



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

---

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS  
AGRÍCOLAS**

**CAMPUS MONTECILLO**

**POSTGRADO DE HIDROCIENCIAS**

## **DENSIDAD APARENTE Y CUANTIFICACIÓN DE CARBONO Y NITRÓGENO EN SUELOS CON CAÑA DE AZÚCAR EN MORELOS Y PUEBLA, MÉXICO**

**YOLANDA ROSALES NERI**

**T E S I S**  
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRA EN CIENCIAS**

**MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO**

2019



# COLEGIO DE POSTGRADUADOS

---

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

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, la que suscribe, **“Yolanda Rosales Neri”**, Alumna de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor **“Abdul Khalil Gardezi”**, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis **“Densidad aparente y cuantificación de carbono y nitrógeno en suelos con caña de azúcar en Morelos y Puebla, México”**, y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del Colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero o Director de Tesis y la que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Texcoco, a 19 de agosto de 2019

Yolanda Rosales Neri

Vo. Bo. del Dr. Abdul Khalil Gardezi

La presente tesis titulada: “**Densidad aparente y cuantificación de carbono y nitrógeno en suelos con caña de azúcar en Morelos y Puebla, México**”, realizada por la alumna: “**Yolanda Rosales Neri**” bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS  
HIDROCIENCIAS

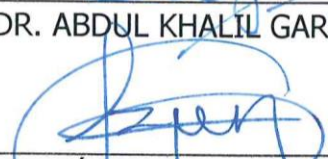
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO (A)



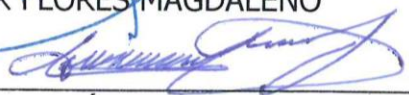
DR. ABDUL KHALIL GARDEZI

ASESOR (A)



DR. HÉCTOR FLORES MAGDALENO

ASESOR (A)



DR. DAVID CRISTÓBAL ACEVEDO

Montecillo, Texcoco, Estado de México, agosto de 2019

# DENSIDAD APARENTE Y CUANTIFICACIÓN DE CARBONO Y NITRÓGENO EN SUELOS CON CAÑA DE AZÚCAR EN MORELOS Y PUEBLA, MÉXICO

Yolanda Rosales Neri, M. en C.  
Colegio de Postgraduados, 2019

## RESUMEN

Se evaluó la densidad aparente ( $\rho_b$ ) por medio de tres métodos y su relación con el contenido de carbono orgánico del suelo (COS), nitrógeno total (Nt) y la relación carbono/nitrógeno (C/N) en dos sistemas de cultivo de caña de azúcar con diferente manejo en fertilización, el primero con fertilización tradicional y el segundo con fertilización de vinaza. Se estudiaron 22 sitios de cada sistema con muestras tomadas a las profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm. Las densidades aparentes fueron cuantificadas por los métodos de la probeta, el cilindro y el terrón. En la cuantificación de la  $\rho_b$  no se encontraron diferencias significativas por sitio; se encontraron diferencias significativas por método y profundidad.

En los dos sitios de estudio la mayor concentración del COS se encontró en las capas superficiales disminuyendo conforme aumentaba la profundidad; se encontraron diferencias significativas respecto al sitio, método y profundidad.

La mayor concentración de Nt se obtuvo en las capas superficiales disminuyendo con la profundidad en los dos sitios de estudio; no se encontraron diferencias significativas respecto al sitio; se encontraron diferencias significativas por método y profundidad.

En la relación C/N por los tres métodos evaluados no existieron diferencias significativas; existió diferencia significativa respecto al sitio y la profundidad.

**Palabras clave:** densidad aparente; carbono; nitrógeno, suelo, caña de azúcar.

# **BULK DENSITY AND CUANTIFICATION OF CARBON AND NITROGEN IN SOILS WITH SUGAR CANE IN MORELOS AND PUEBLA, MEXICO**

Yolanda Rosales Neri, M. en C.  
Colegio de Postgraduados, 2019

## **ABSTRACT**

The bulk density ( $\rho_b$ ) was evaluated by means of three methods and its relationship with the soil organic carbon content (COS), total nitrogen (Nt) and the carbon/nitrogen ratio (C/N) in two cropping systems. Sugarcane with different fertilization management, the first with traditional fertilization and the second with vinegar fertilization. 22 sites of each system were studied with samples taken at depths of 0-10 cm, 10-20 cm and 20-30 cm.

The bulk densities were quantified by the test tube, cylinder and lump methods. In the quantification of  $\rho_b$  no significant differences were found per site; significant differences were found by method and depth.

In the two study sites the highest concentration of COS was found in the surface layers decreasing as the depth increased; significant differences were found regarding the site, method and depth.

The highest concentration of Nt was obtained in the surface layers decreasing with depth at the two study sites; no significant differences were found regarding the site; significant differences were found by method and depth.

In the C / N relationship by the three methods evaluated there were no significant differences; there was a significant difference with respect to the site and the depth.

**Keywords:** bulk density; carbon; nitrogen, soil, sugarcane.

## AGRADECIMIENTOS

A Dios por su infinito amor y *porque para siempre es su misericordia.*

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONACYT por haberme otorgado el apoyo económico para la realización de mis estudios de maestría.

Al Colegio de Postgraduados, Programas de Hidrociencias y Edafología, por el apoyo académico y material para el desarrollo de este trabajo de investigación.

A mi consejo académico Dr. Abdul Khalil Gardezi, Dr. Héctor Flores Magdaleno y Dr. David Cristóbal Acevedo por el apoyo recibido durante el desarrollo de mi investigación.

A mi familia Rosales Neri, los que me aman y ayudan siempre.

A mi familia Pérez Rosales, que me han brindado su amor, me han acompañado y ayudado en estos estudios.

A mis maestros, que han contribuido a mi formación académica.

Al Dr. Remigio Anastasio Guzmán Plazola, a mi amigo y compañero Gustavo Arturo del Bosque Villarreal y al Dr. Humberto Vaquera Huerta por su gran ayuda para concluir este trabajo.

A mis amigos, los presentes y los que ya no están cerca de mí, por su ánimo, apoyo y cariño.

## **DEDICATORIA**

A mis padres, Refugio Rosales Domínguez, a mi madre Zenaida Neri Cruz, a mis hermanas y hermanos Norma Angélica, Claudia, Bernardo, Alejandro y Noé (†) muchas gracias por su amor y apoyo en todo momento.

A Jaime Pérez Pérez por tu amor, cariño y paciencia, a mi hija Nina Natalia Pérez Rosales mi más hermosa y preciada joya, mis dos amores.

A mis maestros de infancia, su dedicación y enseñanzas me son inolvidables.

A mis ejemplos de honestidad y trabajo, medico Luis Ize Lamache (†) e ingeniero Alonso Barrientos (†), gracias por su cariño y ánimo.

A la familia Del Bosque Villarreal, su ayuda y cariño son parte de este logro.

## CONTENIDO

RESUMEN .....	iv
ABSTRACT.....	v
AGRADECIMIENTOS.....	vi
DEDICATORIA .....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE CUADROS.....	xii
LISTA DE ANEXOS.....	xiii
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS .....</b>	<b>4</b>
2.1. Objetivo general.....	4
2.2. Objetivos particulares .....	4
2.3. Hipótesis.....	4
<b>3. REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>5</b>
3.1. La caña de azúcar .....	5
3.2. El suelo .....	7
3.3. Densidad aparente.....	8
3.3.1. Método de la probeta.....	12
3.3.2. Método del terrón.....	12
3.3.3. Método del cilindro.....	13
3.4. Ciclo del carbono.....	14
3.4.1. Carbón en el suelo.....	15
3.4.2. Manejo del suelo y captura de carbono .....	18
3.4.3. La materia orgánica del suelo.....	18
3.5. Importancia del nitrógeno (N).....	21
3.5.1. Ciclo del Nitrógeno.....	22
3.5.2. Nitrógeno en suelos.....	24
3.6. Relación Carbono/Nitrógeno.....	26
<b>4. METODOLOGÍA .....</b>	<b>28</b>
4.1. Descripción del sitio de muestreo.....	28
4.2. Obtención de las muestras .....	31
4.2.1. Obtención de las muestras para el método de la probeta.....	31



4.2.2. Secado de las muestras .....	32
4.2.3. Determinación de la densidad aparente del suelo .....	33
4.2.4. Obtención de las muestras para el método del terrón .....	33
4.2.5. Secado de las muestras .....	33
4.2.6. Determinación de la densidad aparente del suelo .....	34
4.2.7. Obtención de las muestras para el método del cilindro .....	34
4.2.8. Secado de las muestras para el método del cilindro .....	35
4.2.9. Determinación de la densidad aparente del suelo .....	35
<b>4.3. Determinación del carbono orgánico del suelo (COS) .....</b>	<b>35</b>
<b>4.4. Determinación del nitrógeno total del suelo.....</b>	<b>36</b>
<b>4.5. Relación carbono/nitrógeno (C/N) .....</b>	<b>37</b>
<b>4.6. Análisis estadístico.....</b>	<b>37</b>
<b>5. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>38</b>
<b>5.1. Densidad aparente .....</b>	<b>38</b>
5.1.1. Densidad aparente por sitios .....	38
5.1.2. Densidad aparente por profundidades.....	38
5.1.3. Densidad aparente por métodos.....	39
<b>5.2. Carbono orgánico del suelo (COS).....</b>	<b>45</b>
5.2.1. COS por sitios.....	45
5.2.2. COS por profundidades .....	46
5.2.3. COS por métodos .....	47
<b>5.3. Nitrógeno total (Nt) .....</b>	<b>50</b>
5.3.1. Nt por sitios.....	50
5.3.2. Nt por profundidades .....	51
5.3.3. Nt por métodos .....	52
<b>5.4. Relación carbono/nitrógeno (C/N) .....</b>	<b>57</b>
5.4.1. Relación C/N por sitios .....	57
5.4.2. Relación C/N por profundidades.....	57
5.4.3. C/N por métodos.....	58
<b>6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>62</b>
<b>6.1. Conclusiones.....</b>	<b>62</b>

<b>6.2. Recomendaciones .....</b>	<b>63</b>
<b>7. LITERATURA CITADA .....</b>	<b>64</b>
<b>8. ANEXOS .....</b>	<b>75</b>
<b>Anexo 1.</b> Cuestionario a productor del sitio 1 .....	75
<b>Anexo 2.</b> Análisis del suelo de Cuautla, Morelos.....	76
<b>Anexo 3.</b> Especificaciones del suelo de Cuautla, Morelos. ....	78
<b>Anexo 4.</b> Cuestionario a productor del sitio 2.....	79
<b>Anexo 5.</b> Análisis del suelo de San Juan Colón, Izúcar de Matamoros, Puebla. .....	79
<b>Anexo 6.</b> Especificaciones del suelo de San Juan Colón, Izúcar de Matamoros, Puebla. ....	82
<b>Anexo 7.</b> Coordenadas de los sitios de muestreo .....	83

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Esquema de las tres fases del suelo .....	7
<b>Figura 2.</b> Los cuatro componentes mayores del volumen en el suelo (Michigan Field Crop Ecology).....	10
<b>Figura 3.</b> Ciclo del carbono.....	15
<b>Figura 4.</b> Ciclo terrestre del carbono (Fuente: International Geosphere Program 1998) .....	16
<b>Figura 5</b> Ciclo del Nitrógeno. ....	23
<b>Figura 6.</b> Localización del área de estudio en Cuautla, Mor.....	28
<b>Figura 7.</b> Localización del área de estudio en San Juan Colón, Pue.....	29
<b>Figura 8.</b> Vista del primer sitio de muestreo .....	30
<b>Figura 9.</b> Vista del segundo sitio de muestreo.....	30
<b>Figura 10.</b> Distribucion del muestreo de los dos sitios.....	31
<b>Figura 11.</b> Extracción de las muestras .....	32
<b>Figura 12.</b> Secado y tamizado de las muestras.....	32
<b>Figura 13.</b> Obtención de las muestras para el método del cilindro. ....	34
<b>Figura 14.</b> Densidad aparente en los dos sistemas por método de probeta.....	38
<b>Figura 15.</b> Densidad aparente en los dos sistemas por método del terrón.....	39
<b>Figura 16.</b> Densidad aparente en los dos sistemas por el método del cilindro .....	40
<b>Figura 17.</b> COS en los dos sistemas por el método de la probeta.....	46
<b>Figura 18.</b> COS en los dos sistemas por el método del terrón .....	45
<b>Figura 19.</b> COS en los dos sistemas por el método del cilindro .....	47
<b>Figura 20.</b> Nitrógeno en los dos sistemas por el método de la probeta.....	51
<b>Figura 21.</b> Nitrógeno en los dos sistemas por el método del terrón.....	52
<b>Figura 22.</b> Nitrógeno en los dos sistemas por el método del cilindro.....	53
<b>Figura 23.</b> Carbono/Nitrógeno en los dos sistemas por el método de la probeta .	57
<b>Figura 24.</b> Carbono/Nitrógeno en los dos sistemas por el método del terrón.....	58
<b>Figura 25.</b> Carbono/Nitrógeno en los dos sistemas por el método del cilindro .....	58

## LISTA DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Medias, desviación estándar y CV de pb en los métodos evaluados ..	41
<b>Cuadro 2.</b> Comparación de la pb en los sitios, métodos y profundidad.....	44
<b>Cuadro 3.</b> Medias, desviación estándar y CV de COS en los métodos evaluados .....	48
<b>Cuadro 4.</b> Comparación del COS en los sitios, métodos y profundidad .....	49
<b>Cuadro 5.</b> Medias, desviación estándar y CV del N en los métodos evaluados ...	54
<b>Cuadro 6.</b> Comparación del N en los sitios, métodos y profundidad .....	55
<b>Cuadro 7.</b> Medias, desviación estándar y CV del C/N en los métodos evaluados .....	59
<b>Cuadro 8.</b> Comparación de C/N en los sitios, métodos y profundidad .....	60

## LISTA DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Cuestionario a productor del sitio 1 .....	75
<b>Anexo 2.</b> Análisis del suelo de Cuautla, Morelos.....	76
<b>Anexo 3.</b> Especificaciones del suelo de Cuautla, Morelos.....	78
<b>Anexo 4.</b> Cuestionario a productor del sitio 2 .....	79
<b>Anexo 5.</b> Análisis del suelo de San Juan Colón, Izúcar de Matamoros, Puebla...	79
<b>Anexo 6.</b> Especificaciones del suelo de San Juan Colón, Izúcar de Matamoros, Puebla. ....	82
<b>Anexo 7.</b> Coordenadas de los sitios de muestreo .....	83

## 1. INTRODUCCIÓN

Los suelos proveen servicios ambientales indispensables para asegurar el mantenimiento de la biodiversidad y la regulación hidrológica. Una de las medidas más comunes para conocer el estado físico de un suelo es la densidad aparente, es una forma de evaluar la resistencia del suelo a la elongación de las raíces; también se usa para convertir datos expresados en concentraciones a masa o volumen, cálculos muy utilizados en fertilización de cultivos extensivos. La densidad aparente varía con la textura del suelo y el contenido de materia orgánica; puede variar estacionalmente por efecto de labranzas y con la humedad del suelo sobre todo en los suelos con arcillas expansivas. La profundidad del suelo influye en el valor de la densidad aparente; los valores de esta pueden ser utilizados para estimar la productividad del suelo y la calidad. (Al-Shammary, *et al.*, 2018, Taboada y Álvarez, 2008).

El método más utilizado para realizar la determinación de densidad aparente es el método del cilindro ya que presenta poca variación, es fácil de repetir y su determinación es sencilla. Otros métodos no requieren instrumental complejo para estimar densidad aparente. Cuando no se cuenta con la posibilidad de obtener la muestra inalterada del campo se puede utilizar el método de la probeta, que usa la muestra molida y tamizada, o también el método de la parafina con muestras inalteradas tomadas con pala sin usar el cilindro (Rojas y Sáenz, 2012).

El nitrógeno es un nutriente esencial para los seres vivos, ya que es uno de los constituyentes principales de compuestos vitales como aminoácidos, proteínas, enzimas, nucleoproteínas, ácidos nucleicos, así como también de las paredes celulares y clorofila en los vegetales. Debido a la importancia del nitrógeno (N) en las plantas, junto al fósforo (P) y al potasio (K) se les clasifica como macronutrientes. Es además, el nutriente que en general más influye en el rendimiento y calidad del producto a obtener en la actividad agropecuaria (Perdomo y Barbazán, 1992). El nitrógeno es un elemento esencial para la vida. El ciclo del nitrógeno natural se ha acelerado rápidamente por las actividades de los humanos desde el inicio de la

revolución industrial, y como resultado, el nitrógeno más reactivo (Nr) se emite al medio ambiente. Esto está causando problemas ambientales múltiples, incluyendo la eutrofización y la acidificación. Los compuestos de nitrógeno afectan el clima global de diferentes maneras debido a sus interacciones y reacciones en el planeta (Erisman, *et al.*, 2011).

El suelo es un importante compartimiento dentro del ciclo global del carbono. El suelo puede actuar como fuente o reservorio de carbono dependiendo de su uso y manejo (Lal, *et al.*, 1990 y 1997). Constituye la mayor fuente de carbono orgánico en los ecosistemas terrestres (Batjes, 1996), pudiendo duplicar el contenido de carbono que se encuentra en la atmósfera (Schlesinger y Andrews, 2000). Los suelos agrícolas están entre los mayores depósitos de carbono del planeta y tienen potencial para expandir el secuestro de carbono y de esta manera mitigar la creciente concentración atmosférica de CO<sub>2</sub>. En México, el manejo de los suelos agrícolas es responsable del 6.21% de la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) (SEMARNAT-INECC, 2012). En nuestro país, las estimaciones del carbono orgánico del suelo (COS) en la profundidad 0 a 30 cm representan alrededor de un tercio de las emisiones de gases de efecto invernadero totales del sector uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura (De Jong, *et al.*, 2010). La importancia del almacenamiento de carbono en el suelo ha atraído a atención de muchos científicos en la actualidad (Wang, *et al.*, 2006; Luysaert, *et al.*, 2008; Springsteen, *et al.*, 2010).

La caña de azúcar es un cultivo que requiere del uso intensivo de maquinaria agrícola, la cual tiende a modificar las características físicas del terreno (Hammad y Dawelbeir, 2001). En tal sentido, la densidad aparente tiende a aumentar, lo que reduce el espacio poroso y, por consecuencia, la aireación. El registro y la evaluación de los cambios producidos en el suelo pueden aportar información útil en pro de la sostenibilidad de tales sistemas (Ribón, *et al.*, 2003).

La medición de la densidad aparente del suelo es una variable importante para comprender las propiedades físicas, químicas, y biológicas del suelo. La densidad aparente del suelo está fuertemente correlacionada con el COS (Zhou, *et al.*, 2006 y Xie, *et al.*, 2007); también es indispensable para la cuantificación de carbono orgánico del suelo, nitrógeno total y la relación carbono/nitrógeno ya que estos indicaran cambios cuantitativos y cualitativos en el desarrollo del cultivo de caña de azúcar; se pretende con esta investigación conocer las variaciones resultantes de la cuantificación de la densidad aparente en los dos sitios analizados.



## **2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS**

### **2.1. Objetivo general**

Evaluar como varia el contenido de carbono y nitrógeno en el suelo en relación a tres metodologías valoradas de densidad aparente en dos sitios con caña de azúcar con diferente manejo de fertilización; para aportar información de las cantidades obtenidas de carbono orgánico del suelo, nitrógeno total y la relación carbono/nitrógeno presentes.

### **2.2. Objetivos particulares**

- I. Cuantificar la densidad aparente del suelo presente en los dos sitios analizados.
- II. Cuantificar el contenido de COS para determinar las cantidades presentes en los dos sitios.
- III. Cuantificar el contenido de Nt en el suelo para determinar las cantidades presentes en los dos sitios.
- IV. Obtener la relación C/N para determinar qué sistema tiene una mejor condición en la producción de nitrógeno asimilable en el suelo.

### **2.3. Hipótesis**

- I. La cuantificación de la densidad aparente en los dos sitios analizados tiene los mismos valores con los diferentes métodos estudiados.
- II. El sitio con fertilización orgánica tiene un mayor contenido de COS en el suelo.
- III. El sitio con fertilización orgánica tiene un mayor contenido de Nt en el suelo.
- IV. Las capas superficiales en los dos sistemas tienen un mayor contenido de carbono orgánico, nitrógeno y una mejor relación C/N.

### 3. REVISIÓN DE LITERATURA

#### 3.1. La caña de azúcar

La caña de azúcar es una gramínea tropical, emparentada con el sorgo y el maíz en cuyo tallo se forma y acumula un jugo rico en sacarosa, compuesto que al ser extraído y cristalizado en el ingenio forma el azúcar. La sacarosa es sintetizada por la caña con la energía tomada del sol durante la fotosíntesis, constituye el cultivo de mayor importancia desde el punto de vista de la producción azucarera, además representa una actividad productiva y posee varios subproductos. La raíz se encuentra regularmente en los primeros 35 cm del suelo. El tallo es la parte esencial para la producción de azúcar, se encuentra dividido en nudos y entrenudos. El largo de los entrenudos puede variar según las variedades y desarrollo de la planta, está compuesto por una parte sólida llamada fibra y una parte líquida, el jugo, que contiene agua y sacarosa. La hoja es en forma de vaina, su función principal es proteger a la yema, nace en los entrenudos del tallo. A medida que la caña se desarrolla, las hojas bajas se vuelven senescentes, se caen y son reemplazadas por las que aparecen en los nudos superiores. La inflorescencia es una panícula de forma y tamaño variables, características de cada cultivo o variedad usada, las flores son hermafroditas completas. Este cultivo se desempeña bien en suelos sueltos, profundos y fértiles. Esta especie de los climas tropicales puede producirse hasta los 35 grados latitud norte y sur, se desempeña mejor en altitudes que van desde 0 a 1,000 metros sobre el nivel del mar, con una temperatura media de 24 °C, además de una precipitación anual de 1500 mm bien distribuidos durante su ciclo de crecimiento. Cuando las temperaturas de la noche y del día son uniformes, la caña no cesa de crecer y en sus tejidos siempre habrá un alto porcentaje de azúcares reductores. Las variaciones de temperatura superiores a 8 °C son muy importantes en la fase de maduración, porque ayudan a formar y a retener la sacarosa. A mayor radiación solar, habrá mayor actividad fotosintética y mayor translocación de los carbohidratos de las hojas al tallo, produciendo tonelajes más altos de azúcar en la fábrica. La caña de azúcar es una planta C4 muy eficiente fijando carbono la captación del CO<sub>2</sub> ocurre en las células del mesófilo, poseen una

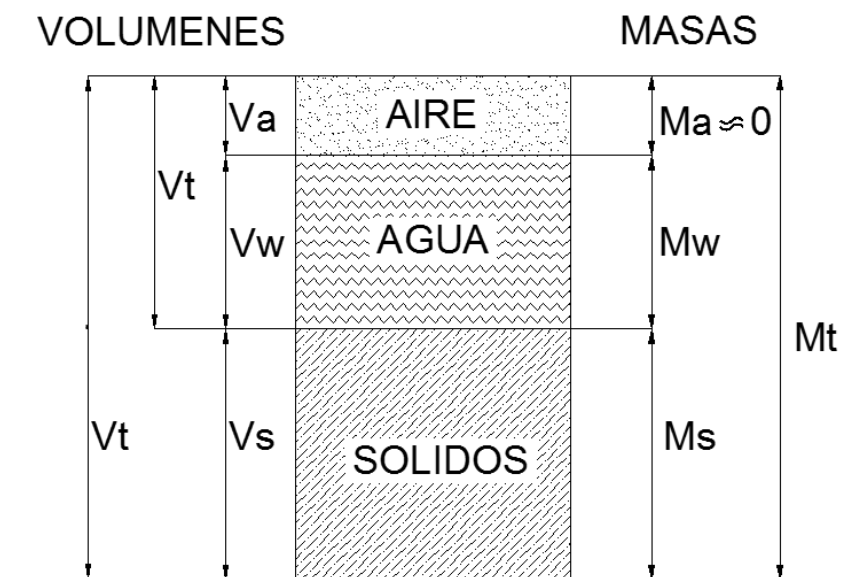
reducida fotorespiración lo cual reduce la pérdida del carbono fijado en la fotosíntesis que permite tener una gran cantidad de carbono durante el ciclo productivo, tanto en la biomasa aérea, la raíz y en la sacarosa (CINPE, 2012).

