



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS TABASCO

POSTGRADO EN PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL
TRÓPICO

**FERTILIZACIÓN N-P-K PARA DOS NUEVOS CLONES DE CAÑA DE
AZÚCAR: COLPOS CTMEX 05-223 Y COLPOS CTMEX 05-204, EN
FASE SEMILLERO**

LUIS JOSÉ SÁNCHEZ TORRES

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

H. CÁRDENAS, TABASCO, MÉXICO

2014

La presente tesis titulada: **FERTILIZACIÓN N-P-K PARA DOS NUEVOS CLONES DE CAÑA DE AZÚCAR: COLPOS CTMEX 05-223 Y COLPOS CTMEX 05-204, EN FASE SEMILLERO**, realizada por el alumno **Luis José Sánchez Torres** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de :

MAESTRO EN CIENCIAS

PROGRAMA EN PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA DEL TRÓPICO

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



DR. JOSÉ JESÚS OBRADOR OLÁN

ASESOR



DR. APOLONIO VALDEZ BALERO

ASESOR



DR. ARMANDO GUERRERO PEÑA

ASESOR



DR. CESÁREO LANDEROS SÁNCHEZ

H. Cárdenas, Tabasco, México. 30 de Octubre de 2014

FERTILIZACIÓN N-P-K PARA DOS NUEVOS CLONES DE CAÑA DE AZÚCAR: COLPOS CTMEX 05-223 Y COLPOS CTMEX 05-204, EN FASE SEMILLERO.

Luis José Sánchez Torres, M.C
Colegio de Postgraduados, 2014

RESUMEN

En Tabasco los clones de caña de azúcar que se cultivan en las áreas de abastecimiento de los Ingenios tienen muchos años de haber sido liberadas, lo que conlleva a un envejecimiento gradual que se asocia a una alta susceptibilidad a plagas y enfermedades, y a la reducción de los rendimientos. Para subsanar este problema el Colegio de postgraduados, Campus Tabasco, ha venido trabajando desde hace muchos años con estudios genéticos que permitan la liberación de nuevos clones, dos de ellos se encuentran en fase de propagación y liberación: COLPOS CTMEX 05-204 (**MEX 05-204**) y COLPOS CTMEX 05-223 (**MEX 05-223**). El propósito del presente estudio fue evaluar su comportamiento con diferentes dosis de fertilización en la fase semillero, se estableció un experimento en bloques completos al azar (cuatro repeticiones) y se analizó como un arreglo factorial 2x3, teniendo en cuenta el factor clon (**MEX 05-223** y **MEX 05-204**) y fertilización N-P-K (**Fert. Cero = 00-00-00, Fert. Convencional = 120-60-60 y Fert. Alta = 200-80-80**). Se realizó la caracterización del suelo, la calidad nutricional y las variables de respuesta de la caña: rendimiento, altura de planta, diámetro del tallo, número de entrenudos, número de hojas, Índice de área foliar (IAF). El suelo correspondió a un Cambisol Eútrico de origen aluvial, profundo, con colores pardo amarillentos y una textura migajón arcillosa a arcillosa. La calidad nutrimental del suelo en los primeros 30 cm mostró contenidos medios de Materia Orgánica (**M.O.**), Capacidad de Intercambio Catiónico (**CIC**), potasio (**K**), Nitrógeno (**N**) y Calcio (**Ca**). El fósforo (**P**) y el Magnesio (**Mg**), tuvieron valores clasificados como altos, el suelo presentó un pH moderadamente ácido. A los 240 días de edad el clon **MEX 05-223** mostró mayor rendimiento a medida que aumento el nivel de N-P-K. El rendimiento de tallo en los clones **MEX 05-223** y **MEX 05-204**, en las dos fechas de estudio, incrementó cuando se realizaron aplicaciones de fertilizante siendo la dosis Fert. Convencional al menos igual estadísticamente a la dosis Fert. Alta, la unidad de suelo que involucra sobre todo la

fertilidad física y los buenos contenidos de algunos nutrimentos, favorecieron la expresión potencial del rendimiento con la dosis Fert. Convencional. En la fase de semillero evaluada a los ocho meses de edad, la interacción clon-dosis solo mostró influencia sobre el rendimiento y sobre la altura de la planta. El número de hojas y el número de entrenudo solo mostraron respuesta a la dosis utilizada. El diámetro de tallo no fue afectado por la interacción clon-dosis, solo por el tipo de clon usado. El rendimiento de caña de azúcar tuvo una alta asociación con el índice de área foliar (IAF) ($r^2=82\%$).

