



PHYSICOCHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL PROPERTIES OF SOILS WITH SUGARCANE AND MAIZE UNDER IRRIGATED AND RAINFED CONDITIONS †

[PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DE SUELOS CON CAÑA DE AZÚCAR Y MAÍZ BAJO CONDICIONES DE RIEGO Y TEMPORAL]

**Liliana Armida-Alcudia, Francisco Osorio-Acosta*,
Rosaura Jose-Pablo and Sandra Ramírez Luna**

Colegio de Postgraduados-Campus Veracruz, Manlio F. Altamirano, Veracruz, México. Km. 88.5 Carretera Federal Xalapa-Veracruz, Predio Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México. CP 91690. Email. fosoriaa@colpos.mx

**Corresponding author*

SUMMARY

Background: Sugarcane and maize are two main crops in Mexico, and the soil characteristics are important for their proper grow. Soil suitability is assessed through indicators which are chemical, physical and biological. **Objective:** Therefore, we compared physical, chemical and microbiological soil properties in two agroecosystems, one with sugarcane and one with maize, under irrigation and rainfed conditions, so as to detect soil quality changes in each condition. **Methodology:** Soil samples were evaluated for pH, N, P, K, Ca, Mg, Na, organic matter, cationic exchange and texture, based on the NOM-021-RECNAT-2000. The number of microorganisms was quantified in each agroecosystem, using four culture media. Data was examined with an analysis of variance and Tukey mean test ($P \leq 0.05$). **Results:** Soil quality was low in localities with maize, and there were not statistical differences among them; but it was better in sugarcane under rainy season-based cropping system than under irrigation. More microorganism colonies were found in maize under irrigation and sugarcane under rainy season-based cropping system. **Implications:** It is important to establish conservation measures that allow buffering and preserving soil and nutrient losses to maintain their productive capacity, especially in soils with more years of production. **Conclusions:** Soils under rainy season-based cropping system, with both agroecosystems, presented better nutritional contents in comparison with those under irrigation. The largest number of microorganisms in corn under irrigation and sugarcane under rainfed conditions could be because the pH was higher than the other two agroecosystems.

Key words: Agroecosystem; soil microorganisms; soil quality.

RESUMEN

Antecedentes: La caña de azúcar y el maíz son dos cultivos sustantivos en México y las características del suelo donde se cultivan son importantes para su desarrollo. El estado del suelo se evalúa a través de indicadores los cuales son químicos, físicos y biológicos. **Objetivo:** Se compararon las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del suelo en dos agroecosistemas, uno con caña de azúcar y uno con maíz, bajo condiciones de riego y de temporal, para detectar cambios en la calidad del suelo. **Métodos:** A las muestras de suelo se les determinó el pH, MO, N, P, K, Ca, Mg, Na, CIC y textura, de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000. Se cuantificó el número de microorganismos en cada agroecosistema utilizando cuatro medios de cultivo. Los resultados se sometieron a un análisis de varianza y una prueba de medias de Tukey ($P < 0.05$). **Resultados:** Los sitios con maíz presentaron menores niveles de calidad del suelo, y no existieron diferencias estadísticas entre ellos; en contraste, el sitio con caña de azúcar en condiciones de temporal presentó mejor calidad del suelo con relación al de riego. El mayor número de microorganismos se encontró en maíz de riego y en caña de temporal. **Implicaciones:** Es importante establecer medidas de conservación que permitan amortiguar y preservar las pérdidas de suelo y nutrimentos para mantener su capacidad productiva, en particular en suelos con más años de producción. **Conclusiones:** Los suelos bajo condiciones de temporal, con ambos agroecosistemas, presentaron mejores contenidos nutrimentales en comparación con los de riego. El mayor número de microorganismos en maíz de riego y caña de temporal pudo deberse a que el pH fue mayor en relación a los otros dos agroecosistemas.

Palabras clave: Agroecosistemas; microorganismos del suelo; calidad del suelo.

† Submitted December 21, 2019 – Accepted June 16, 2020. This work is licensed under a CC-BY 4.0 International License. ISSN: 1870-0462.

INTRODUCCIÓN

En México, el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) ocupa el séptimo lugar en superficie cultivada con 673 480 hectáreas, generando 440 mil empleos directos y aportando 2.1% al PIB y 8.6% al PIB agropecuario; además, el rendimiento por hectárea a nivel municipal del cultivo de caña de azúcar, se atribuye a factores de manejo del cultivo, ambientales, los servicios disponibles y aspectos sociales (Figueroa-Rodríguez *et al.*, 2015). En México el maíz (*Zea mays* L.) es un recurso de profunda importancia social, cultural y alimentaria, cuya producción rige la vida familiar y comunitaria de campesinos tradicionales en crisis, incrementada por los cambios de clima (Munguía-Aldama *et al.*, 2015). Ambos cultivos son demandantes de nutrimentos del suelo y si no se cuida la fertilidad puede degradarse, si se practica o continúa practicando el monocultivo.

La calidad del suelo se mide y describe mediante indicadores físicos, químicos y biológicos (Soil Quality Indicators (SQI), 2015). Cada uno de estos indicadores corresponde a las propiedades del suelo, las cuales son: a) físicas, tales como textura, porosidad, densidad aparente, capacidad de retención de agua, formación de costra y compactación; b) químicas, como materia orgánica, pH, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico, concentraciones de nitrógeno, fósforo y potasio; y c) biológicas, que incluyen poblaciones de micro y macroorganismos (United States Department of Agriculture (USDA, 1996; Estrada-Herrera *et al.*, 2017).