La caña de azúcar creciendo en condiciones agroecológicas satisfactorias y con adecuada nutrición, tiene la capacidad de producir grandes cantidades de azúcar por unidad de área, de esta manera se está incrementando la cantidad de carbono dentro del proceso productivo. Al comparar datos de retención de carbono promedio diario del cultivo de caña de azúcar con los de otras especies vegetales, se muestra alta capacidad de retención. Sin embargo, es importante mencionar que la retención de CO<sub>2</sub> es muy transitoria por ser un cultivo de cosecha anual para lo cual se queman las hojas y gran parte del CO<sub>2</sub> retenido se regresa a la atmósfera al final del ciclo. Por lo tanto, es importante sustituir la quema por la aplicación de herbicidas para la defoliación de las plantas o bien aplicar la cosecha en verde y dejar los residuos de cosecha en el terreno para que entren al ciclo de la materia orgánica del suelo (Zermeño, *et al.*, 2012).

Para efectos del cambio climático esta quema no representa un problema por dos razones fundamentales. Primero, la quema de residuos orgánicos (como el bagazo biomásico) o los combustibles sólidos, líquidos o gaseosos obtenidos por conversión de aquellos, libera CO<sub>2</sub> a la atmósfera. La cantidad de CO<sub>2</sub> generado no es mayor que la cantidad que ha capturado la misma biomasa durante su crecimiento. Resulta un balance neutro de CO<sub>2</sub>, es decir no se agrega CO<sub>2</sub> a la atmósfera. Si los residuos orgánicos pueden sustituir combustibles fósiles, se presenta entonces una reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Segundo, la caña de azúcar posee un balance positivo aun cuando se queme un día durante la zafra. La quema de una hectárea de caña genera: entre 12 y 20 toneladas de CO<sub>2</sub>, 0,6 toneladas de CO y absorbe 1,2 toneladas de O<sub>2</sub> (combustión). Mientras su balance neto anual libera 72,8 t O<sub>2</sub>, remueve 100 toneladas de CO<sub>2</sub> y libera 0,6 toneladas de CO (Esquivel, *et al.*, 2016).

### 3.2. El suelo

Los suelos agrícolas están formados por tres fases: la fase sólida que constituye lo que se conoce en física de suelos como la matriz del suelo; la fase líquida que contiene el agua del suelo, debido a que existen sustancias disueltas también se le conoce como la solución del suelo; y la fase gaseosa conocida como la atmósfera del suelo. La fase sólida incluye partículas minerales y la materia orgánica. La proporción relativa de las tres fases del suelo varía continuamente, la cual depende del clima, vegetación y manejo del suelo. Generalmente en suelos agrícolas la fase sólida ocupa aproximadamente el 50% del volumen del suelo, el volumen de poros el otro 50 % (agua + aire) (Hillel, 1980), (Figura 1).



**Figura 1.** Esquema de las tres fases del suelo

En cuanto a la proporción de agua y aire esta varía ampliamente, un aumento en el volumen de agua origina una disminución del volumen de aire y viceversa. La estructura del suelo se refiere a la forma, tamaño y estabilidad de los agregados del suelo. Un agregado es un conjunto de partículas unidas por un material orgánico o mineral. Este material puede ser materia orgánica, carbonato de calcio, sílice o sesquióxidos; esta estructura afecta las relaciones entre la textura y la densidad aparente, la retención de humedad y la permeabilidad del suelo (Hassett, 1992).

### 3.3. Densidad aparente

En todo sistema suelo-planta hay una serie de factores físicos, como el contenido de agua y temperatura de suelo, que inciden directamente sobre el comportamiento del cultivo. Algunas propiedades físicas como la densidad aparente ( $\rho_b$ ), puede modificar o determinar algunos parámetros como estabilidad de agregados, porosidad total y distribución del tamaño de poros (Elisondo, *et al.*, 2001).

La densidad aparente es un indicador de la compactación del suelo, de su calidad y su salud. Afecta la infiltración, la profundidad, la restricción en las raíces, la capacidad de agua disponible, la porosidad del suelo, la disponibilidad de nutrientes en las plantas y la actividad de los microorganismos del suelo, que influyen en los procesos y la productividad clave del suelo (USDA-NRCS, 2014). La densidad aparente varía de acuerdo al estado de agregación del suelo, al contenido de agua y la proporción del volumen ocupado por los espacios intersticiales, que existen incluso en suelos compactos. La densidad aparente es afectada por la porosidad e influye en la elasticidad, conductividad eléctrica, conductividad térmica, en la capacidad calorífica a volumen constante y en la dureza (Thompson e Iroeh, 2002).

Los factores inherentes que afectan la densidad aparente, como la textura del suelo, no se pueden cambiar. La densidad depende de la materia orgánica del suelo, la textura del suelo, la densidad del suelo mineral (arena, limo y arcilla) y su disposición. Como regla general, la mayoría de las rocas tienen una densidad de  $2,65 \text{ g/cm}^3$ , por lo que idealmente, un suelo franco limo tiene un 50% de espacio poroso y una densidad aparente de  $1,33 \text{ g/cm}^3$ . En general, los suelos sueltos, bien agregados, porosos y aquellos ricos en materia orgánica tienen una densidad aparente más baja de  $1.1 \text{ g/cm}^3$ . Los suelos arenosos tienen una densidad aparente relativamente alta de  $1.6 \text{ g/cm}^3$ , ya que el espacio total de poros en las arenas es menor que los suelos limosos o arcillosos (USDA-NRCS, 2014). La densidad aparente de los suelos derivados de cenizas volcánica suele ser baja,  $1 \text{ g/cm}^3$ . La densidad aparente de los suelos no cultivados varía generalmente entre 1 y  $1.6 \text{ g/cm}^3$ . En un suelo compactado el valor de la densidad aparente suele ser  $1.6 \text{ g/cm}^3$ .

cm<sup>3</sup>. La variación es debida en su mayor parte a diferencias en el volumen total de poros, reconociéndose dos fuentes de origen principales: la textura y la estructura. El espacio poroso total se incrementa a medida que la textura es más fina, resultando en una disminución de la densidad aparente. El tamaño de los poros que generan las partículas de arcilla es extremadamente pequeño respecto del generado por partículas de arena, pero existe considerablemente mayor cantidad de poros en una muestra de textura arcillosa que en una arenosa (Thompson, 2002).

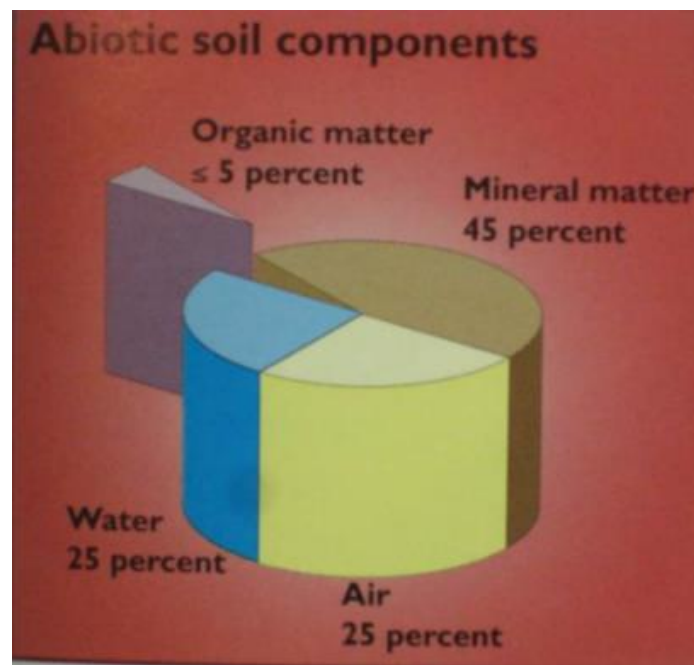
La densidad aparente generalmente aumenta con la profundidad del suelo ya que las capas subsuperficiales están más compactadas y tienen menos materia orgánica, menos agregación y menos penetración de raíces en comparación con las capas superficiales, por lo tanto contienen menos espacio de poros (USDA-NRCS, 2014).

La densidad aparente es fuertemente afectada por el manejo del suelo. La mantención de adecuados niveles de materia orgánica del suelo contribuye a disminuir la densidad aparente y resistencia a la compactación del suelo. En los primeros años de implementación de cero labranza la densidad aparente del suelo tiende a aumentar debido a repetidas pasadas del tractor y a la falta de mullimiento por acción de la labranza (Lampurlanés y Cantero-Martínez, 2003). Sin embargo, la disminución de la densidad aparente por labranza tiene sólo un efecto temporal, ya que el suelo después de la labranza se asienta rápidamente (Franzlubbers, *et al.*, 1995).

La densidad aparente puede modificarse mediante prácticas de manejo que afectan la cobertura del suelo, la materia orgánica, la estructura del suelo, la compactación y la porosidad. La labranza excesiva destruye la materia orgánica del suelo y debilita la estabilidad natural de los agregados del suelo haciéndolos susceptibles a la erosión causada por el agua y el viento. Cuando las partículas erosionadas del suelo llenan el espacio poroso, la porosidad se reduce y aumenta la densidad aparente. La labranza y el desplazamiento del equipo dan como resultado capas de suelo

compactadas con mayor densidad aparente. La labranza antes de plantar disminuye temporalmente la densidad aparente en la superficie, pero aumenta a la profundidad de la labranza. Los trabajos de campo por equipo agrícola, eventos de lluvia, animales y otras actividades perturbadoras también compactarán el suelo. Las soluciones a largo plazo para la compactación del suelo se centran en disminuir la perturbación del suelo y aumentar la materia orgánica del suelo (USDA-NRCS, 2014). La compactación del suelo es un problema agrícola importante porque da su efecto significativo en la productividad (Keesstra, *et al.*, 2016).

La densidad aparente se determina por el peso del suelo seco por unidad de volumen expresado típicamente en  $\text{g}/\text{cm}^3$ . El volumen total de la superficie del suelo es de aproximadamente 50% de sólidos, principalmente partículas de suelo (45%) y materia orgánica (generalmente  $<5\%$ ); y alrededor del 50% del espacio poroso que se llena con aire o agua (USDA-NRCS, 2014) (Figura 2).



**Figura 2.** Los cuatro componentes mayores del volumen en el suelo (Michigan Field Crop Ecology).

Al determinar la densidad aparente, se debe determinar la cantidad de humedad del suelo. La capacidad de agua disponible es la cantidad de humedad del suelo disponible para las plantas que varía según la textura y se reduce cuando se produce la compactación. El valor de la densidad aparente debe ser conocido para poder transformar las concentraciones de nutrientes, minerales y/o carbono en el suelo para el análisis de sus balances (Taalab, *et al.*, 2013), y el cálculo de contenido de agua en volumen.

La falta de estandarización de algunos factores básicos, como el tamaño y la forma de las muestras, la fuerza y la velocidad aplicada en la inserción, la velocidad de extracción de la muestra, y el estado de humedad del suelo durante el muestreo, pueden ser fuentes de variaciones que influyen en las diferencias en los valores de la densidad aparente seca y húmeda. Folegatti, *et al.*, (2001), reportaron que las técnicas utilizadas con diferentes muestreadores pueden influir en los valores de las densidades aparentes.

La determinación directa de la densidad aparente requiere operaciones de campo y laboratorio; se puede hacer por diferentes métodos como son: del cilindro, del terrón, de la probeta, de excavación y aspersion de rayos gamma. Los métodos directos para medir la densidad aparente del suelo son a menudo prácticos (Al-Shammary, *et al.*, 2018). Incluyen mediciones de la masa y volumen de muestras de suelo secado al horno.

La densidad aparente se determina, como el peso de suelo seco entre el volumen total de suelo en condiciones de campo:

$$\rho_b = \frac{P_{ss}}{V_{ts}}$$

Donde:

$\rho_b$  = Densidad aparente (g cm<sup>-3</sup>),

$P_{ss}$  = Peso del suelo seco (g)

$V_{ts}$  = Volumen total del suelo (cm<sup>3</sup>).



### 3.3.1. Método de la probeta

Es un método muy práctico para medir la densidad aparente, se necesita una balanza, una probeta aforada y un tapón de probeta. Se coloca suelo previamente pesado en la probeta graduada y tapada, se golpea un número determinado de veces sobre una superficie y se mide cuanto descendió del nivel original el volumen. La densidad aparente se calcula mediante la fórmula:

$$\rho_b = \frac{\text{Peso total}}{\text{Volumen medido}}$$

Donde:

$\rho_b$  = Densidad aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ )

Pt= Peso total de suelo en la probeta (g)

Vm= Volumen medido de suelo ( $\text{cm}^3$ )

### 3.3.2. Método del terrón

Cuando se cuenta con terrones de suelo, la masa se conoce pesando la muestra (terrón) y en el caso del volumen se puede determinar recubriendo el terrón con una sustancia hidrófuga, cera o petróleo. Cuando se emplea el petróleo diáfano, se hace uso de una balanza, una probeta de 25 ml y de 50 ml y una estufa para secar suelo a  $110\text{ }^\circ\text{C}$ . Los terrones se pesan y se pone a secar en la estufa  $110\text{ }^\circ\text{C}$ , hasta obtener un peso constante, se pesan y se introduce en un recipiente con petróleo durante 30 minutos o hasta que se sature. Una vez saturado el terrón se introduce en una probeta graduada parcialmente llena de agua y se mide el volumen desplazado por la muestra haciendo uso del principio de Arquímedes. Para calcular la densidad aparente, se toma en consideración el contenido de humedad del terrón. Con este dato se obtiene el peso seco del terrón sumergido en petróleo y con este peso y el volumen desplazado por el terrón se calcula la densidad aparente, (NOM, 2000 SEMARNAT) tal como se expresa en la siguiente ecuación:

$$\rho_b = \frac{\text{Peso seco del terrón}}{\text{Volumen desplazado}}$$

Donde:

$\rho_b$  = Densidad aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ )

P<sub>st</sub>= peso seco del terrón (g)

V<sub>d</sub>= volumen desplazado ( $\text{cm}^3$ )

El método del terrón es la segunda técnica más utilizada para la medición de la densidad aparente del suelo (Casanova, *et al.*, 2016). Cuando el horizonte del suelo tiene un espesor reducido o es demasiado compacto para insertar el cilindro correctamente, es posible medir la densidad del suelo utilizando el método de terrones (Gandoy, 1992).

### 3.3.3. Método del cilindro

El método del cilindro emplea un muestreador (Eijkelkamp, Holanda) que consta de un cilindro metálico en su extremo inferior en cuyo interior alberga un cilindro removible de 5 cm de altura que encaja a 3 cm de su tope superior. El volumen interno del cilindro removible es de  $98.2 \text{ cm}^3$ . Extraído el muestreador del suelo se retira el cilindro interior y se enrasa la muestra cortando cuidadosamente con un cuchillo el suelo excedente por encima y por debajo. Los cilindros enrasados son llevados al laboratorio para su secado en estufa a  $105 \text{ }^\circ\text{C}$  por 48 horas y posteriormente pesados para determinar su masa (Blake y Hartge, 1986, Doran y Mielke, 1984).

La densidad aparente se determina por medio de la siguiente fórmula (USDA-NRCS, 2014):

$$\rho_b = \frac{\text{Peso del suelo seco}}{\text{Volumen del cilindro}}$$

Donde:

$\rho_b$  = Densidad aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ )

P<sub>ss</sub>= Peso del suelo seco (g)

V<sub>c</sub>= volumen del cilindro ( $\text{cm}^3$ )

### 3.4. Ciclo del carbono

El carbono es el elemento químico fundamental de los compuestos orgánicos, que circula por los océanos, la atmósfera, el suelo y subsuelo. El carbono pasa de un depósito a otro por medio de procesos químicos, físicos y biológicos. La atmósfera es el menor y el más dinámico de los reservorios del ciclo del carbono, pero todos los cambios que ocurren en este reservorio tienen una estrecha relación con los cambios del ciclo global de carbono y del clima. Gran parte del carbono presente en la atmósfera ocurre en la forma de  $\text{CO}_2$  (Rügnitz, *et al.*, 2009).

El ciclo del carbono se inicia en la atmósfera, donde las plantas terrestres toman el bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) para realizar la fotosíntesis (proceso de fijación del carbono). El carbono se almacena tanto en forma de biomasa (troncos, ramas, hojas, raíces, etc.), como en forma de carbono orgánico en el suelo (Winjum, *et al.*, 1993). Al degradarse la biomasa se incorpora paulatinamente al suelo y da origen al humus estable, este a su vez, aporta nuevamente  $\text{CO}_2$  al entorno. Los productores acuáticos lo utilizan disuelto en el agua (en forma de bicarbonato,  $\text{HCO}_3^-$ ). En este proceso el  $\text{CO}_2$  se utiliza en la síntesis de la glucosa y de esta forma pasa a los consumidores primarios, que a su vez sirven de alimento al siguiente eslabón de la cadena y así sucesivamente. En cada nivel trófico de una red alimenticia, el carbono regresa a la atmósfera o al agua como resultado de la respiración, ya que al hacerlo liberamos  $\text{CO}_2$ . A medida que mueren las plantas y los animales, las bacterias y los hongos se encargan de liberar el carbono de los cadáveres para dejarlo disponible como alimento para otros niveles tróficos. Por medio del metabolismo de plantas y animales, se libera el  $\text{CO}_2$  de carbono y el ciclo puede volver a comenzar (UNAM, 2016) (Figura 3).



**Figura 3.** Ciclo del carbono

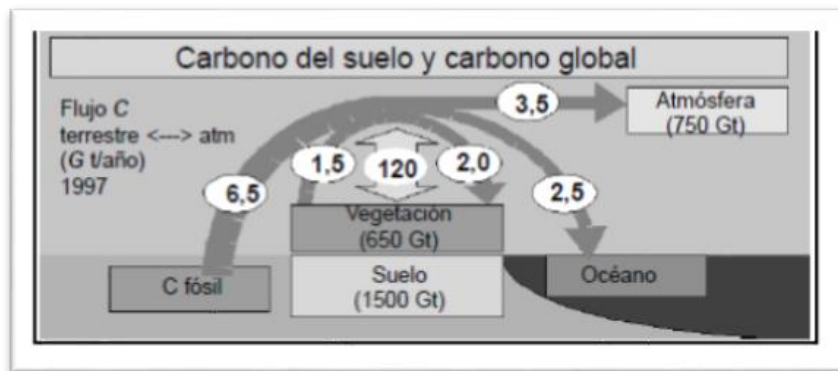
### 3.4.1. Carbón en el suelo

El carbono orgánico del suelo (COS) es un componente importante del ciclo global del carbono, ocupando un 69,8 % del carbono orgánico de la biosfera (FAO, 2002). En los últimos años se ha puesto especial énfasis en el suelo como reservorio de carbono a escala global, por la importancia que tiene para evaluar los cambios en las concentraciones de carbono atmosférico (Johnson *et al.*, 2002). Cualquier actividad relacionada al uso del suelo que modifique la cantidad de biomasa en la vegetación y en el suelo, tiene el potencial de alterar la cantidad de carbono almacenado y emitido hacia la atmósfera, lo que afecta directamente la dinámica del clima de la tierra (Rügnitz, *et al.*, 2009). Mantener e incrementar el carbono del suelo es una opción para reducir las cantidades de CO<sub>2</sub> en la atmósfera para reducir o mitigar el cambio climático. El COS es ahora un tema de gran interés, por lo que se recomienda conocer la cantidad del COS a lo largo del perfil para seleccionar y evaluar las áreas que deben preservarse (Bautista, *et al.*, 2016).

Los suelos constituyen la mayor fuente de carbono orgánico en los ecosistemas terrestres (Batjes, 1996), pudiendo duplicar el contenido de carbono que se encuentra en la atmósfera (Schlesinger y Andrews, 2000). En México, el manejo de

los suelos agrícolas es responsable del 6.21% de la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) (SEMARNAT-INECC, 2012).

El carbono orgánico del suelo representa la mayor reserva en interacción con la atmósfera y se estima en cerca de 1 500 Pg C a 1 m de profundidad y cerca de 2 456 a dos metros de profundidad. El carbono inorgánico representa cerca de 1 700 Pg pero es capturado en forma más estable como el carbonato de calcio. La vegetación (650 Pg) y la atmósfera (750 Pg) almacenan considerablemente menos cantidades que los suelos. Los flujos entre el carbono orgánico del suelo o terrestre y la atmósfera son importantes y pueden ser positivos bajo la forma de captura o negativos como emisión de CO<sub>2</sub> (FAO, 2002) (Figura 4).



