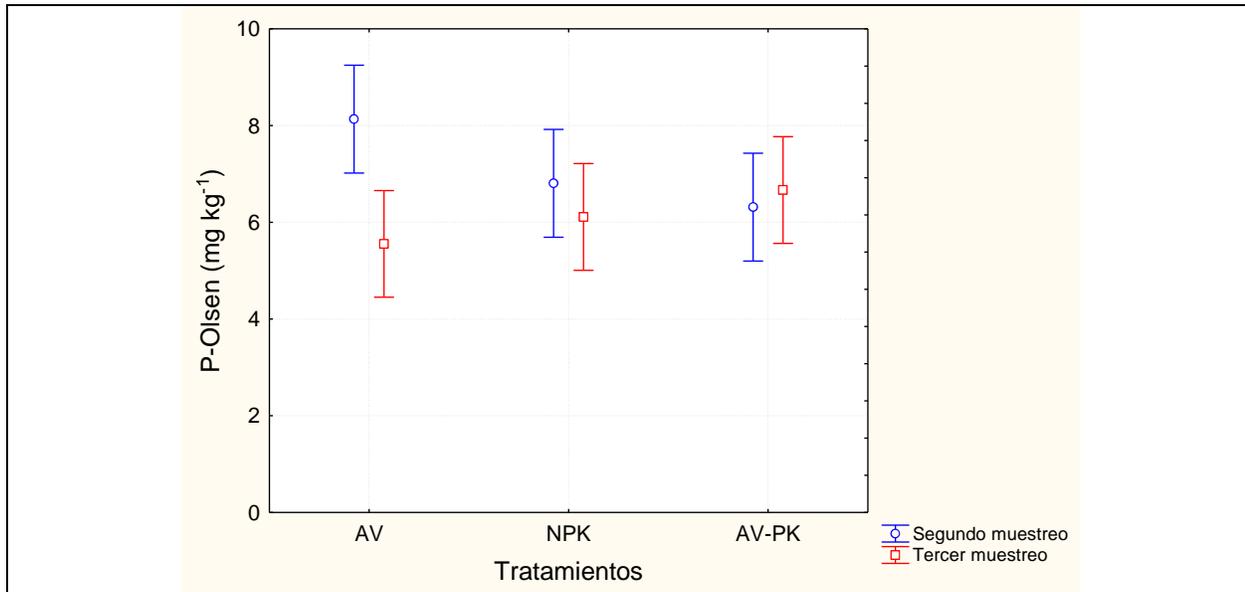


Figura 13. Contenido de P del suelo en dos muestreos y para los tres tratamientos, las barras verticales indican el intervalo de confianza (95%) en un suelo Cambisol de la Chontalpa.

El contenido de bases intercambiables K, (figura 14) no muestran diferencia estadística significativa entre los tratamientos, ni en las dos fechas de muestreo. Aunque los promedios para K de cada tratamiento fueron ligeramente mayores en el segundo muestreo que en el tercero, Zúñiga-Estrada *et al.* (2010) consideran que la concentración de K se modifica por la adición de fertilizante y se balancea por cambios en Ca y Mg intercambiables, los cuales disminuyen la eficiencia de los fertilizantes potásicos.

Para Ca en NPK en el segundo muestreo tiene promedio de 19.94 Cmol kg⁻¹ y en el tercer muestreo los valores más altos se encuentran en el AV y AV-PK con 20.30 y 20.88 Cmol kg⁻¹ que de acuerdo a la Norma estos valores se encuentran en intervalos altos (figura 15).

El contenido de Mg en el segundo y tercer muestreo en AV fue mayor, con 0.23 y 0.24 Cmol kg⁻¹ (Figura 16), los tratamientos con fertilización mineral se encuentran entre 0.19 y 0.21. Alejo-Santiago *et al.*, (2012) mencionan que los suelos que han sido cultivados con uso excesivo de fertilizantes y mecanización sufren cambios adversos como disminución de MO, P, K, Ca y Mg,

evidentemente, en estos suelos es necesario tomar medidas y evitar la degradación física y química de los suelos para preservar y mantener su productividad.

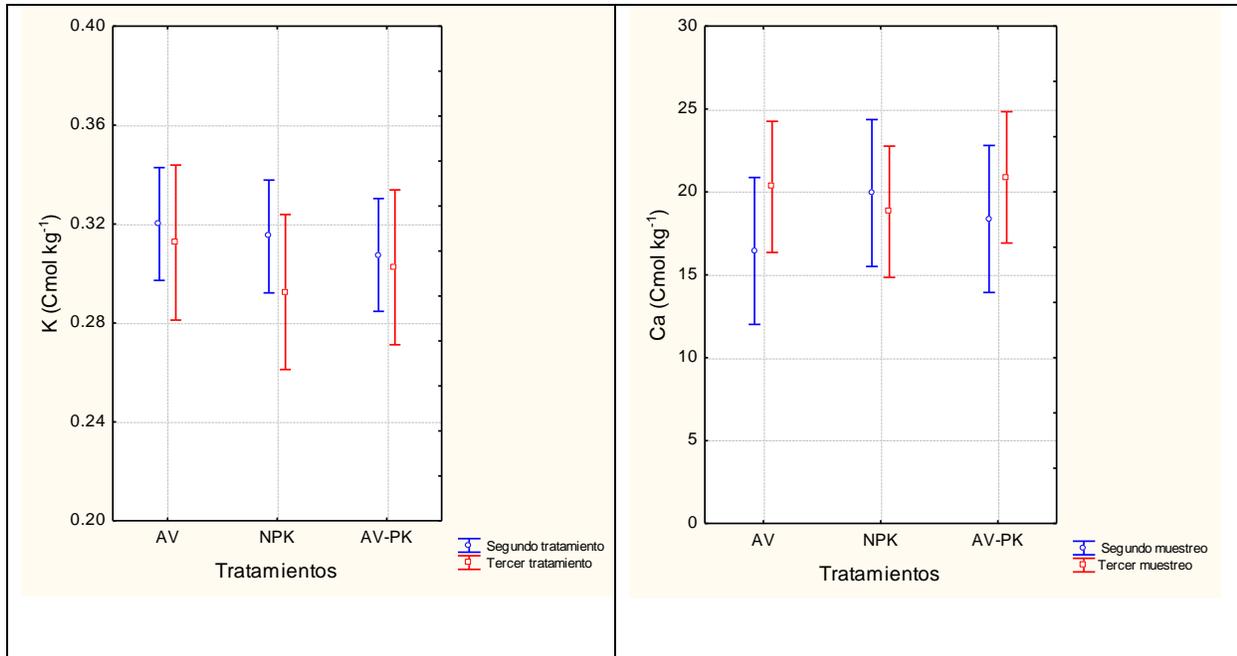


Figura 14. Contenido de K del suelo en dos muestreos y para los tres tratamientos, las barras verticales indican el intervalo de confianza (95%) en un suelo Cambisol de la Chontalpa.

Figura 15. Contenido de Ca del suelo en dos muestreos y para los tres tratamientos, las barras verticales indican el intervalo de confianza (95%) en un suelo Cambisol de la Chontalpa.

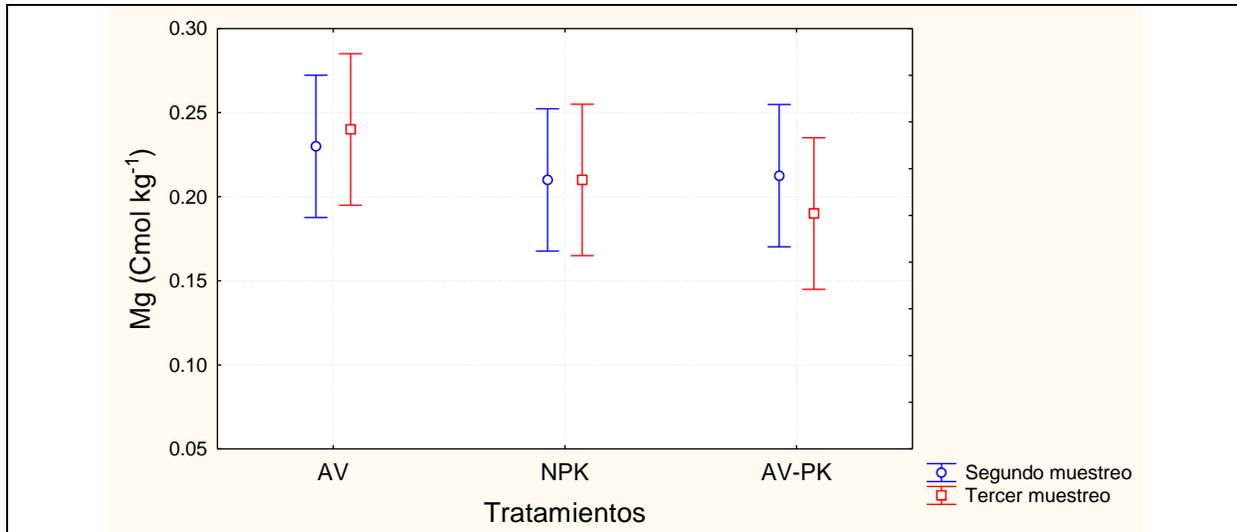


Figura 16. Contenido de Mg del suelo en dos muestreos y para los tres tratamientos, las barras verticales indican el intervalo de confianza (95%) en un suelo Cambisol de la Chontalpa.

Rendimiento de la Caña de azúcar

El rendimiento más alto de tallos molederos para la variedad COLPOSCTMX 06-039 se obtuvo en donde se aplicó fertilización 160-60-80 NPK con un rendimiento de 85.206 t ha⁻¹ (Figura 17). Para el AV y AV-PK los rendimientos de los tallos, 40.7605 t ha⁻¹ y 47.356 t ha⁻¹, respectivamente, no muestran diferencias estadísticas significativas, aunque, cabe destacar que la leguminosa no pudo completar su ciclo de crecimiento debido al sombreado que provocó el cultivo. Cordova-Gamas *et al.* (2016) reportan que, de igual forma *Canavalia ensiformis* no completó su ciclo de crecimiento por el sombreado, no llegó a floración pero continuó su crecimiento vegetativo, por lo que se cosechó y depositó como abono verde en el entresurco de la caña, donde el rendimiento de los tallos fue bajo. De acuerdo a Salgado *et al.* (2017) el rendimiento de la caña de azúcar con buenos suministros de N puede alcanzar, para la zona de Abastecimiento del Ingenio Presidente Benito Juárez, un rendimiento de hasta de 95 kg ha⁻¹.