Para el diagnóstico de los cambios en la calidad del suelo es fundamental que se contemple y estudien por separado los indicadores mencionados, debido a que entre ellos existe una estrecha interrelación y dependencia; por lo que la interpretación de algunos se puede inferir en el comportamiento de otros (García *et al.*, 2012). El uso histórico del suelo tiene grandes efectos sobre la variabilidad de sus propiedades; diferencias en el manejo del agua, de los fertilizantes y de los abonos orgánicos, tanto en el tipo como en la forma de aplicarlos, generan diferencias en la variabilidad del contenido de nutrientes en el suelo (Jaramillo, 2012). Por tanto, el objetivo del presente estudio fue comparar las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del suelo, en cuatro agroecosistemas dos con caña de azúcar y dos con maíz, bajo condiciones de riego y de temporal, para detectar cambios en la calidad del suelo por su cultivo continuo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características agronómicas de los cultivares en los sitios muestreados

Se evaluaron dos agroecosistemas en cuatro sitios de cultivo, dos fueron con cultivo de caña de azúcar y dos con maíz, bajo dos manejos: de temporal y riego. En el sitio El Potrero se ubicó un agroecosistema con caña de azúcar, variedad CP 72-2086. Se ha cultivado durante 100 años en condiciones de riego con un manejo intensivo. El rendimiento potencial promedio del cultivo en el sistema tradicional es de 120 t ha⁻¹. El cultivo se desarrolla en un suelo plano, barroso con altos contenidos de arcillas clasificados como Vertisoles. La vegetación alledaña son cultivos de lima Persa y caña de azúcar. En el sitio Plan de Manantial, se ubicó el otro agroecosistema de caña de azúcar en condiciones de temporal, con la misma variedad. El rendimiento promedio del cultivo es de 115 t ha⁻¹, se ha cultivado por 18 años, con características de manejo tradicional. El tipo de suelo fue similar al sitio anterior, es decir, suelo plano, barroso, con altos contenidos de arcillas.

En la localidad Mata Tejón se evaluó el agroecosistema con maíz blanco variedad Dekalb 158 en condiciones de temporal con manejo tradicional, se cultivan dos ciclos por año y llega a tener un rendimiento promedio de 4 t ha⁻¹, sin embargo, en periodo de lluvia puede alcanzar hasta 6 t ha⁻¹, este sitio tiene 15 años produciendo maíz. El cultivo se desarrolla en un suelo con textura arenosa susceptible a la erosión. En el sitio Tepetates se evaluó el otro agroecosistema con maíz variedad CP-569 en condiciones de riego, en este sitio se tienen 8 años de cultivar maíz. Este se cultiva en suelo con condiciones similares al sitio anterior, ambos suelos con texturas arenosas. El rendimiento potencial es de 3 a 6 t ha⁻¹. El manejo es tradicional, y su producción es para venta de semilla, principalmente.

Toma de muestra

El tipo de muestreo que se realizó fue por el método de zig-zag (Romero *et al.*, 2009). Se tomaron 16 submuestras de suelo por sitio a una profundidad de 0 a 30 cm, para obtener cuatro muestras compuestas de cada uno de los cuatro sitios muestreados. Las muestras de suelo se colocaron en bolsas de plástico con capacidad de 2 kg; se etiquetaron y trasladaron al laboratorio, donde se prepararon para el análisis fisicoquímico y microbiológico correspondiente. Para los análisis microbiológicos, las muestras de suelo colectadas se conservaron en un refrigerador a 4°C, hasta su procesamiento.

Análisis de propiedades físicas y químicas del suelo

Se determinó la textura, pH, materia orgánica (MO), conductividad eléctrica (CE), nitrógeno total (Nt), fósforo (P extraíble Olsen), potasio (K), carbono orgánico soluble (COS), calcio (Ca), magnesio (Mg) y capacidad de intercambio catiónico (CIC) de acuerdo con los procedimientos indicados en la norma oficial mexicana NOM-021-RECNAT-2000, en el Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Estas propiedades son empleadas como indicadores de cambios en la calidad del suelo. Además, a cada muestra se le determinó el porcentaje de humedad.

Análisis microbiológico del suelo

En la muestra compuesta de cada sitio se procedió a cuantificar el número de bacterias y hongos presentes, a través de cuatro medios de cultivo papa dextrosa agar, B King, Czapek-Dox y Thorton agar. De la muestra compuesta se tomó 1.0 g de suelo, se diluyó en 9 mL de agua y se mezcló en vortex hasta homogenizar, para hacer diluciones seriadas hasta la dilución final de 10^{-10} , de la cual se tomaron 10 μL y distribuyeron en una caja de Petri; en total se sembraron 10 cajas de Petri por dilución. Las cajas de Petri se incubaron a 25°C por 7 d. Posteriormente, se contabilizó el número de colonias bacterianas y de hongos. Los resultados se registraron en unidades formadoras de colonias por gramo de suelo (UFC g^{-1}) (Arrieta *et al.*, 2012). Los datos obtenidos de los análisis químicos y físicos se analizaron con medidas de tendencia central y de dispersión; se realizó, además, un análisis de varianza y una prueba de medias de Tukey ($P \leq 0.05$), mediante el uso del paquete Statistica v. 7.0, para comparar el manejo entre los sitios y por agroecosistema.