**Figura 4.** Ciclo terrestre del carbono (Fuente: International Geosphere Program 1998)

El carbono orgánico del suelo tiene un efecto importante en la agregación de las partículas del suelo (Follett y Stewart, 1985), existiendo una relación entre tamaño de los agregados y contenido de COS. Mientras mayor es el contenido de COS lábil, mayor es el tamaño de los agregados. A su vez, los agregados de menor tamaño están asociados a la fracción altamente humificada con período de residencia en el suelo mayor a siete años (Buyanovsky, *et al.*, 1994). Rothon, (2000) encontró una correlación positiva entre el porcentaje de estabilidad de los agregados y el contenido de materia orgánica del suelo.

\*1 Pg = 10<sup>15</sup> g = Gt = 10<sup>9</sup> toneladas métricas

En suelos cultivados el mayor aporte de carbono ocurre con los residuos de la cosecha. En condiciones naturales el carbono se incorpora al suelo a través del aporte continuo de material orgánico, principalmente de origen vegetal. El carbono del suelo se puede perder en forma gaseosa ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ) por difusión directa hacia la atmósfera. En el pasado, el desarrollo de la agricultura fue la principal causa del incremento de la concentración de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera, pero hoy día, los mayores contribuyentes son la combustión de los combustibles fósiles por parte de la industria y el transporte (6,5 Pg/año) (FAO, 2002).

El carbono orgánico del suelo ubicado a mayor profundidad es estable/recalcitrante (Lorenz, *et al.*, 2011), con tiempos de residencia grandes (Kaiser, *et al.*, 2002; Rumpel, *et al.*, 2002; Jenkinson y Coleman, 2008; Chabbi, *et al.*, 2009). Los diferentes reservorios de carbono que existen en el suelo tienen distintos tiempos medios de residencia variando de uno a pocos años, dependiendo de la composición bioquímica (FAO, 2002).

La distribución del carbono a medida que aumenta la profundidad en los suelos (Rumpel y Kögel-Knabner, 2011; Braakhekke, *et al.*, 2013) se atribuye a ingresos provenientes de las raíces, por movimiento (transporte) de la fase líquida y por dispersión del carbono debido al mezclado con la matriz del suelo (bioturbación) en esa dirección. En el caso del transporte, éste puede ser por movimiento difusivo o por migración convectiva o advección, aunque este último proceso tiene poca influencia (Elzein y Balesdent, 1995).

La presencia del carbono en los suelos incide sobre la formación y la estabilización de los agregados (De León-González, *et al.*, 2000) que conlleva a una mayor resistencia ante el impacto de la gota de lluvia sobre la estructura de la superficie del suelo, mejora la tasa de infiltración y la capacidad de retención de agua en el suelo, incrementa el contenido de la biomasa microbiana y del reciclaje de nutrientes (Lal, 2004).

#### 3.4.2. Manejo del suelo y captura de carbono

El carbono es el elemento químico fundamental de los compuestos orgánicos que circula por los océanos, la atmósfera, el suelo, y subsuelo. Estos son considerados depósitos (reservorios) de carbono. Las prácticas de manejo que alteran el rendimiento de los cultivos y la productividad de los suelos pueden afectar la superficie del suelo con los consiguientes efectos en el secuestro de carbono y las emisiones de gases de efecto invernadero (West y Marland, 2003).

El secuestro de carbono en el suelo implica la transferencia de CO<sub>2</sub> atmosférico por las plantas y su almacenamiento como carbono orgánico del suelo (Lal, 2004). No obstante, la falta de datos del carbono orgánico del suelo en experimentos de larga duración dificulta la estimación temporal del almacenamiento o pérdida de carbono en el suelo (Kaonga & Coleman, 2008).

En México no se cuenta con información pormenorizada de los almacenes de carbono por tipo de ecosistema y uso del suelo, ni tampoco de sus flujos netos, derivados de los patrones de cambio de uso del suelo a escala regional (Ordóñez, *et al.*, 1999). Muy pocos sitios de campo han sido constantemente estudiado por una escala de tiempo de años o décadas (Zhou, *et al.*, 2006; Wirth, *et al.*, 2009), esto es lo que hace difícil hacer una visión completa del carbono del suelo a gran escala (Wang, 2011).

#### 3.4.3. La materia orgánica del suelo

La materia orgánica del suelo tiene una composición muy compleja y heterogénea y está por lo general mezclada o asociada con los constituyentes minerales del suelo. La materia orgánica del suelo es el principal determinante de su actividad biológica. La cantidad, la diversidad y la actividad de la fauna del suelo y de los microorganismos están directamente relacionadas con la materia orgánica. Es un indicador clave de la calidad del suelo, tanto en sus funciones agrícolas (p. ej. producción y economía) como en sus funciones ambientales entre ellas captura de carbono y calidad del aire. La agregación y la estabilidad de la estructura del suelo

aumentan con el contenido de materia orgánica. Esta a su vez, mejoran la estructura, disminuyen la densidad aparente, aumenta la porosidad y aireación, incrementa la tasa de infiltración y la capacidad de agua disponible en el suelo así como la resistencia contra la erosión hídrica y eólica. La materia orgánica del suelo también mejora la dinámica y la biodisponibilidad de los principales nutrientes de las plantas (FAO, 2002). La materia orgánica del suelo afecta la reacción del suelo (pH) debido a los diversos grupos activos que aportan grados de acidez, a las bases de cambio y al contenido de nitrógeno presente en los residuos orgánicos aportados al suelo (Trinidad y Velasco, 2016).

Los principales factores que actúan sobre la evolución de la materia orgánica conciernen la vegetación -ingreso de residuos, composición de las plantas-, los factores climáticos -condiciones de temperatura y humedad- y las propiedades del suelo -textura, contenido y mineralogía de la arcilla, acidez-. La tasa de mineralización de la materia orgánica del suelo depende sobre todo de la temperatura y de la disponibilidad de oxígeno -drenaje-, el uso de la tierra, los sistemas de cultivo, el manejo del suelo y de los cultivos (FAO, 2002). La intensidad y calidad de la materia orgánica que se agregue al suelo afecta, en consecuencia, la calidad del suelo, misma que será función de la tasa con que ésta pasa a formar parte del carbono orgánico del suelo (Cotler, *et. al*, 2016).

En algún momento, la mayor parte de la biomasa contenida en el material vegetal vivo se transfiere a depósitos de materia orgánica, por ejemplo, madera muerta y hojarasca. Parte de esta materia orgánica muerta se descompone rápidamente y devuelve el carbono a la atmósfera, pero hay una parte retenida durante meses hasta años o décadas. El uso y el manejo de las tierras repercuten sobre la existencia de carbono en la materia orgánica muerta al tener su efecto sobre la velocidad de descomposición y sobre el ingreso de detrito fresco. Las pérdidas debidas al quemado de materia orgánica muerta incluyen emisiones de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, NO<sub>x</sub>, COVDM y CO (IPCC, 2006).



El desarrollo de la agricultura ha implicado una gran pérdida de materia orgánica del suelo. El contenido de materia orgánica del suelo disminuye frecuentemente con la intensidad de labranza incrementando los flujos de CO<sub>2</sub> desde el suelo hacia la atmósfera. Sin embargo, existen diferentes prácticas de manejo de tierras que pueden ser usadas para aumentar el contenido de la materia orgánica del suelo tales como el incremento de la productividad y de la biomasa –variedades-, fertilización e irrigación. Las fuentes de materia orgánica también incluyen residuos orgánicos, composta y cultivos de cobertura. Las principales formas de obtener un incremento de la materia orgánica en el suelo están asociadas a la agricultura de conservación y compostas, la labranza mínima o cero y el uso de una cobertura vegetal continua y protectora formada por materiales vegetales vivos o muertos sobre la superficie del suelo (FAO, 2002).

Los abonos orgánicos son aquellos residuos de origen animal y vegetal de los que las plantas pueden obtener importantes cantidades de nutrimentos; el suelo con la descomposición de estos abonos se ve enriquecido con carbono orgánico y mejora sus características, químicas, físicas y biológicas (COLPOS, 2016). Los abonos de origen animal, debido a su composición pueden generar efectos diferentes con respecto a los residuos vegetales para iguales tasas de incorporación (Krull, *et al*, 2004).

Los compuestos orgánicos son necesarios tanto para la producción agrícola como para el mantenimiento de funciones ambientales. La mayoría de los suelos del mundo usados para la agricultura han sido agotados de su materia orgánica después de muchos años de aplicación de sistemas convencionales de labranza manual o mecánica antes de cada siembra, en comparación con su situación bajo la cubierta vegetal natural. Sin embargo, se ha constatado que este proceso de degradación es reversible (FAO, 2002). Dado que los materiales orgánicos tienen una baja densidad aparente y una mayor porosidad, la adición de materia orgánica al suelo mediante la incorporación de residuos vegetales o estiércol mejora las propiedades físicas del suelo. La materia orgánica del suelo es el principal

componente del suelo que se ve influenciado por el sistema de labranza .En labranza cero se promueve la acumulación de materia orgánica del suelo, principalmente en los primeros centímetros del perfil de suelo debido a que la productividad del suelo baja en función a la magnitud de suelo removida por la erosión ya que son las capas más superficiales del suelo las que reúnen la mayor concentración de carbono y de nutrientes (Acevedo y Martínez, 2003). En un tipo de suelo dado expuesto a prácticas constantes, se alcanza un casi-equilibrio - situación estable- de la materia orgánica del suelo después de 30 a 50 años (Greenland, 1971).

### **3.5. Importancia del nitrógeno (N)**

El 98 % de nitrógeno se encuentra en las rocas, 2 % en la atmosfera y menos del 1% en el suelo y agua (William & Seese, 1996). Agregar nitrógeno es práctica común para incrementar los rendimientos de los cultivos, incluidos la aplicación de fertilizantes sintéticos de nitrógeno y abono orgánico (p. ej. estiércol), particularmente en tierras de cultivo y pastizales. Este incremento en la disponibilidad de nitrógeno del suelo aumenta las emisiones de N<sub>2</sub>O de los suelos como subproducto de la nitrificación y la desnitrificación. Los agregados de nitrógeno (en estiércol y orina) por parte de los animales de pastoreo también estimula las emisiones de N<sub>2</sub>O. De manera similar, los cambios de uso de la tierra realzan las emisiones de N<sub>2</sub>O si están asociados con una elevada descomposición de la materia orgánica del suelo y con la subsiguiente desmineralización del nitrógeno, como sucede cuando se inician cultivos en humedales, bosques o pastizales (IPCC, 2006).

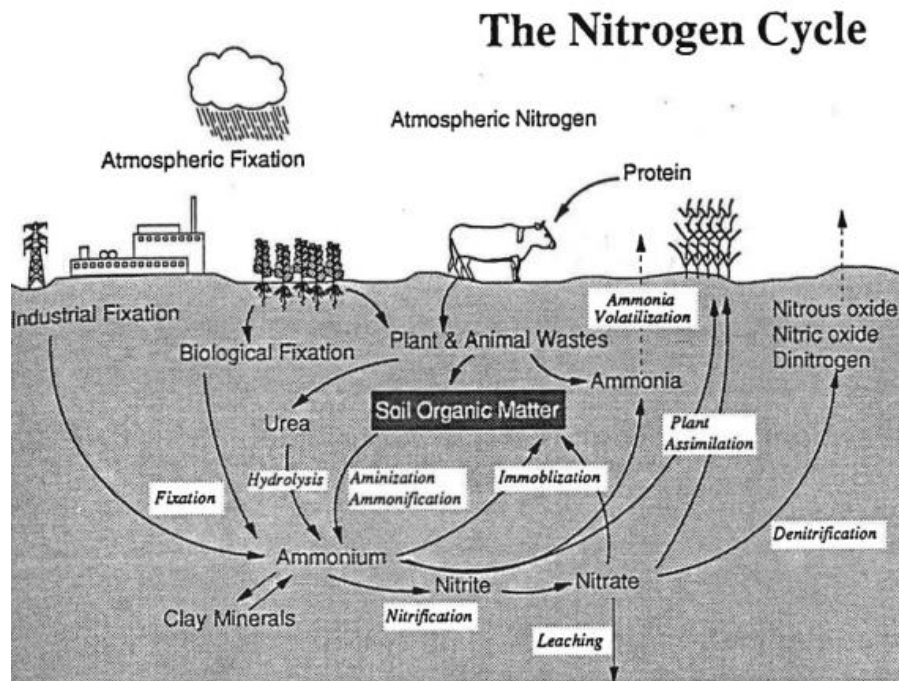
Se espera que las emisiones globales de nitrógeno aumenten en los próximos años consecuencia de cuatro décadas del crecimiento y cambios de la población en la dieta humana y en las tendencias del desarrollo (Filoso, *et al.*, 2007). Los países son importantes determinantes de las futuras emisiones. A nivel mundial hay un rol importante en las emisiones globales de nitrógeno debido a la producción ganadera que es un impulsor del ciclo del nitrógeno porque la producción de las proteínas animales requiere más in

sumos de nitrógeno para la agricultura que la producción de proteínas vegetales. Las dietas humanas hacia más carne conducen a un ciclo acelerado de nitrógeno y aumento del uso de fertilizantes en la agricultura. La producción animal no es solo una fuente de compuestos N ( $N_2O$ ,  $NH_3$ ,  $NO_x$ ), sino también de metano ( $CH_4$ ) y otros contaminantes. Aparte de los efectos del nitrógeno en el secuestro de carbono, el incremento en la disponibilidad de nitrógeno puede afectar la formación de metano como el consumo en humedales y suelos (Boyer, *et al.*, 2002).

### 3.5.1. Ciclo del Nitrógeno

El nitrógeno ( $N_2$ ) es el elemento que se encuentra en forma libre (estado gaseoso) y en mayor abundancia en la atmósfera (78 %.). Es tan estable, que apenas se combina con otros elementos y, por tanto, es difícil que los organismos lo asimilen, ya que primero necesitan desdoblarlo y emplearlo en la síntesis de aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos y otras moléculas para su metabolismo. Se necesita de una gran cantidad de energía para desdoblarlo y combinarlo con otros elementos como el carbono y el oxígeno. Esta ruptura puede hacerse por dos mecanismos: descargas eléctricas y fijación fotoquímica, que proveen suficiente energía como para formar nitratos ( $NO_3^-$ ). Este último procedimiento es reproducido en las plantas productoras de fertilizantes. Sin embargo, existe una tercera forma de fijación del nitrógeno que es llevada a cabo por bacterias que usan enzimas en lugar de la luz solar o descargas eléctricas. Estas bacterias pueden ser las que viven libres en el suelo o aquellas que en simbiosis, forman nódulos con las raíces de ciertas plantas (leguminosas) para fijar el nitrógeno. Otro grupo son las cianobacterias acuáticas (algas verdeazuladas) y las bacterias quimiosintéticas, tales como el género *Nitrosomas* y *Nitrosococcus*, que juegan un papel muy importante en el ciclo de este elemento, al transformar el amonio en nitrito, mientras que el género *Nitrobacter* continúa con la oxidación del nitrito ( $NO_2^-$ ) a nitrato ( $NO_3^-$ ), el cual queda disponible para ser absorbido o disuelto en el agua, pasando así a otros ecosistemas. Todas las bacterias pertenecientes a estos géneros fijan nitrógeno, tanto como nitratos ( $NO_3^-$ ) o como amonio ( $NH_3$ ). Así mismo, los animales herbívoros sintetizan sus proteínas a partir de los vegetales, mientras que los carnívoros la obtienen a partir

de los herbívoros. Todos los seres vivos almacenan grandes cantidades de nitrógeno orgánico en forma de proteínas, y que vuelve nuevamente al suelo con los excrementos o al descomponerse los cadáveres. En el metabolismo de los compuestos nitrogenados, los animales acaban formando iones amonio, que resultan muy tóxicos y que deben ser eliminados. Esta eliminación se hace en forma de amoniaco (algunos peces y organismos acuáticos), en forma de urea (el hombre y otros mamíferos) o en forma de ácido úrico (aves y otros animales de zonas secas), para que posteriormente, las bacterias nitrificantes se encarguen de transformarlo. Existen ciertas bacterias llamadas desnitrificantes (entre ellas *Pseudomonas desnitrificans*), que devuelven parte del nitrógeno inorgánico del suelo a la atmósfera en forma gaseosa, produciendo así una “pérdida” de este elemento para los ecosistemas y la biosfera. Estas bacterias habitan en los pantanos y en los fondos carentes de oxígeno, pertenecen al género *Thiobacillus*, quienes utilizan los nitratos en su proceso metabólico, que al final reintegran a la atmósfera como nitrógeno en forma gaseosa (CICEANA, 2014) (Figura 5).



**Figura 5.** Ciclo del Nitrógeno. (“Soil as a Plant Sees It”, University of Nebraska, 1991)

La dinámica de este elemento en la biosfera comprende principalmente la fijación de nitrógeno ( $N_2$ ), la mineralización, la nitrificación, la desnitrificación y la oxidación anaeróbica del amonio, procesos mediados principalmente por microorganismos presentes en el suelo. El nitrógeno entra en la biosfera por fijación química y biológica del nitrógeno molecular ( $N_2$ ) y se remueve de la misma por desnitrificación (Hayatsu, *et.al.*, 2008).

### 3.5.2. Nitrógeno en suelos

El nitrógeno (N) es el elemento más abundante en la atmósfera y suele ser el nutriente más limitante para el cultivo. El nitrógeno es añadido al suelo de forma natural a partir de la fijación de N por las bacterias y legumbres del suelo y por deposición atmosférica en lluvia. Normalmente se suministra nitrógeno adicional al cultivo mediante fertilizantes, estiércol u otros materiales orgánicos. El nitrato-N es un excelente indicador del ciclo de nitrógeno en los suelos, ya sea que el nitrógeno anterior haya sido utilizado cultivo y si se necesita nitrógeno adicional (USDA-NRCS, 2014).

A pesar de que la mayor parte del nitrógeno se encuentra en la atmósfera, la reserva realmente activa de este elemento se encuentra en el suelo, ya que aquí van a parar los desechos orgánicos de los organismos vivos y los restos de éstos; es así, como las bacterias fijadoras de nitrógeno concluyen el proceso de descomposición de estos materiales, convirtiendo el nitrógeno orgánico en inorgánico (nitratos). Los nitratos son la única forma en la cual las plantas pueden absorber este elemento para poder sintetizar sus propias proteínas, por medio de la fotosíntesis (CICEANA, 2018).

Los procesos de mineralización del nitrógeno (desintegración) son determinantes para la disponibilidad del elemento en los ecosistemas terrestres, dados principalmente por la degradación de materia orgánica, de modo que responden a la cantidad y tipo de enmiendas orgánicas (Hayatsu, *et al.*, 2008).

A pesar de que el nitrógeno es uno de los elementos más comunes del planeta, es también el nutriente que más frecuentemente limita la producción de los cultivos. Esto se debe a que la molécula de  $N_2$  ( $N\equiv N$ ) es inerte, con una gran estabilidad conferida por su triple enlace. Las plantas son incapaces de asimilar  $N_2$  directamente. En forma natural, el nitrógeno del aire puede llegar a la planta a través de dos mecanismos principales: transferido por las bacterias que previamente lo han fijado simbiótica o asimbióticamente, o disuelto en el agua de lluvia. La cantidad de nitrógeno transferido a las plantas provenientes de la fijación simbiótica es variable, del orden de 50 a 70 kg. ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, mientras que la cantidad de nitrógeno aportada por la fijación no simbiótica y las lluvias oscila entre 10 y 20 kg. ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (Perdomo, 1999).

En la naturaleza existen dos fuentes principales de reserva de nitrógeno para las plantas. La mayor es la atmósfera, en la cual el 78% del aire es nitrógeno. La otra reserva importante es la materia orgánica del suelo. Del total del nitrógeno que hay en el suelo, aproximadamente el 98% se encuentra formando compuestos orgánicos. Dependiendo de su contenido de materia orgánica, los primeros 20 centímetros de profundidad de un suelo pueden contener entre 1.000 y 10.000 kg. de nitrógeno por hectárea. Estas formas orgánicas incluyen proteínas, aminoácidos y azúcares aminados. Sin embargo, las formas químicas identificadas representan sólo un 30-35% del total del nitrógeno orgánico del suelo. El resto, entre un 70 a 75% del nitrógeno orgánico, está en estructuras químicas complejas que aún no se han podido identificar. Debido a que la mayoría del nitrógeno del suelo es orgánico, existe siempre una estrecha asociación entre los contenidos de materia orgánica del suelo y de nitrógeno total del suelo. Los factores que afectan el contenido total de nitrógeno del suelo son el clima y vegetación. El clima, actuando a través de la temperatura y la humedad, junto con el tipo de vegetación, determinan la cantidad de nitrógeno del suelo que nunca han sido laboreados. La temperatura afecta de modo diferencial la actividad de los microorganismos y de las plantas (Perdomo y Barbazan, 1992). La pérdida de nitrógeno ha disminuido la fertilidad del suelo (Tiessen, *et al.*, 1994).

### 3.6. Relación Carbono/Nitrógeno

La relación carbono nitrógeno (C/N) es un indicador útil del grado de descomposición de la materia orgánica de los suelos, la relación C/N es un índice de la salud del suelo, pues las concentraciones de ellos nos indicarán la riqueza del terreno. La relación C/N, determina la tasa a la cual el nitrógeno está disponible para las plantas, por lo que se puede utilizar como indicador de calidad de la materia orgánica de medios aerobios, si sólo se atiende a la facilidad de descomposición (Porta, *et al.*, 2003).

El cambio de un suelo a dominancia de formas orgánicas o inorgánicas de nitrógeno depende principalmente por la relación C/N de la materia orgánica que se está descomponiendo. En forma general, una relación C/N baja tiende a favorecer la mineralización, en tanto que relaciones mayores de 25 conducen a una lenta mineralización o bien a la inmovilización del N (Flores, 2012). Se ha demostrado que existen efectos vegetales sobre la composición de las múltiples fracciones de materia orgánica, que pueden tener una importante influencia sobre la biodegradabilidad y biodisponibilidad del carbono y nitrógeno, dichos efectos están relacionados con la dinámica del nitrógeno de los detritos radiculares y la composición funcional vegetal, que a su vez tienen influencia sobre las tasas netas de mineralización (Navarro, *et al.*, 1995)

Cuando la relación C/N es alta, el aporte de materia orgánica no es aprovechable por las plantas, ya que las bacterias y los microorganismos que actúan en el proceso de descomposición de la misma, consumen el poco nitrógeno que dispone el suelo. La actividad de los organismos de descomposición es intensa y eleva la demanda de nitrógeno, ya que necesitarán de mayores cantidades de nitrógeno en el proceso de descomponer los materiales ricos en carbono, además de alejar al nitrógeno de las plantas que lo necesitan e impedir su disponibilidad. Se genera una competencia entre los diferentes organismos del suelo y también entre éstos y las plantas

superiores. Cuanto menor es la relación, mayor es la velocidad de descomposición (Huang, *et al.*, 2004).

