



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN
EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS TABASCO

PROGRAMA MANEJO SUSTENTABLE DEL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR

DIAGNÓSTICO DE LA FERTILIDAD QUÍMICA Y FÍSICA DE LAS PARCELAS
DEL INGENIO PRESIDENTE BENITO JUÁREZ

ALFREDO DE LA CRUZ PONS

TESINA

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRÍA TECNOLÓGICA

H. CÁRDENAS, TABASCO

2015

La presente tesina, titulada: “**Diagnóstico de la fertilidad química y física de las parcelas del Ingenio Presidente Benito Juárez**”, realizada por el alumno: **Alfredo de la Cruz Pons** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRÍA TECNOLÓGICA
MANEJO SUSTENTABLE DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR

CONSEJO PARTICULAR

Consejero



Dr. Armando Guerrero Peña

Asesor



Dr. José Jesús Obrador Olán

H. Cárdenas, Tabasco, a 8 de Mayo de 2015

RESUMEN

“Diagnóstico de la fertilidad química y física de las parcelas del Ingenio Presidente Benito Juárez”

Alfredo de la Cruz Pons, M.T.
Colegio de Postgraduados, 2015

La caña de azúcar (*Saccharum* spp) es uno de los cultivos de mayor importancia en las regiones tropicales y subtropicales del mundo. Teniendo gran relevancia económica, social y cultural en las regiones donde se cultiva y se le considera comúnmente como un agroecosistema que tiende a empobrecer a la fertilidad de los suelos. Las propiedades físicas y químicas tienen gran importancia en el desarrollo y crecimiento de la caña de azúcar, principalmente en suelos arcillosos en donde el movimiento del agua condiciona fuertemente la disponibilidad de nutrientes. El presente estudio se realizó en los campos cultivados con caña de azúcar de las parcelas propiedad del Ingenio Presidente Benito Juárez S.A. de C.V. en el estado de Tabasco. Los resultados del análisis de suelos son presentados mediante diagramas de caja y bigote. Además de la descripción e interpretación de los datos de cada propiedad o elemento medido; Los indicadores y relaciones derivadas, se realizaron con base a las metodologías especificadas en la NOM-021-SEMARNAT-2000. Se tomaron 105 muestras compuestas de suelos para sus análisis físicos y químicos de fertilidad en laboratorio. Se obtuvieron valores de pH con intervalos de 4.06 a 6.56; contenidos de materia orgánica de 1.61 a 7.19 %; el contenido de Nt de 0.07 a 0.25 %; el P con intervalos de 2.22 a 47.97 mg kg⁻¹; contenidos de K de 0.05 hasta 0.92 cmol₍₊₎ kg⁻¹; la CIC presentó valores de 1.95 a 42.79 cmol₍₊₎ kg⁻¹. Los contenidos de arcilla en los suelos estudiados son muy variables ya están en el rango de entre 16 y 77.4 %. La fracción arcilla se correlacionó en modelos con las propiedades CIC, HCC y PMP, obteniendo en las tres una alta correlación directamente proporcional con R² de 0.947 para las dos primeras y de 0.99 para PMP.

Palabras clave: Caña de azúcar, suelo, fertilidad, arcilla, materia orgánica.

AGRADECIMIENTOS

Al Colegio de Postgraduados Campus Tabasco por permitir realizar la Maestría Tecnológica “Manejo Sustentable del Cultivo de Caña de Azúcar”, por el uso de la infraestructura y al personal académico de la institución, así como por las facilidades brindadas para la realización de este trabajo.

Al Ingenio Presidente Benito Juárez S.A de C.V. y Organización Ardila Lülle (OAL) por el apoyo económico aportado durante la maestría, para mi desarrollo profesional.

Al Dr. Armando Guerrero Peña, por apoyarme en la realización de mi tesina, por sus aportaciones, comentarios, y su dedicación por enseñar a los demás.

Al Dr. Pedro Daniel Estrada Álvarez, Gerente general del IPBJ, por la oportunidad otorgada para realizar la maestría.

Al Ing. Guillermo Badillo Lagunes, Gerente de campo de IPBJ por las facilidades, apoyo y compañerismo brindado durante estos años.

Al Dr. José Jesús Obrador Olán, por sus aportaciones en la realización de mi tesina.

A los docentes del Colegio de Postgraduados, les agradezco por compartir sus enseñanzas, conocimientos y dedicación que hicieron posible mi formación.

A todas aquellas personas que contribuyeron en alguna forma en mi proyecto de Maestría.

Muchas gracias!

CONTENIDO

PAGINA

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS E HIPOTESIS.....	2
2.1. Objetivo general	2
2.2. Objetivos particulares	2
2.3. Hipótesis	2
3. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
3.1. El Cultivo de Caña de Azúcar	3
3.1.1. Generalidades	3
3.1.2. Elementos esenciales	4
3.2. Diagnóstico Nutrimental	5
4. MATERIALES Y METODOS	7
4.1. Área de Estudio.....	7
4.2. Muestreo de Suelos	7
4.3. Análisis de laboratorio para Evaluación de la Fertilidad de los Suelos.....	8
4.4. Análisis Estadístico	8
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	11
5.1. Propiedades Físicas y Químicas de los Suelos	11
5.1.1. pH	11
5.1.2. Materia orgánica (MO)	12
5.1.3. Nitrógeno total (Nt).....	14
5.1.4. Fósforo Olsen (P-Olsen)	14
5.1.5. Potasio (K)	15
5.1.6. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	16
5.1.7. Relaciones entre propiedades del suelo	16
5.1.8. Arcilla-CIC	17
5.1.9. Arcilla- Humedad a Capacidad de Campo (HCC)	17
5.1.10. Arcilla-Punto de Marchitez Permanente (PMP).....	18
6. CONCLUSIONES.....	19
7. LITERATURA CITADA.....	20

LISTA DE CUADROS

PAGINA

Cuadro 1. Requerimientos climatológicos de la caña de azúcar.....	3
Cuadro 2. Análisis de laboratorio para determinación de fertilidad de las muestras de suelo.....	10