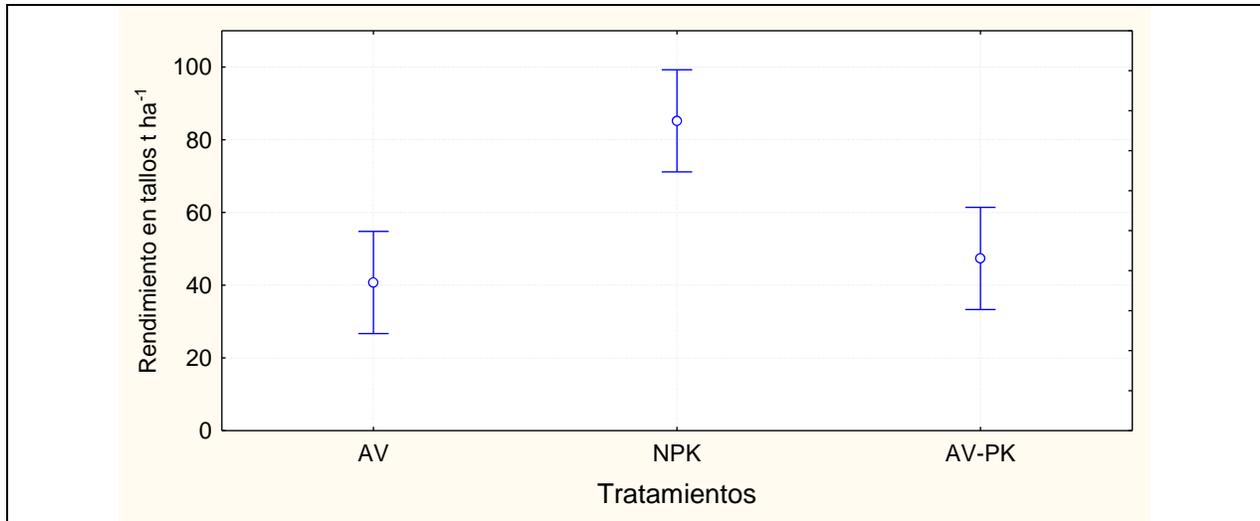


Figura 17. Rendimiento de tallos molidores en t ha⁻¹ de los tres tratamientos, las barras verticales indican el intervalo de confianza (95%).

Análisis agroindustrial de la caña de azúcar

Para los grados Brix, no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre AV y NPK pero si hubo un mayor valor en el tratamiento AV-PK, con un promedio de 19.63 (Figura 18). Salgado *et al.* (2017) en un cultivar COLPOSCTMEX 06-039 con aplicación de dosis de 0, 120 y 180 de N obtuvieron una calidad aceptable de jugo en todos los casos, la edad de la plantación en campo fue de 14 meses, los promedios de las variables de calidad del jugo de la variedad estudiada son aceptados por la agroindustria azucarera en México donde se encuentran valores de: 12,5% de sacarosa en jugo, grados Brix de 18-22%, pureza de 79 al 89%, fibra de 11 al 15%, humedad entre 73 a 75% y azúcares reductores cercanos a cero.

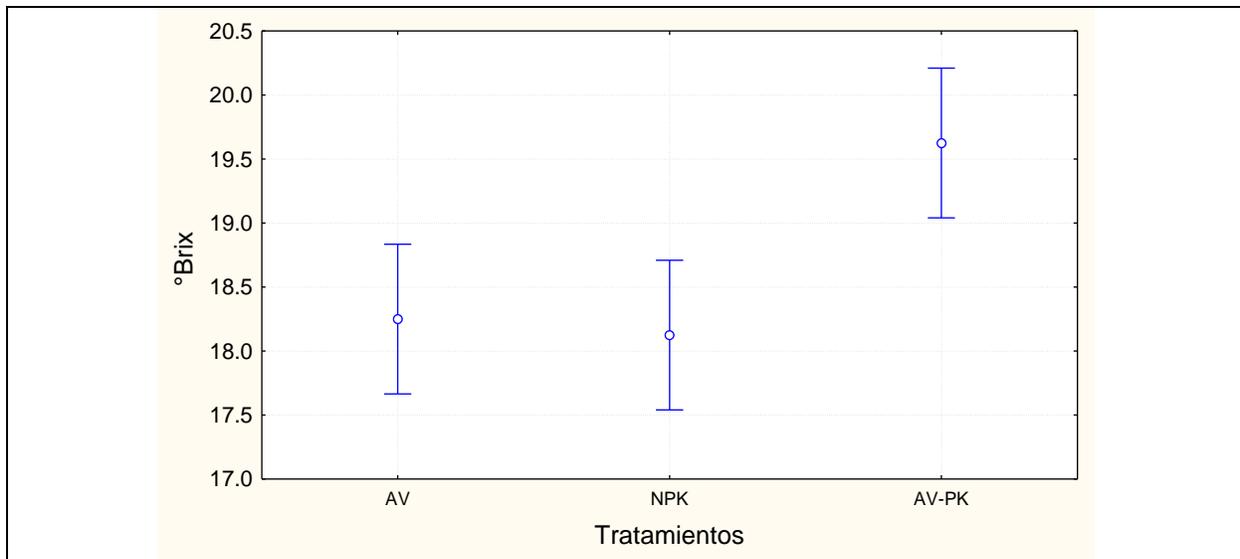


Figura 18. Grados Brix del jugo de la variedad COLPOSCTMEX 06-039 en fase semilla en los tres tratamientos, las barras verticales indican el intervalo de confianza (95%).

En la (figura 19) se muestran los resultados del análisis de los azúcares reductores, el tratamiento AV presentó un promedio de 0.70 mostrando un valor de referencia más cercano a 1 que los otros dos tratamientos. Izquierdo (2015) encontró que este cultivar presentó los valores más cercanos a cero con 0 y 120 kg ha⁻¹ N. El POL y fibra para los tres tratamientos no muestran diferencia estadística significativa (Figuras 20 y 21). Calleja (2014) en un estudio realizado con 10 clones de caña de azúcar en el IPBJ en un suelo Vertisol, encontró que esta variedad mostró porcentaje un poco más alto que los otros clones con 12.46 % en fibra, Pol promedio de 17.27 y en azúcares reductores mostró igualdad. Los rendimientos, al igual que la calidad de jugo, pueden variar con relación al periodo de zafra, condiciones edafoclimáticas y manejo agronómico (Salgado-García *et al.*, 2016; Castillo *et al.*, 2015).

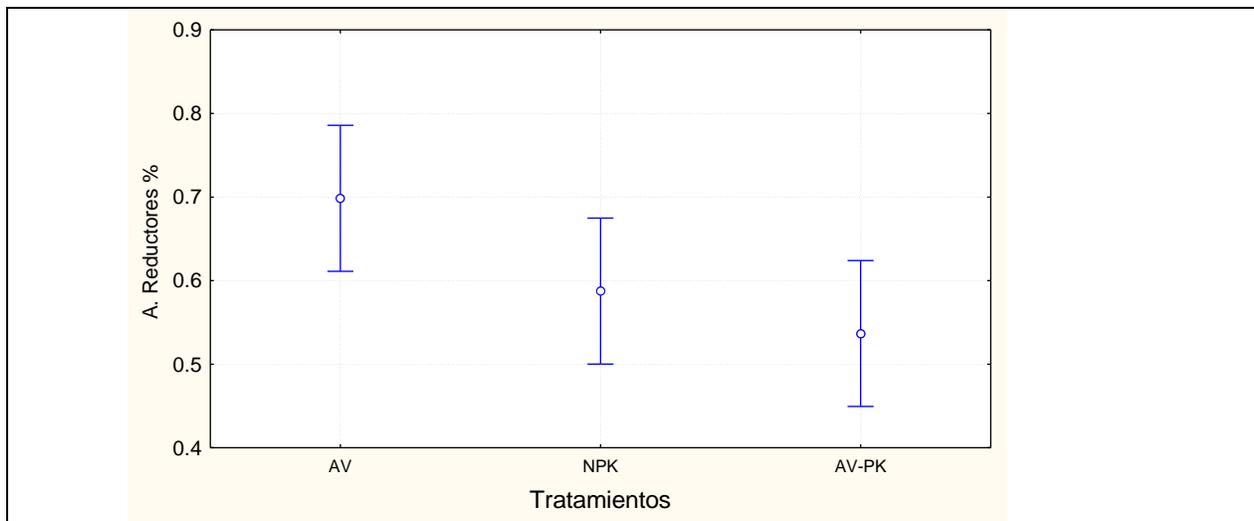


Figura 19. Azúcares Reductores de la variedad COLPOSCTMEX 06-039 en fase semilla de los tres tratamientos, las barras verticales indican el intervalo de confianza (95%).

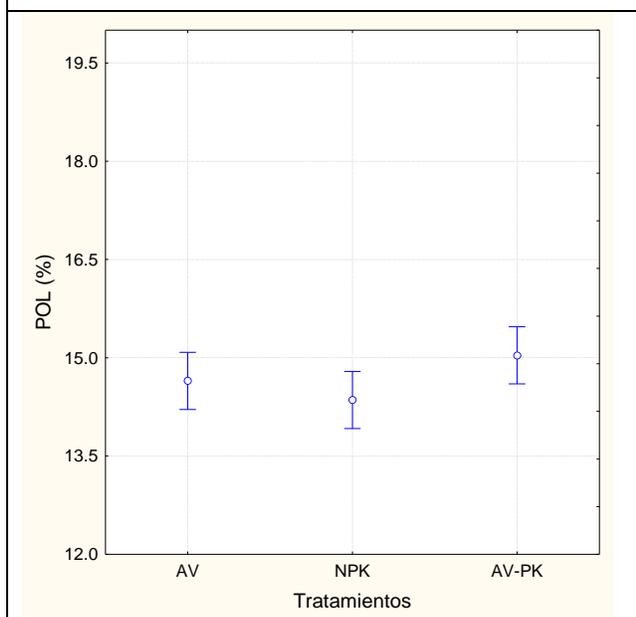


Figura 20. POL de la variedad COLPOSCTMEX 06-039 en fase semilla de los tres tratamientos, las barras verticales indican el intervalo de confianza (95%).

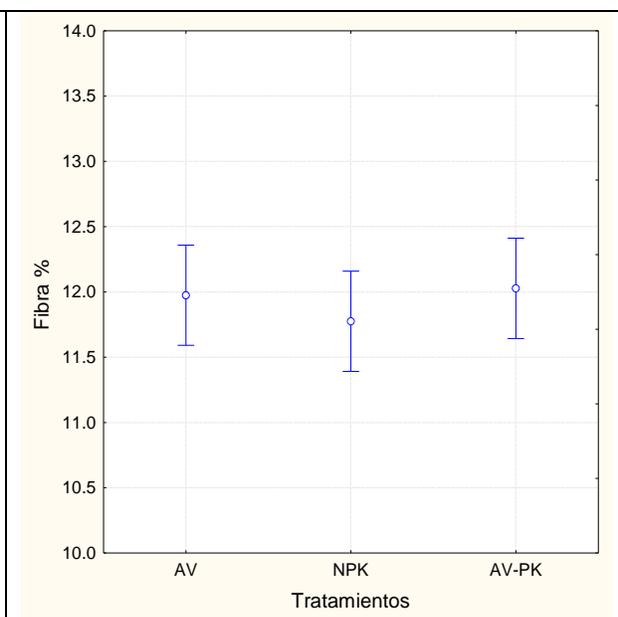


Figura 21. % Fibra de la variedad COLPOSCTMEX 06-039 en fase semilla de los tres tratamientos, las barras verticales indican el intervalo de confianza (95%).

1.4 CONCLUSIONES

El aporte nutrimental de nitrógeno del abono verde *S. herbacea* no fue suficiente para cubrir la demanda del cultivo de caña azúcar en fase semilla y restaurar la fertilidad del suelo en la Chontalpa, Tabasco.

La fertilidad de suelo se vio incrementada en los contenidos de MO, N, P y K en el primer y segundo muestreo en los tres tratamientos. La cantidad de residuos incorporados al suelo por *S. herbacea* representa una alternativa viable para reducir la degradación en las propiedades fisicoquímicas y biológicas de los suelos cañeros por el uso de la quema de residuos.

El mayor rendimiento de tallos de caña de azúcar, 85.206 t ha⁻¹, se obtuvo en el tratamiento con fertilización NPK.

La calidad industrial de la caña de azúcar variedad COLPOSCTMEX 06-039 fue similar en todos los tratamientos de fertilización probados, las variables medidas son comúnmente empleadas por la agroindustria azucarera en México.

