

# INTERPRETACIÓN DEL ANÁLISIS DE SUELOS CAÑEROS BASADO EN LAS RELACIONES ENTRE PROPIEDADES Y ELEMENTOS

## INTERPRETATION OF SUGAR CANE SOIL ANALYSIS BASED ON RELATIONS BETWEEN PROPERTIES AND ELEMENTS

Guerrero-Peña, A.<sup>1</sup>; de la Cruz-Pons, A.<sup>1</sup>; Velasco-Velasco, J.<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados Campus Tabasco. Periférico Carlos A. Molinas s/n, H. Cárdenas, Tabasco, México. C. P. 86500. <sup>2</sup>Colegio de Postgraduados Campus Córdoba. Carretera Córdoba-Veracruz km 348, Congregación Manuel León, Amatlán de los Reyes, Veracruz, México. C.P. 94946.

\*Autor de correspondencia: joel42ts@colpos.mx

### RESUMEN

La caña de azúcar (*Saccharum* spp.) es uno de los cultivos de mayor importancia en las regiones tropicales y subtropicales del mundo. Su relevancia es económica, social y cultural en las regiones donde se cultiva y se le considera como un agroecosistema que tiende a reducir la fertilidad de los suelos debido al manejo agronómico. Los programas de manejo y mejoramiento de los suelos están basados en un diagnóstico de la fertilidad mediante análisis físico, químico y biológico de laboratorio, para lo cual son necesarias bases y herramientas para la interpretación de los estudios realizados. Se analizó un grupo de muestras de suelos del Ingenio Cañero Presidente Benito Juárez en Tabasco, México; los cuales fueron interpretados mediante una nueva alternativa basadas en las relaciones entre elementos y propiedades. Destacó en esta propuesta el uso de la relación entre la materia orgánica (MO) y la fracción mineral conformada por arcilla+limo, la cual fue más sensible para detectar problemas con la MO en los suelos.

**Palabras clave:** caña de azúcar, fertilidad de suelos, textura, materia orgánica.

### ABSTRACT

Sugar cane (*Saccharum* spp.) is one of the most important crops in tropical and subtropical regions of the world. Its relevance is economic, social and cultural in the regions where it is grown, and it is considered an agroecosystem that tends to reduce the fertility of the soils due to agronomic management. Management programs and for soil improvement are based on a diagnosis of fertility through the physical, chemical and biological laboratory analysis, for which the bases and tools for the interpretation of studies carried out are necessary. A group of soil samples was analyzed from the sugar factory, Presidente Benito Juárez, in Tabasco, México; which were interpreted through a new alternative based on the relations between elements and properties. In this proposal the use of the relation between organic matter (OM) and the mineral fraction made up of clay+loam stood out, which was more sensitive to detect problems with the OM in the soils.

**Keywords:** sugar cane, soil fertility, texture, organic matter.



## INTRODUCCIÓN

**La caña** de azúcar (*Saccharum* spp.) (Poaceae) (Flores, 2001) se adapta a climas tropicales y subtropicales, no tolera heladas y el crecimiento se detiene a temperaturas menores a 12 °C (FAOSTAT, 2016). Es un cultivo que se adapta a suelos con pH entre 6.0 a 7.5 (Porta *et al.*, 2003) donde los problemas nutrimentales se tienen en los valores extremos (Salas, 2001). El manual del Instituto para el Mejoramiento de la Producción de Azúcar (IMPA, 1964) indica que el límite de desarrollo de la caña está entre los pH de 6-0 a 8.0, con mejores resultados alrededor de la neutralidad práctica (6.5-7.5). El análisis de suelos es una herramienta útil para identificar problemas de nutrición y de apoyo para las diferentes metodologías utilizadas para hacer recomendaciones de fertilización. Entre sus ventajas se destaca que es un método rápido y de bajo costo que permite ser utilizado ampliamente por agricultores y empresas. Debido a que la caña de azúcar tiene un largo período reproductivo y máximos ciclos de crecimiento, el cultivo tiene grandes requerimientos nutrimentales, por lo que en algunas zonas cañeras aplican grandes cantidades de fertilizantes para reducir las deficiencias. Los programas de manejo y mejoramiento de los suelos están basados en un diagnóstico de la fertilidad (física, química y biológica), para lo cual es necesario contar con bases y herramientas para la interpretación de los estudios realizados.