LISTA DE FIGURAS

	PAGINA
Figura 1. Localización del área de estudio y muestreo de las parcelas particulares del Ingenio Presidente Benito Juárez (IPBJ).....	9
Figura 2. Diagramas de caja y bigote del análisis del pH de los suelos del Ingenio Presidente Benito Juárez.....	12
Figura 3. Diagramas de caja y bigote del análisis de % MO de los suelos del Ingenio Presidente Benito Juárez.....	13
Figura 4. Diagramas de caja y bigote del análisis del Nitrogeno total de los suelos del Ingenio Presidente Benito Juárez.....	14
Figura 5. Diagramas de caja y bigote del análisis del P-Olsen de los suelos del Ingenio Presidente Benito Juárez.....	15
Figura 6. Diagramas de caja y bigote del análisis de K de los suelos del Ingenio Presidente Benito Juárez.....	15
Figura 7. Diagramas de caja y bigote del análisis de la CIC de los suelos del Ingenio Presidente Benito Juárez.....	16
Figura 8. Grafica de regresión Arcilla-CIC de los suelos del Ingenio Presidente Benito Juárez.....	17
Figura 9. Grafica de regresión Arcilla-HCC de los suelos del Ingenio Presidente Benito Juárez.....	17
Figura 10. Grafica de regresión Arcilla-PMP de los suelos del Ingenio Presidente Benito Juárez.....	18

1. INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar (*Saccharum spp.*) es importante en la Región Chontalpa del estado de Tabasco, por el número de productores dedicados al cultivo y por ser parte de los productos que conforman la canasta básica, sin embargo con esta actividad se afecta la fertilidad de los suelos debido a los procesos en los que se ve sometido durante el desarrollo de la zafra o cosecha (de la Cruz, 2008).

En las zonas de abastecimiento del ingenio Presidente Benito Juárez (IPBJ) e Ingenio Santa Rosalía (ISR), en la Región Chontalpa, Tabasco, se encuentran en producción una superficie cultivada mayor a las 30,000 ha, las cuales generan un fenómeno laboral, económico y social en las zonas ubicadas alrededor de las instalaciones de la industria azucarera (Ribon, *et al.* 2003).

En el presente trabajo se realizó un diagnóstico de la fertilidad de las parcelas cultivadas con caña de azúcar (105 muestras compuestas para su análisis e interpretación), propiedad del Ingenio Presidente Benito Juárez, con la finalidad de establecer las bases para un programa de manejo y mejoramiento de la fertilidad de los suelos en producción y como parcelas demostrativas.

2. OBJETIVOS E HIPOTESIS

2.1. Objetivo general

Realizar un diagnostico de la fertilidad que tienen las parcelas cultivadas con caña de azúcar, propiedad del Ingenio Presidente Benito Juárez S.A. de C.V.

2.2. Objetivos particulares

Determinar la fertilidad de los suelos propiedad del Ingenio Presidente Benito Juárez S.A. de C.V. a partir de las principales características químicas y físicas.

Evaluar el índice de Quiroga y Bono (2012) para estimar el efecto de la MO en la fertilidad de suelos ácidos.

Utilizar las relaciones entre propiedades con objeto de explicar la fertilidad química de los suelos.

2.3. Hipótesis

Los suelos de las parcelas con caña de azúcar del Ingenio Presidente Benito Juárez, presentan baja fertilidad en sus propiedades químicas y físicas.

El Índice de Quiroga y Bono (2012) es un buen indicador para conocer el efecto la materia organica en suelos ácidos

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. El Cultivo de Caña de Azúcar

3.1.1. Generalidades

La caña de azúcar pertenece a la familia de las gramíneas (Poaceae) y al género *Saccharum*. Las variedades cultivadas comercialmente se les llaman cañas nobles (Salgado *et al.*, 2003). Flores (2001) menciona que el género *Saccharum* se clasifica en 6 especies: *S. officinarum*, *S. spontaneum*, *S. barberi*, *S. sinence*, *S. robustum*, *S. edule*.

Los requerimientos climatológicos que influyen en el buen desarrollo de la caña de azúcar, así como aquellos que la afectan negativamente se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Requerimientos climatológicos de la caña de azúcar.

Temperatura ambiental	>21 °C	Crecimiento efectivo en la caña de azúcar.
	>36 °C	Las plantas pueden mostrar signos de marchites.
	32-38 °C	Buena germinación
	<20 °C	Retraso en el crecimiento
Temperatura del suelo	27 °C	Juega un papel importante en el desarrollo radical, en la absorción de los nutrimentos y en la actividad biológica. Valores inferiores a 21 °C, comienzan a ser un factor limitativo.
Precipitación	1500-2500 mm	

Fuente: Salgado *et al.* (2003).

Los estados con mayor superficie cultivada en nuestro país son Veracruz, Jalisco y San Luis Potosí. Tabasco ocupa la 9ª posición a nivel nacional por el volumen de producción de azúcar de caña; en el año 2013 se contaba con una superficie de 34,334.00 ha de caña de azúcar sembradas en el Estado (SIAP-SAGARPA, 2014), y posee tres ingenios azucareros de los cuales dos se ubican en el municipio de Cárdenas (Presidente Benito Juárez y Santa Rosalía) y uno en el municipio de Tenosique (AZSUREMEX). En el Ingenio Presidente Benito Juárez en el municipio de

Cárdenas, para el periodo 2013/2014 se tenía sembrada una superficie de 23,793.03 ha, con una producción de 1, 262,272.9 toneladas de caña de azúcar y un rendimiento promedio de 53.05 t ha⁻¹ (IPBJ, 2014).

La caña de azúcar se adapta a climas tropicales y subtropicales, no tolera heladas y el crecimiento se paraliza a temperaturas bajo los 12 °C; y es un cultivo que se adapta a varios tipos de suelo con valores de pH comprendidos entre 4 y 9 en donde los problemas nutricionales se tienen en los valores extremos (Salas, 2001).

En Tabasco se cultiva en Fluvisoles, Vertisoles, Gleysoles, Leptosoles y Luvisoles (Palma *et al.*, 2007; Salgado *et al.*, 2008). La mayor superficie mundial cultivada con caña de azúcar se encuentra en seis países, entre los cuales Brasil ocupa el primer lugar y México figura en la 7^a posición (ASERCA-SAGARPA, FAO, 2014). La producción de caña de azúcar en México genera miles empleos directos y millones indirectos (CONADESUCA, 2014).

El cultivo de caña de azúcar en el estado de Tabasco es esencialmente de temporal; en los últimos años se ha introducido el riego rodado y por goteo, con la finalidad de abastecer de agua al cultivo en las etapas críticas; contando con una superficie bajo sistema de riego en el año 2013 de 658 ha con una producción de 51,556 toneladas y un rendimiento de 78.55 t ha⁻¹ (SIAP-SAGARPA, 2014).