1.5 LITERATURA CITADA

- Almeida-Santos L.E., J.J. Obrador-Olán, E. García-López, M. Castelán-Estrada, y E. Carrillo-Ávila. 2019. Cultivo e incorporación de *Crotalaria juncea* L. en un suelo cañero de la Chontalpa, Tabasco, México. *Agroproductividad* 12(7):87-93.
- Adekiya A.O., M. Agbede T., M. Aboyeji C., O. Dunsin, and O. Ugbe J. 2019. Green manures and NPK fertilizer effects on soil properties, growth, yield, mineral and vitamin C composition of okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 18(2):218-223
- Alejo-Santiago G., F.I. Salazar-Jara, D.J. García-Paredes, B.G. Arrieta-Ramos, V.M. Jiménez-Meza, y A.L. Sánchez-Monteón. 2012. Degradación físico-química de suelos agrícolas en San Pedro Lagunillas, Nayarit. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 15:323- 328.
- Armida-Alcudia L., V. Espinosa, D.J. Palma-López, A. Galvis-Spinola, y S. Salgado-García. 2005. Carbono en biomasa microbiana y carbono soluble como indicadores de calidad de Vertisoles cultivados con caña azucarera. *Terra Latinoamericana* 23(4):545-551.
- Bachiega Z. F.C., R. Vasconcelos R., P.E. Ribeiro M., and H. Cantarella. 2015. Sugarcane performance under phosphorus deficiency: physiological responses and genotypic variation. *Plant and Soil* 386(1-2):273-283.
- Baker W. and T. Thompson. 1992. Determination of total nitrogen in plant samples by Kjeldahl. In: CO PLANK (ed.). *Plant analysis reference procedures for the southern region of the United States*. Southern Cooperative Series Bulletin 13-16.
- CEC (Commission for Environmental Cooperation). 2014. *Burning Agricultural Waste: A Source of Dioxins*. Montreal, Canada 1-6.
- Castillo O.R., G. Bolívar A., J. Mendoza M., F. Garcés O., y E. Vásquez. 2015. Factores que afectan la calidad de la caña de azúcar. *Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador – CINCA* 17(1):1-20.
- Calleja A.R. 2014. Evaluación agroindustrial de 10 clones de caña de azúcar en un suelo vertisol de la zona de abastecimiento del Ingenio Presidente Benito Juárez, S.A de C.V. Tesina de

- Maestría en Ciencia. Colegio de postgraduados, H. Cárdenas, Tabasco, México. 1-21.
- Cabrera C. J.A. y R. Zuaznábar C. 2010. Impacto sobre el ambiente del monocultivo de la caña de azúcar con el uso de la quema para la cosecha y la fertilización nitrogenada. I. Balance del Carbono. *Cultivos Tropicales* 31(1):5-13.
- Carrillo A.E., J. Vera E., J.C. Alamilla M. J.J. Obrador O., y E. Aceves, N. 2008. Como aumentar el rendimiento de la caña de azúcar en Campeche. Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco, Km 36.5, Montecillo, Estado de México. 1-95.
- CONADESUCA (Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar). 2016. Identificación de paquetes tecnológicos para el cultivo de caña de azúcar en las regiones cañeras de México 2-65.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2018. Pronósticos climáticos; Precipitación. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/pronostico-climatico/precipitacion-form>. Consultado 04/09/2019.
- Córdova-Gamas G., S. Salgado-García, M. Castelán-Estrada, D.J. Palma-López, E. García-Moya, L.C. Lagunes-Espinoza, y S. Córdova-Sánchez. 2016. Opciones de fertilización para el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en Tabasco, México. *Agroproductividad* 9 (3):27-34.
- De Araújo B.B.L., M.L. Gerosa R., P. Marcal F., M.A. Carbone C. and A.M. Miranda S. 2018. Organic cultivation of sugarcane restores soil organic carbon and nitrogen. *Organic Agriculture* 1-10.
- Diacono M. and F. Montemurro. 2010. Long-term effects of organic amendments on soil fertility. A review. *Agronomy for Sustainable development* 30:401-422.
- ECOCROP. 2007. The adaptability level of the FAO crop environmental requirements database. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://ecocrop.fao.org/ecocrop/srv/en/dataSheet?id=1884>. Consultado el 10/10/2019.
- ECHO 2017. Selección de leguminosas como abono verde/cultivos de cobertura. <https://www.echocommunity.org/es/resources/38fc8ceb-988f-43bf-9ef3-d0cfd9fea169>. Consultado el 15/11/2019

- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2019. World fertilizer trends and outlook to 2020. 1-29.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2017. Carbono orgánico del suelo, el potencial oculto. 1.1 COS: una parte crucial del ciclo global del carbono. Roma, Italia. 1-3.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2016. Legumbres, semillas nutritivas para un futuro sostenible. 1-189.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2015. El uso de fertilizantes sobrepasará los 200 millones de toneladas en 2018. <http://www.fao.org/news/story/es/item/277654/icode/>. Consultado 05/09/2019.
- FAOSTAT (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2019. Fertilizantes sintéticos. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/GY> Consultado 23/09/2019
- Figueroa R.K.A., M.T. García A., Y. Mayett M., F. Hernández R., y B. Figueroa S. 2015. Factores que explican el rendimiento de caña de azúcar a nivel municipal en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6(4):1345-1358.
- García E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 4ta. Edic. Edit. Indianápolis. D. F. México. 1-246.
- García M., E. Treto, y M. Álvarez. 2001. Comportamiento de diferentes especies de plantas para ser utilizadas como abonos verdes en las condiciones de Cuba. *Cultivos Tropicales*, 22(4) 11-16.
- García M., E. Treto, y M. Álvarez. 2000. Los abonos verdes: una alternativa para la economía del nitrógeno en el cultivo de la papa. I. Estudio comparativo de diferentes especies. *Cultivos Tropicales* 21(1):5-11.
- García-Hernández J.L., B. Murillo-Amador, A. Nieto-Garibay, M. Fortis-Hernández, C. Márquez-Hernández, E. Castellanos-Pérez, J.J. Quiñones-Vera, y N.Y. Avila-Serrano. 2010. Avances en investigación y perspectivas del aprovechamiento de los abonos verdes en la agricultura. *Terra Latinoamericana* 28(4):391-399.

- Galvis S.A. 1998. Diagnóstico y simulación del suministro de nitrógeno edáfico para cultivos anuales. Tesis doctor en ciencias. Colegio de Postgraduados Montecillo edo de México.
- Guerrero-Peña A., A. Cruz-Pons, y J. Velasco-Velasco. 2017. Interpretación del análisis de suelos cañeros basado en las relaciones entre propiedades y elementos. *Agroproductividad* 10(11):87-92.
- Gómez-Merino F.C., L.I. Trejo-Téllez, J. Salazar-Ortiz, J.A. Pérez-Sato, H.E. Sentíes-Herrera, J.J. Bello-Bello, y N. Aguilar-Rivera. 2017. La diversificación de la agroindustria azucarera como estrategia para México. *Agroproductividad* 10(11):7-12.
- González M.R., J.F. Juárez L., L.A. Aceves N., B. Rivera H., y A. Guerrero P. 2014. Zonificación edafoclimática para el cultivo de *Jatropha curcas* L., en Tabasco, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía* 2015(86):25-37.
- Izquierdo H.J. 2015. Consumo de nitrógeno por variedades de caña de azúcar en el Ingenio Azsuremex de Tenosique, Tabasco. Tesis de Maestría en ciencia. Colegio de Postgraduados, H. Cárdenas, Tabasco, México. 1-84.
- Krishnan B.H., O. Oehrle W., A. Alaswad A., G. Stevens W., M.M. John K., and S. Natarajan S. 2019. Biochemical and Anatomical Investigation of *Sesbania herbacea* (Mill.) McVaugh Nodules Grown under Flooded and Non-Flooded Conditions. *International Journal of Molecular Sciences* 20(8):1-20.
- Kalra P.Y. 1998. Handbook of reference methods for plant analysis. Published in by CRC Press Taylor and Francis Group 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300 Boca Raton, FL 33487-2742 1-291.
- Lemos S.R., J. Freire F., E.C. Almeida O. E., P.C. Ocheuze T., F.M.B. Galvão S., P. Da Costa B. I. De Oliveira R. and M.B. Da Costa S. 2019. Changes in Biological Nitrogen Fixation and Natural-Abundance N Isotopes of Sugarcane Under Molybdenum Fertilization. *Sugar Tech* 1-11.
- Lopez C. J., L. Silva S., N.C. Santos S., and R. P. C. 2014. Effect of cover crops on the aggregation of a soil cultivated with papaya (*Carica papaya* L.). *Scientia Horticulturae* 172: 82-85.

- McFarlane K.J., H. Schoenholtz S., and S. Powers R. 2009. Plantation on management intensity affects belowground carbon and nitrogen storage in Northern California. *Soil Sci. J.* 73:1020-1032.
- Meena B.L., K. Fagodiya R. K. Prajapat, M. Dotaniya L., J. Kaledhonkar M., C. Sharma P., R. Swarrop M., T. Mitran, and S. Kuma. 2018. Legume Green Manuring: An Option for Soil Sustainability. Chapter 12.5 Decomposition and Mineralization. *Legumes for Soil Health and Sustainable Management.* 387-408.
- Merten H.G. and G.J. Minella P. 2013. The expansion of Brazilian agriculture: Soil erosion scenarios. *International Soil and Water Conservation Research* 1(3):37-48.
- NRCS (Natural Resources Conservation Service). 2014. Summer Cover Crop Species Adapted to North-Central West Texas and Southwestern Oklahoma. United States Department of Agriculture 1-20.
- NRCCA (Northeast Region Certified Crop Adviser). 2008. Soil Fertility and Nutrient Management– Study Guide. Cornell University, USA 1-36.
- Naranjo L.S. 2017. Biomasa aérea y radical de guajillo (*Aeschynomene ciliata* V.) en un suelo cambisol éutrico de la Chontalpa, Tabasco. Tesis. Instituto Tecnológico Superior de Comalcalco y Colegio de Posgraduados, Campus Tabasco. 8-67.
- Novelo R.A. 2006. Descripción de Taxas: Dicotiledóneas. Plantas acuáticas de la reserva de la biosfera pantanos de Centla. *Espacios Naturales y Desarrollo Sustentable A. C. (ENDESU).* 1:113.
- NOM-021-SEMARNAT-2000. 2002. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos estudio, muestreo y análisis. *Diario Oficial de la Federación.* México. 31 de diciembre de 2002. 1-85.
- Nobre C. F., M. Batista T., F.A. Loureiro S., E. Cabral da S., A.E. Cavalcante S., N.L. Silva S., N. Furtado S., W. Alves, M., V. Marques V., F. Rodríguez C. and G. Silva V. 2019. Industrial quality of sugarcane under nitrogen and zinc fertilization. *Sugar Tech* 1-9.
- Ortiz, V. y Ortiz, S. A. 1980. Edafología. Capitulo IV Materia Orgánica. Universidad Autónoma de Chapingo, México. (3):15-329.