El análisis de suelos está basado en la teoría de que existe un "nivel crítico" en relación con el procedimiento analítico utilizado y a la respuesta del cultivo cuando se aplica un determinado nutrimento, y cuando su nivel es inferior o superior al nivel crítico el crecimiento de la planta se afectará en forma negativa o positiva, según dicha concentración. Con el análisis de suelos se pretende determinar el grado de suficiencia o deficiencia de los nutrientes del suelo, así como las condiciones adversas que pueden perjudicar a los cultivos, tales como la acidez excesiva, salinidad y toxicidad de algunos elementos (Salas, 2001). El grado de potencial productivo de un suelo está determinado por sus características químicas, físicas y biológicas. Las deficiencias de micronutrientes suelen presentarse como consecuencia de la pobreza natural del suelo o ser inducidas por condiciones adversas relacionadas con la acidez o la alcalinidad, el contenido de materia orgánica, sequía, exceso de humedad y desbalances nutrimentales, debido a manejos inadecuados de los fertilizantes y enmiendas (Quintero, 2008). Debido a que la nutrición

mineral de las plantas está indisolublemente unida al suelo sobre el cual ellas crecen, el diagnóstico nutricional es una herramienta que sirve para conocer el estado que guardan las características químicas, biológicas y físicas de los suelos cultivados, además de facilitar la toma de decisiones en la planificación de estrategias de inversión a mediano y largo plazo. El objetivo del presente trabajo fue proponer una alternativa para la interpretación de los análisis de suelos basadas en las relaciones entre las propiedades del suelo con los elementos químicos, tomando en consideración datos experimentales obtenidos de la zona de abasto del Ingenio Benito Juárez de Tabasco, México.

## MATERIALES Y METODOS

El área de muestreo se ubicó en la zona de abastecimiento de caña de azúcar del Ingenio Presidente Benito Juárez (IPBJ), (17° 56' y 18° 24' N, y 93° 17' y 94° 08' O) y 11 m de altitud, y comprende parte de los municipios de Cárdenas y Huimanguillo, Tabasco. El clima es cálido húmedo con abundantes lluvias en verano (Am), la temperatura media anual es de 26 °C y la precipitación media anual de 2163 mm. Está situada sobre la provincia fisiográfica Llanura Costera del Golfo Sur (INEGI, 2005; Salgado-García *et al.*, 2009).

Muestreo de Suelos. Los muestreos fueron realizados en zig-zag en forma aleatoria a 0-30 cm, obteniendo muestras compuestas a partir de 15 submuestras por muestra compuesta de aproximadamente 1 kg. En total se obtuvieron 105 para la realización de los análisis de fertilidad. El análisis de suelo para estimar su fertilidad se realizó con base en las metodologías descritas en el Cuadro 1.

La interpretación fue realizada con la norma citada y diagramas de caja y bigote (Pérez, 2016), el índice basado en la relación MO/arcilla+limo y la relación entre propiedades y elementos.

### Índice basado en la relación MO/arcilla+limo

Basado en la metodología propuesta por Quiroga y Bono (2012), este índice tiene un rango de valores de 2 a 12, aproximadamente; valores inferiores a 4.5-5.0 son considerados bajos, y los superiores como altos. Uno bajo indicaría que el suelo ha perdido MO en relación con el limo+arcilla que tiene; por lo tanto, ese suelo tendría poca MO joven, lábil o fácilmente mineralizable. En contraposición, un suelo con un índice alto tendría un contenido de MO alto en relación al limo+arcilla que posee.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos son importantes porque definen la fertilidad de los suelos y su productividad debido a que interactúan con los elementos que se encuentran en estado natural. A continuación son presentados los resultados del análisis de suelos mediante diagramas de caja y bigote, además de la descripción e interpretación de los datos de cada propiedad o elemento medido, así como de los indicadores y relaciones derivadas. Las relaciones derivadas de los suelos cultivados con caña de azúcar del Ingenio Presidente Benito Juárez (IPBJ) fueron: MO/arcilla+limo, MO/Nt, Arcilla/CIC, Al/pH, Arcilla/HCC, Arcilla/PMP.