RESULTADOS

Propiedades físicas y químicas de los suelos

Agroecosistema con caña. El cultivo de caña de azúcar, tanto en condiciones de temporal como de riego, se desarrolló en un suelo con textura arcillosa ($> 40\%$), caracterizado por tener un drenaje lento y ser propenso a la compactación (Tabla 1). El pH presentó diferencias significativas entre el suelo de riego y el de temporal. El cultivo con riego tuvo un pH de 5.8, clasificado como moderadamente ácido, en comparación con el de temporal (6.6) clasificado como neutro. La materia orgánica presentó diferencias significativas en ambos agroecosistemas; en el cultivo

de riego el contenido de MO fue mayor (6.67 %), en comparación con el cultivo de temporal (2.29 %). El mayor contenido de MO en el cultivo de caña bajo condiciones de riego, en el sitio El Potrero, ocurrió por la adición de cachaza, un subproducto de la caña de azúcar la cual se realizó al inicio del ciclo de la caña; su efecto en el contenido de MO fue notorio, pero no así para otros nutrientes. No se presentaron diferencias significativas en el contenido de nitrógeno total en el cultivo de riego (0.13 %) y en el cultivo de temporal (0.14 %). Sin embargo, estos contenidos bajos de N se atribuyen a la producción continua de la caña en ambos sitios (de 18 a 100 años); el N tiende a estabilizarse en el suelo y al mismo tiempo a tener una tendencia a la baja, si el aporte de dicho elemento no es suministrado adecuadamente. Por otra parte, la incorporación de abonos orgánicos altera la relación C:N esta relación para todos los sitios fue mayor de 17; al ser una relación alta, provoca una fuerte inmovilización de N por parte de la biomasa microbiana, indicativo de que el elemento no está disponible y se requiere aplicar N suplementario. El P se presentó en altas concentraciones en los cuatro sitios de muestreo, siendo mayor en el agroecosistema con caña de azúcar en el sitio El Potrero, y en maíz en el sitio de Mata Tejón.

Se encontraron diferencias significativas en el contenido de K en el suelo en condiciones de riego ($0.26 \text{ cmol kg}^{-1}$), lo que permitió clasificar a dicho elemento como bajo, con respecto al de temporal ($0.37 \text{ cmol kg}^{-1}$), el cual presentó contenido medio (Tabla 1).

La concentración de calcio en el agroecosistema de ambos sitios presentó diferencias significativas entre sí; encontró una alta concentración ($14.71 \text{ cmol kg}^{-1}$) en el cultivo de temporal, comparado con el cultivo de riego ($6.74 \text{ cmol kg}^{-1}$) (Tabla 1). Aunque la concentración de Ca fue diferente, ambos suelos tienen un nivel de suficiencia de dicho elemento. La capacidad de intercambio catiónico no presentó diferencias significativas en ambos agroecosistemas; dicho indicador en el suelo con manejo de riego fue de $13.23 \text{ cmol kg}^{-1}$, mientras que con manejo temporal fue $17.27 \text{ cmol kg}^{-1}$; estos valores se encuentran clasificados como bajos y medios.

Agroecosistemas con maíz. En general, los indicadores físicos y químicos de los agroecosistemas cultivados con maíz, tanto con manejo de riego como de temporal, presentaron bajos niveles de fertilidad del suelo, con pH moderadamente ácido, pobres en materia orgánica, al igual que el contenido de carbono orgánico soluble y nitrógeno (Tabla 1).

Tabla 1. Propiedades físicas y químicas en un agroecosistemas con caña de azúcar y uno de maíz de Veracruz, México, bajo condiciones de riego y temporal.

Parámetro	Unidad de medición	Agroecosistema caña de azúcar		Agroecosistema maíz	
		Riego	Temporal	Riego	Temporal
pH	-	5.8 b	6.6 a	6.1	5.7
CE	$\mu\text{S cm}^{-1}$	30.99	54.74	36.61	46.53
MO	%	6.67 a	2.29 b	3.00	1.85
C/N		47	17	27	23
COS	%	3.87	1.33	1.74	1.07
Nt	%	0.14	0.13	0.11	0.08
P	cmol kg^{-1}	63.88	17.40	18.56	38.47
S	cmol kg^{-1}	11.92	13.13	12.16	11.76
K	cmol kg^{-1}	0.26 b	0.37 a	0.19	0.51
Ca	cmol kg^{-1}	6.74 b	14.71 a	8.38a	2.02b
Mg	cmol kg^{-1}	1.84	4.31	3.46	1.98
Na	cmol kg^{-1}	0.10	0.11	0.11	1.98
CIC	cmol kg^{-1}	16.23	17.27	8.36	12.66
Clasificación textura		Arcilla	Franco Arcilloso	Franco-arcillo-arenoso	Franco-arenoso

pH es la acidez del suelo; CE: conductividad eléctrica; MO: materia orgánica; COS: carbono orgánico del suelo; Nt: nitrógeno total; P: fósforo; S: azufre; K: potasio; Ca: calcio; Mg: magnesio; Na: sodio; CIC: capacidad de intercambio catiónico. Letras diferentes en la fila difiere estadísticamente.

Los bajos contenidos nutrimentales se deben al tipo de suelo que presentan, por lo que ambos agroecosistemas requieren de un manejo enfocado a incrementar su productividad, así como a conservar su fertilidad. Por otra parte, las prácticas tradicionales del agroecosistema de maíz en las dos localidades de muestreo influyen directamente en los contenidos de MO, debido a que no consideran la incorporación de residuos orgánicos ni la utilización de composta que repongan la materia orgánica que se mineraliza de forma natural. Los altos contenidos nutrimentales del cultivo de maíz se presentaron en el sitio de Tepetates (riego), lo que conduce a un mayor rendimiento del cultivo.