- Obrador-Olán J.J., E. García-López, L.E. Almeyda-Santos, M. Castelán-Estrada, y E. Carrillo-Ávila. 2019. Weeds in a Sugar Cane Soil Cultivated with *Crotalaria juncea*. *Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas* 37:1-10.
- Párraga-Aguado I., P. Alcoba-Gómez, and P. Conesa M. 2017. Suitability of a municipal solid waste as organic amendment for agricultural and metal (loid)-contaminated soils: effects on soil properties, plant growth and metal (loid) allocation in *Zea mays* L. *Journal of Soils and Sediments* 17(10):2469-2480.
- Palma L.D.J. 2019. 1 Contexto físico En A. Cruz A., J. Cruz M. J. Valero P. F.P Rodríguez R., D. Melgarejo E., E.E. Mata Z., y D.J. Palma L. La biodiversidad en Tabasco. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco y el Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco 1(1):1-43.
- Rengel M., F. Gil, y J. Montaña. 2011. Crecimiento y dinámica de acumulación de nutrientes en caña de azúcar. I. macronutrientes. *Bioagro* 23(1):43-50.
- Pascual-Córdova G., J.J. Obrador-Olán, E. García-López, E. Carrillo-Ávila, S. Sánchez-Soto, A. Guerrero-Peña, y C.F. Ortiz-García. 2017. Evaluación del sistema agroforestal cacao (*Theobroma cacao* L.) mediante indicadores de calidad de suelo en Tabasco, México. *Agroproductividad* 10(12):36-42.
- Prager M.M., O. Sanclemente R., M. Sanchez P., J. Miller G. y D.I. Angel S. 2012. Abonos verdes: Tecnología para el manejo agroecológico de los cultivos. Facultad de ciencias agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia. *Agroecología*, 7:53-62.
- Rivero H. M., R.R Gaibor F., J.J. Reyes P., W. Mozena L., y E.P. De Brito F. 2016. Abonos verdes y su influencia en el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en sistema agroecológico. *Centro Agrícola* 43 (2):42-48.
- Shukla S.K., K. Singh K., D. Pathak A., P. Jaiswal V. y S. Solomon. 2017. Crop Diversification Options Involving Pulses and Sugarcane for Improving Crop Productivity, Nutritional Security and Sustainability in India. *Sugar Tech* 19(1):1-10
- Sheahan C.M. 2013. Plant guide for bigpod sesbania (*Sesbania exaltata*). USDA-Natural Resources Conservation Service. Cape May Plant Materials Center 1-4.

- Sharma N.S., R. Prasad, and S. Singh. 1994. The role of mungbean residues and *Sesbania aculeata* green manure in the nitrogen economy of rice-wheat cropping system. *Plant and Soil* 172:123-129.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2013a. Manejo Sustentable del Suelo en México 1-11.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2013b. Protejamos el suelo que nos da vida. Folleto del Colegio de Postgraduados, primera edición. 1-21.
- Salgado-García S., J. Izquierdo-Hernández, L.C. Lagunes Espinoza, D.J. Palma-López, S. Córdova Sánchez, H. Ortiz-Laurel, y M. Castelán-Estrada. 2017. Consumo de nitrógeno por cultivos de caña de azúcar en Tabasco, México. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias* 49(1): 45-59.
- Salgado-García S., M. Castelán-Estrada, E.M. Aranda-Ibáñez, H. Ortiz-Laurel, L.C. Lagunes-Espinoza, y S. Córdova-Sánchez. 2016. Calidad de jugos de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) según el ciclo de cultivo en Chiapas, México. *Agroproductividad* 9(7):23-28.
- Salgado G.S., L.C. Lagunes, R. Nuñez E., C.F. Ortíz G., L. Bucio A., y E.M. Aranda I. 2013a. Caña de azúcar: producción sustentable; fisiología de la caña de azúcar. Colegio de Postgraduados, México-Texcoco. 1-524.
- Salgado-García S., D.J. Palma-López, M. Castelán-Estrada, L.C. Lagunes-Espinoza, y H. Ortiz L. 2013b. Manual para el muestreo de suelos, plantas y agua e interpretación de análisis para la producción sostenible de alimentos. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. H. Cárdenas, Tabasco, México. 1-101.
- Sentíes-Herrera H.E., L.I. Trejo-Téllez, y F.C. Gómez-Merino. 2017. The Mexican Sugarcane Production System: History, Current Status, and New Trends. In: R. Murphy. *Sugarcane: Production Systems, Uses and Economic Importance*. Nova Publishers, New York, USA 39-71.
- Thind H.S., S. Bijay, R.P. Pannu S., S. Yadvinder-Sing, Varinderpal-Singh., R. K. Gupta, M. Vashista, S. Jagmohan, and A. Kumar. 2010. Relative performance of neem (*Azadirachta*

indica) coated urea vis-à-vis ordinary urea applied to rice on the basis of soil test or following need based nitrogen management using leaf colour chart. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 87(1):1-8.

Tukaew S., A. Datta, G. Shivakoti P. and D. Jourdain. 2016. Production Practices Influenced Yield and Commercial Cane Sugar Level of Contract Sugarcane Farmers in Thailand. *Sugar Tech* 18(3):299-308.

Valdez-Balero A., A. Guerrero-Peña, E. García-López, J.J. Obrador-Olán. 2009. Manual para el cultivo y producción de la caña de azúcar. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. H. Cárdenas, Tabasco. México 1-53.

Wang G. and K. Nolte. 2010. Summer cover crop use in Arizona vegetable production systems. The University of Arizona. College of Agriculture and Life Sciences Tucson Arizona. 1-4.

White M.P. JR., R. Viator P., IIC. Webber L., and G. Eggleston. 2018. Potential Losses of Soil Nutrients and Energy Content on the Complete Removal of Sugarcane Leaf Material as a Biomass Feedstock. *Sugar Tech* 20(1):40-49.

Xing, Y-X., W. C-Y, Mo. Y., Y. L-T, H. S-L., and L. Y-R. 2016. Nitrogen fixation and plant growth capacity of two endophytic bacterial strains isolated from sugar cane stalks. *Sugar Tech* 18(4):373-379.

Xie, H.H., Q.G. Wu, J.Y. Hu, L.F. Yu, P.F. Bie, H. Wang, D.Z. Deng. 2018. Changes in Soil Physical and Chemical Properties During the Process of Alpine Meadow Degradation along the Eastern Qinghai-Tibet Plateau. *Eurasian Soil Science* 51(12):1440-1446.

Zúñiga-Estrada L., J.J. Martínez-Hernández, G.A. Baca-Castillo, A. Martínez-Garza, J.L. Tirado-Torres, J. Kohashi-Shibata, y J. Cruz-Díaz. 2010. Efecto de la fertilización con potasio en un vertisol sobre la relación cantidad/intensidad (Q/I). *Terra Latinoamericana* 28(4):319-325.

**CAPÍTULO II. ARVENSES EN UN SUELO CULTIVADO CON CAÑA DE AZÚCAR
CON FERTILIZACIÓN MINERAL Y ABONO VERDE**

Resumen

Las arvenses son capaces de producir cambios significativos en la estructura, la composición y en otros procesos del ecosistema, se cree que es un factor que afecta los rendimientos del cultivo de caña de azúcar. Compiten por luz, agua y nutrientes, se considera que el desarrollo de las arvenses es más rápido que la caña de azúcar y la extracción de nutrientes es más eficiente, pueden interferir hasta en un 97.5 % debido a la competencia permanente. Las labores que se realizan para su eliminación, como el control manual, mecánico y químico conyevan a altos costos de producción provocando pérdidas económicas al agricultor y a los agroecosistemas. Es necesario la incorporación de abono verdes, esencialmente para aumentar la materia orgánica del suelo, mejorar la propiedades físicas y biológicas, aumentar la disponibilidad de nutrientes y reducir el uso fertilizantes minerales e inhibir las arvenses; el objetivo del estudio es evaluar el efecto del AV y la fertilización mineral sobre la comunidad de arvenses en caña de azúcar, fase semilla. Se realizó un diseño de bloques completamente al azar con tres tratamientos y cuatro repeticiones, se calculó el índice de diversidad S, H, E y índice de valor de importancia de las arvenses. El tratamiento uno consiste en utilizar la leguminosa *S. herbacea* como abono verde, la dosis de fertilización 160-60-80 y 00-60-80, se realizaron cinco muestreos de arvenses durante siete meses. Se generó una lista de 38 especies en total que se ubican en 34 géneros y 18 familias botánicas, 25 especies (73.5%) corresponden al grupo de las dicotiledóneas y el resto (26.5%) al grupo de monocotiledóneas. Las especies que destacaron fueron *C. rotundus*, *J. tamnifolia*, *P. niruri* e *I. triloba*, la primera encontrada en todos los muestreos y tratamientos.

Palabras claves: malezas, *saccharum spp*, *sesbania herbacea*, diversidad de especie.

Abstract

The weeds are capable of producing significant changes in the structure, composition and processes of the ecosystem, it is believed to be a factor that affects the yields of sugarcane cultivation. They compete for light, water and nutrients, it is considered that the development of weeds is faster than sugarcane and the extraction of nutrients is more efficient they can infer up to 97.5% due to permanent competition. The work carried out for its elimination such as manual, mechanical and chemical control contributes to high production costs, causing economic losses to the farmer and the agroecosystems. It is necessary the incorporation of green manure, essentially to increase the organic matter of the soil, to improve the physical and biological properties, increase nutrient availability and reduce the use of mineral fertilizers and inhibit weeds; the aim of the study is to evaluate the effect of green manure and mineral fertilization on the sugar cane, seed phase, weed community. A completely random block design was carried out with three treatments and four repetitions, the diversity index S, H, E and value index of importance of the weeds were calculated. The consist of using the legume *S. herbacea* as green manure, fertilization dose 160-60-80 and 00-60-80, five sampling of weeds were performed for seven months. A list of 38 species in total was generated, which are located in 34 genera and 18 botanical families, 25 species (73.5%) correspond to the group of dicotyledons and the rest (26.5%) to the group of monocotyledons. The species that stood out were *C. rotundus*, *J. tamnifolia*, *P. niruri* and *I. triloba*, the first found in all samples and treatments.

Key Words: weeds, *saccharum* spp, *sesbania herbacea*, specie diversity.

2.1 INTRODUCCIÓN

La agroindustria azucarera en México otorga estímulos que beneficia a los Ingenios y Productores a través de las Asociaciones para que el rendimiento de caña de azúcar y la calidad de la misma mantenga o aumente la producción (Figueroa *et al.*, 2017). El cultivo de la caña representa un sector importante ya que alrededor de tres millones de personas realizan diversas actividades tales como la siembra, el manejo del cultivo, cosecha, industrialización, transporte y comercialización (Velasco-Velasco *et al.*, 2017). Por ser considerado un producto básico y estratégico, el cultivo se encuentra contemplado en la ley de Desarrollo Rural Sustentable (CONADESUCA, 2016a).

Siendo la caña de azúcar el cultivo con mayor producción en el estado de Tabasco, se cuenta con dos ingenios azucareros, Presidente Benito Juárez y Santa Rosalía, que se ubican en la región de la Chontalpa (SIAP, 2016) donde los bajos rendimientos se relacionan con problemas de plantaciones vulnerables, suelos no óptimos, al igual que el clima, el costo de insumos y transporte (Figueroa *et al.*, 2017). Para tener buenos rendimientos se necesita un suelo con propiedades físicas, químicas y biológicas adecuadas (Sentíes-Herrera *et al.*, 2017), además de la aplicación de fertilizantes de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en poco más del 80% de la superficie (Tukaewe *et al.*, 2016). Estas propiedades definen la fertilidad del suelo y su productividad debido a que interactúan con los elementos que se encuentran en estado natural. Como la caña de azúcar tiene un largo periodo productivo y máximos ciclos de crecimiento, en algunas zonas se requiere de grandes cantidades de fertilizante para reducir las deficiencias que ha provocado su cultivo durante mucho años continuos (Guerrero-Peña *et al.*, 2017).