En el caso de pH los valores registrados evidenciaron que 32.69 % de los suelos tienen problemas de acidez por presentar valores inferiores al intervalo de tolerancia, lo cual afecta los rendimientos. Al reducirse la disponibilidad de nutrimentos, tales como el fósforo, puede presentarse toxicidad por aluminio. El pH de los suelos cañeros estudiados (Figura 1A) presenta valores en el intervalo de 4.06 a 6.56, con un valor promedio de 4.94. Con base en la NOM-021-SEMARNAT-2000 (SEMARNAT, 2002), los suelos son clasificados de fuertemente ácidos a moderadamente ácidos. De acuerdo con Porta et al. (2003), el valor de pH óptimo para caña de azúcar está en el intervalo de 6.0 a 7.5, que corresponden a modera-

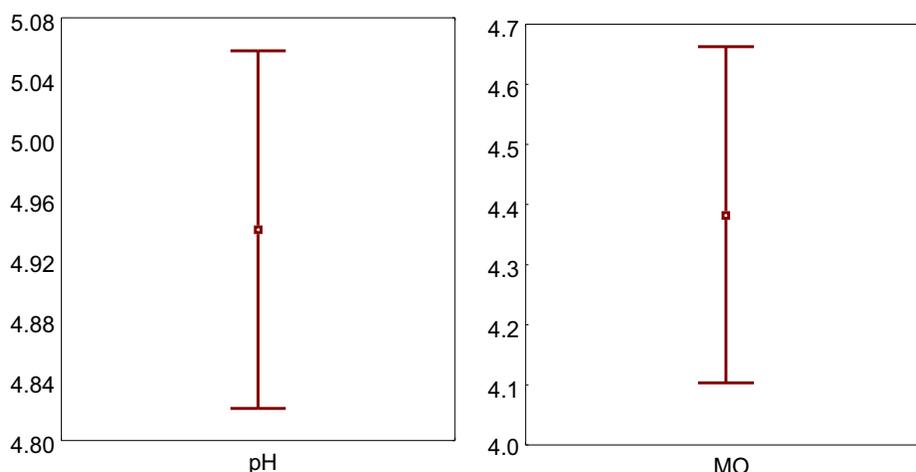
damente ácido y ligeramente alcalino, respectivamente. Portal (2003) establece una tolerancia de pH de 4.5 a 8.5, en el cual la caña de azúcar puede tener rendimientos satisfactorios. Por lo anterior, se puede establecer que 89 % de suelos cañeros estudiados registró valores de pH menores al promedio óptimo, 10.57 % está en el intervalo óptimo y 32.69 % con valores de pH menores al límite de tolerancia. En la mayoría de los suelos cañeros estudiados los valores de pH fueron bajos. Por ello, se estableció un programa de aplicación de enmiendas de cal para reducir la acidez.

Materia orgánica (MO) y relación MO/arcilla+limo. La MO de los suelos cañeros estudiados presenta valores inferiores al óptimo (39.05 %) de las muestras analizadas. La relación MO/arcilla-limo indica pobreza en todos los suelos. La MO de los suelos cañeros estudiados presenta valores en el intervalo de 1.61 a 7.19, con un valor promedio de 4.38. Con base en la NOM-021-SEMARNAT-2000 (SEMARNAT, 2002), los suelos presentan niveles de MO de medio a muy alto (5.0 % a 7.19 %) (Figura 1B).