Propiedades microbiológicas. Para el caso de caña de azúcar, la población total de microorganismos fue mayor en condiciones de riego (1.17×10^{13} UFC g^{-1} de suelo) en comparación con la de temporal (Figura 1). Existe una correlación directa entre la textura del suelo y el número de microorganismos, al encontrar mayores unidades formadoras de colonia en suelos con textura arcillosa (caña de azúcar), con relación a la textura franco arenoso (maíz). La presencia de microorganismos totales (hongos y bacterias) en maíz de temporal fue significativamente mayor, con 9.56×10^{12} UFC g^{-1} de suelo, comparado con el manejo bajo riego.

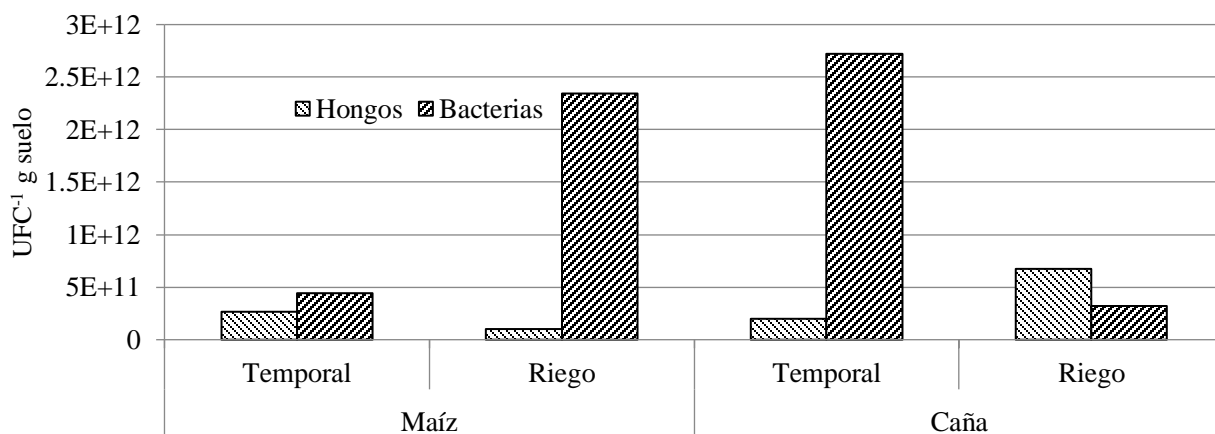


Figura 1. Microorganismos totales de hongos y bacterias presentes en suelo de agroecosistemas con maíz y caña de azúcar, bajo condiciones de temporal y riego.

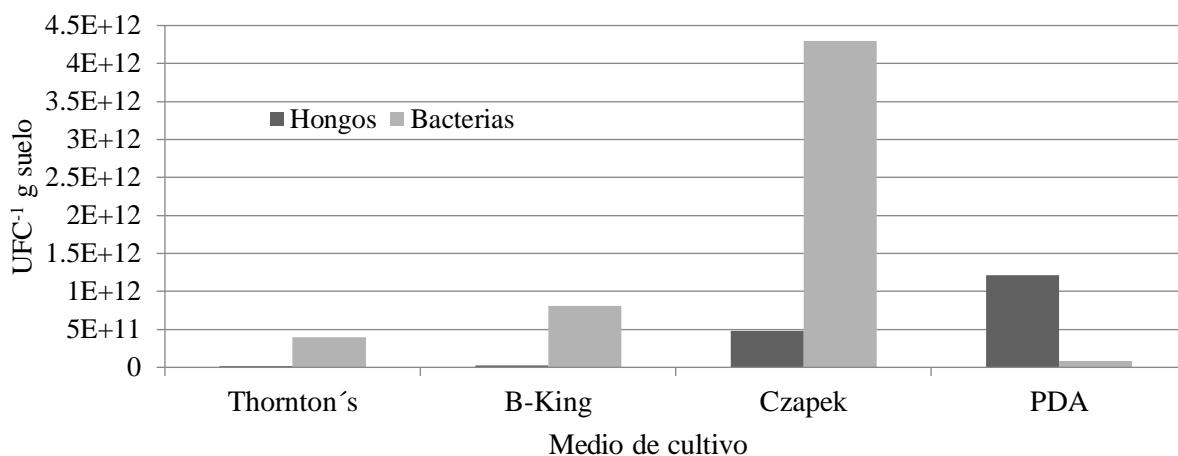


Figura 2. Cantidad total de bacterias y hongos por medio de cultivo.

Con relación al número de microorganismos por medio de cultivo, es clara la mayor cantidad de bacterias, en el medio Czapek (4.29×10^{12}) y en el medio PDA se obtuvo el mayor número de hongos (1.21×10^{12}) por gramo de suelo (Figura 2).

DISCUSIÓN

El pH del suelo con caña de azúcar fue similar a los que reportan Salgado-García *et al.* (2013), al indicar suelos clasificados como moderadamente ácidos. Resultados semejantes obtuvieron Ribón *et al.* (2003) y Armida-Alcudia *et al.* (2005), en suelos vertisoles con caña de azúcar de forma continua (30 años), y pH de 5.7; este tipo de suelo inicia una tendencia hacia la acidez, posiblemente por la pérdida de Ca y Mg extraídos por los tallos, así como el lavado de cenizas a través de las grietas y poros del suelo, ricas en estas bases.