Palabras clave: crecimiento y desarrollo, clones caña de azúcar, dosis de fertilización, suelos cañeros, IAF.

FERTILIZATION N-P-K FOR TWO NEW CLONES OF SUGARCANE: COLPOS CTMEX 05-223 AND COLPOS CTMEX 05-204 IN PHASE HOTBED.

Luis José Sánchez Torres M.C
Colegio de Postgraduados 2014

ABSTRACT

In Tabasco sugarcane clones that are cultivated in the areas of supply of wits have many years of being liberated which leads to a gradual aging is associated with a high susceptibility to pests and diseases and the reduction of the yields . To overcome this problem Postgraduates College, Campus Tabasco has been working for many years now with genetic studies that allow the release of new clones, two of them are in the phase of propagation and release the COLPOS CTMEX 05-204 (MEX 05-204) and COLPOS CTMEX 05-223 (MEX 05-223). The purpose of present study was to evaluate its behavior with different doses of fertilization in the seedling phase, an experiment was established in randomized complete block (four replicates) and analyzed as a factorial arrangement 2x3, considering the clone factor (MEX 05-204 and MEX 05-223) and N-P-K fertilization (Fert. Zero=00-00-00, Fert. Conventional = 120-60-60 and Fert. High=200-80-80). Soil characterization was performed nutritional quality and response variables of sugarcane yield, plant height, stem diameter, number of internodes, number of leaves, Leaf Area Index (LAI). The soil Eutric Cambisol corresponded to an alluvial, deep origin, with yellowish brown colors and loam clay texture. The nutritional quality of the soil in the first 30 cm showed average contents of organic matter (M.O.), cationic exchange capacity (CEC), potassium (K), nitrogen (N) and calcium (Ca). phosphorus (P) and magnesium (Mg) values they had classified as high, the soil present a moderately acidic pH. A 240 days of age MEX 05-223 clone showed higher yield increased extent which the level of NPK. The yield of stems clones MEX 05-223 and MEX05-204, in the two dates of study increased when fertilizer applications performed Fert. Conventional the dose statistically similar the dose Fert. high, the soil unit that primarily involves the physical fertility and good content of some nutrients, yield potential favored expression with Fert. Conventional dose. In the seedling phase evaluated at eight months of age, the clone-dose interaction alone showed influence on yield and on plant height. The number of leaves and the

internodes number only showed response to the dose used. The stem diameter was not affected by the clone-dose interaction, only by the type of used clone. The yield sugar cane had a high association LAI ($r^2 = 82\%$).

Keywords: growth and development, sugar cane clones, fertilization dose, sugar cane soils and IAF.

DEDICATORIA

A Dios

Por su inmenso amor, por darme esta oportunidad de cumplir una meta más en mi vida y por permitirme cada día existir y dar lo mejor de mí en todo lo que me permite hacer.

A mi esposa

Shanik Claudia Joharí Colorado Beltrán.

Por ser el amor de mi vida

Por ser la madre de mis hermosas hijas,

Por ser parte fundamental en mi vida

Porque además de ser esposos somos amigos

Por su amor, cariño, paciencia, comprensión e incondicional apoyo en la culminación de este proyecto, Te amo.

A mi madre

María Lily Torres Pablo,

Por ser los cimientos de mi vida, por ser un ejemplo a seguir, gracias por estar ahí cuando más lo necesité, por apoyarme en todos los sentidos, eres una gran mujer madre, le doy gracias a Dios por su vida y por seguir a mi lado, te amo mamá.

A mis hermanos

A Jazmín, Jacqueline, Yesenia, Jesús Leonardo y Leonardo Arturo Sánchez Torres, mil gracias a cada uno de ustedes por las enseñanzas que me dan día a día, por su apoyo moral y económico en todo momento, porque sé que siempre están ahí en las buenas y en las malas, gracias los quiero mucho.