**Relación MO/arcilla+limo.** En este trabajo se propuso por primera vez como una alternativa más sensible para indicar la fertilidad de los suelos cañeros utilizar un índice basado en la relación MO/arcilla-limo (Quiroga y Bono, 2012). En el caso de los suelos cañeros estudiados se presentan valores de la relación MO/arcilla-limo en el intervalo de 0.02 a 0.22. Estos valores indican bajo contenido de MO en relación con la arcilla+limo. Además, el contenido de MO lábil o fácilmente mineralizable es muy bajo, con la consecuencia de que no se

**Cuadro 1.** Métodos para el análisis de suelo establecidos en la NOM-021-SEMARNAT-2000 (SEMARNAT, 2002).

Parámetro	Método	Fundamento
pH	AS-02	Actividad del ion H <sup>+</sup> del suelo, medido en agua a una relación 1:2.5.
Carbono orgánico	AS-07	Oxidación del C orgánico del suelo con permanganato de potasio.
Nitrógeno total	AS-25	Es un índice de las reservas orgánicas de nitrógeno en el suelo.
Fósforo	AS-11	Determina el fósforo disponible en el suelo.
Potasio	AS-12	Saturación de los sitios de intercambio con acetato de amonio 1N pH 7 y cuantificación con espectrofotometría de emisión.
CIC	AS-12	Saturación de los sitios de intercambio con acetato de amonio 1N pH 7.



**Figura 1. A:** Diagramas de caja y bigote del análisis de pH, y materia orgánica (MO %) de suelos del Ingenio Presidente Benito Juárez, Tabasco, México.

tendrá aporte de N a partir de la MO. Los valores bajos de MO pueden ser debido a la quema y requema de residuos durante la zafra (Carrillo, 2008). Por lo anterior se debe realizar una estrategia para incorporar residuos de la caña de azúcar, evitando retirarla de estos terrenos y aportar MO desde otras fuentes, hasta que se logre un nivel óptimo (relación MO/arcilla+lino > 4.5).

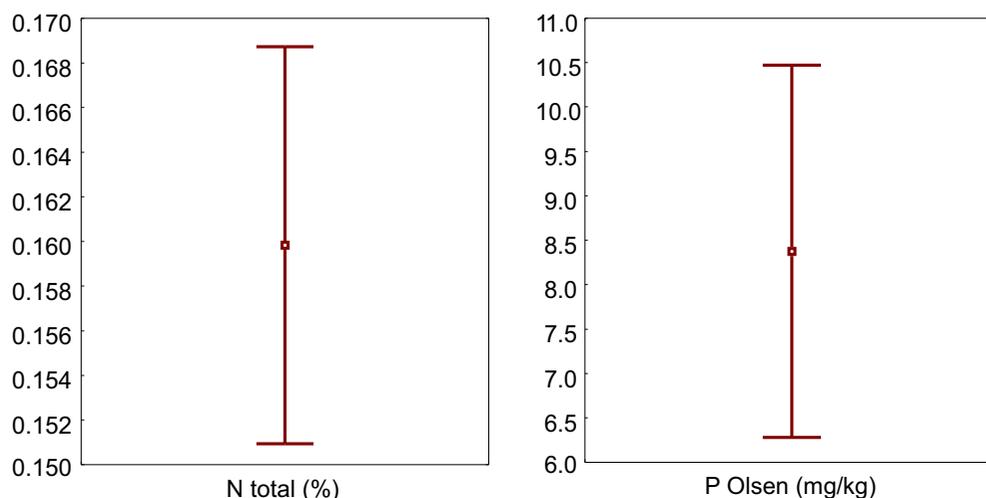
**Nitrógeno total (Nt).** Solo 5.7 % de los suelos cañeros estudiados tienen un contenido de Nt igual al límite crítico de 0.25 % de Nt. En 94.3 % de las muestras analizadas el valor fue inferior al límite crítico con base en lo indicado en la NOM-021-SEMARNAT-2000 (SEMARNAT, 2002). En la Figura 2 A se presentan los datos de Nt. Los contenidos de Nt fueron en promedio valores medios, con un intervalo de 0.07 % a 0.25 % de Nt, considerados como valores muy bajos y muy altos, respectivamente, con base en lo establecido en la NOM-021-SEMARNAT-2000 (SEMARNAT, 2002). El valor crítico de 0.25 % de Nt garantiza que después de la mineralización se obtengan valores de N inorgánico (Ni) en forma asimilable, del orden de 40-60 mg por kg de suelo, cantidad que permitiría abastecer de este nutriente a las plantas de caña. Los resultados de Nt en los suelos cañeros estudiados correspondieron con los datos obtenidos de la relación MO/arcilla-limo. Con base en el modelo de balances nutrimentales, la demanda de este nutriente por el cultivo es mayor que el suministro de N por el suelo, por lo cual debe establecerse un programa de fertilización nitrogenada.