El alto contenido de materia orgánica en caña de azúcar con riego, se le atribuye a la utilización completa de residuos provenientes de la cosecha del cultivo, lo cual mantiene la fertilidad, retiene la humedad y conserva la estructura del suelo (Loveland y Webb, 2003). Esto también es confirmado por Graham *et al.* (2002), ya que, al incrementar los residuos de cosecha al cultivo, también se aumenta el contenido de materia orgánica en el suelo. Por otra parte, estudios relacionados con indicadores de calidad del suelo concuerdan que la materia orgánica ejerce una influencia significativa sobre la calidad y productividad de éste (Trinidad-Santos y Velasco-Velasco, 2016). Otro factor relacionado con la calidad del suelo es la variación en la precipitación, ya que la humedad y la textura afectan la magnitud y dirección de los cambios en el contenido de MO. Por tanto, la comparación de la calidad de suelo debe estar referida a sitios con condiciones similares de suelo y clima (Campitelli *et al.*, 2010).

Ribón *et al.* (2003) indicaron que el contenido de nitrógeno total disminuyó significativamente a los 10 años (0.13), y se estabilizó entre los 20 y 30 años (0.14) de cultivo sin alcanzar el nivel inicial. Palma-López *et al.* (2002) indicaron que un suelo de tipo vertisol con monocultivo de caña de azúcar en la zona del ingenio Tenosique, Tabasco, restableció sus propiedades químicas con una dosis de fertilización (NPK) de 34, 0, 105 kg ha⁻¹. Por otra parte, Torres-Guerrero *et al.* (2016) concluyen que en el manejo agronómico de los Vertisoles en México es importante la fertilización, la aplicación de macro y micronutrientes (mediante material orgánico o sintético) para obtener mayores rendimientos y hacer productivos los agroecosistemas.

El bajo contenido de nitrógeno total en los suelos cultivados con caña de azúcar se debe a ciertas prácticas agronómicas, como la remoción de rocas por el proceso de mecanización, la quema del cultivo y la nula adición de enmiendas orgánicas (Ng Cheong *et al.*, 2013). Para revertir este daño, es necesario reducir la quema, incorporar los residuos de cosecha de la caña y fomentar las aplicaciones de cachazas y otras enmiendas orgánicas (Loveland y Webb, 2003).

En lo que respecta a los cationes, la disponibilidad del K en el cultivo de caña bajo condiciones de riego no es suficiente para su desarrollo; mientras que este mismo elemento, en el suelo con manejo de temporal presenta un nivel de suficiencia para satisfacer la demanda del cultivo. Reportes indican que en las aplicaciones de cachaza el potasio es uno de los elementos que se encuentra en niveles bajos (Aguilar, 2014), por lo que el aporte de este nutriente al suelo es mínimo. Los valores de potasio en el cultivo de caña (NOM-021-RECNAT-2000) pueden ser corregidos con abonos orgánicos ricos en él (Naranjo de la F. *et al.*, 2006; Bolio-López *et al.*, 2008).

En el caso del Ca, Etchevers *et al.* (1971) indicaron que una alta concentración ($>10 \text{ cmol kg}^{-1}$) de dicho elemento satisface la necesidad del cultivo; mientras que al presentar una baja concentración en el suelo induce a la acidez, a la disminución de la CIC y a la pérdida de la estructura del suelo (Jaiyeoba, 2003), tal y como se presenta en el suelo en condiciones de riego que lleva más de 100 años de cultivo con caña de azúcar.

La NOM-021-RECNAT-2000 clasifica la capacidad de intercambio catiónico como baja, cuando se tienen valores entre 5 y 15, y media con valores de 15 a 25. Bramley *et al.* (1996) mencionaron que el bajo contenido de la capacidad de intercambio catiónico se puede atribuir a un suelo que se ha cultivado por muchos años, en comparación con los recién abiertos al cultivo, como ocurre en los suelos con caña de azúcar bajo riego. Campitelli *et al.* (2010), en un estudio relacionado con la calidad del suelo, mencionaron que existe un deterioro en la calidad del suelo conforme se prolongan los años de agricultura y se incrementan las prácticas de monocultivo.

El tipo de suelo es un factor indicativo para definir las áreas agroecológicas con aptitud potencial para la producción de alimentos (Jiménez *et al.*, 2004), tal es el caso del cultivo de caña de azúcar, el cual puede prosperar en suelos que van de texturas arenosas, franco-arcillosas y arcillosas (Ridge, 2013).

El presente estudio coincide con lo indicado por Palma-López *et al.* (2002), al encontrar que los suelos con textura arcillosa tienen una permeabilidad moderadamente lenta, que manifiesta problemas de encharcamiento, dificulta la labranza en la época de lluvia y presenta deficiencias en el contenido de nitrógeno y potasio. López *et al.* (2010) indican que, en los suelos con textura arcillosa marginales con buen drenaje se pueden establecer cultivos con éxito; aunque no es una práctica común en la región de estudio.

En el caso del agroecosistema con maíz, las condiciones del suelo fueron contrastantes al agroecosistema con caña en sus propiedades; como cultivo de importancia tradicional en México, se adapta a todos los tipos de suelos y ambientes (Castillo-Nonato y Chávez-Mejía, 2013). Los menores contenidos de MO que se presentaron en el agroecosistema de temporal pueden ser consecuencia de una mayor exposición al laboreo continuo del suelo, lo que provoca una pérdida en la estabilidad de la estructura del recurso edáfico, además de un descenso en su contenido nutrimental (Medina-Méndez *et al.*, 2006; Alejo-Santiago *et al.*, 2012). Liu *et al.* (2006) señalaron que las actividades de preparación del suelo conllevan a una aceleración en la velocidad de agotamiento de la materia orgánica. Aunado a lo

anterior, la textura del suelo juega un papel importante en la mineralización de la materia orgánica, la cual, al ser arenosa, limita la presencia de biomasa microbiana que transforma el material orgánico; la falta de incorporación del mismo se conjuga para tener un empobrecimiento del suelo. Sánchez *et al.* (2012) indicaron que los rendimientos más altos de cultivo de maíz son aquellos que presentan mayor contenido y un mejor balance de nutrimentos en el suelo. En este caso, en el sitio con riego se presentaron mejores condiciones edáficas que en el sitio de temporal.