Los ciclos biogeoquímicos de nitrógeno y carbono están estrechamente acoplados entre sí debido a las necesidades metabólicas de los organismos para estos dos elementos. Los cambios en la disponibilidad de un elemento influirán no solo en la productividad biológica sino también en la disponibilidad y requerimientos para el otro elemento y en el más largo término, en la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas (Lal, 2004).



## 4. METODOLOGÍA

### 4.1. Descripción del sitio de muestreo

#### Primer sitio de estudio

El estudio se llevó a cabo en el municipio de Cuautla, Morelos; geográficamente se ubica entre las coordenadas 18° 48' de latitud norte y 98° 58' de longitud oeste. La altitud donde se encuentra es 1,294 msnm. De acuerdo al sistema de clasificación climática de Köppen modificado por Enriqueta García (1964) para adaptarlo a las condiciones de México e INEGI (2010); el tipo de clima predominante es (Aw0 (w)) cálido subhúmedo con lluvias en verano, la precipitación media anual es de 1 045 mm, el rango de temperatura es de 20- 24 °C; pertenece a la región hidrológica Balsas y a la Cuenca Río Grande de Amacuzac. El suelo del sitio de estudio corresponde al tipo cambisol de textura fina. Esta parte del municipio, tiene una fisiografía de sierra con selva baja caducifolia. El sistema agroecológico de caña de azúcar se estableció hace aproximadamente 80 años; la superficie es de 1 ha. La fertilización se realiza con urea a los 65 días de la siembra, la segunda tercera y cuarta cada mes, esta última además de urea se le agrega nitrógeno. (Figura 6).

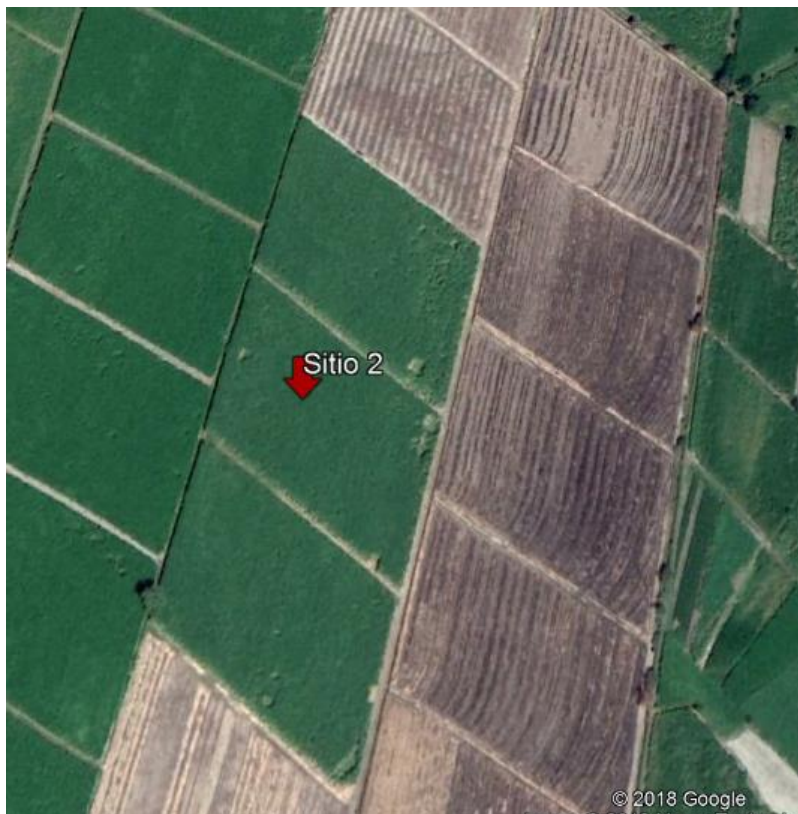


**Figura 6.** Localización del área de estudio en Cuautla, Mor.

## Segundo sitio de estudio

San Juan Colón se localiza en el Municipio Izúcar de Matamoros, Puebla; entre los paralelos 18° 19' y 18° 41' de latitud norte; los meridianos 98° 17' y 98° 34' de longitud oeste; a una altura de 1,220 metros sobre el nivel del mar. El clima predominante es cálido subhúmedo con lluvias en verano. El rango de temperatura es de 18-26 °C. El rango de precipitación es de 700–900 mm al año. El suelo dominante es Leptosol (74%), Vertisol (18%) y Gypsisol (2%) (INEGI, 2005).

El sistema agroecológico de caña de azúcar en estudio se estableció hace aproximadamente 140 años, de los cuales los últimos seis años se ha fertilizado con composta. La superficie es de 1 ha. La fertilización se realiza con vinaza y estiércol de ganado vacuno preparada por el productor en 1.5 ton/ ha. Aplicada dos veces en el cultivo. (Figura 7).



**Figura 7.** Localización del área de estudio en San Juan Colón, Pue.

En el primer sitio de estudio en Cuautla, Morelos, se realizó la extracción de muestras en el mes de diciembre del año 2017, época en que se cosecho el cultivo de caña. El terreno era plano en todos los sitios de muestreo (Figura 8).



**Figura 8.** Vista del primer sitio de muestreo

El segundo sitio de estudio en San Juan Colón, Puebla, se realizó la extracción de muestras en el mes de mayo del año 2018, época en el que el cultivo era bajo de crecimiento, el terreno era plano y la pendiente despreciable en todos los sitios de muestreo (Figura 9).



**Figura 9.** Vista del segundo sitio de muestreo

## 4.2. Obtención de las muestras

Para ambos sitios de estudio se realizó la siguiente metodología. En el campo se realizó un muestreo sistemático de 32 m x 11 m. El muestreo se realizó en cada punto de intersección de la cuadrícula teniendo 22 puntos en los que se tomaron muestras a tres profundidades: 0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm obteniéndose un total de 198 muestras en cada sitio (Figura 10).



**Figura 10.** Distribución del muestreo de los dos sitios

### 4.2.1. Obtención de las muestras para el método de la probeta

Para obtener las muestras se procedió a limpiar la zona con una pala después se realizó la apertura de un pozo con dimensiones de 30 cm x 30 cm y de profundidad 35 cm aproximadamente. En la pared de la apertura, se midieron las profundidades (0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm). Se insertó la pala en la marca de 0-10 cm y con la barreta se rebano la sección correspondiente. Se prosiguió de la misma manera con las profundidades 10-20 cm y 20-30 cm. El suelo extraído se colocó en bolsas de plástico identificadas con el nombre del sitio, número de muestra y profundidad (Figura 11).



**Figura 11.** Extracción de las muestras

#### 4.2.2. Secado de las muestras

Las muestras fueron sacadas de la bolsa y se dejaron secar al aire por 6 días. Una vez secas, fueron molidas y se pasaron por un tamiz con malla de acero inoxidable del número 20; posteriormente se guardaron en envases de plástico para cuantificar su densidad aparente y su procesamiento químico (Figura 12).



**Figura 12.** Secado y tamizado de las muestras

#### 4.2.3. Determinación de la densidad aparente del suelo

En el método de la probeta el suelo seco se pesó y se introdujo en una probeta graduada y tapada, se golpeó con un número de veces constantes sobre una superficie, después de esto se volvió a medir el volumen final.

Se determinó la densidad aparente por medio de la siguiente formula:

$$\rho_b = \frac{M}{V}$$

Donde:

$\rho_b$  =densidad aparente (g cm<sup>-3</sup>)

M = masa del suelo (g)

V= Volumen final de la probeta (cm<sup>3</sup>)

#### 4.2.4. Obtención de las muestras para el método del terrón

Para obtener las muestras se excavo un pozo con dimensiones de 30 cm x 30 cm y 35 cm de profundidad aproximadamente. En la pared de la apertura, se midieron las profundidades (0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm). Se insertó la pala en la marca de 0-10 cm y se extrajo un terrón que se colocó en un bote de aluminio y se cerró. Se prosiguió de la misma manera con las profundidades 10-20 cm y 20-30 cm. Las muestras fueron identificadas con el nombre del sitio, número de muestra, y profundidad.

#### 4.2.5. Secado de las muestras

En el laboratorio fue pesado un terrón, el cual posteriormente fue introducido a la estufa de secado (105 °C) para determinar el peso seco del mismo, con los valores obtenidos se calculó su porcentaje de humedad, después el terrón fue introducido en petróleo para absorción de este durante 30 min. Trascurrido este tiempo el terrón fue retirado del petróleo y se dejó escurrir sobre papel.

#### 4.2.6. Determinación de la densidad aparente del suelo

El terrón impregnado de petróleo fue sumergido en un volumen conocido de agua contenida en una probeta graduada, para determinar el volumen desplazado del mismo.

La densidad aparente se determinó por medio de la siguiente formula:

$$\rho_b = \frac{P_{st}}{V_d}$$

Donde:

$\rho_b$  =densidad aparente (g cm<sup>-3</sup>)

$P_{st}$  = peso seco del terrón (g)

$V_d$  = Volumen desplazado (cm<sup>3</sup>)

#### 4.2.7. Obtención de las muestras para el método del cilindro

El método del cilindro consistió en introducir un muestreador al suelo para obtener una muestra cilíndrica. El muestreador se introdujo a las diferentes profundidades para extraer las muestras (0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm). Una vez extraída la muestra, se introdujo al bote de aluminio se cortó enrasando los bordes, se cerró y se identificó (Blake & Hartge, 1986) (Figura 13).



**Figura 13.** Obtención de las muestras para el método del cilindro.

#### 4.2.8. Secado de las muestras para el método del cilindro

En el laboratorio la muestra se secó en estufa a 105 °C hasta obtener un peso seco constante.

#### 4.2.9. Determinación de la densidad aparente del suelo

Se determinó la densidad aparente para el método del cilindro por medio de la siguiente formula:

$$\rho_b = \frac{P_{ss}}{V_c}$$

Donde:

$\rho_b$  = densidad aparente (g cm<sup>-3</sup>)

$P_{ss}$  = Peso del suelo seco (g)

$V_c$  = volumen del cilindro (cm<sup>3</sup>)

### 4.3. Determinación del carbono orgánico del suelo (COS)

El contenido de carbono orgánico del suelo (COS) se estimó a partir de la materia orgánica del suelo (MO), misma que se evaluó por el método propuesto por Walkley y Black (1947). Este método se basa en la oxidación del carbono orgánico del suelo por medio de una disolución de dicromato de potasio y el calor de reacción que se genera al mezclarla con ácido sulfúrico concentrado. Después de un cierto tiempo de espera la mezcla se diluye, se adiciona ácido fosfórico para evitar interferencias de Fe<sup>3+</sup> y el dicromato de potasio residual, es valorado con sulfato ferroso. Con este procedimiento se detecta entre un 70 y 84% del carbón orgánico total por lo que es necesario introducir un factor de corrección, el cual puede variar entre suelo y suelo. En los suelos de México se recomienda utilizar el factor 1.298 (NOM, 2000, SEMARNAT).

La cantidad de carbono almacenado en el suelo se determinó con la siguiente ecuación (Etchevers, *et al.*, 2005):

$$COS = (CC)(\rho_b)(Prof)$$



Donde:

COS = carbono orgánico del suelo (Mg ha<sup>-1</sup>)

CC = contenido de carbono (%),

Pb =densidad aparente (g cm<sup>-3</sup>),

Prof = profundidad de la capa muestreada (cm).

#### 4.4. Determinación del nitrógeno total del suelo

El contenido de nitrógeno total se estimó por el método de Kjeldahl donde la muestra se descompone en caliente medio sulfúrico, en presencia de un agente reductor catalizador (mercurio, cobre o selenio), suele adicionarse una sal neutra para aumentar el punto de ebullición de la disolución de ácido sulfúrico. De esta forma aumenta temperatura de trabajo, favoreciendo la descomposición. El tratamiento transforma el nitrógeno de la muestra en NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. La posterior adición de una base fuerte libera el NH<sub>3</sub>, que es llevado hasta un frasco colector por destilación en corriente de vapor. El frasco colector contiene un volumen medido de una disolución estándar de ácido, de forma que una fracción de ácido es neutralizada por el NH<sub>3</sub>. Al finalizar la destilación se procede a valorar el ácido no consumido con una disolución de base patrón. El volumen de disolución básica consumido hasta llegar al punto de equivalencia permite conocer la cantidad de NH<sub>3</sub> y la cantidad de nitrógeno en la muestra, que puede transformarse en contenido proteico en función del tipo de muestra ya que la mayoría de las proteínas contienen aproximadamente el mismo porcentaje de nitrógeno. En cada digestión se agregó un tubo de muestra de referencia estándar (NOM, 2000 SEMARNAT). Los contenidos de nitrógeno total en el suelo se calcularon a partir de los valores: % nitrógeno total, densidad aparente y profundidad del muestreo de la siguiente manera:

$$Nt = (\% Nt)(\rho^b)(Prof)$$

Donde:

Nt= Nitrógeno total (Mg ha<sup>-1</sup>)

% Nt= Porcentaje de nitrógeno total

ρ<sup>b</sup> =densidad aparente (g cm<sup>-3</sup>)

Prof = Profundidad de la capa de suelo muestreada (cm)

#### 4.5. Relación carbono/nitrógeno (C/N)

La relación carbono/nitrógeno (C/N), se obtuvo de la siguiente manera (Carvajal, *et al.*, 2009; De Alcántara, *et al.*, 2014):

$$C/N = \frac{\%COS}{\%Ntotal}$$

#### 4.6. Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron analizados en un diseño experimental completamente al azar, utilizando el software estadístico Minitab 17. Se realizaron las pruebas de Tukey ( $P < 0.05$ ) para comparaciones entre el efecto de los tres métodos evaluados de densidad aparente, las tres profundidades del suelo en los dos sitios de estudio.

El modelo estadístico correspondiente fue:

$$Y_{ijkl} = \mu + S_i + P_j + M_k$$

Donde:

$Y_{ijkl}$  = valor de la respuesta de la k-ésima replicación del l-ésimo tratamiento

$\mu$  = Media general

$S_i$  = Efecto del sitio

$P_j$  = Efecto de la profundidad

$M_k$  = Efecto del método

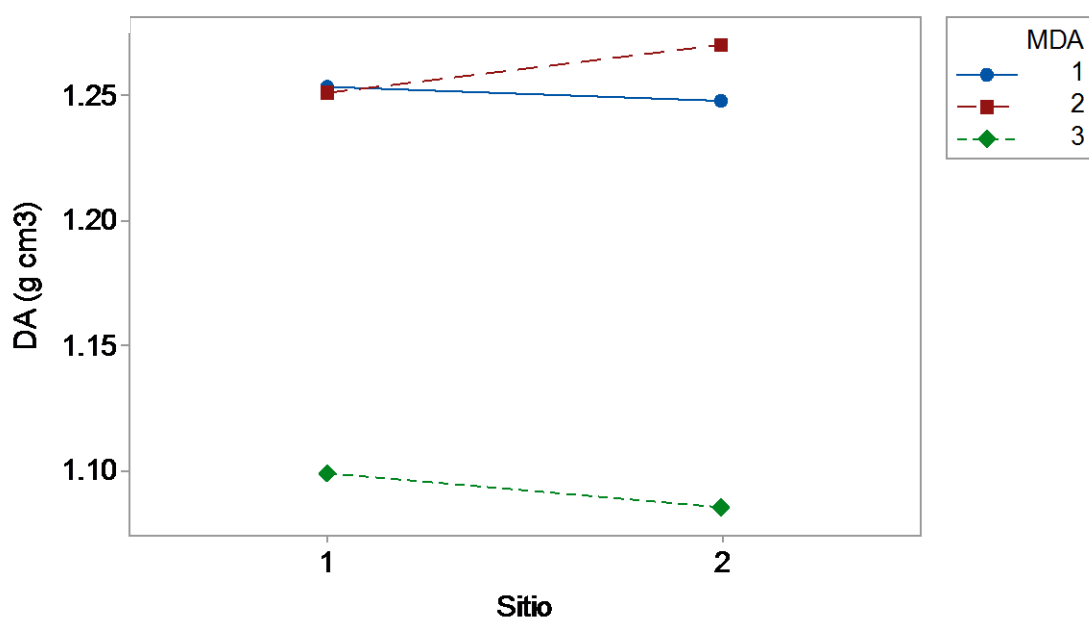
$\varepsilon_{ijkl}$  = Errores aleatorios

## 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 5.1. Densidad aparente

#### 5.1.1. Densidad aparente por sitios

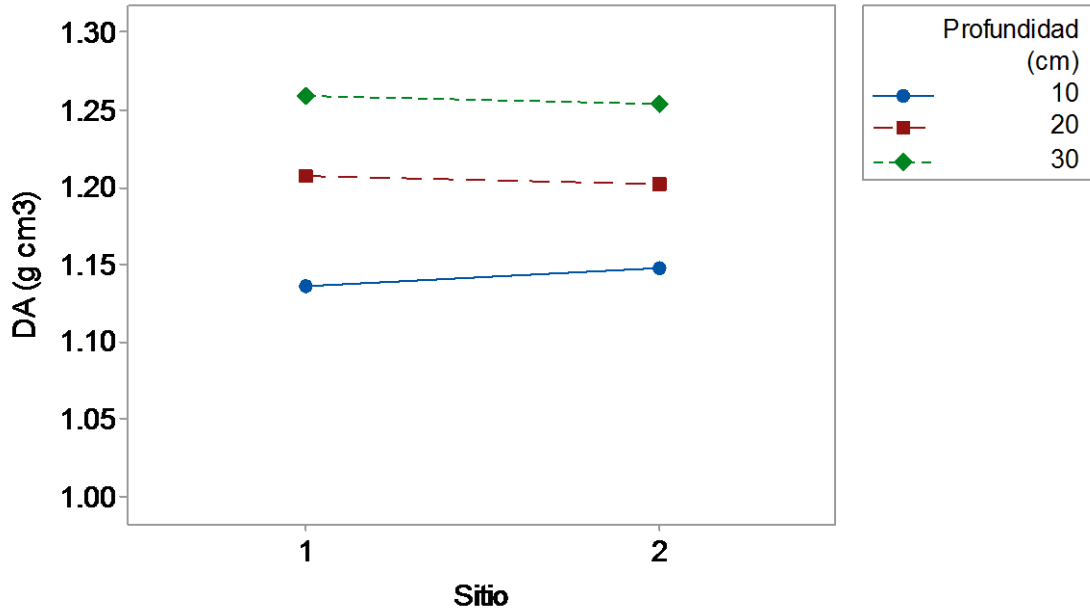
La Figura 14 muestra el comportamiento de la pb en los dos sitios de estudio con los tres métodos de pb evaluados. El MDA1 y MDA2 presentaron un comportamiento similar, el MDA2 presentó un ligero incremento en sus valores en el sitio 2. El MDA3 presentó valores más bajos de pb en los dos sitios respecto al MDA2 y MDA3.



**Figura 14.** Comportamiento de la pb en los dos sitios con los tres métodos

#### 5.1.2. Densidad aparente por profundidades

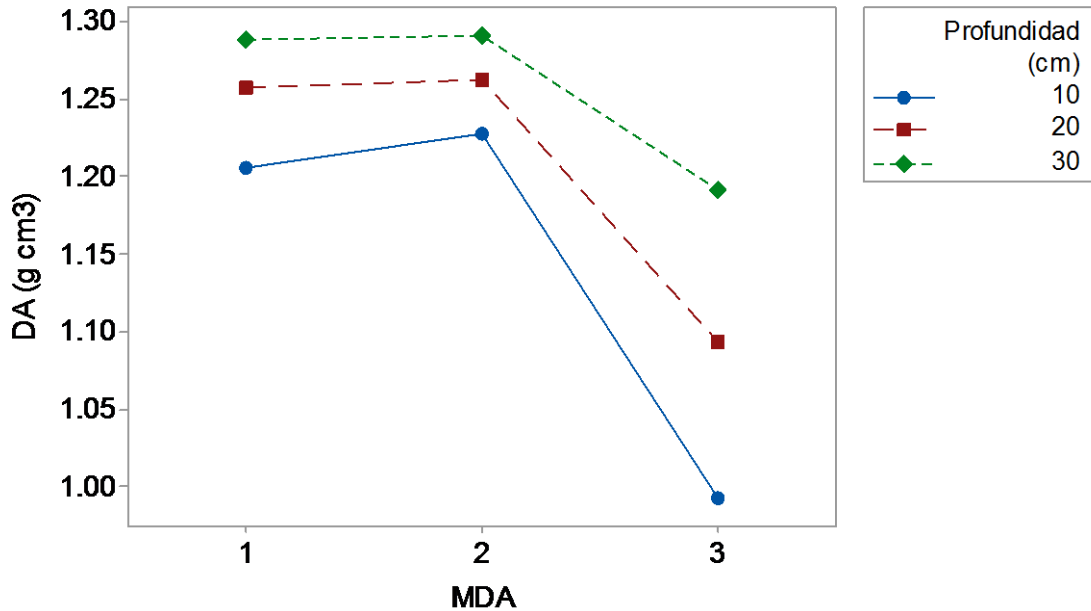
En la Figura 15 se muestra el comportamiento de la pb en la profundidad en los dos sitios estudiados. En la profundidad de 10-20 cm y de 20-30 cm se presentaron valores semejantes de pb; en la profundidad de 0-10 cm en el sitio 2 su valor se incrementa ligeramente respecto al sitio de estudio 1.



**Figura 15.** Comportamiento de la pb en los dos sitios en las tres profundidades

### 5.1.3. Densidad aparente por métodos

La Figura 16 muestra el comportamiento de la pb en la profundidad con los tres métodos evaluados. El MDA1 y MDA2 presentaron un comportamiento similar con valores de pb semejantes en la profundidad 10-20 cm y 20-30 cm; con tendencia a aumentar conforme se incrementó la profundidad; el MDA3 presentó valores más bajos de pb en la profundidad de 0-10 cm y tiende a aumentar su valor conforme se incrementa la profundidad aunque muestra diferencia con el MDA1 y MDA2.



**Figura 16.** Comportamiento de la pb con los métodos en las tres profundidades

Krebstein, *et al.*, (2013) presento valores similares de densidad aparente de 1.2-1.4 (gr cm<sup>-3</sup>) en un suelo cambisol en profundidades de 5 cm, 10 cm y 20 cm y Batjes, (1996) reporto una media de 1.36 (gr cm<sup>-3</sup>) para este tipo de suelo. Los valores resultantes de pb por el MDA1 y MDA2 coinciden con los valores normales para este tipo de suelo de acuerdo a Pennock, *et al.*, (2007). Wang, (2011) reporto pb de 1.28 (g cm<sup>-3</sup>) en un suelo con profundidad de 0-20 cm y de 1.41 (g cm<sup>-3</sup>) en profundidad de 20-40 cm, valores que no coinciden con los reportados en este estudio que son más bajos.