**Fósforo Olsen (P-Olsen).** Los suelos cañeros estudiados tienen niveles de iguales a superiores al límite crítico en

20 % de las muestras analizadas. El P-Olsen osciló en un intervalo de 2.22 mg kg<sup>-1</sup> a 47.97 mg kg<sup>-1</sup>, considerados bajo y alto, respectivamente (Figura 2B). El P es un elemento que de manera natural se encuentra en concentraciones bajas o medias; su suministro depende básicamente de los aportes que realiza la MO. Suelos con acidez condicionan la mineralización de la MO por la baja actividad microbiana, razón por la que resulta lógico encontrar valores como los señalados en el presente estudio.

**Potasio (K).** Los contenidos de potasio registrados en los suelos de las parcelas cultivadas con caña de azúcar en el IPBJ (Figura 3) indicaron que son en su mayoría clasificados como muy bajos (0.27 cmol<sub>(+)</sub> kg<sup>-1</sup>) y se encuentra un rango de muy bajo con 0.05 cmol<sub>(+)</sub> kg<sup>-1</sup> hasta alto, con concentraciones de 0.92 cmol<sub>(+)</sub> kg<sup>-1</sup>. Del total de las muestras tomadas en las parcelas, solo 16.19 % presentaron contenidos altos, mientras que 83.81 % restante presentó contenidos catalogados como muy bajos, por lo que estos suelos tienen deficiencia de potasio disponible para ser absorbido por el cultivo.

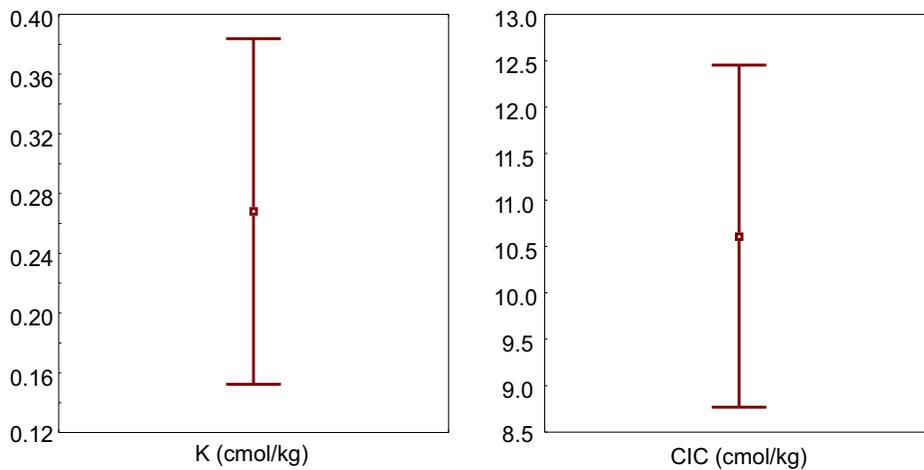
**Capacidad de intercambio catiónico (CIC).** La CIC es una variable muy importante en la fertilidad de los suelos, ya que determina la transferencia y retención de cargas electrónicas de los elementos nutrientes y su fijación en la estructura del suelo para estar disponibles y ser absorbidos por el cultivo. La Figura 4 muestra que los suelos estudiados registraron valores de 1.95 a 42.79 cmol<sub>(+)</sub> kg<sup>-1</sup>, con un valor medio de 4.38 cmol<sub>(+)</sub> kg<sup>-1</sup>. Con base en la NOM-021-SEMARNAT-2000 (SEMARNAT, 2002), este valor es clasificado como muy bajo.



**Figura 2.** Diagramas de caja y bigote del análisis del Nitrógeno total (A), y del P-Olsen de los suelos (B) del Ingenio Presidente Benito Juárez, Tabasco, México.