Doran (1980) reportó que las poblaciones microbianas varían en función a la cantidad de agua disponible en el suelo, ya que la humedad determina la supervivencia de los microorganismos presentes y, por tanto, el contenido de materia orgánica, el cual fue alto para este mismo sitio. Ramos y Zúñiga (2008) indicaron que la población de bacterias y hongos aumenta cuando se incrementa el porcentaje de humedad en el suelo. Sin embargo, Swędrzyńska y Grzés (2015) mencionaron resultados opuestos, al indicar que el total de microorganismos de poblaciones de hongos y bacterias en sistema tradicional de remolacha de azúcar bajo condiciones de temporal fue mayor, en comparación con el de riego. Hamarashid *et al.* (2010) obtuvieron mayor población de bacterias en suelo con textura arcillosa, en comparación a las que se presentan en suelo de textura arenosa. Esta diferencia se debe a que este último tiene baja capacidad de retención de agua, en contraste con un suelo arcilloso que tiene mayor capacidad de retención de agua y nutrimentos por un largo periodo de tiempo (Heritage *et al.*, 2003). Lo anterior se confirma con lo que reportan Meliani *et al.* (2012), al indicar que la textura del suelo influye significativamente en la actividad y cantidad de la biomasa microbiana. Estos resultados coinciden con Soto *et al.* (2012), quienes señalaron que las poblaciones bacterianas y fúngicas totales son menores al disminuir la calidad de las condiciones físicas y químicas del suelo, como es el contenido de materia orgánica, pH, CE, fósforo y magnesio, entre otros elementos. Las poblaciones microbianas de hongos y de bacterias son afectadas por diversos factores, como son la especie vegetal, edad, estado nutricional de la planta y condiciones ambientales (Tofiño *et al.*, 2012). Aunado a esto, las prácticas agrícolas, como son los sistemas de labranza intensiva (arado, rastreo), aplicaciones de fertilizantes y enmiendas (uso de estiércol y encalado), operaciones de riego y drenaje, uso de plaguicidas (fungicidas y herbicidas), así como la quema y el uso de monocultivo conllevan a la disminución de los microorganismos edáficos (Vallejo-Quintero, 2013; Murillo *et al.*, 2014). También Pupin *et al.* (2009) reportaron que las poblaciones de microorganismos se ven influenciadas por la compactación del suelo, efecto que puede alterar el ciclo de nutrimentos y, por ende, reducir los rendimientos del cultivo. Por lo tanto, la calidad de los

suelos en ambos cultivos es susceptible al tipo de agricultura y a las condiciones nutrimentales edáficas. En general, las poblaciones de microorganismos de bacterias y hongos encontradas en los agroecosistemas con caña de azúcar y maíz fueron mayores al aumentar el contenido de Ca, Mg y el pH.

CONCLUSIONES

Los agroecosistemas con caña de azúcar y maíz, bajo condiciones de temporal, presentaron mejores contenidos nutrimentales en comparación con los de riego. En el suelo que tiene mayor tiempo con monocultivos reflejó diferencias en la calidad del suelo, lo que afectó la mayoría de las propiedades evaluadas. Considerando lo anterior, existe la necesidad de establecer medidas de conservación que permitan amortiguar y preservar las pérdidas de suelo y nutrientes para mantener su capacidad productiva, en particular en suelos con más años de producción, como en el caso de la caña de azúcar con 100 años de producción y el maíz en condiciones de riego. El mayor número de microorganismos se encontró en maíz de riego y en caña de temporal, quizá porque el pH estaba arriba de 6 y la calidad del suelo fue mejor en relación al otro tipo de manejo.

Agradecimientos

Financiamiento. A la línea Recursos Naturales, Agroecosistemas y Cambio Climático por el apoyo para la presente investigación.

Conflicto de intereses. El autor afirma que no se conoce que exista conflicto de intereses en relación a la presente publicación.

Disponibilidad de datos. Los datos están disponibles con una solicitud formal al autor de correspondencia (fosorioa@colpos.mx)

Cumplimiento de normas éticas. No aplica para esta investigación.

REFERENCIAS

Aguilar, R., N. 2014. Usos para biorefinerías, biocombustibles y bioenergía. *In:* Mata V., H.; Rodríguez del Bosque., Rodríguez Del Bosque, L. A., Rodríguez-Morelos, V. H., Vázquez García, E. (eds). *Manejo integral de caña de azúcar*. pp.187-212.

Alejo-Santiago, G., Salazar-Jara, F. I., García-Paredes, J. D., Arrieta-Ramos, B. G., Jiménez-Meza, V. M. and Sánchez-Monteón. 2012. Degradación físico-química de suelos agrícolas en San Pedro Lagunillas, Nayarit.

Tropical and Subtropical Agroecosystems, 15, pp.323-328.