En el Cuadro 1 se muestran las medias y la desviación estándar de las densidades aparentes obtenidas por el MDA1, MDA2 y MDA3 en las profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm. A mayor profundidad del suelo la densidad aparente aumento. Los métodos trabajaron en función de la profundidad, el MDA3 manejo mucha variabilidad a 30 cm y el MDA1 a 10 cm.

**Cuadro 1.** Medias, desviación estándar y CV de pb en los métodos evaluados

Sitio	Profundidad (cm)	MDA	No. de muestras	Densidad aparente (g cm-3)	Desviación Estándar	C V (%)
1	0 -10	1	22	1.20	0.074	6.19
2			22	1.20	0.042	3.54
1		2	22	1.21	0.048	4.01
2			22	1.23	0.044	3.59
1		3	22	0.98	0.085	8.68
2			22	1.00	0.050	5.05
1	10 -20	1	22	1.25	0.042	4.33
2			22	1.27	0.032	3.19
1		2	22	1.25	0.042	3.41
2			22	1.27	0.032	2.55
1		3	22	1.11	0.059	5.32
2			22	1.07	0.089	8.28
1	20 -30	1	22	1.29	0.041	3.24
2			22	1.28	0.030	2.33
1		2	22	1.28	0.038	2.98
2			22	1.29	0.029	2.98
1		3	22	1.20	0.090	7.55
2			22	1.18	0.010	8.87

En la profundidad de 0-10 cm, el MDA2 presentó el mayor valor de pb la menor desviación estándar así como el menor coeficiente de variación; el MDA3 presentó el menor valor de pb en los dos sitios estudiados, la mayor desviación estándar así como el mayor coeficiente de variación se presentó en el sitio 1 con este método; el MDA1 presentó valores medios respecto al MDA2 y MDA3 en pb, en desviación estándar y en coeficiente de variación. En la profundidad de 10-20 cm, el MDA1 y MDA2 presentaron la menor desviación estándar y el MDA2 presentó el menor coeficiente de variación en los dos sitios de estudio; el MDA3 presentó el menor valor de pb, la mayor desviación estándar así como el mayor coeficiente de variación

en los dos sitios de estudio. En la profundidad de 20-30 cm, el MDA1 y el MDA2 presentaron valores similares de pb; el MDA2 presentó la menor desviación estándar; el MDA1 presentó el menor coeficiente de variación en el sitio 2; el MDA3 presentó los valores más bajos de pb para esta profundidad en los dos sitios y la mayor desviación estándar en el sitio 1 en oposición con el sitio 2 que presentó la menor desviación estándar; el mayor coeficiente de variación en esta profundidad lo presentó el sitio 2.

Los resultados encontrados presentan el menor coeficiente de variación para el MDA2 y MDA1 sin embargo autores como Ali (2010) encontró que la precisión del método terrón requiere más mano de obra, depende de la experiencia del usuario, la calibración y las propiedades del suelo; adicionalmente inconsistencias en el recubrimiento de parafina pueden causar errores. Casanova, *et al.*, (2016) menciona que el método del terrón requiere suelos bien estructurados y mayor cuidado en su extracción y manejo que otros métodos estudiados; además de que se sabe que el método del terrón no cuenta poros o grietas inter-agregadas y por lo tanto resultan valores más altos que otros procedimientos directos. Naeth, *et al.*, (1991) menciona que los valores de densidad aparente con este método pueden ser más altos porque el muestreo podría ser sesgado hacia la colección de terrones más firmes, más compactos y capaces de soportar perturbaciones durante el transporte y medición.

En el presente trabajo, el MDA2 fue el que dio mayor precisión (menor coeficiente de variación) y el MDA3 fue el que dio menor precisión (mayor coeficiente de variación) para el sitio analizado, difiriendo con Blake & Hartge, (1986), que se refiere a el método del cilindro como el más confiable para calcular densidad aparente a diferentes profundidades aunque sólo para suelos blandos y cohesivos muestreados con contenido de agua cercano a capacidad de campo; no siendo recomendado para suelos arenosos y pedregosos. El método del cilindro se recomienda en suelos cohesivos o donde abundan los fragmentos gruesos (> 2 mm de diámetro partículas). El método del cilindro es el más común por su sencillez y

costo (Hossne y Cedeño, 2012), es el más común utilizado para determinar la densidad aparente de los suelos agrícolas (Casanova, *et al.*, 2016), presenta la menor variabilidad, es fácil de repetir, su determinación es sencilla, es el más conocido y aceptado (Jaramillo, 2002); sin embargo también se muestran observaciones al método como lo reporta Casanova, *et al.*, (2016), quienes denotaron la compactación extrema del suelo inducida por el método del cilindro; Camponez do Brasil, (2000) y Pires, *et al.*, (2004) reportaron que el muestreador cilíndrico de suelo indujo una compactación del suelo junto a la pared del cilindro y en la región inferior de la muestra de suelo que indicó un aumento de la densidad aparente del suelo desde el centro hasta el borde y la parte inferior; una probable compactación del suelo debido al proceso de muestreo.

En el cuadro 2 se muestran los valores medios de pb respecto al sitio indicando que no fueron significativamente diferentes. Los valores medios de pb evaluados por el MDA1 y MDA2 no fueron diferentes significativamente, no sucedió lo mismo con el MDA3. En este estudio la media de la pb con el MDA2 tendió a diferir con valores generalmente más altos respecto al MDA3 tal como lo reporta Casanova, *et al.*, (2016) con los mismos métodos empleados. Los valores medios de pb fueron diferentes significativamente en las tres profundidades evaluadas.



**Cuadro 2.** Comparación de la pb en los sitios, métodos y profundidad

VARIABLE	UBICACIÓN	NÚMERO de MUESTRAS	MEDIA
SITIO	1	198	1.20A
	2	198	1.20A
MDA	1	132	1.28A
	2	132	1.29A
	3	132	1.19B
PROF	0-10	132	1.14C
	10-20	132	1.20B
	20-30	132	1.25A

\*Valores designados por la misma letra no son diferentes significativamente ( $P=0.05$ ).

Los suelos de las profundidades que van de los 0 a los 60 cm, son las que presentan una densidad aparente mayor, lo que coincide con lo reportado por Casanova, *et al.*, (2016), quien reporta rangos de pb conforme la clase textural de 0.9 g cm<sup>-3</sup> a 1.2 g cm<sup>-3</sup>.

Soika, *et al.*, (2001) reportaron que la densidad aparente seca puede variar abruptamente a distancias cortas de pocos centímetros como resultado, por ejemplo del tráfico, labranza o riego; y que, el contenido de humedad *in situ* es menos probable de variar que la densidad aparente en cortas distancias laterales. Los cambios en densidad aparente de un suelo reflejan cambios en la estructura del mismo, debido a la relación existente entre la densidad aparente y la porosidad total (Ingaramo, *et al.*, 2003). Así mismo puede significar una disminución del contenido de materia orgánica (Ortiz y Gutiérrez, 1995). Las diferencias entre métodos y tamaños de muestra evaluados para el suelo de textura fina se han detectado, es posible que algunas de las variaciones en los valores de densidad aparente pueden haber sido causadas por diferencias en la ubicación de la muestra. Sin embargo, según lo declarado por varios autores (Page-Dumroese, *et al.*, 1999), todos los métodos difieren en exactitud (éxito en estimar el verdadero valor de pb), precisión (agrupamiento de las estimaciones de la muestra sobre su propia media), y el sesgo (la distorsión sistemática de las estimaciones para el resultado del verdadero valor).

Es importante encontrar el valor exacto de la densidad aparente del suelo ya que está fuertemente correlacionada con el COS (Zhou, *et al.*, 2006; Xie, *et al.*, 2007). En el presente trabajo, el MDA3 resulto con menos precisión (mayor coeficiente de variación) para ambos sitios analizados. La prueba de Tukey mostró que todos los valores de pb medidos con el MDA1 y MDA2 no fueron significativamente diferentes, a diferencia del MDA3 para estos sitios estudiados. La pb resulto significativamente diferente para las tres profundidades evaluadas.

## 5.2. Carbono orgánico del suelo (COS)

### 5.2.1. COS por sitios

En la Figura 17 se muestra el comportamiento del COS en los dos sitios evaluados. Los sitios estudiados mostraron diferencias significativas. El MDA1, MDA2 y MDA3 en el sitio 1 mostraron diferencias en los valores del COS. En el sitio 2 con el MDA1 y MDA2 se mostro una semejanza en sus valores, lo que no ocurrio con el MDA 3 en el mismo sitio.

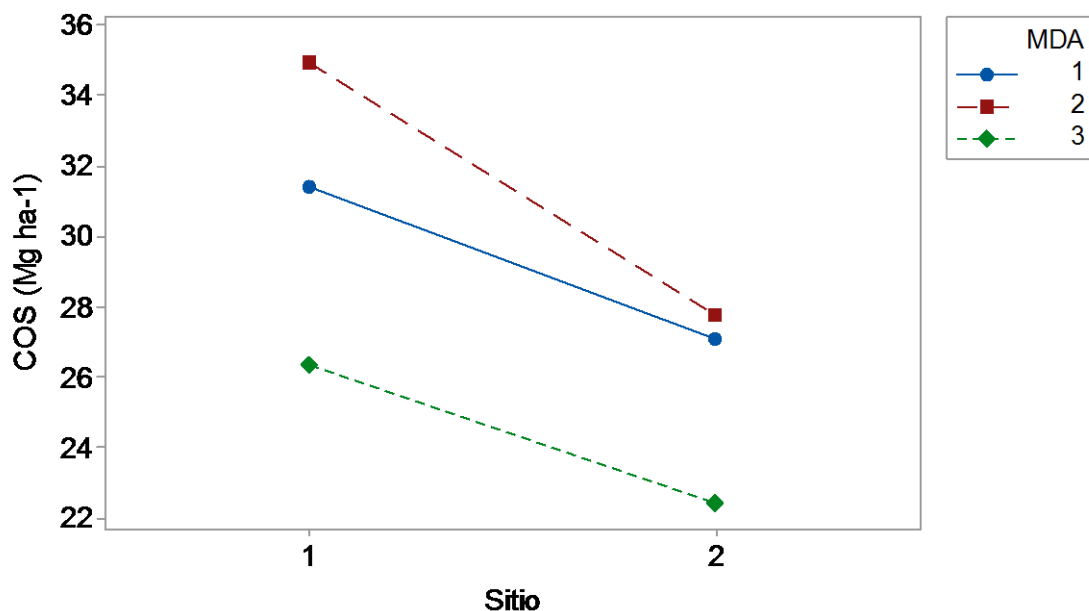


Figura 177. Comportamiento del COS en los dos sitios con los tres métodos.

### 5.2.2. COS por profundidades

El COS en la profundidad de 0-10 cm los valores tuvieron una tendencia similar. En la profundidad de 10-20 cm el sitio 2 mostro una disminucion del COS respecto a el sitio1. En la profundidad de 20-30 cm el COS mostro una diferencia del sitio 1 con valores mas altos respecto al sitio 2

La profundidad del suelo influyó sobre el contenido de COS, pues la mayor cantidad se encontró dentro de los primeros 0-10 cm y disminuyó conforme aumentó la profundidad coincidiendo con lo reportado por Masuhara, (2012) quien encontró que en la profundidad de 0-10 cm se encuentra la mayor cantidad de COS y disminuye conforme se incrementa la profundidad (10-20 cm y 20-30 cm). El COS más alto se encuentra en la zona superior con una disminución con la profundidad, que se encuentra típicamente en la mayoría de los suelos. La densidad aparente del suelo está relacionada con el COS; el incremento del COS en la superficie se debe principalmente a la distribución y actividad de las raíces finas, además de la caída de hojarasca. Siendo las raíces finas las más eficientes en absorción de agua y nutrientes, cuya disponibilidad es mayor en los estratos más superficiales (Claus and George, 2005) (Figura 17).

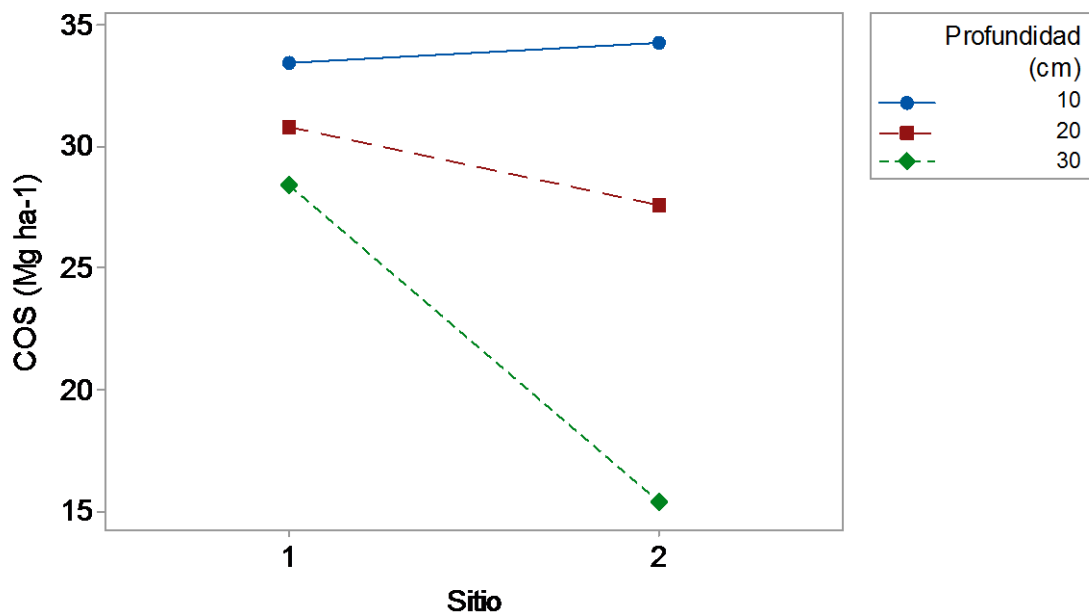
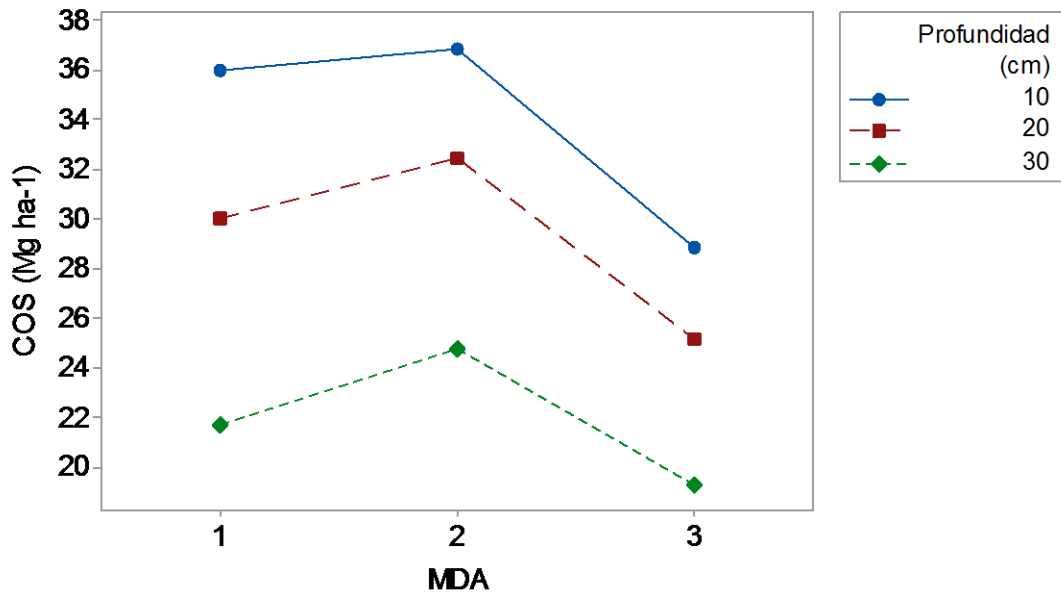


Figura 188. Comportamiento del COS en los dos sitios en las tres profundidades

### 5.2.3. COS por métodos

El COS mostro valores diferentes con los tres metodos evaluados en las tres profundidades, aunque sus tendencias fueron similares. Los valores mas altos fueron en el MDA1 y los mas bajos con el MDA3.



**Figura 19.** Comportamiento del COS con los métodos en las tres profundidades

En la profundidad de 0-10 cm, el MDA2 presento el mayor valor del COS en los dos sitios estudiados, pero una alta desviación estándar así como un alto coeficiente de variación en el sitio 2; el MDA3 presento el menor valor de COS, la menor desviación estándar así como el menor coeficiente de variación en los dos sitios estudiados; el MDA1 presento valores medios respecto al MDA2 y MDA3 del COS, valores altos en desviación estándar y el coeficiente de variación más alto en esta profundidad en el sitio de estudio 2. En la profundidad de 10-20 cm, el MDA2 presento el valor más alto del COS, alta desviación estándar y el mayor coeficiente de variación en sitio 2; el MDA1 presento valores medios respecto al MDA2 y el MDA3 en el COS, desviación estándar y de coeficiente de variación; el MDA3 presento los valores más bajos respecto del COS y de la desviación estándar, sin embargo presento valores altos en el coeficiente de variación. En la profundidad de 20-30 cm, el MDA2 presentaron los valores más altos del COS, valores altos de desviación estándar y el valor más alto de coeficiente de variación en el sitio 2; el MDA1 presento valores

medios respecto al MDA2 y MDA3 del COS, de desviación estándar y de coeficiente de variación; el MDA3 presento los valores más bajos del COS para los dos sitios de estudio, la menor desviación estándar y el menor coeficiente de variación en el sitio 2 para esta profundidad.

En el Cuadro 3 se muestran las medias y la desviación estándar del COS obtenidas en los dos sitios de estudio por el MDA1, MDA2 y MDA3 en las profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm. El MDA2 presento la mayor variabilidad en la profundidad de 20-30 cm en el sitio 2 y el MDA 3 en la profundidad 0-10 cm presento la menor variabilidad en el sitio 1.

**Cuadro 3.** Medias, desviación estándar y CV de COS en los métodos evaluados

Sitio	Profundidad (cm)	MDA	No. de muestras	COS (Mg ha-1)	Desviación Estándar	C V (%)	
1	0-10	1	22	34.72	5.24	15.14	
2			22	37.38	7.90	21.12	
1		2	22	37.29	4.53	12.17	
2			22	36.42	7.10	19.51	
1		3	22	28.44	3.44	12.11	
2			22	29.18	3.69	12.66	
1	10 -20	1	22	31.25	5.45	17.38	
2			22	28.78	5.67	19.51	
1		2	22	34.79	5.31	15.27	
2			22	30.15	6.29	20.88	
1		3	22	26.42	3.91	17.80	
2			22	23.85	4.56	19.13	
1		20 -30	1	22	28.30	4.71	16.64
2				22	15.06	3.21	21.32
1			2	22	32.74	5.83	17.80
2	22			16.76	4.52	27.00	
1	3		22	24.29	4.14	17.06	
2			22	14.29	2.11	14.79	

En el presente trabajo, el MDA3 fue el que dio mayor precisión (menor coeficiente de variación) en la profundidad de 0-10 cm y 10-20 cm y 20-30 cm en los dos sitios de estudio.

En el cuadro 4 se muestran los valores medios del COS respecto al sitio indicando que fueron significativamente diferentes con la prueba de Tukey. Los valores medios del COS con el MDA3 fueron diferentes significativamente respecto al MDA1 y MDA2. En este estudio la media del COS en las tres profundidades fue diferente significativamente en las tres profundidades evaluadas.

**Cuadro 4.** Comparación del COS en los sitios, métodos y profundidad

VARIABLE	UBICACIÓN	NÚMERO de MUESTRAS	MEDIA
SITIO	1	198	30.90A
	2	198	25.76B
MDA	1	132	29.23A
	2	132	31.36A
	3	132	24.41B
PROF	0-10	132	33.89A
	10-20	132	29.20B
	20-30	132	21.91C

\*Valores designados por la misma letra no son diferentes significativamente ( $P=0.05$ ).

La profundidad del suelo influyó sobre el contenido de COS, pues la mayor cantidad se encontró dentro de los primeros 10 cm y disminuyó conforme aumentó la profundidad coincidiendo con lo reportado por algunos autores que indican que el incremento de COS es notorio en los primeros centímetros de suelo (Follet, *et al.*, 2005). Lo anteriormente descrito coincide con los resultados de este estudio donde el COS se encuentra en mayor concentración en las capas superficiales. Wang, (2011) indica que el COS decrece conforme va aumentando la profundidad. Sin embargo Baeza y Assenb (2016), encontraron que la concentración de carbono en el suelo con cultivo de caña de azúcar fue proporcionalmente mayor al aumentar la profundidad con valores de 25 Mg ha<sup>-1</sup> en la profundidad de 0-15 cm y 22 Mg ha<sup>-1</sup> en la profundidad de 15-30 cm. Poeplau y Don (2013) reportaron valores del COS de 22.7 Mg ha<sup>-1</sup> 21.2 Mg ha<sup>-1</sup> y 23.2 de Mg ha<sup>-1</sup> a una profundidad de 0-10 cm, 10-

20 cm y 20-30 cm respectivamente, valores más bajos con los encontrados en este estudio

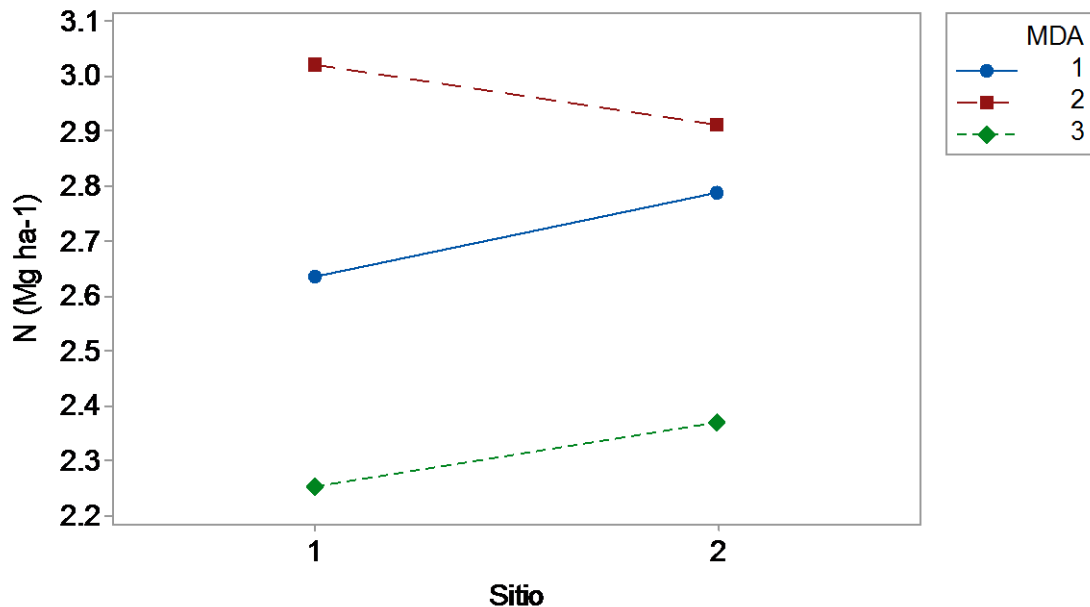
En México, los experimentos de los cambios del COS son de corta duración (González, *et al.*, 2008), aunque los experimentos de labranza de conservación han mostrado resultados después de 5 años, mientras que en los estudios menores de 2 años no se observan diferencias significativas. En un tipo de suelo dado expuesto a prácticas constantes, se alcanza un casi-equilibrio -situación estable- de la materia orgánica del suelo después de 30 a 50 años (Greenland, 1965); En los dos sitios no se observó diferencia significativa respecto al manejo del suelo, una posible causa es porque el tiempo de fertilización en el sitio 2 tiene seis años con el diferente manejo del suelo y no muestra actualmente resultados significativos respecto al sitio 1. Paul, *et al.*, (2002) y Zhou, *et al.*, (2006) recomiendan que el método más preciso para medir cambio en el carbono del suelo es muestrear repetidamente un sitio único a lo largo del tiempo y asegurar que los suelos se recolecten, procesen y analicen de manera consistente.