### Relaciones entre propiedades y elementos del suelo

La arcilla del suelo interviene en el intercambio de iones, contracción y expansión de los suelos, retención de humedad, estructura del suelo y complejo arcillo-húmico. Por ello, en este trabajo se propone el uso de la arcilla para modelar otras propiedades del suelo. La Figura 4 muestra la influencia que tiene el contenido de arcilla en la capacidad de intercambio

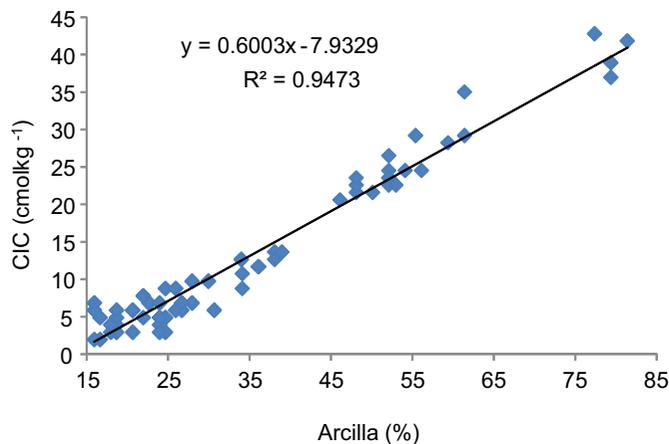


**Figura 3.** A: Diagramas de caja y bigote del análisis de potasio (K), y de capacidad de intercambio catiónico (CIC) de suelos del Ingenio Presidente Benito Juárez, Tabasco, México.

cambio catiónico es de alta a muy alta (NOM-021-SEMARNAT-2000; SEMARNAT, 2002). Los altos contenidos de arcilla no siempre son indicadores de una alta CIC, la cual depende en gran parte de la mineralogía de arcilla; las del tipo de las caolinitas (relación Si:Al 1:1) tienden a mostrar baja CIC, contrario a las del tipo de las motmorillonitas (relación Si:Al 2:1) que muestran más alta CIC.

**Arcilla-CIC.** En general, en los suelos estudiados, al realizar la correlación entre arcilla-CIC, se

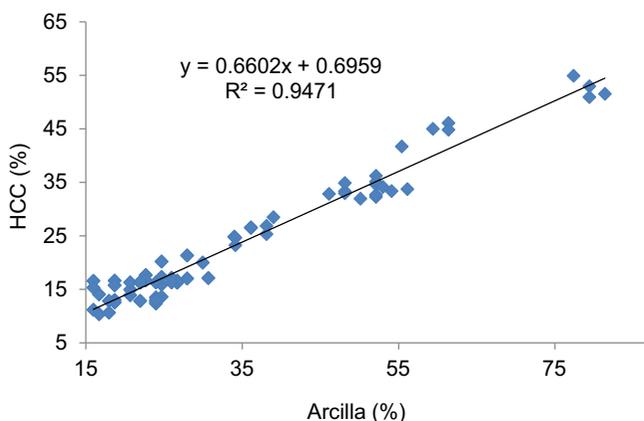
encontró una relación directamente proporcional con una  $R^2$  de 0.947 y fue posible obtener un modelo de estimación de la CIC a partir de los contenidos de arcilla.



**Figura 4.** Gráfica de regresión Arcilla-CIC de los suelos del Ingenio Presidente Benito Juárez, Tabasco, México.

#### Arcilla-Humedad a capacidad de campo (HCC).

La correlación entre las variables arcilla-HCC muestra una correlación alta ( $R^2$  de 0.947 (Figura 5)). En los suelos con contenidos de arcilla de entre 18 % y 45 %, la HCC es menor que en aquellos en los que osciló entre 50 % y 90 %. Se tiene un comportamiento similar de las partículas de arcilla al correlacionarlas con la CIC y la HCC, siendo esta directamente proporcional; es decir, a mayor contenido de arcilla en los suelos retienen mejor las cargas de nutrientes y la humedad en el suelo.