Otra práctica agrícola que influye en el rendimiento del cultivo es el manejo de las arvenses, ya que la competencia por nutrientes y espacio puede reducir la producción de la caña desde 20-25% (CONADESUCA, 2016b), aunque Rodríguez *et al.* (2019) ubican pérdidas entre 33 y 66 %, que pueden llegar hasta 97,5 % cuando la competencia es permanente. Las labores culturales que se realizan para su eliminación incluyen el control manual, mecánico y el químico a través de aplicación de herbicidas, esto último contribuye a incrementar el costo de producción, provocando pérdidas económicas al agricultor y a los agroecosistemas ambientales (Carillo *et al.*, 2008). El control manual-mecánico es, en general, menos eficiente que el uso de herbicidas, ya que este último disminuye la dispersión de las semillas, las labores culturales y, por su

persistencia en campo; aunque ocasiona alteraciones en las características físicas, químicas y biológicas del suelo, contamina los mantos freáticos y puede generar resistencia de las arvenses si se utiliza de manera intensiva (Ramos-Hernández *et al.*, 2011). Lo anterior hace esencial la integración exitosa de plantas y animales que puedan fortalecer y optimizar las funciones y los procesos del agroecosistema, tales como la regulación de los organismos dañinos, el reciclaje de nutrientes, la producción de biomasa y la formación de materia orgánica; por lo que la aplicación de abonos verdes, coberturas y rotación de cultivos pueden ser una alternativa para mejorar la fertilidad, el rendimiento, la biodiversidad del suelo y del ecosistema (Zhang *et al.*, 2019), así como la implementación de alternativas tecnológicas que permitan la sustentabilidad y una agricultura orgánica en el manejo agronómico (Blanco-Valdes, 2016).

La incorporación tecnológica de AV se realiza esencialmente para aumentar la materia orgánica del suelo, mejorar la actividad biológica, mejorar las propiedades físicas, aumentar la disponibilidad de nutrientes, reducir el uso fertilizantes minerales e inhibir el desarrollo de las arvenses (Kim *et al.*, 2013; Li *et al.*, 2015). Como AV se utilizan generalmente leguminosas que tienen la capacidad de proporcionar nitrógeno (N) a los suelos mediante la fijación biológica (FBN), aumentando el suministro de N del suelo para los cultivos posteriores y reemplazar la adición de fertilizantes (Li *et al.*, 2015) a través de la simbiosis con bacterias del género *Rhizobium*, maximizando los beneficios del suelo y algunos externos, económicos, sociales y ambientales, que permiten obtener una agricultura sustentable (Obrador-Olán *et al.*, 2019). Algunas leguminosas con mayor duración de área foliar se incorporan al suelo entre las hileras de caña de azúcar como AV permitiendo un aporte de 35-40 kg N ha⁻¹ en la caña de azúcar, reduciendo el costo del fertilizante, además de producir rendimiento extra al cultivo, suprimir arvenses, mejorar las propiedades del suelo y sostener el sistema planta-manto freático (Shukla *et al.*, 2017).

Entre los AV destaca *Sesbania herbacea* (Mill.) McVaugh, que se ha utilizado en rotaciones con hortalizas o cereales, incrementando el rendimiento de la cebada incorporada al suelo después de 6 a 9 semanas de crecimiento (Sheahan, 2013), algunas de estas leguminosas son eficaces para suprimir arvenses, dado su rápido crecimiento, gran producción de biomasa, competitividad y por su efecto aleloquímico (Obrador-Olán *et al.*, 2019). El objetivo de este estudio fue evaluar el

efecto de *S. herbacea* y la fertilización mineral sobre la comunidad de arvenses en caña de azúcar.

2. 2 MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en el Campo Experimental del Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, que se ubica en las coordenadas 18°00'N y 93°30'W con una altitud de 9 msnm, en el km 21 de la carretera federal 180 Cárdenas-Coatzacoalcos municipio de Cárdenas, Tabasco. Presenta un clima tropical (cálido-húmedo), lluvias en verano, medias anuales de temperatura, precipitación y evaporación de 26.7 °C, 2240 mm y 1400 mm, respectivamente (Palma-López *et al.*, 2007).

El experimento se llevó a cabo en un suelo cañero donde el cultivo es plantilla, el suelo se mecanizó realizando un barbecho y dos pasos de rastra cruzados. El diseño fue en bloques completos al azar con tres tratamientos y cuatro repeticiones; se consideraron tres tratamientos de fertilización: cultivo intercalado e incorporación de abono verde (AV); fertilización NPK (160-60-80) y fertilización PK, sin N (00-60-80) con AV. Los bloques fueron de 10 x 10 m, el terreno fue surcado con una distancia entre surcos de 1.3 m (Salgado *et al.*, 2017). El surcado se realizó perpendicular a la ubicación de los bloques para después sembrar la caña de azúcar.

Para conocer el efecto de *S. herbacea* sobre la comunidad de arvenses asociadas al cultivo de caña de azúcar se realizaron muestreos en cinco fechas: 1) antes de voltear el suelo (31 de agosto de 2018), 2) a la floración e incorporación de *S. herbacea* (8 de octubre), 3) 30 dd (8 de noviembre), 4) 60 dd (3 de diciembre) de incorporar la leguminosa al suelo, y 5) a la cosecha de la caña (25 de abril de 2019).

En cada tratamiento y fecha se tomaron tres muestras con la ayuda de cuadros de metal de 50 x 50 cm. Para cada especie se registró en campo, el nombre (común o científico), número de individuos y porcentaje de cobertura de cada especie (Mostacedo y Fredericksen, 2000). Se colectaron todas las plantas que quedaron dentro de los cuadros y se llevaron al Herbario CSAT del Campus, Tabasco donde se verificó su identidad taxonómica, mediante el uso de bibliografía especializada y con el apoyo de un microscopio estereoscopio.

Los datos registrados se sistematizaron en Excel 2007 y sirvieron para calcular los índices de diversidad: S, H' y E (Magurran, 1988), el de valor de importancia (IVI) de las arvenses, sus componentes: Densidad (De), Frecuencia (Fr), Dominancia (Do) y sus valores relativos (rDe, rFr y rDo) (Gámez-López *et al.*, 2011; Concenço *et al.*, 2016), mediante las siguientes fórmulas:

S= Número de especies

$$H' = -\sum p_i \ln p_i$$

$$E = H'/\ln S$$

De = N° de plantas por especie/unidad de área (m²).

$$rDe = De/Det^*$$

Fr = N° de ocurrencias de una especie /N° total de sitios muestreados.

$$rFr = Fr/Frt^*$$

Do = Cobertura de una especie/ Área muestreada

$$rDo = Do/Dot^*$$

$$IVI = rDe + rFr + rDo.$$

*..t=total

2.3 RESULTADO Y DISCUSIÓN

Como resultado de los muestreos realizados se generó una lista 38 especies que se ubican taxonómicamente 34 géneros y 18 familias botánicas (Cuadro 4), indicando el tratamiento y muestreo en que fueron localizadas. Al grupo de las dicotiledóneas, conocidas como malezas de hoja ancha, correspondieron 25 especies (73.5%), resultados que coinciden con los reportados por Obrador-Olán *et al.*, (2019), García-Jiménez (2015) y Pérez *et al.*, (2014) en caña de azúcar, Vera *et al.*, (2018) en plantaciones de musáceas y Sánchez-Blanco y Guevara-Fefer (2013) en maíz. Las familias representadas fueron: Poaceae con 5 especies, Convolvulaceae y Euphorbiaceae con 4, Fabaceae, Malvaceae y Cyperaceae con 3, Asteraceae, Lamiaceae, Linderniaceae y Phyllanthaceae con 2, las ocho restantes cuentan con una sola especie. Ramos-Hernández *et al.* (2011) menciona que el desarrollo de estas especies puede deberse a condiciones de clima, suelo y actividades realizadas por el hombre en las que dominan más las especies (Asteraceae,

Euphorbiaceae, Poaceae). Las tres más diversas figuran entre las cinco más importantes en los trabajos antes mencionados, en los que Phyllanthaceae aún estaba incluida en Euphorbiaceae.

De las plantas localizadas en los cuadros destacan *C. rotundus* (coquillo), *J. tamnifolia* (algodoncillo), *P. niruri* (tamarindillo) e *I. triloba*; la primera se colectó en todas las muestras y tratamientos en las cinco fechas; tiene muchas ventajas en la competencia por nutrientes, agua y luz, ya que germina y crece más rápido que muchas plantas cultivables (Doll, 1996); se localiza en más países y regiones del mundo que cualquier otra maleza (Holm *et al.*, 1977) y crece prácticamente en todo tipo de suelo, soportando rangos amplios de pH, humedad y contenido de materia orgánica. Las cuatro especies suelen prosperar bien en sitios perturbados y zonas de cultivo y, aunque todas son de ciclo anual, están bien adaptadas al trópico, donde encuentran las condiciones adecuadas para permanecer una buena parte o todo el año (Vibrans, 2009).

En cuanto a la diversidad de la comunidad de arvenses, en las Figuras 22, 23 y 24 se observa el comportamiento de los índices de Riqueza (S), Diversidad H') y Uniformidad. La riqueza, referida al número de especies, presentó los valores más altos en los tres tratamientos en el mes de noviembre como consecuencia del corte de *S. herbácea*; pero todo el ciclo fue mayor en la parcela con fertilización nitrogenada, tal vez por la disposición inmediata de N en el suelo dada por la fertilización; las parcelas AV y sin fertilizante nitrogenado mostraron valores bajos en octubre y diciembre, el primero probablemente relacionado con la mayor competencia que representó el crecimiento de *S. herbácea* y el último por tratarse de un mes más seco. Sundaras, (2011) en intercalados con *V. unguiculata*, *V. radiata* y *V. mungo* en el cultivo de caña de azúcar donde la riqueza de las arvenses se redujo significativamente durante la etapa temprana de crecimiento (60 dd siembra) y el tratamiento de intercalado de caña de azúcar más *V. radiata* resultó ser el mejor para aumentar el rendimiento.

Cuadro 4. Lista florística de las especies de arvenses en el cultivo de caña de azúcar fase semilla. Tratamientos: abono verde (V), con fertilización nitrogenada 160-60-80 (N) y fertilización sin N 00-60-80 (P).