A mis suegros

*Por entregarme a su gran tesoro, su hija
Por adoptarme como un hijo más en su familia,
Por demostrarme ese cariño que me tienen,
Por su gran apoyo en la culminación de este proyecto.*

A mis tíos

*Victoria Torres Pablo y Rolando Martínez Cervantes
Por su gran apoyo durante mi proceso de formación como joven,
Por sus consejos y enseñanzas que me forjaron
Para ser la persona que soy hoy en día.
Mil gracias tío Rolando, sé que estas en el cielo con Dios
Y desde aquí te dedico este gran logro de mi vida.*

AGRADECIMIENTOS

Primeramente le doy gracias a **Dios**, por la vida, por estar siempre a mi lado, por su fidelidad y misericordia para conmigo y mi familia.

Agradezco Al Consejo Nacional de Ciencia Y Tecnología (**CONACYT**); quien me otorgó el apoyo económico durante la realización de mis estudios de postgrado dentro del Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco.

A la **Línea Prioritaria de Investigación 2: Agroecosistemas Sustentables**, por su apoyo para la realización de la investigación, logrando concluir con el estudio para obtener el grado de Maestría en Ciencias.

Al **Colegio de Postgraduados**, Campus Tabasco, forjador de maestros y doctores, quien tiene la misión de transformar el campo mexicano en beneficio del pueblo de México, cuyo comité Académico en turno autorizó mi ingreso como estudiante.

A mis consejeros académicos: **Dr. José Jesús Obrador Olán**, por su amistad, cariño, consejos, apoyo incondicional y confianza durante la realización de mi investigación; **Dr. Apolonio Valdez Balero**, **Dr. Armando Guerrero Peña** y **Dr. Cesáreo Landeros Sánchez**, quienes asesoraron excelentemente mi desarrollo académico durante mi estancia en el Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Gracias doctores por tener la paciencia, comprensión y confianza para graduarme.

A mi esposa y amiga **Shanik Claudia Johari Colorado Beltrán**, quienes parte fundamental en mi vida, le doy las gracias por su apoyo, comprensión, cariño y su amor me animaba a seguir adelante y concluir con este proyecto de vida.

A mis hijas, **Lizette Johari Sánchez Colorado** y **Alexandra Sánchez Colorado**, decirles que las amo y que son el motor de mi vida e inspiración para concluir este postgrado.

A la comunidad del **Campus Tabasco del Colegio de Postgraduados**, tanto académicos, administrativos y personal de campo. En especial a la **Dra. Eustolia García**

López, a la Lic. **Elsy**, a la Sra. **Celia**, al M.C. **Arnulfo**, al Sr. **Esteban**, al Ing. **Sergio** y al Tec. **Mario**, quienes desde cada uno de sus lugares de trabajo siempre me apoyaron, me enseñaron y me aconsejaron durante mi estancia en el Colpos Campus Tabasco.

A mi **familia** a mi Madre, Hermanos y Suegros, por estar siempre a mi lado apoyándome y brindándome su amor sincero, ya que gracias a su esfuerzo, juntos hemos llegado hasta este punto de mi carrera.

Gracias al **M.C. Adolfo Pascual Córdova** y al **M.C. Eduardo Maldonado Chávez** por su apoyo tan valioso para la culminación de este proyecto.

A mis **compañeros** del PROPAT 2011-2013, Berenice, Mary, Ana, Maritza, Reyna y Samuel.

A todas aquellas personas que por el momento se me escapan de la memoria y que contribuyeron en alguna forma en mi proyecto de Maestría. Muchas gracias por ello.

CONTENIDO

1.1.- INTRODUCCIÓN	1
1.2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	3
1.2.1 Objetivos	3
1.2.2 Hipótesis	3
1.3. REVISIÓN DE LITERATURA	4
1.3.1. La caña de azúcar (<i>Saccharum spp.</i>)	4
1.3.2. Clasificación taxonómica de la caña de azúcar	5
1.3.3. Origen y distribución	6
1.3.4. Requerimientos climáticos	7
1.3.4.1. Latitud y Altitud	7
1.3.4.2. Radiación solar	7
1.3.4.3. Temperatura	8
1.3.4.4. Precipitación	8
1.3.5. Requerimientos edáficos.....	8
1.3.6. Morfología de la caña de azúcar	9
1.3.6.1. Raíz	9
1.3.6.2. Tallo	10
1.3.6.3. Yema	11
1.3.6.4. Hoja	12
1.3.7. Fenología de la caña de azúcar	13
1.3.7.1. Emergencia y establecimiento de la población inicial de tallos (30 a 50 días).....	13
1.3.7.2. Macollaje y cierre del cañaveral (50 a 70 días).....	14
1.3.7.3. Periodo de gran crecimiento (180 a 220 días)	14
1.3.8. Relación fertilización y rendimiento de caña de azúcar	15