3.1.2. Elementos esenciales

Los nutrientes esenciales juegan un papel importante en la bioquímica y fisiología de las plantas y su ausencia es caracterizada por uno o más síntomas de deficiencia. Algunos nutrientes son requeridos por la caña de azúcar en cantidades mayores a 500 mg kg⁻¹ que se clasifican como macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, y S) y los utilizados en cantidades menores a 50 mg kg⁻¹ como Cl, Bo, Zn, Fe, Mn, Cu, Mo y Ni son considerados micronutrientes (Brady, 1990), que tienen funciones esenciales para la planta, la deficiencia o abundancia de uno o más nutrientes en el suelo se

manifiesta en síntomas visuales en las hojas (Salgado *et al.*, 2009).

Se establece para las plantas en cultivo, bajo el criterio de esencialidad, la presencia de los macronutrientes: N, P, K, Ca, Mg y S; y de los micronutrientes: B, Cl, Co, Fe, Mn, Mo, Ni y Zn, los síntomas de deficiencia de los elementos menores menos móviles o inmóviles se manifiestan primero en las hojas más jóvenes de las plantas. (Malavolta, *et. al.* 1992).

Quintero (2008) menciona que la importancia de los elementos menores en la nutrición de la caña de azúcar se basa principalmente en su participación en procesos enzimáticos, procesos de oxidación-reducción, formación de clorofila y transporte de carbohidratos; El cinc (Zn), el cobre (Cu), el hierro (Fe) y el manganeso (Mn) son absorbidos por las plantas en forma catiónica y como sales orgánicas complejas (quelatos); el cloro (Cl) es absorbido en forma aniónica; el molibdeno (Mo) como molibdato y el boro (B) como boratos.

Estos elementos son absorbidos por las plantas de caña de azúcar de la solución del suelo por tres mecanismos: intercepción, flujo de masas y difusión (Ross, 1994). Greulach y Adams (1980), mencionan que los iones de ciertos elementos son tóxicos para las plantas, cuando menos en cantidades excesivas (Cu, Bo, Pb, Mg, Mo, Ni y Zn); aunque algunos de estos elementos son esenciales para la nutrición de las plantas, las concentraciones ligeramente más altas que las requeridas pueden ser tóxicas.

3.2. Diagnóstico Nutrimental

El análisis de suelos es una herramienta útil para identificar problemas nutricionales 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 le 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 también grandes requerimientos nutricionales, por lo que algunas industrias cañeras aplican grandes cantidades de fertilizantes para evitar deficiencias.

El análisis de suelos está basado en la teoría de que existe un “nivel crítico” en relación al procedimiento analítico utilizado y a la respuesta del cultivo cuando se aplica un determinado nutriente. Cuando el nivel de un nutriente se encuentra debajo o por encima del nivel crítico, el crecimiento de la planta se verá afectado 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, la salinidad, y la toxicidad de algunos elementos (Salas, 2001).

El análisis de suelo permite determinar el grado de fertilidad del suelo. La fertilidad es vital para que un suelo sea productivo, aunque un suelo fértil químicamente no necesariamente es productivo, debido a que existen otros factores de tipo físico como el mal drenaje, escasa profundidad, piedra superficial, déficit de humedad, etc., que pueden limitar la producción. 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, la sequía, el exceso de humedad y los desbalances nutricionales debido a manejos inadecuados de los fertilizantes y las enmiendas (Quintero, 2008).

Debido a que la nutrición mineral de las plantas está indisolublemente unida al suelo sobre el cual ellas crecen, un diagnóstico nutrimental es una herramienta que nos sirve para conocer el estado que guardan las características químicas y físicas de los suelos cultivados; y así mismo, como elemento para la toma de decisiones en la planeación de estrategias de inversión a mediano y largo plazo.

4. MATERIALES Y METODOS

4.1. Área de Estudio

El área de estudio se ubica en la zona de abastecimiento de caña de azúcar del Ingenio Presidente Benito Juárez (IPBJ), cuyas coordenadas geográficas son 17° 56' y 18° 24' LN, y 93° 17' y 94° 08' LO (Figura 1), su altitud sobre el nivel del mar es de 11 m, y comprende parte de los municipios de Cárdenas y Huimanguillo, Tabasco. El clima es de tipo cálido húmedo con abundantes lluvias en verano (Am), la temperatura media anual es de 26 °C y una precipitación media anual de 2163 mm. Está situada sobre la provincia fisiográfica Llanura Costera del Golfo Sur (INEGI, 2005, Salgado *et al.*, 2009).

El estudio se realizó en parcelas cultivadas con caña de azúcar en 17 ranchos pertenecientes a la empresa Ingenio Presidente Benito Juárez S.A. de C.V. Estos predios son administrados y manejados agrónomicamente por una figura moral denominada Impulsora Agrícola, Ganadera y Comercial S.P.R.L. DE R.L. DE C.V. quien actualmente tiene en manejo y producción 3,169.41 has con el cultivo de caña de azúcar, distribuidas en toda el área de abastecimiento del Ingenio; siendo el área de suelos ácidos un punto de expansión importante de este cultivo para la empresa.

4.2. Muestreo de Suelos

Se realizaron muestreos en cada rancho o predio en formación de zigzag en forma aleatoria a una profundidad de 30 cm (debido a que son suelos nuevos para el cultivo), obteniendo muestras compuestas de aproximadamente 1 kg. En total se obtuvieron 105 muestras compuestas de suelos para la realización de los análisis de fertilidad en el laboratorio.

4.3. Análisis de laboratorio para Evaluación de la Fertilidad de los Suelos

Los análisis de suelos (Cuadro 2) para estimar su fertilidad se realizaron con base a las metodologías especificadas en la NOM-021- SEMARNAT -2000 (SEMARNAT, 2001).

El índice de Bono y Quiroga describe la influencia que tienen factores como son precipitación, capacidad de retención de agua (CRA), textura y manejo del suelo sobre el contenido de la MO. Al existir mayor precipitación, CRA, texturas arcillo-lomosa y suelos en cultivo, existe un mayor contenido de MO en los suelos. Y en base a ello, se puede inferir la existencia de mayor o menor contenido de MO en los suelos cultivados o vírgenes. Este índice tiene un rango de valores de 2 a 12 aproximadamente, por debajo de 4,5 a 5 los valores son considerados bajos y por arriba altos. Un índice bajo indicaría que el suelo a perdido MO en relación al 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.