	Familia	No.	Especie	AGO			OCT			NOV			DIC		ABR	
DICOTILEDÓNEAS																
1	Asteraceae	1	<i>Acmella repens</i> (Walter) Rich.	1V	1N	1P							4V	4N		
		2	<i>Ageratum houstonianum</i> Mill.													5N
2	Cleomaceae	3	<i>Cleome aculeata</i> L.					2N								
3	Convolvulaceae	4	<i>Ipomoea purpurea</i> (L.) Roth											4P	5V	
		5	<i>Ipomoea trifida</i> (L.) Lam.					2N					4N			5P
		6	<i>Ipomoea triloba</i> L.	1V	1N	1P				3V	3N	3P			5V	5P
		7	<i>Jacquemontia tamnifolia</i> (L.) Griseb.	1V	1N	1P	2V	2N	2P		3N	3P	4V	4N	4P	
4	Euphorbiaceae	8	<i>Acalypha indica</i> L.								3N	3P				
		9	<i>Caperonia palustris</i> (L.) A. St.-Hill				2V	2N							5V	5N
		10	<i>Croton lobatus</i> L.					2N								
		11	<i>Euphorbia prostrata</i> Ait.					2N		3V				4P		
5	Fabaceae	12	<i>Clitoria ternatea</i> L.								3N					
		13	<i>Senna obtusifolia</i> (L.) H. S. Irwin & Barneby													5N 5P
		14	<i>Sesbania herbacea</i> (Mill) McVaugh				2V		2P							
6	Lamiaceae	15	<i>Hyptis brevipes</i> Poit							3V	3N	3P				5P
		16	<i>Ocimum micranthum</i> Willd.					2N								
7	Linderniaceae	17	<i>Lindernia crustacea</i> (L.) F.Muell.							3V	3N	3P			5V	5N 5P
		18	<i>Lindernia dubia</i> (L.) Pennell								3N					5P
8	Loganiaceae	19	<i>Spigelia anthelmia</i> L.	1V	1N	1P				3V				4N		
9	Malpighiaceae	20	<i>Stigmaphyllon humboldtianum</i> (D.C.) Juss.					2N			3N					
10	Malvaceae	21	<i>Corchorus orinocensis</i> Kunth									3P	4N			
		22	<i>Melochia pyramidata</i> L.							3V						
		23	<i>Sida rhombifolia</i> L.										4N			
11	Onagraceae	24	<i>Ludwigia octovalvis</i> Jacq. P. H. Raven							3V		3P				5N 5P

12	Passifloraceae	25	<i>Passiflora foetida</i> L.	1V	1N	1P								4N				
13	Phyllanthaceae	26	<i>Phyllanthus niruri</i> L.	1V	1N	1P				3V		3P		4N	4P	5V	5N	
		27	<i>Phyllanthus urinaria</i> L.						2P		3N					5V	5N	
14	Piperaceae	28	<i>Peperomia pellucida</i> (L.) Kunth							3V	3N	3P						
15	Solanaceae	29	<i>Physalis angulata</i> L.								3N							
	Familia	No.	Especie	AGO			OCT			NOV			DIC			ABR		
MONOCOTILEDÓNEAS																		
16	Cannaceae	30	<i>Canna indica</i> L.									3P	4V		4P			5P
17	Cyperaceae	31	<i>Cyperus rotundus</i> L.	1V	1N	1P	2V	2N	2P	3V	3N	3P	4V	4N	4P	5V	5N	5P
		32	<i>Fimbristylis dichotoma</i> (L.) Vahl				2V				3N			4N				
		33	<i>Scleria setuloso-ciliata</i> Boeckeler				2V				3N	3P			4P	5V	5N	
18	Poaceae	34	<i>Echinochloa colona</i> (L.) Link							3V	3N							
		35	<i>Paspalum fasciculatum</i> Willd.	1V	1N	1P							4V	4N	4P			
		36	<i>Rottboellia cochinchinensis</i> (Lour.) Clayton	1V	1N	1P								4N				
		37	<i>Saccharum</i> sp				2V						4V					
		38	<i>Urochloa fusca</i> (Sw.) B.F. Hansen & Wunderlin				2V	2N	2P	3V	3N							

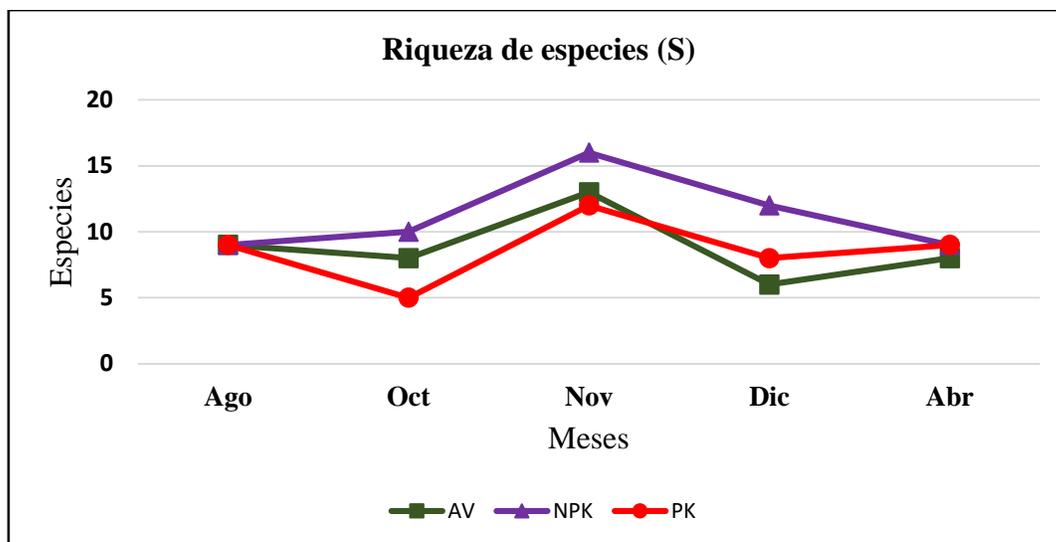


Figura 22. Comportamiento de la riqueza (S) de especies de arvenses en caña de azúcar con tres tratamientos de fertilización: abono verde (AV), nitrogenada NPK (160-60-80) y AV-PK (00-60-80).

La diversidad (H') de arvenses en las parcelas estudiadas varió de baja en el primer muestreo donde, además de encontrarse pocas especies, se observó dominancia de unas cuantas, a media. Los valores observados en general, pueden ser resultado de la competencia que para la comunidad representó el cultivo e incorporación de *S. herbacea*, en especial el de la parcela AV en el muestreo que coincidió con la época de floración de la leguminosa (octubre). En el último muestreo, todos los tratamientos presentaron la mayor H' tal vez causada por la disminución en la riqueza de especies (Perdomo *et al.*, 2004). El cambio en la diversidad de las arvenses suele estar influenciado por labores agrícolas y por las condiciones naturales, ya que algunas especies necesitan cierta intensidad de luz para su germinación (Ramos-Hernández *et al.*, 2011). Perdomo *et al.* (2004), menciona que de forma general, se aprecia que cuando los valores de S aumentan el valor de E se ve disminuido debido a la dominancia de unas cuantas especies

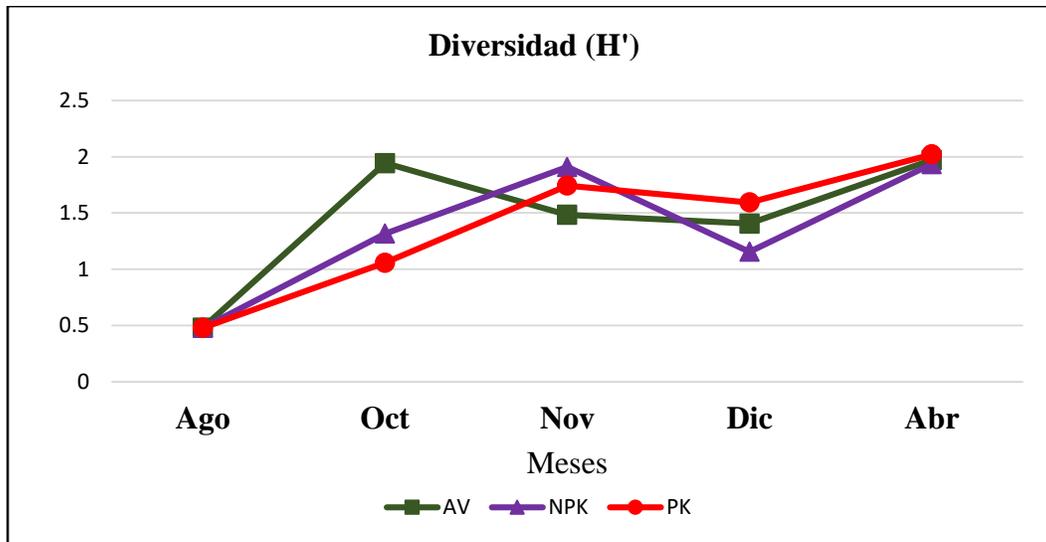


Figura 23. Comportamiento de la diversidad (H') de especies de arvenses en caña de azúcar con tres tratamientos de fertilización: abono verde (AV), nitrogenada NPK (160-60-80) y AV-PK (00-60-80).

La Uniformidad (E) de la comunidad de arvenses en las parcelas estudiadas varió de media a alta, resaltando la relación inversa de ésta con la riqueza de especies (S), según lo observado por Perdomo *et al.* (2004), quienes mencionan que de forma general se aprecia que cuando los valores de S aumentan la E se ve disminuida debido a la dominancia de unas cuantas especies.

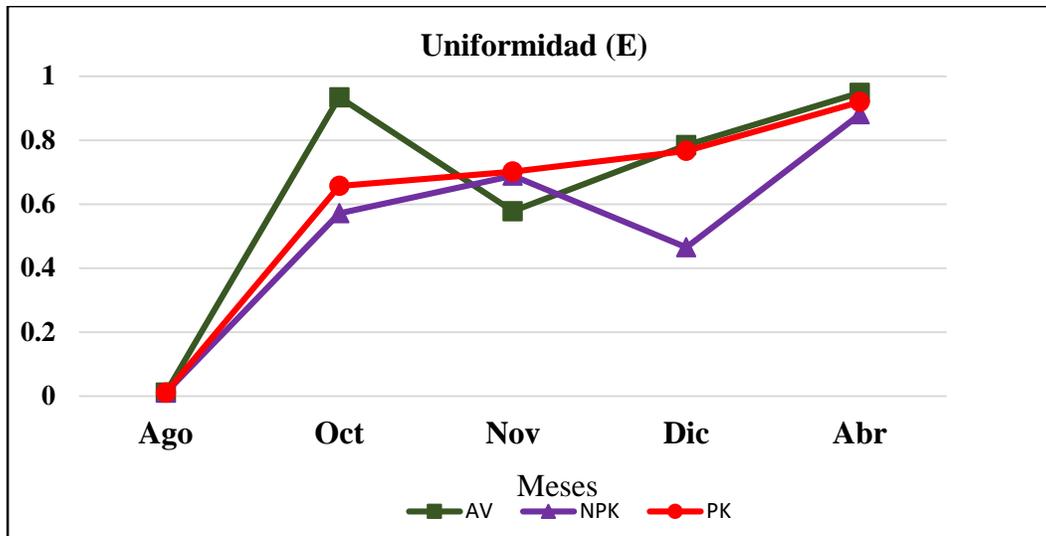


Figura 24. Comportamiento de la uniformidad (E) de especies de arvenses en caña de azúcar con tres tratamientos de fertilización: abono verde (AV), nitrogenada NPK (160-60-80) y AV-PK (00-60-80).

En el Cuadro 5 se concentraron los valores del Índice de Valor de Importancia (IVI) y sus componentes de las cuatro especies de arvenses más importantes de la comunidad por cada fecha de muestreo y tratamiento. En general, no se detectó que la presencia de alguna(s) especie(s) estuviera influenciada por algunos de los tratamientos. En la primera fecha, cuando aún no se habían establecido los tratamientos, solo se realizó un muestreo, en el que *P. fasciculatum* tuvo los valores más altos de densidad y frecuencia, pero no de dominancia, donde fue superado por *J. tamnifolia*; para esta fecha destacaron también *C. rotundus* e *I. triloba*. Castillo-Caama *et al.* (2010) reporta que algunas arvenses con mayor frecuencia acumulan mayor biomasa y tienen reservorios que contribuyen a que nuevos propágulos puedan establecerse.

En el caso de las dos primeras y la última se trata de plantas anuales, nativas, que están bien adaptadas y aprovechan las condiciones que el trópico les ofrece para alargar su permanencia en las áreas de cultivo e interferir sus rendimientos (Sánchez-Ken *et al.*, 2012; Vibrans, 2009; Carranza, 2008). *C. rotundus*, en cambio es perenne e introducida, una de las más importantes de los trópicos, ya que es la que se ha localizado en más países, regiones y localidades del mundo que ninguna otra maleza (Holm *et al.*, 1977) y, aunque no tolera suelos salinos ni sombra, puede vivir en cultivos de temporal y riego, plantaciones de cítricos, canales, zanjas de drenaje márgenes de bosques, áreas perturbadas y/o abandonadas (Doll, 1986).