### **5.3. Nitrógeno total (Nt)**

#### **5.3.1. Nt por sitios**

En la Figura 20 se muestra el comportamiento del Nt en los dos sitios evaluados. No existe efecto del sitio en el Nt. Batjes (1996) reporto valores de 5.8 Mg ha<sup>-1</sup> y 4.2 en una profundidad de 0-30 cm en suelos cambisoles, y leptosoles como el primer y segundo sitio de estudio respectivamente, estos valores son altos en relacion con los obtenidos en este estudio.

El MDA1, MDA2 y MDA3 en el sitio 1 mostraron diferencias en los valores del Nt. En el sitio 2 con el MDA1 y MDA2 sus valores mostraron semejanza, lo que no ocurrio con el MDA 3 en el mismo sitio que mostro una disminucion en sus valores



**Figura 20.** Comportamiento del Nt en los dos sitios con los tres métodos.

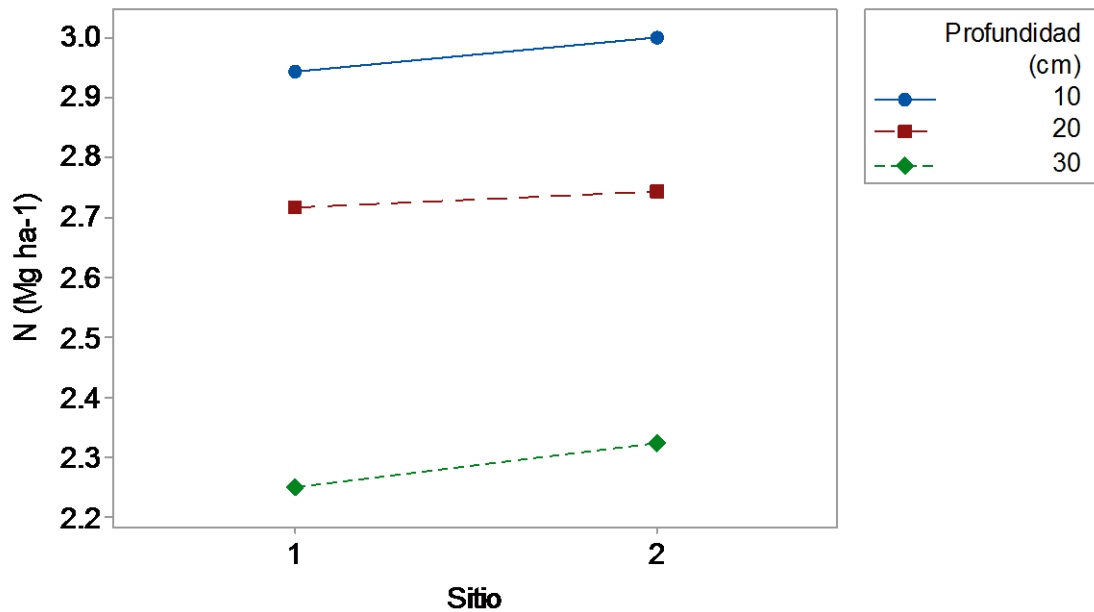
### 5.3.2. Nt por profundidades

El Nt en la profundidad de 0-10 cm los valores tuvieron una tendencia similar en los dos sitios de estudio. En la profundidad de 10-20 cm los valores de Nt casi fueron iguales para los dos sitios de estudio. En la profundidad de 20-30 cm el Nt mostro una diferencia de Nt del sitio 1 con valores mas bajos respecto al sitio 2 (Figura 21).

La concentración de Nt fue mayor en la profundidad de 0-10 cm y disminuyó conforme aumentó la profundidad, esta tendencia se observó en los dos sistemas estudiados (Figuras 21 y 22). Benintende, *et al.*, (2008) reportaron que el nitrógeno puede disminuir hasta un 80% a medida que se incrementa la profundidad, independientemente del tipo de manejo, debido a que la capa superficial es la más influenciada por las adiciones de nitrógeno derivadas de los residuos orgánicos que se incorporan o de las fertilizaciones y Wang (2011), indico que las disminuciones significativas de nitrógeno se encontraron en las capas más profundas del suelo (40–60 cm y 60–80 cm); reportando valores de 3.3 Mg ha<sup>-1</sup> en la profundidad de 0-20 cm y 1.1 Mg ha<sup>-1</sup> en la profundidad de 20-40 cm; Anaya y Huber (2015) reportaron 6.3 Mg ha<sup>-1</sup> de Nt en una profundidad de 0-10 cm y 5.2 Mg ha<sup>-1</sup> de Nt en una profundidad de 10-20 cm en un cultivo de caña de azúcar de 50 años; valores



altos con respecto a este estudio y Beza y Assenb (2016) reportaron valores de 2.0 Mg ha<sup>-1</sup> en una profundidad de 0-15 cm y de 1.5 Mg ha<sup>-1</sup> en una profundidad de 15-30 cm en un cultivo de caña de azúcar, valores más bajos que los encontrados en el presente estudio.

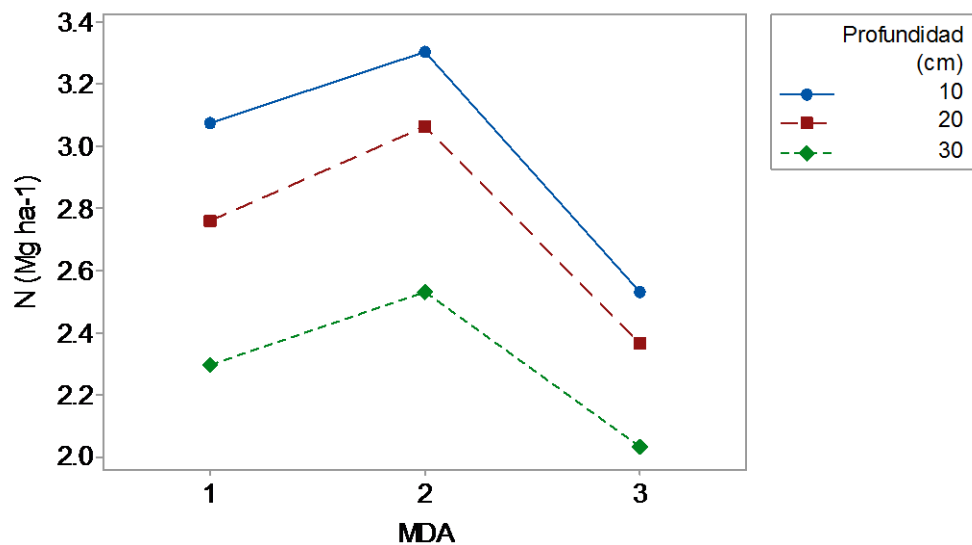


**Figura 21.** Comportamiento del Nt en los dos sitios en las tres profundidades

En los suelos de este estudio el Nt disminuyó con la profundidad, un patrón similar para el suelo estudiado con cultivo de caña de azúcar tal como lo reporta Beza y Assenb (2016); Mishra, *et al.*, (2009) indican que el Nt muestra patrones similares al SOC, que disminuye con profundidad. La profundidad del suelo influyó sobre el contenido del Nt, pues la mayor cantidad se encontró dentro de los primeros 0-10 cm y disminuyó conforme aumentó la profundidad como lo indican Cristóbal, *et al.*, (2011).

### 5.3.3. Nt por métodos

El Nt mostro valores diferentes con los tres metodos evaluados en las tres profundidades, aunque sus tendencias fueron similares. El MDA2 presento los valores mas altos de Nt, el MDA1 presento los valores medios de Nt y el MDA3 presento los valores mas bajos en las tres profundidades. (Figura 22).



**Figura 22.** Comportamiento del Nt con los tres métodos en las tres profundidades

En el Cuadro 5 se muestran las medias y la desviación estándar del Nt obtenidas en los dos sitios de estudio por el MDA1, MDA2 y MDA3 en las profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm. El menor coeficiente de variación por lo métodos evaluados se obtuvo en la profundidad de 0-10 cm en el sitio 1 con el MDA1, el mayor coeficiente de variación, se obtuvo en el sitio 2 con el MDA3 en la profundidad 20-30 cm.

**Cuadro 5.** Medias, desviación estándar y CV del Nt en los métodos evaluados

Sitio	Profundidad (cm)	MDA	No. de muestras	N (Mg ha-1)	Desviación Estándar	C V (%)
1	0-10	1	22	3.01	0.18	6.06
2			22	3.13	0.22	7.02
1		2	22	3.35	0.36	10.82
2			22	3.25	0.28	8.89
1		3	22	2.45	0.15	6.47
2			22	2.60	0.18	7.12
1	10 -20	1	22	2.69	0.20	7.79
2			22	2.82	0.32	11.45
1		2	22	3.12	0.37	11.86
2			22	2.99	0.30	10.07
1		3	22	2.32	0.19	8.32
2			22	2.41	0.26	10.91
1	20 -30	1	22	2.19	0.30	13.73
2			22	2.40	0.33	13.90
1		2	22	2.58	0.34	13.50
2			22	2.47	0.32	13.13
1		3	22	1.98	0.21	10.87
2			22	2.09	0.30	14.66

En la profundidad de 0-10 cm, el MDA2 presento el mayor valor de Nt en los dos sitios estudiados, la más alta desviación estándar en esta profundidad y un valor medio en el coeficiente de variación en los dos sitios; el MDA3 presento el menor valor de Nt, la menor desviación estándar y un coeficiente de variación medio en los dos sitios estudiados; el MDA1 presento valores medios respecto al MDA2 y MDA3 de Nt, de desviación estándar y coeficiente de variación; el menor coeficiente de variación se obtuvo en el sitio 1. En la profundidad de 10-20 cm, el MDA2 presento el valor más alto de Nt, alta desviación estándar y el mayor coeficiente de variación en sitio 1; el MDA1 presento valores medios respecto al MDA2 y el MDA3 de Nt, desviación estándar y coeficiente de variación; el MDA3 presento los valores más

bajos respecto del Nt y de la desviación estándar, sin embargo presento valor alto en el coeficiente de variación en el sitio 1. En la profundidad de 20-30 cm, el MDA2 presento los valores más altos de Nt, valores altos de desviación estándar y valores medios respecto al MDA1 y MDA3 de coeficiente de variación; el MDA1 presento valores medios respecto al MDA2 y MDA3 de N, de desviación estándar y mayores valores de coeficiente de variación respecto al MDA2; el MDA3 presento los valores más bajos de Nt para los dos sitios de estudio si como la menor desviación estándar y el menor coeficiente de variación en el sitio 1 para esta profundidad.

En el cuadro 6 se muestran los valores medios del Nt respecto al sitio indicando que no fueron significativamente diferentes. Los valores medios del Nt con los tres métodos evaluados y en las tres profundidades fueron diferentes significativamente de acuerdo a la prueba Tukey.

**Cuadro 6.** Comparación del Nt en los sitios, métodos y profundidad

VARIABLE	UBICACIÓN	NÚMERO de MUESTRAS	MEDIA
SITIO	1	198	2.69A
	2	198	2.63A
MDA	1	132	2.71B
	2	132	2.96A
	3	132	2.31C
PROF	0-10	132	2.97A
	10-20	132	2.73B
	20-30	132	2.28C

\*Valores designados por la misma letra no son diferentes significativamente ( $P = 0.05$ ).

En los dos sitios de estudio no se encontraron diferencias significativas en cuanto al manejo del suelo; Cristóbal, *et al.*, (2011) indican en relación al efecto del manejo orgánico y convencional sobre el nitrógeno, que algunas investigaciones no tienen diferencias, mientras que otras lo afirman, siendo que el nitrógeno es un elemento de los más dinámicos en los suelos y responde rápidamente a diferentes manejos. Miller, *et al.*, (2008) refieren que diferentes investigaciones muestran el aporte de nitrógeno a través de los residuos de cosecha y su incorporación en el suelo dentro

del manejo orgánico, puede reflejarse en 4 años, en una menor acumulación de nitrato y menos pérdidas por lixiviación

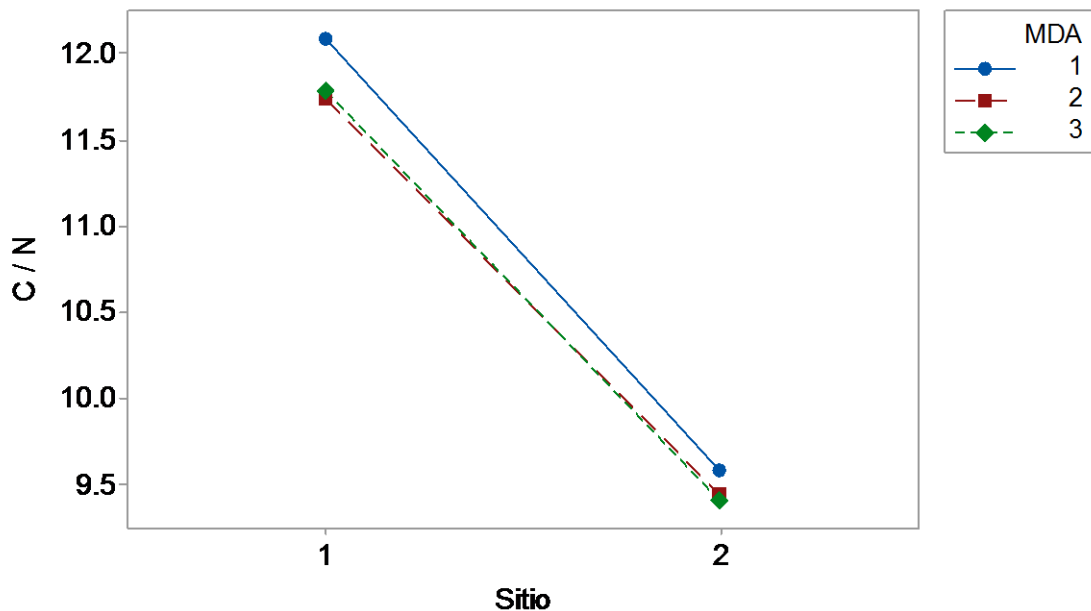
El nitrógeno total en el suelo rara vez se informa en los suelos de caña de azúcar debido a que es un gran consumidor de N este cultivo perenne (Liu, *et al.*, 2006). Es común encontrar el nitrógeno total del suelo con agotamiento (Beza y Assenb 2016), la pérdida en N puede ocurrir a través de la lixiviación, desnitrificación y volatilización después de una alta tasa de aplicación con N. Sin embargo, cada media de pérdidas depende de muchos factores incluyendo atributos físicos y químicos del suelo, régimen climático, etc. (Nielsen, *et al.*, 1996).

## 5.4. Relación carbono/nitrógeno (C/N)

### 5.4.1. Relación C/N por sitios

En la Figura 23 se observa que si existe diferencia significativa de los valores en la relación C/N por sitio. Batjes, (1996) reporto valore de 11.5 y 11.1 en una profundidad de 0-30 cm para cada tipo de suelo de este estudio en la relación C/N, valores muy semejantes a los obtenidos.

Con el MDA1 y MDA2 en los dos sitios de estudio los valores de la relación C/N son muy semejantes. El MDA1 presento valores más altos en los dos sitios de estudio. Los valores de la relación C/N con los tres métodos de estudio son casi iguales en los dos sitios de estudio.

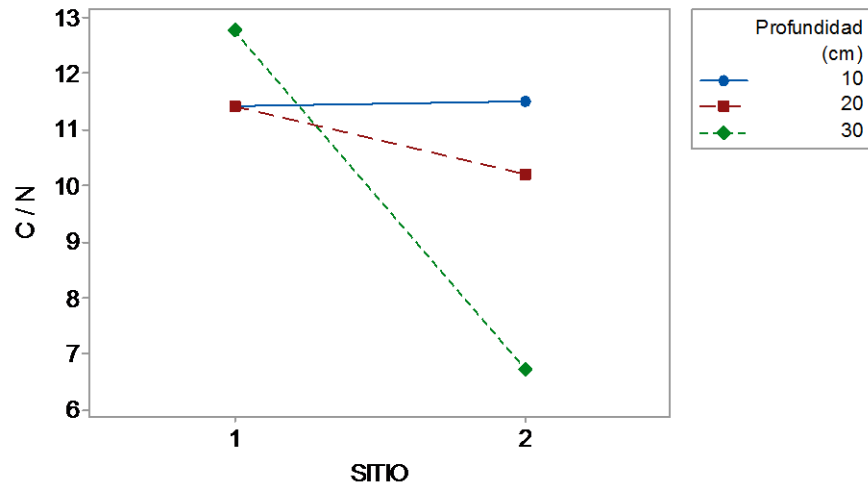


**Figura 23.** Relación C/N en los dos sitios con los tres métodos

### 5.4.2. Relación C/N por profundidades

La relacion C/N en la profundidad de 0-10 cm en el sitio 1 y sitio 2 presentaron valores semejantes. En la profundidad de 10-20 cm, el sitio 2 presento valores mas bajos respecto al sitio 1. En la profundidad de 20-30 cm se presento la mayor diferencia en la relacion C/N del sitio 1 con valores mas altos respecto al sitio 2 Wang (2011) reporto valores de 14.65 en la relacion C/N de 0–20 cm de profundidad

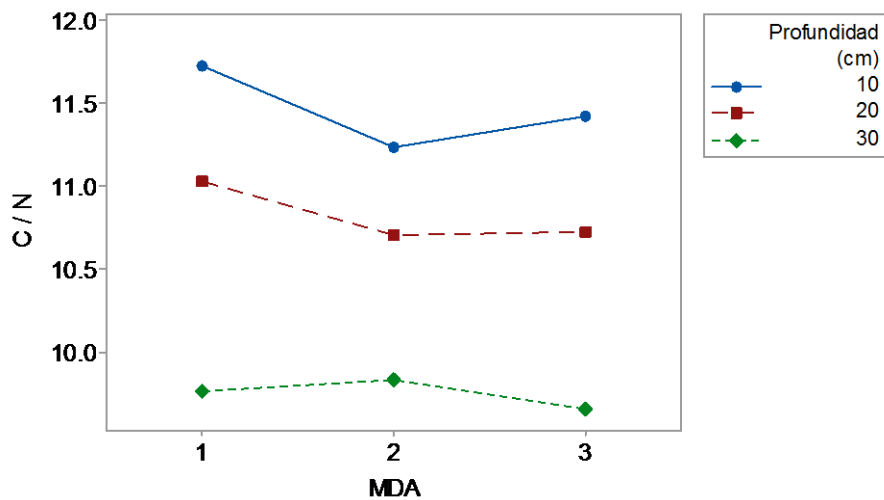
y de 14.88 en 20–40 cm de profundidad; valores altos respecto a este estudio (Figura 24).



**Figura 24.** Relación C/N en los dos sitios en las tres profundidades

#### 5.4.3. C/N por métodos

La relación C/N muestra valores diferentes con los tres métodos evaluados en las tres profundidades. El MDA1 presentó los valores más altos de la relación C/N en la profundidad de 0-10 cm. El MDA2 presentó los valores medios de la relación C/N y el MDA3 presentó los valores más bajos en las tres profundidades. La profundidad del suelo influyó sobre la relación C/N, pues la mayor cantidad se encontró dentro de los primeros 0-10 cm y disminuyó conforme aumentó la profundidad (Figura 25).



**Figura 25.** Relación C/N con los tres métodos en las tres profundidades

En el Cuadro 7 se muestran las medias y la desviación estándar de la relación C/N obtenidas en los dos sitios de estudio por el MDA1, MDA2 y MDA3 en las profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm. El MDA1 presento la mayor variabilidad en la profundidad de 20-30 cm en el sitio 2. El MDA2 en la profundidad 0-10 cm presento la menor variabilidad en el sitio 1.