**Figura 5.** Regresión Arcilla-HCC de los suelos del Ingenio Presidente Benito Juárez, Tabasco, México.

catiónico (CIC), la cual es directamente proporcional. En suelos con contenidos de arcilla de entre 15 % y 40 % se tienen de muy baja a media CIC; cuando el contenido de arcilla es de 50 % a 80 % de arcilla, la capacidad de inter-

## CONCLUSIONES

Se demostraron correlaciones altas entre la arcilla y las propiedades del suelo relativas a la CIC y HCC. Con base en el modelo de balances nutrimentales, la demanda de nutrientes por el cultivo es mayor que el suministro de N, P y K por el suelo, por lo cual debe establecerse un programa de fertilización con N, P y K. De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana, los contenidos de materia orgánica (MO) registrados son altos, pero no es un indicador de la calidad de la MO. El índice basado entre la relación MO/arcilla+limo es más sensible para identificar el grado de fertilidad del suelo en sus propiedades físicas y químicas. La propuesta es útil para interpretar análisis de suelos y obtener modelos de estimación entre propiedades y elementos. Su aplicación es exitosa en suelos de una misma unidad o región con manejo agrícola similar, como la caña de azúcar, además de que se puede verificar indirectamente la calidad de los análisis realizados. En general, los suelos cañeros



presentan baja fertilidad consecuencia del manejo de los residuos y pérdida de la MO.

## LITERATURA CITADA

- Carrillo Á.E., Vera E.J., Alamilla M.J.C., Obrador O.J.J., Aceves N.E. 2008. Cómo aumentar el rendimiento de la caña de azúcar en Campeche. Colegio de Postgraduados. 101 p.
- FAOSTAT. 2016. Crop Water Information: Sugarcane. [http://www.fao.org/nr/water/cropinfo\\_sugarcane.html](http://www.fao.org/nr/water/cropinfo_sugarcane.html). Consulta: 21/12/2016.
- Flores C. S. 2001. Las variedades de caña de azúcar en México. Editorial Trillas. México. 322 p.
- IMPA.1964. Manual de campo en caña de azúcar. Serie Divulgación Técnica IMPA. Libro No. 24. Instituto para el Mejoramiento de la Producción de Azúcar. Córdoba, Veracruz, México. 469 p.
- INEGI. 2005. Cuaderno estadístico municipal. Cárdenas, Tabasco. Editorial INEGI. Gobierno del Estado. H. Ayuntamiento Constitucional de Cárdenas. Aguascalientes, Ags., México. 32 p.
- Pérez M. 2016. Control de calidad. Técnicas de análisis. Alfaomega Grupo Editor, S. A. de C. V. México. México, D. F. 408 p.
- Porta J., López-Acevedo M., Roquero C. 2003. Edafología para la agricultura y el ambiente. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 960 p.
- Quiroga A. y Bono A. 2012. Manual de fertilidad y evaluación de suelos. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. La Pampa, Argentina.
- Quintero D.R. 2008. Efectos de la aplicación de elementos menores en caña de azúcar en suelos del valle del río Cauca. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia. (Cenicaña).
- Salas C.R.E. 2001. Manejo de suelos y fertilización de caña de azúcar. MEMORIA: Fertilidad de suelos y manejo de la nutrición de cultivos en Costa Rica. Universidad de Costa Rica. pp. 109-116
- Salgado-García S., Palma-López D.J., Zavala-Cruz J., Lagunes-Espinoza L.C., Castelán-Estrada M., Ortiz-García C.F., Juárez-López J.F., Ruiz R.O., Armida A. L., Rincón-Ramírez J.A. 2009. Sistema integrado para recomendar dosis de fertilizantes en caña de azúcar (SIRCF): Ingenio Presidente Benito Juárez. Colegio de Postgraduados Campus Tabasco. H. Cárdenas, Tabasco, México. 81 p.
- SEMARNAT. 2002. NOM-021-RECNAT-2000-. Norma oficial mexicana NOM-021-RECNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreos y análisis. Diario Oficial de la Nación. México, D.F. 73 p.