- Armida-Alcudia, L., Espinosa-Victoria, D., Palma-López, D. J., Galvis-Spinola, A. y Salgado-García, S. 2005. Carbono en biomasa microbiana y carbono soluble como indicadores de calidad de Vertisoles cultivados con caña de azucarera o azúcar. *Terra Latinoamericana*, 23(4), pp.545-551.
- Arrieta, R. O. M., Rivera, R. A. P., Arias, M. L., Rojano, B. A, Ruiz, O. y Cardona, G. 2012. Biorremediación de un suelo con diésel mediante el uso de microorganismos autóctonos. *Gestión y Ambiente*, 15(1), pp.27-39.
- Bolio-López, G. I., Salgado-García, S., Palma-López, D. J., Lagunés-Espinoza, L.C., Castelán-Estrada, M. y Etchevers-Barra, J. D. 2008. Dinámica del potasio en vertisoles y fluvisoles cultivados con caña de azúcar. *Terra Latinoamericana*, 26(3), pp.253-263.
- Bramley, R. G. V., Ellis, N., Nable, R. O. and Garside, A. L. 1996. Changes in soil chemical properties under long-term sugar cane monoculture and their possible role in sugar yield decline. *Australian Journal of Soil Research* 34, pp.967-984. doi:10.1071/SR9960967
- Campitelli, P., Aoki, A., Gudelj, O., Rubenacker, A. y Sereno, R. 2010. Selección de indicadores de calidad de suelo para determinar los efectos del uso y prácticas agrícolas en un área piloto de la Región Central de Córdoba. *Ciencia del Suelo*, 28(2), pp.223-231.
- Castillo-Nonato, J. y Chávez-Mejía, C. 2013. Caracterización campesina del manejo y uso de la diversidad de maíces en San Felipe del Progreso, Estado de México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 10, 23-38.
- Doran, J. W. 1980. Soil microbial y biochemical changes associated with reduced tillage. *Soil Science Society of American Journal*, 44, pp.765-771. doi:10.2136/sssaj1980.03615995004400040022x
- Estrada-Herrera, I. Rayo, Hidalgo-Moreno, Claudia, Guzmán-Plazola, Remigio, Almaraz Suárez, J. José, Navarro-Garza, Hermilio, & Etchevers-Barra, Jorge D. (2017). Indicadores de calidad de suelo para evaluar su fertilidad. *Agrociencia*, 51(8), 813-831. Recuperado en 13 de marzo de 2020
- Etchevers, B. J. D., W. Espinoza G. y E. Riquelme. 1971. *Manual de fertilidad y fertilizantes*. 2a.

- Edición corregida. Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía, Chillán, Chile.
- Figuroa-Rodríguez, K. A., García-García, A. M. T., Mayett-Moreno, Y., Hernández-Rosas, F. y Figuroa-Sandoval, B. 2015. Factores que explican el rendimiento de caña de azúcar a nivel municipal en México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc* 6(6), pp. 1345-1358
- García, Y., Ramírez, W. y Sánchez, S. 2012. Indicadores de la calidad de los suelos: una manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes*, 35(2), pp.125-138.
- Graham, M. H., Haynes, R. J. and Meyer, J. H. 2002. Soil organic matter content and quality: effects of fertilizer applications, burning and trash retention on a long-term sugarcane experiment in South Africa. *Soil Biology & Biochemistry*, 34, pp.93-102. doi:10.1016/S0038-0717(01)00160-2
- Hamarashid, N. H., Othman, M. A. and Mohamed-Amin, H. H. 2010. Effects of soil texture on chemical compositions, microbial populations and carbon mineralization in soil. *The Egyptian Journal of Experimental Biology*, 6(1), pp.59-64.
- Heritage, J., Evans, E. G. V. and Killington, R. A. 2003. The microbiology of soil and of nutrient cycling. *Microbiology in action*. Cambridge University Press. pp.1-13.
- Jaiyeoba, I. A. 2003. Changes in soil properties due to continuous cultivation in Nigeria semiarid Savannah. *Soil & Tillage Research*, 70, pp.91-98. doi:10.1016/S0167-1987(02)00138-1.
- Jaramillo, J. D. F. 2012. Variabilidad espacial del suelo: Bases para su estudio. *Revista de la Facultad de Ciencias Universidad Nacional de Colombia* 1(1), pp. 73-87.
- Jiménez, C. A., Vargas, T. V., Salinas, C. W. E., Aguirre, B. M. de J. y Rodríguez, C. D. 2004. Aptitud agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el sur de Tamaulipas, México. *Boletín del Instituto de Geografía*, 53, pp.58-74.
- Liu, X., Herbert, S. J., Hashemi, A. M., Zhang, X. and Ding, G. 2006. Effects of agricultural management on soil organic matter and carbon transformation-a review. *Plant Soil and Environment*, 52(12), pp.531-543.
- López, L. A., Báez, G. A. D., Ruíz, C. J. A. y Medina, G. G. 2010. Caracterización climática y edáfica del área de abastecimiento del ingenio Huixtla, Chiapas. *No. 6*. Disponible en: <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/3453/3574%20ingenio%20huixtla%20chiapas.pdf?sequence=1> [Accesado 23 febrero 2017].
- Loveland, P. and Webb, J. 2003. Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: A review. *Soil & Tillage Research*, 70(1), pp.1-18.
- Medina-Méndez, J., Volke-Haller, V. H., González-Ríos, J., Galvis-Spínola, A., Santiago-Cruz, M. J. y Cortés-Flores, J. I. 2006. Cambios en las propiedades físicas del suelo a través del tiempo en los sistemas de maíz bajo temporal y mango bajo riego en luvisoles del estado de Campeche. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 22(2), pp.175-189.
- Meliani, A., Bensoltane, A. and Mederbel, K. 2012. Microbial diversity and abundance in soil: related to plant and soil type. *American Journal of Plant Nutrition and Fertilization Technology*, 2, pp.10-18. doi:10.3923/ajpnft.2012.10.18
- Munguía-Aldama, Josefina; Sánchez-Plata, Fabiana; Vizcarra-Bordi, Ivonne; Rivas-Guevara, María. 2015. Estrategias para la producción de maíz frente a los impactos del cambio climático. *Revista de Ciencias Sociales (Ve)*, XXI(4), pp. 538-547.
- Murillo, J., Rodríguez, G., Roncallo, B., Rojas, L. A. y Bonilla, R. R. 2014. Efecto de la aplicación de prácticas sostenibles en las características físicas, químicas y microbiológicas de suelos degradados. *Pastos y Forrajes*, 37(3), pp.270-278.
- Naranjo de la F., J., Salgado-García, S., Lagunés-Espinoza, L. C., Carrillo-Ávila, E. and Palma-López, D. J. 2006. Changes in the properties of a Mexican fluvisol following 30 years of sugarcane cultivation. *Soil & Tillage Research*, 88, pp.160-167. doi:10.1016/j.still.2005.05.006
- Ng Cheong, L. R., Ng Kee, K. F. and Du Preez, C. C. 2013. Influence of sugarcane cropping on organic matter and microbial biomass contents of Rock-Free and Rocky soils in two contrasting agro-climatic zones of Mauritius. *Sugar Tech*, 16, pp.44-49. doi:10.1007/s12355-013-0247-4
- NOM-021-REC/NAT-2000. *Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de los suelos*. Disponible en: <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Do>