4.4. Análisis Estadístico

Se utilizaron los diagramas de caja y bigote para representar la estadística descriptiva de las propiedades y elementos analizados en las 105 muestras de suelos procedentes de los terrenos propiedad del IPBJ.

Ingenio Presidente Benito Juárez, S.A. De C.V.

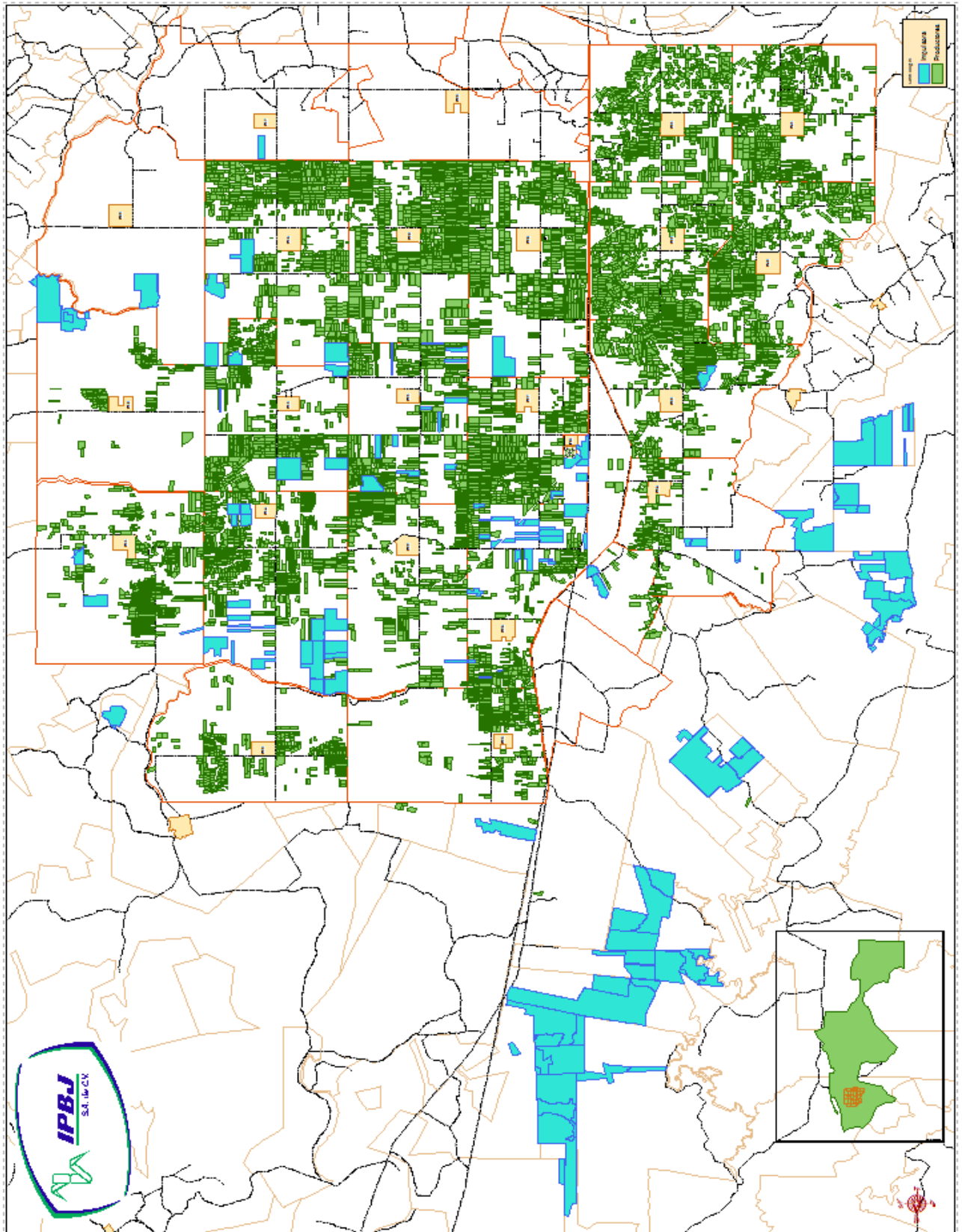


Figura 1. Localización del área de estudio y muestreo de las parcelas propiedad del Ingenio Presidente Benito Juárez (IPBJ).

Cuadro 2. Análisis de laboratorio para determinación de fertilidad de las muestras de suelo.

Análisis	Metodología de laboratorio
pH	Relación 1:2.5 (suelo: agua)
Textura	Método de Bouyoucos.
Materia orgánica (MO)	Método de Walkley y Black.
Bases intercambiables (K, Ca, Mg, Na)	Extracción con acetato de amonio y cuantificación por espectrofotometría de absorción atómica.
Conductividad eléctrica (CE)	Medición en el extracto de saturación.
Capacidad de Intercambio catiónico (CIC)	Método del acetato de amonio.

Fuente: NOM-021- SEMARNAT -2000 (SEMARNAT, 2001)

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Propiedades Físicas y Químicas de los Suelos

Las propiedades físicas y químicas de los suelos tienen gran importancia en el estudio de los suelos, debido a que estas interactúan con los elementos que se encuentran en estado natural. Estas propiedades (MO, pH, CE, CIC y arcillas, entre otras) son importantes y pueden influir en el comportamiento de la fertilidad de los suelos y su productividad.

Los resultados del análisis de suelos son presentados 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.

Los análisis fueron pH, materia orgánica (MO), nitrógeno total (Nt), P-Olsen, potasio (K), la capacidad de intercambio catiónico (CIC).

Las relaciones derivadas de los suelos cultivados con caña de azúcar del Ingenio Presidente Benito Juárez (IPBJ) fueron: MO/Nt, Arcilla/CIC, Al/pH, Arcilla/HCC, Arcilla/PMP.

5.1.1. pH

En el caso de pH los valores registrados indican que existen un 32.69 % de suelos con problemas de acidez por presentar valores inferiores al intervalo de tolerancia, lo cual, afecta en la reducción de los rendimientos, al reducirse la disponibilidad de nutrientes como el fósforo, pueden presentarse toxicidad de aluminio, etc.