Para cuando se realizó el corte de *S. herbacea*, en la parcela AV *J. tamnifolia* sigue presentado el valor más alto de dominancia e IVI, aunque es superado en frecuencia por *U. fasciculata* y en densidad por *S. setuloso-ciliata*. En donde hubo aplicación de fertilizante nitrogenado las dos primeras especies invirtieron su orden, *U. fasciculata* figura con el mayor IVI, consecuencia de su alta densidad, en este caso *J. tamnifolia* presentó valores altos de FR y DoR. En la parcela sin nitrógeno *C. rotundus* fue la más importante, seguida por las dos que ocuparon los primeros lugares en los otros tratamientos. Los valores altos de frecuencia (FR) y dominancia (DoR) que *J. tamnifolia* presentó están relacionados con su capacidad de trepar sobre otras plantas y extenderse sobre el suelo, de modo que uno o pocos individuos pueden estar ocupando superficies importantes (Carranza, 2008a)

A un mes de la incorporación de la leguminosa al suelo *C. rotundus* presentó el mayor IVI en los tres tratamientos, *J. tamnifolia* no se encontró en la parcela AV, pero tuvo los valores más altos de dominancia en las otras dos, donde estuvo en tercer y segundo lugar, respectivamente; en este muestreo también destacaron *L. crustacea*, con valores altos de De y F y *L. octovalvis*. La importancia de las dos últimas está influenciada por las condiciones de humedad imperantes en el suelo dadas por las lluvias características de la época de nortes, ya que ambas especies son comunes de sitios anegados (Vibrans, 2009, Tropicós, 2019). Obrador-Olán *et al.* (2019) mencionan que *L. crustacea* tolera condiciones de inundación y no es considerada como maleza en los sistemas de producción agrícola, sólo se ha reportado en los cultivos de arroz y malanga.

Cuadro 5. Valores relativos de los índices de Densidad (DeR), Frecuencia (FR) y Dominancia (DoR), y del índice de valor de importancia (IVI) de las cuatro principales especies de arvenses en el cultivo de caña. Tratamientos: abono verde (AV), con fertilización nitrogenada 160-60-80 (N) y fertilización sin N 00-60-80 (P).

Muestreo inicial (31/8/2018)				
Nombre	DeR	FR	DoR	IVI
<i>Paspalum fasciculatum</i>	47.648	26.923	37.202	111.77
<i>Jacquemontia tamnifolia</i>	13.228	25.071	42.544	80.843
<i>Cyperus rotundus</i>	9.389	21.795	12.36	43.543
<i>Ipomoea triloba</i>	14.286	11.111	3.509	28.906
Segundo muestreo (5/10/2018)				
Tratamiento 1: AV				
<i>Jacquemontia tamnifolia</i>	19.074	29.726	33.816	82.616

<i>Urochloa fasciculata</i>	16.296	30.159	16.311	62.766
<i>Scleria setuloso-ciliata</i>	21.111	7.792	11.579	40.482
<i>Saccharum</i> sp	14.815	5.556	12.195	32.565
Tratamiento 2: 160-60-80				
<i>Urochloa fasciculata</i>	41.667	17.778	23.276	82.721
<i>Jacquemontia tamnifolia</i>	13.79	28.611	26.542	68.942
<i>Cyperus rotundus</i>	28.571	16.667	11.494	56.732
<i>Ocimum micranthum</i>	8.333	10	9.942	28.275
Tratamiento 3: 00-60-80				
<i>Cyperus rotundus</i>	53.495	34.815	41.303	129.61
<i>Urochloa fasciculata</i>	26.798	20.37	19.389	66.558
<i>Jacquemontia tamnifolia</i>	9.505	20.37	24.991	54.867
<i>Sesbania herbacea</i>	8.447	21.111	12.607	42.165
Tercer muestreo (8/11/2018)				
Tratamiento 1: AV				
<i>Cyperus rotundus</i>	42.435	23.875	47.232	113.54
<i>Lindernia crustacea</i>	36.597	19.272	17.919	73.788
<i>Ludwigia octovalvis</i>	5.803	11.326	5.21	22.339
<i>Echinochloa colona</i>	3.802	8.366	5.324	17.493
Tratamiento 2: 160-60-80				
<i>Cyperus rotundus</i>	31.862	23.219	23.79	78.872
<i>Lindernia crustacea</i>	31.535	16.952	14.321	62.808
<i>Jacquemontia tamnifolia</i>	3.782	11.396	18.324	33.502
<i>Peperomia pellucida</i>	6.545	9.259	7.03	22.834
Tratamiento 3: 00-60-80				
<i>Cyperus rotundus</i>	39.201	25.943	27.151	92.294
<i>Jacquemontia tamnifolia</i>	26.365	20.06	30.841	77.266
<i>Lindernia crustacea</i>	9.681	11.614	7.39	28.685
<i>Ludwigia octovalvis</i>	8.091	7.843	3.993	19.927
Cuarto muestreo (3/12/2018)				
Tratamiento 1: AV				
<i>Cyperus rotundus</i>	58.143	48.611	50.618	157.37
<i>Saccharum</i> sp	7.831	16.667	21.184	45.681
<i>Acmella repens</i>	13.721	11.111	8.604	33.436
<i>Paspalum fasciculatum</i>	13.375	9.722	7.93	31.028
Tratamiento 2: 160-60-80				
<i>Paspalum fasciculatum</i>	45.955	25.556	34.347	105.86
<i>Jacquemontia tamnifolia</i>	20.238	24.575	42.273	87.086
<i>Cyperus rotundus</i>	8.807	21.111	11.411	41.329

<i>Ipomoea trifida</i>	4.762	8.824	3.125	16.71
Tratamiento 3: 00-60-80				
<i>Cyperus rotundus</i>	42.319	30.916	28.232	101.47
<i>Scleria setuloso-ciliata</i>	19.13	21.392	14.169	54.692
<i>Paspalum fasciculatum</i>	18.841	5.556	13.675	38.071
<i>Jacquemontia tamnifolia</i>	6.57	13.348	13.134	33.051
Quinto muestreo (25/4/2019)				
Tratamiento 1: AV				
<i>Ipomoea triloba</i>	13.095	16.667	18.403	48.165
<i>Caperonia palustris</i>	15.659	16.204	11.837	43.7
<i>Ipomoea purpurea</i>	10.897	12.037	18.571	41.505
<i>Phyllanthus niruri</i>	14.286	12.5	13.889	40.675
Tratamiento 2: 160-60-80				
<i>Lindernia crustacea</i>	33.81	31.111	25.789	90.71
<i>Phyllanthus niruri</i>	12.857	18.889	22.09	53.836
<i>Cyperus rotundus</i>	19.444	14.286	14.394	48.124
<i>Caperonia palustris</i>	8.333	9.524	10.606	28.463
Tratamiento 3: 00-60-80				
<i>Lindernia crustacea</i>	22.756	18.651	19.858	61.266
<i>Senna obtusifolia</i>	16.667	16.667	20.565	53.898
<i>Hyptis brevipes</i>	16.667	14.286	14.216	45.168
<i>Ipomoea trifida</i>	12.5	14.286	14.706	41.492

Al segundo muestreo de la incorporación del AV, *C. rotundus* continuó teniendo los valores más altos en todos los parámetros en los tratamientos AV y fertilización sin N, en el tratamiento con N fue desplazada al tercer sitio por *P. fasciculatum*, que resaltó también en los otros tratamientos, y *J. tamnifolia* que presentó el valor más alto de Do. En este caso destacaron *A. repens* en AV, *I. trifida* en NPK y *S. setuloso-ciliata* en PK. En el caso de *A. repens* y *S. setuloso-ciliata* se trata de malezas comunes de suelos húmedos de pantanos, orillas de arroyos, lagunetas, canales y campos inundados propios de la época en el área de estudio. La última, común en el cultivo de arroz, además de competir con el cultivo, tiene hojas cortantes; pero su biomasa puede servir para mejorar el suelo en sitios húmedos (Rojas, 2010; Rzedowski y Rzedowski, 2008)

En el último muestreo, realizado justo antes de la cosecha de la caña, la especie más importante en los tratamientos fertilizados fue *L. crustacea*, presentado los valores más altos en todos los parámetros, excepto en Do en el último tratamiento, donde fue superada por *S. obtusifolia*; en AV

I. triloba tuvo el mayor IVI pero fue superada en De por *C. palustris*, que también figuró en NPK; *P. niruri* tuvo el segundo IVI en NPK y el cuarto en AV donde, a pesar de ser superado por *I. purpurea* fue más importante en De y F. *S. obtusifolia* se reporta como anual pero realmente puede localizarse todo el año en orillas de cultivos y caminos, zanjas, pastizales y terrenos baldíos; Rojas (2010) la reporta con potencial como AV. Pasa lo mismo con *C. palustris*, a veces se reporta como anual, otras como perenne, Koger *et al.* (2004) señalan que cada planta produce en promedio 900 semillas y que 90% de ellas son viables, pero exhiben dormancia que no se rompe fácilmente; la temperatura óptima para que las semillas germinen va de 30 a 40°C y no lo hacen en inundación, aunque las plántulas pueden sobrevivir a ella varias semanas. Finalmente, *I. purpurea* ha sido registrada como maleza al menos en 25 cultivos, en los que puede formar poblaciones densas que se enredan en las plantas y dificultan la cosecha (Villaseñor y Espinosa, 1998).

2.4 CONCLUSIONES

La composición florística del área muestreada consistió de 38 especies que corresponden a 34 géneros y 18 familias botánicas; 73.5% de las especies pertenecen al grupo de las dicotiledóneas o malezas de hoja ancha. Las familias mejor representadas fueron: Poaceae, Convolvulaceae y Euphorbiaceae. Las especies que destacaron fueron *C. rotundus* (coquillo), *J. tamnifolia* (algodoncillo), *P. niruri* (tamarindillo) e *I. triloba*, la primera encontrada en todos los muestreos y tratamientos.

Los parámetros de diversidad de la comunidad de arvenses mostraron valores más altos de riqueza en el mes de noviembre en los tres tratamientos, pero todo el tiempo fueron mayores en la parcela NPK; las parcelas AV y sin fertilizante mostraron valores bajos en octubre y diciembre. La diversidad varió en general, de baja a media, debido a la competencia que representó *S. herbacea*, en especial en la parcela AV en octubre; en todos los tratamientos la mayor diversidad se observó en el último muestreo. Finalmente, la Uniformidad varió de media a alta, resaltando la relación inversa de ésta con la riqueza.

Respecto al IVI, en general no se detectó que la presencia de alguna especie estuviera influenciada por los tratamientos. En general, las especies más importantes corresponden a plantas nativas de ciclo anual, con excepción de *C. odoratus* que es una especie introducida y perenne, aunque la mayoría de ellas tienen periodos largos de permanencia en el área, como es el caso de *J. tamnifolia*, *P. niruri*, *I. triloba*, *L. crustacea*, *S. setuloso-ciliata* y *P. fasciculatum*. El éxito de algunas de ellas radica en la ventaja que les confiere el contar con estrategias específicas que aseguran su permanencia, como tener una gran producción de semillas, presentar periodos largos de dormancia, o tener la opción de reproducirse por vía sexual y vegetativa.