**Cuadro 7.** Medias, desviación estándar y CV del C/N en los métodos evaluados

Sitio	Profundidad (cm)	MDA	No. de muestras	C/N	Desviación Estándar	C V (%)
1	0-10	1	22	11.94	1.71	14.90
2			22	11.96	2.62	21.97
1		2	22	11.17	1.41	12.64
2			22	11.30	2.67	23.68
1		3	22	11.61	1.48	12.79
2			22	11.23	1.56	13.85
1	10 -20	1	22	11.65	2.26	19.45
2			22	10.39	2.74	26.36
1		2	22	11.21	1.86	16.67
2			22	10.20	2.62	25.70
1		3	22	11.40	1.77	15.53
2			22	10.41	2.45	24.46
1	20 -30	1	22	13.12	2.77	21.14
2			22	6.39	1.69	26.48
1		2	22	12.85	2.64	20.61
2			22	6.82	1.76	25.92
1		3	22	12.35	2.30	18.68
2			22	6.95	1.27	18.34

En la profundidad de 0-10 cm, el MDA1 presento el mayor valor de la relación C/N en los dos sitios estudiados, mayor desviación estándar así como un alto coeficiente de variación; el MDA2 presento el menor valor de la relación C/N, un valor medio de desviación estándar así como el menor coeficiente de variación en el sitio 2; el MDA3 presento valores medios respecto al MDA1 y MDA2 de la relación C/N, los



valores bajos de desviación estándar en los dos sitios y valores bajos de coeficiente de variación en los dos sitio de estudio. En la profundidad de 10-20 cm, el MDA3 presento el valor más alto de la relación C/N, valores bajos de desviación estándar y el menor coeficiente de variación en sitio 1 en esta profundidad; el MDA2 presento los valores más bajos respecto al MDA1 y el MDA3, valores medios de desviación estándar y de coeficiente de variación en los dos sitios; el MDA1 presento los valores más altos respecto a la relación C/N y de la desviación estándar y presento valores altos en el coeficiente de variación en el sitio 2. En la profundidad de 20-30 cm, el MDA1 presento los valores más altos en la relación C/N, valores altos de desviación estándar y el valor más alto de coeficiente de variación en el sitio 2; el MDA2 presento valores medios de la relación C/N, de desviación estándar y de coeficiente de variación; respecto al MDA2 y MDA3; el MDA3 presento los valores más bajos de la relación C/N para los el sitio 2, la menor desviación estándar y el menor coeficiente de variación en los dos sitios de estudio parara esta profundidad.

En el cuadro 8 se muestran los valores medios de la relación C/N respecto al sitio indicando que fueron significativamente diferentes con la prueba de Tukey. Los valores medios de la relación C/N con el MDA1, MDA2 y MDA3 no fueron diferentes significativamente. En este estudio la media de la relación C/N en las profundidades 0-10 cm y 10-20 cm no resultaron significativamente diferentes, la profundidad 20-30 cm fue significativamente diferente respecto a las otras profundidades evaluadas.

**Cuadro 8.** Comparación de C/N en los sitios, métodos y profundidad

VARIABLE	UBICACIÓN	NÚMERO de MUESTRAS	MEDIA
SITIO	1	198	11.87A
	2	198	9.48B
MDA	1	132	10.84A
	2	132	10.58A
	3	132	10.60A
PROF	0-10	132	11.46A
	10-20	132	10.82A
	20-30	132	9.75B

\*Valores designados por la misma letra no son diferentes significativamente (P =0.05).

En los estudios de fertilidad del suelo, el parámetro que se utiliza para medir la actividad de la biomasa y la evolución de la materia orgánica del suelo es la relación C/N. Los valores medios obtenidos en este estudio de la relación C/N se encuentran dentro del rango en los que Jordan (2005), considera que un suelo es fértil pues indica que la relación C/N se encuentra en torno a 10 e indica que cuando la relación carbono-nitrógeno se encuentra entre los valores 8-12, existe un equilibrio entre mineralización y humificación. La fertilidad es elevada. Para conservar esta tasa es recomendable realizar aportes periódicos. Si el valor de la relación carbono-nitrógeno es mayor a 12 es tendencia a la humificación. Poco frecuente en suelos cultivados (Jordán, 2005).

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. Conclusiones

La densidad aparente aumenta conforme la profundidad en el perfil de suelo, ya que a más bajos niveles existe menor contenido de materia orgánica, como lo reportado en este estudio, donde a mayor profundidad menor es la densidad aparente, que pudiera ser atribuido al contenido de materia orgánica.

Al cuantificar la densidad aparente por medio de tres métodos para estos sitios de estudio, no hay efecto en los sitios, en general el método del terrón presento el menor coeficiente de variación respecto del método de la probeta y cilindro, el método del cilindro presento los valores más bajos de densidad aparente y el mayor coeficiente de variación. No se encontró diferencias significativas entre el método de la probeta y el terrón pero sí con el método del cilindro. Los valores de densidad aparente cambian en función del método y la profundidad. La metodología con el uso de los coeficientes de variación reportaron mucha variabilidad de un método con respecto al otro.

El COS en los dos sitios de estudio mostro diferencias significativas; el método del cilindro presento el menor coeficiente de variación, en las tres profundidades estudiadas en los dos sitios; el método de la probeta y el terrón no presento diferencias significativas; el valor del COS fue diferente significativamente en las tres profundidades evaluadas. Las mediciones del COS cambian en función de la profundidad del suelo, disminuyendo conforme aumenta la profundidad.

El Nt en los dos sitios de estudio no mostro diferencias significativas; el método de la probeta presento el menor coeficiente de variación, en las tres profundidades. Los tres métodos presentaron diferencias significativas; el valor del Nt fue diferente significativamente en las tres profundidades evaluadas. Las mediciones del Nt cambian en función de la profundidad del suelo, disminuyendo conforme aumenta la profundidad.

La relación C/N en los dos sitios de estudio mostro diferencias significativas; el método del cilindro presento el menor coeficiente de variación, en las tres profundidades estudiadas en los dos sitios; los tres métodos no presentaron diferencias significativas; el valor de la relación C/N no fue diferente significativamente en las profundidades 0-10 cm y 10-20 cm.

## **6.2. Recomendaciones**

Es necesario evaluar, los servicios ecosistémicos que ofrece este suelo a fin de conocer los beneficios ecológicos en el clima del planeta.

Es necesario considerar las estrategias y métodos de muestreo, para la cuantificación de la densidad aparente.

La elección de metodología para la evaluación de la densidad aparente, el carbono del suelo y el nitrógeno es crítica para la precisión y cuantificación del contenido ya que cambian con el tiempo y con las condiciones ambientales.

La precisión de las estimaciones de la densidad aparente, el carbono orgánico del suelo y el nitrógeno dependen en primera instancia sobre los datos disponibles y su calidad.

Existe una clara necesidad de más estudios que desentrañen los procesos subyacentes que acoplan los ciclos C y N.

El cambio en el almacenamiento de C y N en el suelo puede afectar significativamente nuestros esfuerzos para mitigar el cambio climático a nivel mundial y perturbar el flujo de los servicios ecosistémicos a escala local

## 7. LITERATURA CITADA

- Acevedo, E., y Martínez, E. (2002). Sistema de labranza y productividad de los suelos. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas. Laboratorio de Relación Suelo-Agua-Planta, p.21.
- Al-shammary, A.; Kouzani, A., Kaynak, A., Khoo, S.; Norton, M., and Gates, W. (2018). Soil Bulk Density Estimation Methods: A Review. *Pedosphere*, 28(4), 581–596.
- Anaya, C., Huber-Sannwald, E. (2015). Long-term soil organic carbon and nitrogen dynamics after conversion of tropical forest to traditional sugarcane agriculture in East Mexico. *Soil and Tillage Research*, 147, 20-29.
- Batjes, N. H. (1996). Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *Eur. J. Soil Sci.* 47, 151-163.
- Bautista, F., García, E., Gallegos, A. (2016). The App SOC plus a tool to estimate and calculate organic carbon in the soil profile. *Journal of Applied Research and Technology*, 14 (2), 135-139.
- Benintende, M. C., De Battista, J. J., Benintende, S. M., Saluzzio, M. F., Muller, C. y Sterren, M.A. (2008). Estimación del aporte de nitrógeno del suelo para la fertilización racional de cultivos. *Ciencia, Docencia y Tecnología*, 19, 141-174.
- Beza, S., y Assenb, M. (2016). Soil carbon and nitrogen changes under a long period of sugarcane monoculture in the semi-arid East African Rift Valley, Ethiopia. *Journal of Arid Environments*, 132, 34-41.
- Blake, G. R., and K. H. Hartge. (1986). Bulk Density. In: *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. Am. Soc. Agron. and Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin (pp, 363- 375). USA.
- Boyer, E., Goodale, C., Jaworski, R., & Howarth, R. (2002). Anthropogenic nitrogen sources and relationships to riverine nitrogen export in the northeastern U.S.A. *Biogeochemistry*, 57/58, 137–169.

- Braakhekke, M. C., Wutzler, T., Beer, C., Kattge, J., Schrumppf, M., Ahrens, B., Schöning, I., Hoosbeek, M. R., Kruijt, B., Kabat, P., and Reichstein, M. (2013). Modeling the vertical soil organic matter profile using Bayesian parameter estimation. *Biogeosciences*, 10,399-420.
- Buyanovsky, G. A., Aslam, M., and Wagner, G. H.: (1994). *Organic carbon turnover in soil physical fraction*. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58, 1167–1173.
- Carvajal, A. F., A. Feijo, H. Quintero y M.A. Rondón. (2009). Carbono orgánico del suelo en diferentes usos del terreno de paisajes andinos colombianos *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 9: 222-235.
- Casanova, M., Tapia, E., Seguel, O., Salazar, O. (2016). Direct measurement and prediction of bulk density on alluvial soils of central Chile. *Chilean J Agric Res.* 76, 105–113.
- CICEANA Centro de Información y comunicación ambiental de Norte América A.C. (2018),1-4. Recuperado de [https://www.academia.edu/8385790/Ciclo\\_nitrogeno\\_CICEANA](https://www.academia.edu/8385790/Ciclo_nitrogeno_CICEANA)
- CINPE Centro Internacional de política económica para el desarrollo sostenible. (2012). Escenarios costo-efectividad de medidas de mitigación: Caña de azúcar. Informe final. Universidad Nacional de Costa Rica, 2-30.
- Claus A., E George. (2005). Effect of stand age on fine-root biomass and biomass distribution in three European forest chronosequences. *Can. J. For. Res.* 35, 1617-1625.
- Camponez do Brasil, R. P. (2000). Influência das técnicas de coleta de amostras na determinação das propriedades físicas do solo. MSc. Thesis, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ), Universidade de São Paulo (USP). Piracicaba, São Paulo, Brasil, 102.
- Cotler, H., Martínez, M., y Etchevers, J. (2016). Carbono orgánico en suelos agrícolas de México: Investigación y políticas públicas. *Terra Latinoamericana*, 34 (1), 125-127.

- COLPOS Colegio de Postgraduados. (2016). Abonos orgánicos. Sistema de Agronegocios agrícolas, p.6. Recuperado de <https://studylib.es/doc/5284597/abonos-org%C3%A1nicos>
- Cristóbal, A. D., Álvarez, S. M., Hernández, A. E., Améndola, M. R. (2011). Concentración de nitrógeno en suelo por efecto de manejo orgánico y convencional. *Terra Latinoamericana*, 29, 325-332.
- Chabbi, A., Kögel-Knabner, I., and Rumpel, C. (2009). Stabilized carbon in subsoil horizons is located in spatially distinct parts of the soil profile. *Soil Biol. Biochem*, 41, 256-261.
- De Alcántara, N. K., Valente de M, E., Pereira D., Oliveira S., and De Moura, P. (2014). Agroforestry systems, nutrients in litter and microbial activity in soils cultivated with. *Scientia Agricola*, 71, 87-95.
- De Jong, B., Anaya, C., Masera, O., Olguín, M., Paz, F., Etchevers, J., Martínez, R., Guerrero, G., and Balbontín, C. (2010). Greenhouse gas emissions between 1993 and 2002 from land-use change and forestry in Mexico. *For. Ecol. Manage*, 260, 1689-1701.
- De León-González, F., Hernández, S. M., Etchevers, J., Payán Z., and Ordaz, Ch. V. (2000). Short-term compost effect on macroaggregation in a sandy soil under low rainfall in the valley of Mexico. *Soil Tillage Res.* 56, 213-217.
- IPCC Intergovernmental panel on climate change. (2006) Directrices 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Volumen 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra. Recuperado de [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4\\_Volume4/V4\\_11\\_Ch11\\_N2O&CO2.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4_Volume4/V4_11_Ch11_N2O&CO2.pdf)
- Elissondo E., Costa, J., Suero, E., Fabrizzi, K. P., y García, F. (2001). Evaluación de algunas propiedades físicas de suelos luego de la introducción de labranzas verticales en un suelo bajo siembra directa. *Ciencia del suelo*, 19, 11-19.

- Elzein, A. and J. Balesdent. (1995). Mechanistic simulation of vertical distribution of carbon concentrations and residence times in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 59, 1328-1335.
- Erismán, J. W., Galloway, J., Seitzinger, S., Bleeker, A., Butterbach, K. (2011). Reactive nitrogen in the environment and its effect on climate change 3, (5), 281-290.
- Esquivel, S. E., Chavarría, V. A., Briceño E. E., E. Canessa, M. R., and Camacho, C. D. (2016). Dendroenergía: plantaciones forestales hacia la producción de biomasa para múltiples propósitos. By Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Etchevers, J. D., C. M. Monreal, C. Hidalgo, M. Acosta, J. Padilla y R. M. López. (2005). Manual para la determinación de carbono en la parte aérea y subterránea de sistemas de producción en laderas. Colegio de Postgraduados, México, p 29.
- FAO The food and agricultura organization. (2002). Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Italia, p 1, 4.
- Filoso, S., Martinelli, L., Howarth, R., Boyer, E., Dentener, F. (2007). Human activities changing the nitrogen cycle in Brazil. *Biogeochemistry*, 10.1007/978-1-4020-5517-1-4.
- Folegatti, M.; Camponez, R., and Blanco, F. (2001). Sampling equipment for soil bulk density determination tested in a Kandudalfic Eutrudox and a Typic Hapludox. *Scientia Agricola*, 58 (4), 833- 838.
- Follett, R. F., Castellanos, J.Z., and Buenger, E. D., (2005). Carbon dynamics and sequestration in an irrigated Vertisol in Central Mexico. *Soil Tillage Res.* 83: 148-158.
- Follett, R.F., Stewart, B.A., (1985). *Soil Erosion and Crop Productivity*. American Society of Agronomy (pp 533). Madison, Wisconsin, USA.



- Franzlubbers, A.J., Hons, F.M., Zuberer, D.A., (1995). Tillage and crop effects on seasonal dynamics on soil CO<sub>2</sub> evolution, water content, temperature, and bulk density. *Appl. Soil Ecol.*, 2, 95-109.
- Greenland, D. J. (1965). Interaction between clays and organic compounds in soils. Part II. Adsorption of soil organic compounds and this effect on soil properties. *Soil Fertility*, 28, 521-532.
- Greenland, D.J. (1971). Changes in the nitrogen status and physical condition of soils under pasture, with special reference to the maintenance of the Australian soils used for growing wheat. *Soil Fertility*, 34, 237-251.
- González, M. L., Etchevers, B J. D., Hidalgo, M. C. (2008). Carbono en suelos de ladera: Factores que deben considerarse para determinar su cambio en el tiempo. *Agrociencia*, 42, 741–751.
- Hammad, E. A., Dawelbeir, M. I. (2001). Effect of tillage and field condition on soil physical properties, cane and sugar yields in vertisols of Kenana Sugar Estate, Sudan. *Soil Tillage Res.* 62,101-109.
- Hassett, J. (1992) *Soils and Their Environment*. P 3. USA: Pearson Education.
- Hayatsu, M., Tago, K., Saito, M. (2008). Various players in the nitrogen cycle: Diversity and functions of the microorganisms involved in nitrification and denitrification. *Soil Science and Plant Nutrition*, 54, 33-45.
- Hillel, D. (1980) .*Fundamentals of soil physics*. Department of plant and soil sciences, university of Massachusetts. Ed. Academic Press. USA.
- Hossne, A. y Cedeño, J. H. (2012) Comparación de tres métodos para determinar densidad aparente y solidez en tres suelos franco arenosos de sabana. *Revista Científica UDO Agrícola* 12 (4), 861-872.
- INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2010). *Fotografías aéreas de Morelos a escala 1:75 000*. México.

- INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía Marco Geoestadístico Municipal (2005), versión 3.1. Recuperado de [http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos\\_geograficos/21/211085.pdf](http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/21/211085.pdf)
- Ingaramo, O.E., Paz, G. A., y Dugo, P. M. (2003). Evaluación de la densidad aparente en diferentes sistemas de laboreos de suelo, en el noroeste de la Península Ibérica. Resumen: A-032, p 4.
- Jaramillo, D. (2002). Introduction a la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Colombia. Medellin. P. 186-189.
- Jenkinson, D. S., and K. Coleman. (2008). The turnover of organic carbon in subsoils. Part 2. Modelling carbon turnover. *Eur. J. Soil Sci.* 59, 400-413.
- Johnson, D. W., Knoepp, J. D., Swank, W, D., Shan, J., Morris, L .A., Van Lear, D.H., and Kapeluck, P. R. (2002). Effects of forest management on soil carbon: results of some longterm resampling studies. *Environmental Pollution*, 116, 201-208.
- Jordán L. A. (2005) Manual de edafología. Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola de la Universidad de Sevilla. Pp. 42.
- Kaiser, K., Eusterhues, K., Rumpel, C., Guggenberger, G., and Kögel-Knabner. I. (2002). Stabilization of organic matter by soil minerals - investigations of density and particle-size fractions from two acids forest soils. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 165, 451-459.
- Kaonga, M. L., and Coleman, K. (2008). Modelling soil organic carbon turnover in improved fallows in Eastern Zambia using the RothC- 26.3 model. *Forest Ecol. Manag.* 256(5), 1160- 1166.
- Keesstra S. D., Bouma, J., Wallinga, J., Tiftonell, P., Smith, P., Cerdá, A., Montanarella, L., Quinton, J. N., Pachepsky, Y., van der Putten, W. H., Bardgett, R. D., Moolenaar, S., Mol, G., Jansen, B., Fresco, L. O. (2016).

The significance of soils and soil science towards realization of the United Nations Sustainable Development Goals. *J. Soil*, 2 (2), 111-128.

Krebstein, K., Reintam, E., (2013). Effects of changes in land use on soil properties in Estonia. 14167

Krull, E. S., Skjemstad, J. O., Baldock, J. A., (2004). Functions of soil organic matter and the effect on soil properties. Grains research & development corporation. Report project No. CSO 00029.

Lal, R., Eckert, D. J., Fausey, N. R., Edwards, W. M. (1990). Conservation tillage in sustainable agriculture. In: C. A. Edwards, R. Lal, P. Madden, R. H. Miller and G. House, Sustainable Agriculture Systems. Soil and Water Conservation Society, Iowa, USA. Pp. 203-225.

Lal, R. (1997). Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO<sub>2</sub> – enrichment. *Soil Till. Res.* 43, 81-107.

Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304, 1623-1627.

Lampurlanés, J., Cantero, M. C. (2003). Soil bulk density and penetration resistance under different tillage and crop management systems and their relationship with barley root growth. *Agron. J.* 95, 526–536.

Leonaviciute, N. (2000). Predicting soil bulk and particle densities by pedotransfer functions from existing soil data in Lithuania. *Geografijos Metrastis* 33, 317-330.

Liu, X., Herbertz, S. J., Hashemi, A. M., Zhang, X., Ding, G., (2006). Effects of agricultural management on soil organic matter and carbon transformation a review. *Plant soil Environ*, 12, 531-543.

Lorenz, K., Lal, R., and Shipitalo, M. J. (2011). Stabilized soil organic pools in subsoil under forest are potential sinks for atmospheric CO<sub>2</sub>. *For. Sci.* 57, 19-25.

- Luyssaert, S. E., Schulze, E. D., Börner, A. (2008) Old-growth forests as global carbon sinks. *Nature*, 455, 213–215.
- Masuhara, A. 2012. Evaluación del contenido de carbono en sistemas agroforestales de café en Huatusco, Veracruz, México. Tesis de maestría. Universidad Autónoma Chapingo. México. P. 146.
- Naeth, M., White, D.; Chanasyk, D.; Macyk, T.; Powter, C., and Thacker, D. (1991). Soil physical properties in reclamation. Alberta Land Conservation and Reclamation Council (Reclamation Research Technical Advisory Committee) RRTAC Report 91-4. Edmonton, Alberta, Canada.
- Navarro, J., Moral, H., Gomez, L., Mataix, B., (1995) Residuos orgánicos y agricultura. Universidad de Alicante. España. P.108.
- Nielsen, T. H., Nielsen, L. P., Revsbech, N. P., (1996). Nitrification and coupled nitrification-denitrification associated with a soil-manure interface. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60, 1829 -1840
- NOM 2000, Semarnat. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (Antes nom-021-recnat-2000) Norma oficial mexicana, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis.
- Ortiz, S., C. A. y M. C. Gutiérrez C. (1995). Clasificación de Vertisoles en la taxonomía de suelos versión 1992. pp. 231- 236.
- Page, D. D. S., Brown, R. E., Jurgensen, M. F., and Mroz, G. D. (1999). Comparison of methods for determining bulk densities of rocky forest soils. *Soil Science Society of America Journal*, 63,379-383.
- Paul, K. I., Polglase, P. J., Nyakuengama, J. G., and Khanna P. K. (2002) Change in soil carbon following afforestation. *Forest Ecology and Management*, 168, 241–257.
- Pennock, D., Yates, T., Braidek, J. (2007). Soil Sampling Designs. *Soil Sampling and Methods of Analysis*. 1-14. 10.1201/9781420005271.ch1

- Perdomo C., Barbazan, M. (1992) Nitrógeno. Facultad de agronomía universidad de la República de Uruguay. P.1.
- Pires, L. F.; Robson, J. A., Correchel, V., Bacchi, O.S., Reichardt, K., and Camponez do Brasil, R. P. (2004). The use of gamma ray computed tomography to investigate soil compaction due to core sampling devices. *Brazilian Journal of Physics* 34 (3A), 728- 731.
- Poeplau, Ch., Don, A. (2013) Sensitivity of soil organic carbon stocks and fractions to different land-use changes across Europe *Geoderma*, 192,189–201.
- Porta, C. J., M. López, A. M., y Poch, R. M. (2014). *Edafología: Uso y protección de suelos*. 3a edición. Mundi-Prensa. Madrid, España. P. 607.
- Ribón, C. M., Salgado, G. S.; Palma, L. D., Lagunes, E. L.; (2003) Propiedades químicas y físicas de un vertisol cultivado con caña de azúcar. *Interciencia*, 28 (3), 154-159.
- Rojas, J y Sáenz, E. (2012) Densidad aparente. Comparación de métodos de determinación en ensayo de rotaciones en siembra directa.
- Rothon, F. E., (2000). Influence of Time on Soil Response to No-Till Practices. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64, 700–709.
- Rügnitz, T. M., M. Chacón, L., y Porro, R. (2009). Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales. Centro Mundial Agroforestal. Lima, Perú. Pp. 79.
- Rumpel, C., Kögel-Knabner, I., and Bruhn, F. (2002). Vertical distribution, age, and chemical composition of organic carbon in two forest soils of different pedogenesis. *Org. Geochem*, 33, 1131-1142.
- Rumpel, C. and I. Kögel-Knabner. (2011). Deep soil organic matter a key but poorly understood component of terrestrial C cycle. *Plant Soil*, 338, 143-158.
- Schlesinger, W. H. and Andrews, J.A., (2000). Soil respiration and the global carbon cycle. *Biogeochemistry*, 48, 7-20.