El pH de los suelos cañeros estudiados (Figura 2) 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, los suelos son clasificados de fuertemente ácidos a moderadamente ácidos. Con

base en lo propuesto por Portal (2003) y la NOM-021-SEMARNAT-2000 el valor de pH

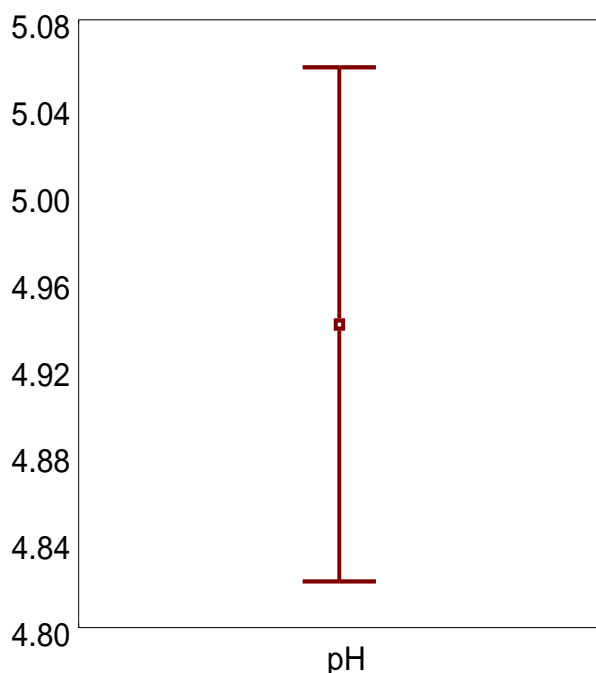


Figura 2. Diagramas de caja y bigote del análisis del pH de los suelos del Ingenio Presidente Benito Juárez.

óptimo para caña de azúcar está en el intervalo de 6.0 a 7.5, clases que corresponden a moderadamente ácido y al neutro, 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, podemos establecer que en el 89 % de suelos cañeros estudiados el valor de pH es menor al intervalo óptimo y solo el 10.57 % está en el intervalo óptimo. Pero un 32.69 % de los suelos presentan valores de pH menores al límite de tolerancia.

5.1.2. Materia orgánica (MO)

La MO de los suelos cañeros estudiados presenta valores inferiores al óptimo en el 39.05 % de las muestras analizadas con base en la NOM-021-SEMARNAT-2000. Mientras que la relación MO/arcilla-limo indica pobreza en todos los suelos, como lo establecen Quiroga y Bono (2012).

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, los suelos presentan niveles de MO de medio a muy alto (5.0 al 7.19%) (Figura 3). Existe una tendencia a aumentar la MO, por reducción de la actividad microbiana y por reducción de la mineralización de la MO; esto es debido a la influencia del pH muy ácido de los suelos, como lo indican Sánchez (1972) y Portal (2003). También es importante mencionar que los suelos estudiados son de reciente incorporación a la actividad cañera, suelos utilizados por muchos años a esta actividad tienden a

presentar valores bajos de MO debido a la quema y requema que son utilizados conumente durate la zafra (Carrillo, 2008; Pascual, 2013).

Los contenidos de MO tienen una relación directamente proporcional con variaciones de la fracción textura arcilla-limo, como lo plantea el índice de Bono y Quiroga (2012); e influye en los contenidos de MO en los suelos ácidos cultivados con caña de azúcar. Por lo que podemos a partir de este concepto determinar si existen contenidos de MO adecuados y que indiquen el grado de fertilidad de los suelos de estudio.

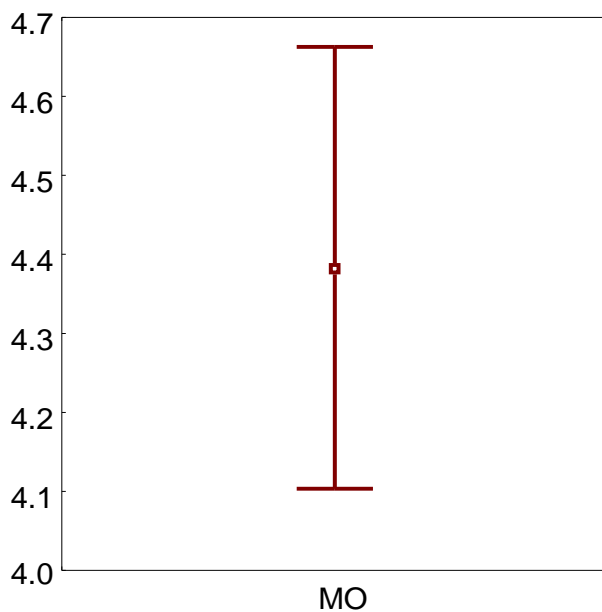


Figura 3. Diagramas de caja y bigote del análisis de MO (%) de los suelos del Ingenio Presidente Benito Juárez.

En este trabajo se propone, por primera vez, como una alternativa más sensible para indicar la productividad y 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 perdida de la MO en relación con la arcilla-limo, con lo cual el contenido de MO lábil o fácilmente mineralizable es muy bajo; con la consecuencia de que

no se tendrá aporte de N a partir de la MO. Por lo anterior se debe realizar una estrategia para favorecer la mineralización de la MO, lo cual podría incluir la utilización de cal dolomítica, además se debe considerar la incorporación de los residuos de la caña de azúcar evitando retirarla de estos terrenos y aportar MO desde otras fuentes. La MO es importante por su influencia directa en la fertilidad edáfica, como es la compactación aireación, capacidad de almacenamiento de agua y la productividad.

5.1.3. Nitrógeno total (Nt)

Solo el 5.7% de los suelos cañeros estudiados tienen un contenido de Nt igual al límite crítico del 0.25 % de Nt. Mientras que en el 94.3 % de las muestras analizadas el valor es inferior al límite crítico con base en lo indicado en la NOM-021-SEMARNAT-2000. En la Figura 4 son representados los datos de Nt.

Los contenidos de Nt son en promedio valores medios, con un intervalo de 0.07 a 0.25 % de Nt, esto corresponde a valores muy bajos y muy alto respectivamente, con base en lo establecido en la NOM-021-RECNAT-2000.