- cumentos/Ciga/libros2009/021.pdf [Accesado 23 octubre 2016].
- Palma-López, D. J., Salgado, G. S., Obrador, O. J. J., Trujillo, N. A., Lagunés, E. L. C., Zavala, C. J., Ruiz, B. A. y Carrera, M. A. 2002. Sistema integrado para recomendar dosis de fertilización en caña de azúcar (SIRDF). *Terra*, 20(3), pp.347-258.
- Pupin, B., Da Silva, O. F. and Nahas, E. 2009. Microbial alterations of the soil influence by induced compaction. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33, pp.1207-1213.
- Ramos, E. y Zúñiga, D. 2008. Efecto de la humedad, temperatura y pH del suelo en la actividad microbiana a nivel laboratorio. *Ecología Aplicada*, 7(12), pp.123-130.
- Ribón, M. A., Salgado, G. S., Palma, L. D. y Lagunés, E. L. C. 2003. Propiedades químicas y físicas de un vertisol cultivado con caña de azúcar. *Interciencia*, 28(3), pp.154-159.
- Ridge, R. 2013. Fertilizing for high yield and quality sugarcane. *IPI Bulletin No. 21*. International Potash Institute. Horgen, Switzerland. 117 p.
- Romero, M. P., Santamaría, D. M. y Zafra, C. A. 2009. Bioingeniería y suelo: abundancia microbiológica, pH y conductividad eléctrica bajo tres estratos de erosión. *Umbral Científico*, 15, pp.67-74.
- Salgado-García, S., Palma-López, D. J., Zavala-Cruz, J., Lagunés-Espinoza, L. C., Castelán-Estrada, M., Ortíz-García, C. F., Juárez-López, F., Ruiz-Rosado, O., Armida-Alcudia, L. y Rincón-Ramírez, J. A. 2013. Sistema integrado para recomendar dosis de fertilizantes en caña de azúcar (SIRDF): Ingenio Presidente Benito Juárez. Colegio De Postgraduados, Campus Tabasco. H. Cárdenas, Tabasco, México. 84 p.
- Sánchez, T. J. D., Ligarreto, M. G. A. y Leiva, B. F. R. 2012. Variabilidad del crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz para Choclo (*Zea mays* L.) como respuesta a diferencias en las propiedades químicas del suelo en la Sabana de Bogotá, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*, 65(2), pp.6579-6583.
- Soil Quality Indicators (SQI). 2015. Physical, chemical, and biological indicators for soil quality assessment and management. USDA Natural Resource Conservation Service: SQI. Disponible en: http://soils.usda.gov/sqi/assessment/files/indicator_sheet_guide_sheet.pdf [Accesado 15 octubre 2017].
- Soto, A. H. V., Zavala, H. J. A., Pérez, M. J. y Camargo, R. S. L. 2012. Estacionalidad de bacterias y hongos en la rizósfera de dos especies de plantas en el Valle semiárido de Zapotitlán, Puebla. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(6), pp.1231-1245.
- Swędrzyńska, D. and Grześ, S. 2015. Microbiological parameters of soil under sugar beet as a response to the long-term application of different tillage systems. *Polis Journal Environmental Studies*, 24, 285-294. doi:10.15244/pjoes/25102
- Tofiño, A., Cabal, D. and Gil, L. F. 2012. Análisis de componentes del sistema productivo de aguacate, con incidencia probable de *Phytophthora* en Cesar, Colombia. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 16(2), pp.63-90.
- Torres-Guerrero, C. A., Gutiérrez-Castorena, M. Del C., Ortiz-Solorio, C. A., & Gutiérrez-Castorena, E. V. (2016). Manejo agronómico de los Vertisoles en México: una revisión. *Terra Latinoamericana*, 34(4), 457-466. Recuperado en 13 de marzo de 2020.
- Trinidad-Santos, A. and Velasco-Velasco, J. 2016. Importancia de la materia orgánica en el suelo. *Agroproductividad*, 9(8), pp.52-58.
- United States Department of Agriculture. 1996. Indicators for soil quality evaluation: USDA. Disponible en: https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_053149.pdf [Accesado 22 agosto 2016].
- Vallejo-Quintero, V. E. 2013. Importancia y utilidad de la evaluación de la calidad de suelos mediante el componente microbiano: experiencias en sistemas silvopastoriles. *Colombia Forestal*, 16(1), pp.83-99.