2.5 LITERATURA CITADA

- Blanco-Valdes Y. 2016. El rol de las arvenses como componente en la biodiversidad de los agroecosistemas. *Cultivos Tropicales* 37(4):34-56.
- Carranza E., J. Rzedowski R., y G. Calderón de R. 2008. Diversidad del género *Ipomoea* L. (Convolvulaceae) en el estado de Michoacán, México. *Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes. Fascículo complementario 23*. Instituto de Ecología, Centro Regional del Bajío. Pátzcuaro, Michoacán, México. 1-122.
- Carranza E. 2008. Convolvulaceae II. *Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes. Fascículo 155*. Instituto de Ecología, Centro Regional del Bajío. Pátzcuaro, Michoacán, México. 1-109.
- Carrillo A.E., J. Vera E., J.C. Alamilla M., J.J. Obrador O., E. Aceves. N. 2008. Como aumentar el rendimiento de la caña de azúcar en Campeche. *Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco, Km 36.5, Montecillo, Estado de México*. 1-95.
- CONADESUCA (Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar). 2016a. *Atlas de la agroindustria de la caña de azúcar 2015. Primera edición, México* 11-148.
- CONADESUCA (Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar). 2016b. *Identificación de paquetes tecnológicos para el cultivo de caña de azúcar en las regiones cañeras de México* 2-65.
- Concenço G., R.A. Leme Filho J., J. Silva C., F. Marques R. F., B.X. Silva L, V. T. Correi I. 2016. Weed occurrence in sugarcane as function of variety and ground straw management. *Planta Daninha* 34(2):219-28.
- Doll J.D. 1996. *Cyperus rotundus* L. Capítulo IV: Gramíneas y ciperáceas. En: Labrada, R., Caseley J. C. y Parker, C. *Manejo de Malezas para Países en Desarrollo*. FAO Producción y Protección Vegetal 120. Roma, Italia. <http://www.fao.org/3/T1147S/t1147s08.htm>. Consultado el 22/10/19.
- Figuroa R.K.A., M.T. García A., Y. Mayett M., F. Hernández R., y B. Figuroa S. 2015. Factores que explican el rendimiento de caña de azúcar a nivel municipal en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6(4):1345-1358.

- Gómez-López J.A., M. Hernández., R. Díaz, y J. Vargas. 2011. Caracterización de la flora arvense asociada a un cultivo de maíz bajo riego para la producción de jojotos. *Agronomía Tropical* 61 (2):133-139.
- García-Jiménez P. 2015. Flora asociada al cultivo de caña de azúcar (*Saccharum sp.*) en el municipio de Cárdenas, Tabasco. Tesis. Tabasco, México: Instituto Tecnológico de la Zona olmeca.
- Guerrero-Peña A., A. de la Cruz-Pons, y J. Velasco-Velasco. 2017. Interpretación del análisis de suelos cañeros basado en las relaciones entre propiedades y elementos. *Agroproductividad* 10(11): 87-92.
- Holm L.G., L. Plucknett D., V. Pancho J., y P. Herberger J. 1977. Las peores malezas del mundo: distribución y biología. Centro Este-Oeste, University Press of Hawaii. 1-609
- Kim, Y. S., P. Yong G., G. Hyo-suk, H. Young H. and P. Joo K. 2013. Importance of Harvesting Time of Winter Cover Crop Rye as Green Manure on Controlling CH₄ Production in Paddy Soil Condition. *Funciones de la materia orgánica natural en un entorno cambiante.* Springer, Dordrecht 485-488.
- Koger, C.H., K.N. Reddy, and D.H. Poston. 2004. Factors affecting seed germination, seedling emergence, and survival of texas weed (*Cyperus palustris*). *Weed Science* 52:989-995.
- Li F., X. Wang, J. Dai, Q. Li, X. Wang, C. Xue, H. Liu, and G. He. 2015. Fate of nitrogen from green manure, straw, and fertilizer applied to wheat under different summer fallow management strategies in dryland. *Springer Berlin Heidelberg* 51:769-780.
- Magurran A.E. 1988. *Diversidad Ecológica y su medición.* Ediciones Vedra, Barcelona, España 1-200.
- Mostacedo B., y S. Fredericksen T. 2000 *Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal.* Santa Cruz 21-87.
- Obrador-Olán J.J., E. García-López, L.E. Almeyda-Santos, M. Castelán-Estrada, y E. Carrillo-Ávila. 2019. Weeds in a Sugar Cane Soil Cultivated with *Crotalaria juncea*. *Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas* 37:1-10.

- Palma-López D.J., J. Cisneros D., E. Moreno C. y J.A. Rincón-Ramírez. 2007. Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. Colegio de Postgraduados-ISPROTAB FUPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México. 1-199.
- Perdomo R., F.H. Vibrans L., A. Romero M., J.A. Domínguez V. y J.L. Medina P. 2004. SHE, una herramienta para estudiar la diversidad de maleza. *Revista Fitotecnia Mexicana* 27(1): 57-61.
- Pérez D., Ascencio J., V. Lazo J., y M. Castro. 2014. Inventario florístico y distribución de malezas presentes en asociación con caña de azúcar antes del cierre del dosel del cultivo en Chivacoa, estado Yaracuy. *Ernstia* 24(1):25-40.
- Rzedowski J. y G.C. Rzedowski. 2008. Compositae. Tribu Heliantheae I: géneros *Acmella-Jejea*. Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes. Fascículo 157. Instituto de Ecología, Centro Regional del Bajío. Pátzcuaro, Michoacán, México. 12-20.
- Ramos-Hernández E., A. Sol-Sánchez, A. Guerrero-Peña, J.J. Obrador-Olán, y E. Carrillo-Ávila. 2011. Efecto de *Arachis pintoi* sobre las arvenses asociadas al plátano macho (*Musa AAB*), Cárdenas, Tabasco, México. *Agronomía mesoamericana* 22(1):51-62.
- Rodríguez T.D., R. N. Barbosa G., y E. Rodríguez V. 2019. Manejo de arvenses en caña de azúcar, impacto ambiental, efectividad económica y de control. *Centro Agrícola* 46(2):64-71
- Rojas C.S. 2010. Malezas de México. Cyperaceae; *Scleria setuloso-ciliata* Boeckeler. conabio.gob.mx/malezasdemexico/cyperaceae/scleria-setuloso-ciliata/fichas/ficha.htm Consultado el 31/10/19.
- Salgado-García S., J. Izquierdo-Hernández, L. Lagunes-Espinoza, D. J. Palma-López, S. Córdova Sánchez, H. Ortiz Laurel, y M. Castelán-Estrada. 2017. Consumo de nitrógeno por cultivares de caña de azúcar en Tabasco, México. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias* 49(1):45-59.
- Sánchez-Blanco J. y F. Guevara-Féfer. 2013. Plantas arvenses asociadas a cultivos de maíz de temporal en suelos salinos de la ribera del Lago de Cuitzeo, Michoacán, México. *Acta Botanica Mexicana* 105:107-129.

- Sánchez-Ken J. G. 2012. Sinopsis de Digitaria (Paniceae, Panicoideae, Poaceae) en México, incluyendo la especie Digitaria michoacanensis. Acta botánica mexicana (101):127-149.
- Sentíes-Herrera H.E., A. Valdez-Balero, R. Loyo-Joachin, y F.C. Gómez-Merino. 2017. Fases experimentales en el mejoramiento genético de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en México. Agroproductividad 10(11):93-98.
- Sheahan C.M. 2013. Plant guide for bigpod sesbania (*Sesbania exaltata*). USDA (Natural Resources Conservation Service) - Cape May Plant Materials Center 1-4.
- Shukla S.K., K. Singh K., D. Pathak A., P. Jaiswal V. y S. Solomon. 2017. Crop Diversification Options Involving Pulses and Sugarcane for Improving Crop Productivity, Nutritional Security and Sustainability in India. Sugar Tech 19(1):1-10
- SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2016. Estadística de producción agrícola de 2016.
- Sundara B. 2011. Agrotechnologies to Enhance Sugarcane Productivity in India. Sugar Tech 13(4):281-298.
- Tropicos 2019. Linderniaceae: *Lindernia crustacea* (L.) F. Muell. Tropicos.org. Missouri Botanical Garden. <http://www.tropicos.org/Name/29201037>. Consultado el 30/10/19
- Tukaew S., Datta A., G. Shivakoti P., y D. Jourdain. 2016. Production Practices Influenced Yield and Commercial Cane Sugar Level of Contract Sugarcane Farmers in Thailand. Sugar Tech 18(3):299-308.
- Velasco-Velasco J., F.C. Gómez-Merino, A.S. Hernández-Cázares, J. Salinas-Ruiz y A. Guerrero-Peña. 2017. Residuos orgánicos de la agroindustria azucarera: retos y oportunidades. Agroproductividad 10(11):99-104.
- Vera A. D.F., M. Llugany i O., C. Suárez C. y R. Wills F. 2018. Biodiversidad intraespecífica varietal para mejorar ambientes degradados por monocultivos en Musáceas, como medida de control de plagas y enfermedades. Tesis doctoral. Facultad de Biociencias, Universitat Autònoma de Barcelona 1-157.

Villaseñor-Ríos J.L. y F.J. Espinosa-García. 1998. Catálogo de malezas de México. Universidad Nacional Autónoma de México. Consejo Nacional Consultivo Fitosanitario. Fondo de Cultura Económica. México, D.F. 1-448.

Vibrans H. 2009. Malezas de México. <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/2inicio/paginas/lista-plantas.htm> Consultado el 31/10/19.

Zhang H., Sun, Y., Li, Y., Sun, G., Yuan, F., Han, M., Duan, Y., Ji, Z., Zhu, R., Shen, J. and Ran, W. 2019. Composted manure and straw amendments in wheat of a rice–wheat rotation system alter weed richness and abundance. *Weed Sci.* 67:318–326.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Conclusiones

El nitrógeno aportado por el abono verde *Sesbania herbacea* no fue suficiente para cubrir la demanda del cultivo de caña azúcar en fase semilla y restaurar la fertilidad edáfica, aunque en los muestreos de suelo posteriores a su incorporación hubo incremento en los contenidos de MO, N, P y K en los tres tratamientos, por lo que esta práctica representa una alternativa viable para reducir la degradación en las propiedades fisicoquímicas y biológicas de los suelos cañeros relacionados con la quema de residuos.

El mayor rendimiento de tallos de caña de azúcar se obtuvo en el tratamiento con fertilización NPK 160-60-80.

La calidad industrial de la caña de azúcar variedad COLPOSCTMEX 06-039 fue similar en todos los tratamientos de fertilización probados.

Las variaciones de la comunidad de arvenses fueron estacionales, no estuvieron relacionadas con los tratamientos. Las especies más importantes: *J. tamnifolia*, *P. niruri*, *I. triloba*, *L. crustacea*, *S. setuloso-ciliata*, *P. fasciculatum* y *C. odoratus* son nativas de ciclo anual, excepto la última; cuyas ventajas son tener una gran producción de semillas, periodos largos de dormancia y la posibilidad de reproducirse sexual y vegetativamente.

2. Recomendaciones

- Para evitar la competencia entre las dos especies asociadas (*S. herbacea*-Caña de azúcar) se recomienda sembrarlos en rotación, cuando se voltea el cultivo de caña de azúcar, por la disminución de rendimiento, en ese lapso de tiempo que cañicultor le da descanso al suelo.
- La semilla de *S. herbacea* debe sembrarse el día que se realiza la preparación del terreno para asegurar que la germinación sea uniforme en el terreno mecanizado, y evitar con esto la competencia con arvenses.
- Asegurar que el suelo tenga las condiciones óptimas de humedad, preferente suelo anegado, para que la leguminosa pueda desarrollarse adecuadamente en las primeras semanas de su desarrollo.