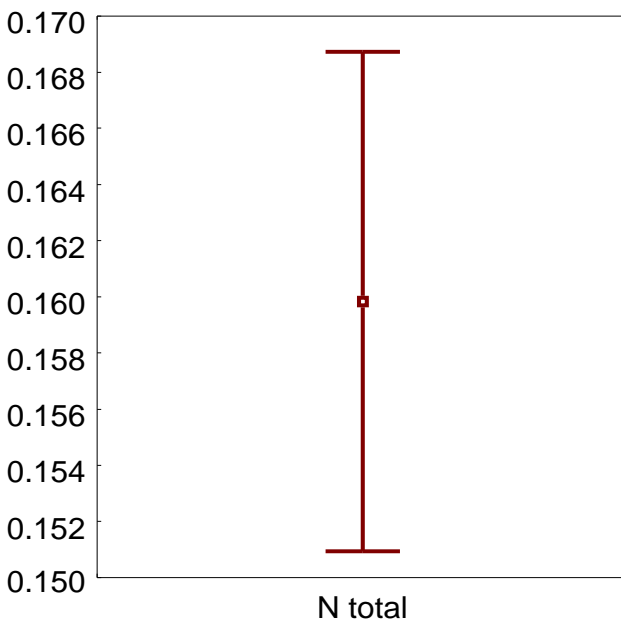


Figura 4. Diagramas de caja y bigote del análisis del Nitrógeno total (%) de los suelos del Ingenio Presidente Benito Juárez.

El valor crítico del 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 de Ni por kg de suelo. Cantidad que permitiría abastecer de este nutriente a las plantas de caña. El comportamiento de Nt, en cuanto a contenido, en las muestras de los suelos cañeros estudiados se corresponde 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 lo cual debe establecerse un programa de fertilización nitrogenada.

5.1.4. Fósforo Olsen (P-Olsen)

Los suelos cañeros estudiados tienen niveles iguales a superiores al límite crítico en el 20 % de las muestras analizadas. El P-Olsen es en promedio muy bajo en los suelos

cañeros estudiados, con un intervalo que va desde muy bajo a muy alto, 2.22 y 47.97 mg kg⁻¹, respectivamente (Figura 5).

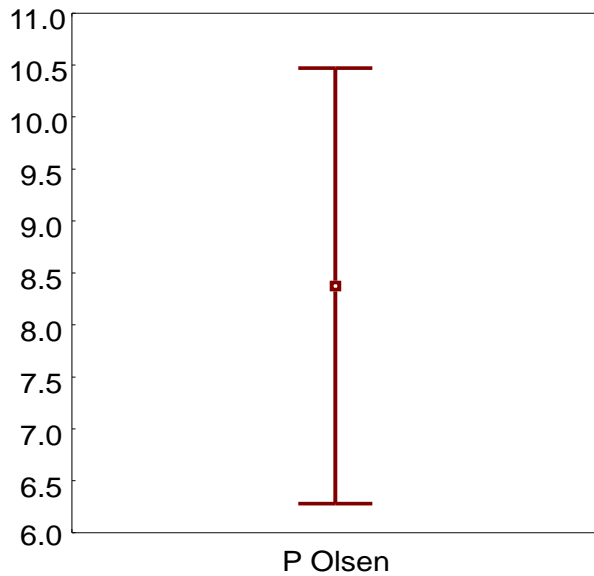


Figura 5. Diagramas de caja y bigote del análisis del P-Olsen de los suelos del Ingenio Presidente Benito Juárez.

El P es un elemento que de manera natural se encuentra en concentraciones de bajas a medias, su suministro depende básicamente de los aportes que realiza la MO, Suelos con alta 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.

5.1.5. Potasio (K)

Los contenidos de potasio encontrados en los suelos de las parcelas cultivadas con caña de azúcar en el IPBJ son representados en la Figura 6.

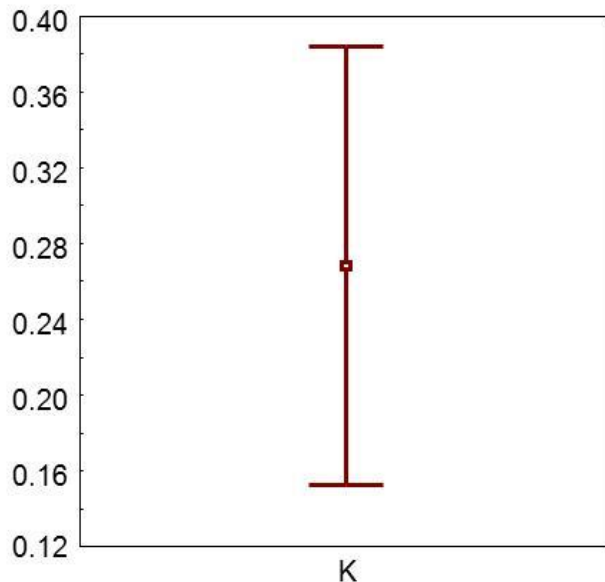


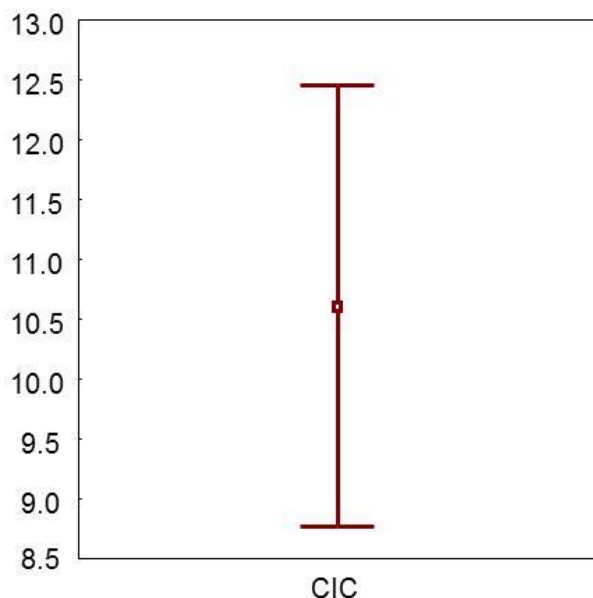
Figura 6. Diagramas de caja y bigote del análisis de la Potasio de los suelos del Ingenio Presidente Benito Juárez.