- SEMARNAT-INECC Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales - Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2012). Quinta comunicación nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. México, D. F.
- Soika, R. E.; Busscher W.J., and Lehrs, G. A. (2001). In situ strength, bulk density, and water content relationships of a Durinodic Xeric Haplocalcid soil. *Soil Science*, 166 (8), 520-529.
- Springsteen, A.; Loya, W., Liebig, M., Hendrickson, J (2010) Soil carbon and nitrogen across a chronosequence of woody plant expansion in North Dakota. *Plant and Soil*, 328, 369–379.
- Taalab, K. P.; Corstanje; R., Creamer, R., Whelan, M. J. (2013). Modelling soil bulk density at the landscape scale and its contributions to C stock uncertainty. *Biogeosci.* 10: 4691-4704.
- Taboada, M. A., Álvarez, C. R. (2008). Fertilidad física de los suelos. 2da Ed. Editorial Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires.
- Thompson L., Iroeh, F. (2002) Los suelos y su fertilidad. Editorial Reverté S.A. Barcelona. P. 79-82.
- Tiessen, H., Cuevas, E., Chacon, P. (1994) The role of soil organic matter in sustaining soil fertility. *Nature*, 371, 783–785.
- Trinidad, S. A.; Velasco, V. J. (2016). Importancia de la materia orgánica en el suelo. *Agroproductividad*, 9 (8), 52-58.
- UNAM (2016) Universidad Nacional Autónoma de México. Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño. Coordinación de Universidad Abierta y Educación a Distancia / UNAM. Recuperado de [http://uapas1.bunam.unam.mx/ciencias/ciclos\\_biogeoquimicos](http://uapas1.bunam.unam.mx/ciencias/ciclos_biogeoquimicos)

- USDA, NRCS (2014). Soil Bulk Density. Guides for educators. USA.
- USDA, NRCS (2014). Soil Nitrogen. Guides for educators. USA.
- Walkey, A. and Black, I. A. (1947). An examination of the deghareff method for determining soil organic and a proposed modification of chromic acid titration method. *Soil Science*, no. 37, 29–38.
- Wang C. M., Ouyang H., Shao, B. (2006). Soil carbon changes following afforestation with Olga Bay Larch (*Larix olgensis* Henry) in Northeastern China. *Journal of Integrative Plant Biology*, 48, 503–512.
- Wang Wen-Jie, Qiu Ling, Zu Yuan -Gang, Su Dong-Xue, An Jing, Wang Hong- Yan, Zheng Guan-Yu, Sun Wei and Chen X I-Quan. (2011). Changes in soil organic carbon, nitrogen, pH and bulk density with the development of larch (*Larix gmelinii*) plantations in China. *Global Change Biology*, 17, 2657–2676.
- West, T., Marland, G. (2003). Net carbon flux from agriculture: carbon emissions, carbon sequestration, crop yield and land-use change. *Biogeochemistry*, 63, 73-83.
- Seese; W, S., Daub, G. W. (1995). *Basic Chemistry*. Prentice Hall, PTR.
- Winjum, J. K., Dixon, R. K., and Schroeder, P. E. (1993). 'Forest management and carbon storage: an analysis of 12 key forest nations', *Water, Air, and Soil Pollution*, 70 (1-4), 239–57.
- Xie, Z., Zhu, J., Liu, G., Jianguo, Z., Liu, Q. (2007). Soil organic carbon stocks in China and changes from 1980s to 2000s. *Global Change Biology*, 13, (7) 1989.
- Zermeño, G. A., Villatoro, M. S., y Cortés, B. J. (2012). Estimación del intercambio neto de CO<sub>2</sub> en un cultivo de caña de azúcar durante el ciclo de plantilla. México. *Agrociencia*, 46, 579-591.
- Zhou G. Y., Liu S. G., Li Z. (2006). Old-growth forests can accumulate carbon in soils. *Science*, 314, 1417.

## 8. ANEXOS

### Anexo 1. Cuestionario a productor del sitio 1

**CUESTIONARIO** ING. YOLANDA ROSALES NERI  
COLEGIO DE POSTGRADUADOS

Nombre del productor Ignacio Atanacio Uibe Romero

Edad (opcional) 67 años

Nombre de su predio Campo Ticaman

¿Ejido? del H. Cuautla Morelos

Área de su predio 1-46-30.67 HAS.

Ubicación del predio (nombre) Ejido de Cuautla, Campo Ticaman

Años que tiene su cultivo (aprox) Plantilla de Caña de Azúcar  
aprox - 10 meses

De temporal          o De riego Riego

En caso de ser de riego ¿De dónde viene el agua para su riego? (pozo, ojo de agua, etc.) Los Recursos Hidráulicos provienen de un canal llamado el Zapote que se abastece del Río Cuautla

¿Utiliza fertilizantes? SI

¿Cuales? 1<sup>a</sup>/Fertilización Cáñero, 2<sup>a</sup> Fert. UREA, 3<sup>a</sup> UREA  
4<sup>a</sup>/Ferti UREA ESTABILIZADA + P, K

¿En qué dosis? 1<sup>a</sup> Buttox Tarea - 2<sup>a</sup> y 3<sup>a</sup> 35 Kgrs. X Tarea  
4<sup>a</sup> 40 Kgrs X Tarea

¿Cada cuánto tiempo fertiliza? 1<sup>a</sup> a los 45-60 días - 2<sup>a</sup>, 3<sup>a</sup>, 4<sup>a</sup>  
cada mes, la última abonada la aplico a los 6 meses  
de edad de la caña

¡ G R A C I A S !



## Anexo 2. Análisis del suelo de Cuautla, Morelos.

### JICAMÓN, CUAUTLA, MORELOS.

pH:	(6.93)	Terreno prácticamente neutro
CE:	(0.19 dS/m -0.6 dS/m-)	Libre de salinidad
MO:	(5.47 %)	Muy rico en materia orgánica
N-total:	(0.27 %)	Alto en nitrógeno total
N-inorg:	(13.7 mg/kg)	Bajo en nitrógeno inorgánico
P:	(74.7 mg/kg)	Muy alto en fósforo “asimilable”
K:	(394 mg/kg)	Moderadamente alto en potasio
“aprovechable”		
Ca:	(2,670 mg/kg)	Moderadamente alto en calcio
“aprovechable”		
Mg:	(1,244 mg/kg)	Muy alto en magnesio
“aprovechable”		
Fe:	(80.9 mg/kg)	Muy alto en hierro “asimilable”
Cu:	(10.38 mg/kg)	Exceso en cobre “asimilable”
Zn:	(2.34 mg/kg)	Medio en zinc “asimilable”
Mn:	(18.2 mg/kg)	Moderadamente alto en manganeso
“asimilable”		
B:	(2.05 mg/kg)	Alto en boro “asimilable”
Dap:	(1.2 t/m <sup>3</sup> )	Normal densidad aparente
Textura:		Franca
Pb:	(0.07 mg/kg)	Sin problema en plomo “aprovechable”
Cr:	(ND mg/kg)	Sin problema en cromo “aprovechable”
Cd:	(0.08 mg/kg)	Sin problema en cadmio “aprovechable”
Ni:	(ND mg/kg)	Sin problema en níquel “aprovechable”
Co:	(ND mg/kg)	Sin problema en cobalto “aprovechable”
Mo:	(0.21 mg/kg)	Sin problema en molibdeno “aprovechable”

---

Con base en la interpretación anterior y, tomando en cuenta el cultivo de CAÑA DE AZÚCAR bajo riego, se tienen las siguientes consideraciones y recomendaciones:

**SOBRE EL pH.** El terreno es neutro. La CAÑA DE AZÚCAR prefiere el intervalo de 5.5 a 7.0. Con base en lo anterior, el pH del terreno se encuentra en una condición ideal para el crecimiento, desarrollo y producción de CAÑA DE AZÚCAR.

**CE.** La salinidad es muy baja. La caña de azúcar comienza a ser afectada a una CE = 1.7 dS/m (extracto). Con base en lo anterior, no se tienen problemas de salinidad para el buen desarrollo, crecimiento y producción de CAÑA.

**MATERIA ORGÁNICA.** El nivel de materia orgánica es muy alto. Esto crea en el suelo condiciones físicas, químicas y biológicas adecuadas para el buen desarrollo, crecimiento y producción de CAÑA.

MACRONUTRIMENTOS. Se considera que: 1) existe un abastecimiento alto de nitrógeno y azufre por el contenido alto de materia orgánica; 2) se tiene una disponibilidad muy alta de fósforo; 3) el potasio y el calcio son ligeramente altos, mientras que el magnesio está muy alto; 4) el sistema radical de la caña es fasciculado; 5) se utilizan híbridos o variedades mejoradas, adaptadas a la región; 6) se tiene un alto potencial de producción de CAÑA comercial (más de 170 t/ha) por tener riego.

### Anexo 3. Especificaciones del suelo de Cuautla, Morelos.

29 DE MAYO DE 2018.  
No. DE OFICIO: 144

USUARIO: **YOLANDA ROSALES NERI**

PROCEDENCIA: **JICAMÓN, CUAUTLA, MOR.**

TIPO DE MUESTRA: **SUELO (1 MUESTRA)**

Nº CONTROL	pH	C. E. dS m <sup>-1</sup>	MO %	N. Total %	N. Inorg. mg kg <sup>-1</sup>	P mg kg <sup>-1</sup>	K mg kg <sup>-1</sup>	Ca mgKg <sup>-1</sup>
794	6.93	0.19	5.47	0.27	13.7	74.72	394	2670

Nº CONTROL	Mg mgKg <sup>-1</sup>	Fe mg kg <sup>-1</sup>	Cu mg kg <sup>-1</sup>	Zn mg kg <sup>-1</sup>	Mn mg kg <sup>-1</sup>	B mg kg <sup>-1</sup>	Dens. Apar. g cm <sup>-3</sup>
794	1244	80.93	10.38	2.34	18.23	2.05	1.20

Nº CONTROL	Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura
794	47.5	35.3	17.2	FRANCO

Nº CONTROL	Pb mg kg <sup>-1</sup>	Cr mg kg <sup>-1</sup>	Cd mg kg <sup>-1</sup>	Ni mg kg <sup>-1</sup>	Co mg kg <sup>-1</sup>	Mo mg kg <sup>-1</sup>
794	0.07	ND	0.08	ND	ND	0.21

ND: NO DETECTADO POR EL MÉTODO EMPLEADO.

#### METODOLOGIA:

**pH:** POTENCIOMETRICO, RELACION SUELO-AGUA, 1:2.

**CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (CE):** PUENTE DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN SUSPENSIÓN MUESTRA: AGUA, 1:2.

**MATERIA ORGANICA (MO):** WALKLEY Y BLACK.

**NITROGENO INORGANICO (N. Inorg.):** EXTRAIDO CON CLORURO DE POTASIO 2N Y DETERMINADO POR ARRASTRE DE VAPOR.

**FOSFORO ASIMILABLE (P):** BRAY P-1.

**POTASIO (K):** EXTRAIDO EN ACETATO DE AMONIO 1.0 N, pH 7.0, RELACIÓN 1:20 Y DETERMINADO POR ESPECTROFOTOMETRIA DE EMISIÓN DE FLAMA.

**CALCIO, MAGNESIO (Ca, Mg):** EXTRAIDO CON ACETATO DE AMONIO 1.0 N, pH 7.0, RELACIÓN 1:20 Y DETERMINADO POR ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATOMICA.

**HIERRO, COBRE, ZINC, MANGANESO (Fe, Cu, Zn, Mn):** EXTRAIDO CON DTPA RELACIÓN 1:4 Y DETERMINADO POR ESPECTROFOTOMETRIA DE ABSORCION ATOMICA.

**BORO (B):** EXTRAIDO CON CaCl<sub>2</sub> 1.0M Y DETERMINADO POR FOTOCOLORIMETRIA CON AZOMETINA-H.

**Anexo 4. Cuestionario a productor del sitio 2**

**CUESTIONARIO** ING. YOLANDA ROSALES NERI  
COLEGIO DE POSTGRADUADOS

Nombre del productor Vicente López Torres

Edad (opcional) 65 años

Nombre de su predio Campo el Rosario "El Pilar"  
El Machuelo # 14

¿Ejido? Si

Área de su predio 1 Ha

Ubicación del predio (nombre) San Juan Colón, Izúcar de Matamoros  
Puebla

Años que tiene su cultivo (aprox) Desde 1976

De temporal  ó De riego

En caso de ser de riego ¿De dónde viene el agua para su riego? (pozo, ojo de agua, etc.) Cada 25 ó 30 días se riega con  
agua de Río

¿Utiliza fertilizantes? Si Organico desde hace 6 años

¿Cuales? Compostu que preparo y lombrí compostu

¿En qué dosis? 1.5 ton./Ha

¿Cada cuánto tiempo fertiliza? 2 veces en /cultivo

**¡ G R A C I A S !**

**Anexo 5. Análisis del suelo de San Juan Colón, Izúcar de Matamoros, Puebla.**

SAN JUAN COLÓN, IZÚCAR DE MATAMOROS, PUEBLA.

pH:	(7.16)	Terreno neutro
CE:	(0.70 dS/m)	Moderadamente salino
MO:	(2.82 %)	Moderadamente rico en materia orgánica
N-total:	(0.2 %)	Alto en nitrógeno total
P:	(6.52 mg/kg)	Bajo en fósforo “asimilable”
K:	(336 mg/kg)	Moderadamente alto en potasio
“aprovechable”		
Ca:	(5,824 mg/kg)	Alto en calcio “aprovechable”
Mg:	(1,216 mg/kg)	Muy alto en magnesio
“aprovechable”		
Fe:	(4.15 mg/kg)	Bajo en hierro “asimilable”
Cu:	(1.30 mg/kg)	Moderadamente alto en cobre “asimilable”
Zn:	(0.67 mg/kg)	Moderadamente bajo en zinc “asimilable”
Mn:	(5.48 mg/kg)	Moderadamente bajo en manganeso
“asimilable”		
B:	(1.62 mg/kg)	Moderadamente alto en boro “asimilable”
Dap:	(1.23 t/m <sup>3</sup> )	Normal densidad aparente
Textura		Franca
Pb:	(ND mg/kg)	Sin problema en plomo “aprovechable”
Cr:	(0.021 mg/kg)	Sin problema en cromo
“aprovechable”		
Cd:	(ND mg/kg)	Sin problema en cadmio “aprovechable”
Ni:	(ND mg/kg)	Sin problema en níquel “aprovechable”
Co:	(0.04 mg/kg)	Sin problema en cobalto “aprovechable”
Mo:	(ND mg/kg)	Sin problema en molibdeno “aprovechable”
:		

Con base en la interpretación anterior y tomando en cuenta el cultivo de CAÑA DE AZÚCAR bajo riego, se tienen las siguientes consideraciones y recomendaciones:

**SOBRE EL pH.** El terreno es neutro. La CAÑA DE AZÚCAR prefiere el intervalo de 5.5 a 7.0. No obstante lo anterior, el pH del terreno no representa un problema para el buen desarrollo, crecimiento y producción de CAÑA DE AZÚCAR.

**CE.** La salinidad es baja. La caña de azúcar comienza a ser afectada a una CE = 1.7 dS/m (extracto). Con base en lo anterior, la salinidad del terreno está en el límite para la afectación de la CAÑA DE AZÚCAR.

**MATERIA ORGÁNICA.** El nivel de materia orgánica es ligeramente alto. Es NECESARIO la adición de abonos orgánicos, teniendo como meta alcanzar el valor de 3.7% de materia orgánica, para mejorar la aireación de las raíces y el drenaje del terreno. Una alternativa lo constituyen las compostas o los estiércoles maduros, los cuales, además de elevar la materia orgánica, aporta nutrimentos. Se recomienda la adición de 10 t/ha por año, de composta o estiércol maduro, por lo

menos durante 6 años. Este abono aportará por lo menos 50 kg de N aprovechable/ha, el cual deberá restarse de la fórmula de fertilización. Contribuye a resolver las deficiencias de fósforo. Asimismo, este abono elimina la necesidad de adicionar fertilizantes con micronutrientes.

**MACRONUTRIMENTOS.** Se considera que: 1) existe un abastecimiento ligeramente alto de nitrógeno y azufre por el contenido de materia orgánica; 2) se tiene una disponibilidad baja de fósforo; 3) el potasio es ligeramente alto, el calcio alto y magnesio muy alto, lo cual crea un desbalance desfavorable al potasio; 4) el sistema radical de la caña es fasciculado; 5) se utilizan híbridos o variedades mejoradas, adaptadas a la región; 6) se tiene un alto potencial de producción de CAÑA comercial (más de 150 t/ha) por tener riego. Con estas consideraciones, se deriva la siguiente:

**Anexo 6.** Especificaciones del suelo de San Juan Colón, Izúcar de Matamoros, Puebla.

9 DE NOVIEMBRE DE 2018.  
No. DE OFICIO: 345

USUARIO: **YOLANDA ROSALES**

PROCEDENCIA: **JUÁN COLÓN, IZUCAR DE MATAMOROS, PUE.**

TIPO DE MUESTRA: **SUELO (1 MUESTRA)**

Nº CONTROL	pH	C. E. dS m <sup>-1</sup>	MO %	N. Tot. %	P mg kg <sup>-1</sup>	K mg kg <sup>-1</sup>	Ca mgKg <sup>-1</sup>	Mg mg kg <sup>-1</sup>
3002	7.16	0.70	2.82	0.20	6.52	336	5824	1216

Nº CONTROL	Fe mg kg <sup>-1</sup>	Cu mg kg <sup>-1</sup>	Zn mg kg <sup>-1</sup>	Mn mg kg <sup>-1</sup>	B mg kg <sup>-1</sup>	Dens. Apar. g cm <sup>-3</sup>
3002	4.15	1.30	0.67	5.48	1.62	1.23

Nº CONTROL	Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura
3002	40.4	35.3	24.4	FRANCO

Nº CONTROL	Pb mg kg <sup>-1</sup>	Cr mg kg <sup>-1</sup>	Cd mg kg <sup>-1</sup>	Ni mg kg <sup>-1</sup>	Co mg kg <sup>-1</sup>	Mo mg kg <sup>-1</sup>
3002	ND	0.021	ND	ND	0.04	ND

ND: NO DETECTADO POR EL MÉTODO EMPLEADO.

**METODOLOGIA:**

pH: POTENCIOMETRICO, RELACION SUELO-AGUA, 1:2.

CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (CE): PUENTE DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN SUSPENSIÓN MUESTRA: AGUA, 1:2.

MATERIA ORGANICA (MO): WALKLEY Y BLACK.

NITROGENO TOTAL (N Tot.): DETERMINADO POR ARRASTRE DE VAPOR:KJELDAHL.

FOSFORO ASIMILABLE (P): BRAY P-1.

POTASIO (K): EXTRAIDO EN ACETATO DE AMONIO 1.0 N, pH 7.0, RELACIÓN 1:20 Y DETERMINADO POR ESPECTROFOTOMETRIA DE EMISIÓN DE FLAMA.

CALCIO, MAGNESIO (Ca, Mg): EXTRAIDO CON ACETATO DE AMONIO 1.0 N, pH 7.0, RELACIÓN 1:20 Y DETERMINADO POR ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATOMICA.

ZINC, MANGANESO (Zn, Mn): EXTRAIDO CON DTPA RELACIÓN 1:4 Y DETERMINADO POR ESPECTROFOTOMETRIA DE ABSORCION ATOMICA.

BORO (B): EXTRAIDO CON CaCl<sub>2</sub> 1.0M Y DETERMINADO POR FOTOCOLORIMETRIA CON AZOMETINA-H.

## Anexo 7. Coordenadas de los sitios de muestreo

COORDENADAS DE UM EN PREDIO JICAMAN			COORDENADAS DE UM EN PREDIO "EL PILAR"		
1,1	18°48'50.98"N	98°58'3.21"O	1,1	18°35'31.59"N	98°33'42.04"O
1,2	18°48'49.89"N	98°58'3.60"O	1,2	18°35'30.58"N	98°33'41.31"O
1,3	18°48'48.88"N	98°58'4.03"O	1,3	18°35'29.93"N	98°33'40.87"O
1,4	18°48'47.81"N	98°58'4.39"O	1,4	18°35'29.60"N	98°33'40.66"O
2,1	18°48'51.27"N	98°58'3.69"O	2,1	18°35'31.32"N	98°33'42.36"O
2,2	18°48'50.10"N	98°58'4.04"O	2,2	18°35'30.71"N	98°33'41.83"O
2,3	18°48'49.03"N	98°58'4.41"O	2,3	18°35'29.98"N	98°33'41.36"O
2,4	18°48'47.97"N	98°58'4.87"O	2,4	18°35'29.54"N	98°33'41.00"O
3,1	18°48'51.47"N	98°58'4.04"O	3,1	18°35'31.10"N	98°33'42.75"O
3,2	18°48'50.32"N	98°58'4.55"O	3,2	18°35'30.61"N	98°33'42.29"O
3,3	18°48'49.18"N	98°58'4.91"O	3,3	18°35'29.97"N	98°33'41.78"O
3,4	18°48'48.08"N	98°58'5.30"O	3,4	18°35'29.44"N	98°33'41.41"O
4,1	18°48'51.66"N	98°58'4.36"O	4,1	18°35'30.89"N	98°33'43.05"O
4,2	18°48'50.41"N	98°58'4.84"O	4,2	18°35'30.37"N	98°33'42.63"O
4,3	18°48'49.23"N	98°58'5.30"O	4,3	18°35'29.86"N	98°33'42.12"O
4,4	18°48'48.07"N	98°58'5.76"O	4,4	18°35'29.41"N	98°33'41.78"O
5,1	18°48'51.70"N	98°58'4.72"O	5,1	18°35'30.65"N	98°33'43.38"O
5,2	18°48'50.45"N	98°58'5.19"O	5,2	18°35'30.22"N	98°33'42.92"O
5,3	18°48'49.29"N	98°58'5.75"O	5,3	18°35'29.78"N	98°33'42.40"O
5,4	18°48'48.15"N	98°58'6.15"O	5,4	18°35'29.32"N	98°33'42.13"O
6,3	18°48'48.70"N	98°58'3.72"O	6,3	18°35'29.66"N	98°33'42.86"O
6,4	18°48'47.71"N	98°58'4.03"O	6,4	18°35'29.30"N	98°33'42.57"O