Los los análisis realizados a los suelos indican que estos son mayormente clasificados como muy bajos con un contenido promedio de 0.27 cmol(+) kg⁻¹, y se encuentra un rango de muy bajo con 0.05 cmol(+) kg⁻¹ hasta alta con concentraciones de 0.92 cmol(+) kg⁻¹. Del total de las muestras muestreadas en las parcelas, solo el 16.19% presentaron contenidos altos mientras que el 83.81% restante presentó contenidos

catalogados como muy bajos, lo cual es preocupante dado que este elemento es en el que mayor demanda el cultivo de caña.

5.1.6. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

La CIC es una variable muy importante en la fertilidad de los suelos, ya que es determinante en la transferencia y retención de cargas electrónicas de los elementos nutrientes y la fijación de estos en la estructura del suelo para estar disponibles para ser absorbidos por el cultivo. En la Figura 7 se representan los datos de esta propiedad.



La CIC de los suelos cañeros estudiados presenta valores en el intervalo de 1.95 a 42.79 Cmol (+)Kg⁻¹, con un valor promedio de 4.38. Con base en la NOM-021-SEMARNAT-2000 los suelos son mayormente clasificados como muy bajos.

Figura 7. Diagramas de caja y bigote del análisis de la CIC de los suelos del Ingenio Presidente Benito Juárez.

5.1.7. Relaciones entre propiedades 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. En la Figura 8 se observa la influencia que tiene el contenido de arcilla en la capacidad de intercambio catiónico, esta es directamente proporcional; en suelos con contenidos de arcilla entre 15 y 40 % se tienen de muy baja a media capacidad de intercambio catiónico, cuando el contenido de arcilla va de 50 a 80% de arcilla la capacidad de intercambio catiónico es de alta a muy alta (NOM-021- SEMARNAT-

2000). Los altos contenidos de arcilla no siempre son indicadores de una alta capacidad de intercambio catiónico, ésta 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.

5.1.8. Arcilla-CIC

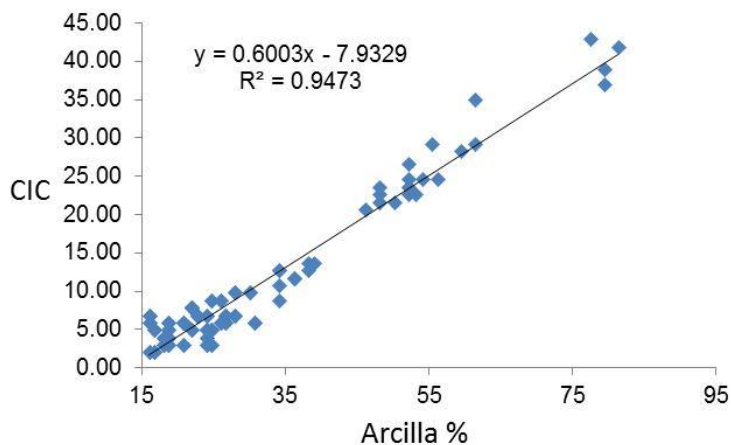


Figura 8. Grafica de regresión Arcilla-CIC de los suelos del Ingenio Presidente Benito Juárez.

En general 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.

5.1.9. Arcilla- Humedad a Capacidad de Campo (HCC)

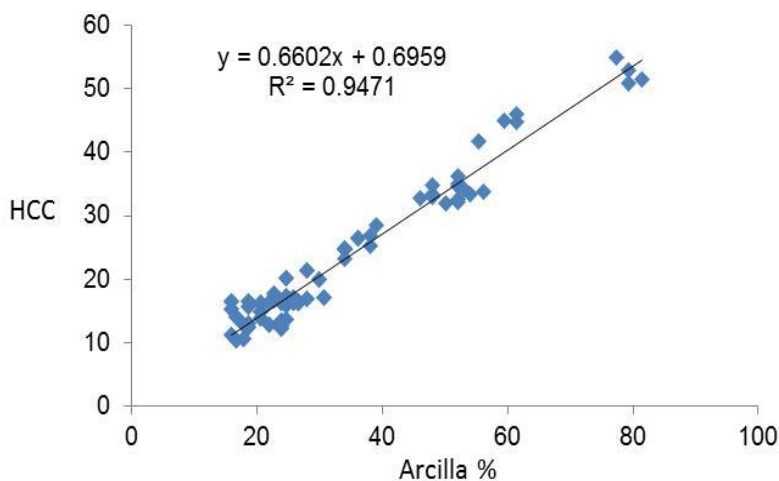


Figura 9. Grafica de regresión Arcilla-HCC de los suelos del Ingenio Presidente Benito Juárez.

La correlación entre las variables arcilla- HCC muestra una correlación alta con una R^2 de 0.947(Figura 9).

En los suelos con contenidos de arcilla entre 18 y 45 % la humedad de capacidad de campo es menor que en los

que el contenido de arcilla va de 50 a 90%. Se tiene un comportamiento similar de las partículas de arcilla al correlacionarlas con la CIC y la HCC, siendo esta directamente proporcional, a mayor contenido de arcilla en los suelos estudiados, estos retienen mejor las cargas de nutrientes y la humedad en el suelo.

5.1.10. Arcilla-Punto de Marchitez Permanente (PMP)

En la Figura 10, se presenta la influencia que tiene el contenido de arcilla en la punto de marchitez permanente, se observa una tendencia lineal con una R^2 de 0.99, esto nos indica que la arcilla es una variable altamente correlacionada con el PMP y que a medida que aumenta la primera, aumenta de forma proporcional la segunda variable. Con solo tener el dato de contenido de arcilla para estos predios se puede inferir si se tendrá problemas por falta de humedad en los suelos y por ello la necesidad o requerimiento de riego auxiliar para evitar daños al cultivo.

Los contenidos de arcilla en los suelos estudiados son muy variables ya están en el rango de entre 16 y 77.4 %.

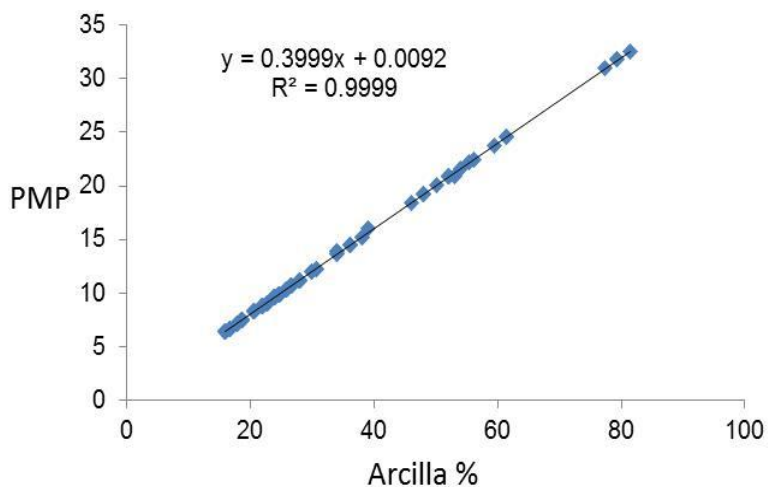


Figura 10. Gráfica de regresión Arcilla-PMP de los suelos del Ingenio Presidente Benito Juárez.

6. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos, los suelos cultivados con caña de azúcar de las parcelas propiedad del Ingenio Presidente Benito Juárez S.A. de C.V. poseen baja fertilidad en sus propiedades físicas y químicas. Sin embargo, estos suelos a través de manejo agronómico pueden mejorar su calidad.

La mayoría de los suelos cañeros estudiados presentan valores de pH bajos, lo cual genera un problema de acidez en el suelo, siendo estos lo ubicados en la región sur de la zona de abasto de la factoría. Por lo cual, debe establecerse un programa de encalado para que el pH no sea un factor limitante.

Los contenidos de materia orgánica (MO) encontrados son altos pero no son indicadores de una alta fertilidad; de hecho la relación MO/arcilla-limo indica pobreza en todos los suelos lo cual está más acorde con los contenidos nutrimentales encontrados. Por lo cual, el índice de Bono y Quiroga (2012) es factible utilizarlo como calificador del contenido de MO basado en la relación MO/arcilla-limo, así como herramienta para determinar fertilidad.

Existe un bajo contenido de nitrógeno total (Nt) y fosforo (P) en los suelos estudiados, lo que limita la disponibilidad para el cultivo y su desarrollo productivo. Los cuales deben aplicarse en un programa de fertilización.

En el presente trabajo se demostraron altas correlaciones entre la arcilla y las propiedades del suelo: CIC, HCC y PMP. Esto puede utilizarse en la interpretación de los análisis de suelos; así como en posteriores programas de riego. Con los modelos establecidos solo será necesario el análisis de textura para determinar las otras propiedades.

7. LITERATURA CITADA

- ASERCA- SAGARPA. 2014. Situación actual del azúcar. www.infoaserca.gob.mx.
- Brady C. N. 1990. Nature and properties of soils. Chapter 18: Soils and chemical pollution. 10th edition. Macmillan Publishing Company. New York. USA. Pp. 528 – 534.
- Carrillo Á. E. Vera E. J. Alamilla M. J. C. Obrador O. J. J. y Aceves N. E. 2008. Como Aumentar el Rendimiento de la Caña de Azúcar en Campeche. Colegio de Postgraduados. 101 p.
- CONADESUCA-SAGARPA. 2014. <http://www.infocaña.gob.mx> Resultado padrón cañero.
- De la cruz P. A. 2008. Metales pesados en suelos cultivados con caña de azúcar en la Chontalpa, Tabasco. Tesis de Maestría en ciencias. Colegio de postgraduados. Campus, Tabasco. H. Cárdenas, Tabasco. 78 pp.
- FAO. 2014. <http://www.faostat3.fao.org>. Estadísticas 2013 producción de caña de azúcar.
- Flores C. S. 2001. Las variedades de caña de azúcar en México. 1^a. edición. Editorial Trillas. México. 322 pp.
- Greulach A. V. y Adams J. E. 1980. Las plantas: introducción a la botánica moderna. 1^a edición. 2^a reimpresión. Editorial LIMUSA. México, D.F. Pp. 369-392.
- IPBJ, 2014. Informe técnico zafra 2013/2014. Diciembre 2014. H. Cárdenas, Tabasco.
- Malavolta E. Vitti G.C. y Oliveira S. A. 1992. Evaluación del estado nutricional de las plantas. Principios y aplicaciones. Boletín de PROMECAFE (Guatemala) Nº.56:16. 1992.
- Palma-López D. J. Cisneros D. J. Moreno C. E. y Rincón-Ramírez J. A. 2007. Suelos de Tabasco su uso y manejo sustentable. Colegio de Postgraduados- ISPROTAB-Fundación Produce Tabasco A.C. Villahermosa, Tabasco, México. 195 pp.
- 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).
http://www.tecnicana.org/pdf/2008/tec_v12_no20_2008_p18-26.pdf
- 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
- Ribón A. M. Salgado G. S. Palma L. D. J. y Lagunes E. L. del C. Propiedades químicas y físicas de un vertisol cultivado con caña de azúcar. Interciencia, vol. 28, núm. 3, marzo, 2003, pp. 154-159, Asociación IntercienciaVenezuela.
- Ross S. M. 1994. Sources and forms of potentially toxic metals in soil-plant systems. In: Toxic metals in soil-plant systems. 1ª edición. ed. Ross S. M. Ed. John Wiley and Sons. Toronto, Canada. Pp. 3-26.
- Salgado G. S. Bucio A. L. Riestra D. D. y Lagunes E. L. del C. 2003. Caña de azúcar hacia un manejo sustentable. 1ª edición, 1ª Reimpresión. Campus Tabasco, Colegio de Postgraduados-Instituto para el Desarrollo de Sistemas de Producción del Trópico Húmedo de Tabasco. Villahermosa, Tabasco, México. 394 pp.
- Salgado G. S. Palma-López D. J. Zavala C. J. Lagunes E. L. del C. Ortiz-García C. F., Castelan E. M. Guerrero P. A. Moreno C. E. y Rincón R. J.A., 2008. Sistema integrado para recomendar dosis de fertilizantes (SIRCF): Ingenio AZSUREMEX. SAGARPA-Colegio de Postgraduados-Fundación Produce Tabasco-SEDAFOP-Gobierno del Estado de Tabasco. H. Cárdenas, Tabasco. 250 pp.
- Salgado-García S. Palma-López D. J. Zavala-Cruz J., Lagunes-Espinoza L.C. Castelan-Estrada M. Ortiz-García C. F. Juárez-López J.F. Ruiz R. O. Armida A. L. y 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 pp.
- SIAP-SAGARPA. 2014 cierre de producción agrícola 2013. SAGARPA. México, D.F.
<http://www.siap.gob.mx>
- NOM-021-RECNAT-2000-SEMARNAT. 2001. 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 pp.