1.3.9. Clones.....	17
1.3.10. Enfermedad	19
1.4. MATERIALES Y MÉTODOS	21
1.4.1. Área de estudio.....	21
1.4.2. Caracterización de la unidad de suelo	22
1.4.3. Diagnóstico nutrimental del suelo	23
1.4.4. Material genético.....	24
1.4.4.1. COLPOS CTMEX 05-204 (MEX 05-204).....	24
1.4.4.1.1 Características botánicas.....	24
1.4.4.1.2. Características agronómicas	25
1.4.4.1.3. Características fitosanitarias.....	25
1.4.4.1.4. Características industriales.....	25
1.4.4.2. COLPOSCTMEX 05-223 (MEX 05-223).....	26
1.4.4.2.1. Características botánicas.....	26
1.4.4.2.2. Características agronómicas	27
1.4.4.2.3. Características fitosanitarias.....	27
1.4.4.2.4. Características industriales.....	27
1.4.5. Preparación del terreno.....	28
1.4.6. Establecimiento del experimento	28
1.4.7. Densidad de siembra, época y método.....	30
1.4.8. Manejo del agua	32
1.4.9. Fertilización del suelo.....	33
1.4.10. Labores culturales.....	35
1.4.11. Control de plagas	35
1.4.12. Arreglo de tratamientos y diseño experimental	35
1.4.13. Variables de respuesta	36

1.4.14. Análisis estadístico.....	36
1.5. RESULTADOS.....	37
1.5.1. Caracterización de la unidad de suelo	37
1.5.2. Diagnóstico de la fertilidad del suelo a 0-30 y 30-50 cm de profundidad	42
1.5.3. Altura de la planta de caña de azúcar en fase semilla a la edad de ocho y diez meses	45
1.5.4. Diámetro del tallo de la caña de azúcar a la edad de ocho.....	48
1.5.5. Número de entrenudos de la caña de azúcar a la edad de ocho meses y diez meses	51
1.5.6. Número de hojas de la caña de azúcar a la edad de ocho meses.....	54
1.5.7. Índice de área foliar (IAF) en caña de azúcar a los 10 meses de edad	55
1.5.8. Rendimiento de caña de azúcar en dos clones a la edad de 8 y 10 meses.....	56
1.5.9. Relación entre el Índice de área foliar y el rendimiento de la caña de azúcar a los diez meses de edad	60
1.6. CONCLUSIONES	61
1.7. LITERATURA CITADA.....	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Problemática del campo cañero.....	4
Figura 2. Distribución mundial de la producción de caña de azúcar (Díaz, 2002).....	6
Figura 3. Distribución del sistema radical a diferentes profundidades del suelo, durante el periodo de máximo crecimiento (Subiros, 2000).....	10
Figura 4. Sección del tallo mostrando los nudos y entrenudos. A. diagrama del nudo y entrenudo, B. banda de raíces ancha con primordios radicales, C. banda de raíces cortas con primordios radicales, D. banda de raíces en forma conoide, E. banda de raíces en forma de cono invertido (Subirós, 2000).....	11
Figura 5. Morfología de las yemas del tallo. A. estructura de la banda de raíces y la yema, B. ovada, C. ovada angosta, D. deltoide larga, E. deltoide corta, F. romboide, G. pentagonal, H. pentagonal con alas en la parte superior, I. ovada angosta con alas prominentes en la parte superior, J. redonda con alas laterales, K. redonda con poro germinal central, L. ovada con alas pronunciadas, M. ovada con alas secundarias (Subirós, 2000).....	12
Figura 6. Estructura de la hoja de la caña de azúcar. (Subirós, 2000).....	13
Figura 7. Etapas fenológica del cultivo de la caña de azúcar. A. Brotación, B. Macollaje y C. Periodo de gran crecimiento. (Romero <i>et al.</i> , 2009).....	15
Figura 8. Enfermedades presentes en la región.....	20
Figura 9. Ubicación del área de estudio.....	21
Figura 10. Perfil de suelo en estudio.....	22
Figura 11. Características botánicas, A. yema, B. copa y C. color del tallo cubierto por la vaina.....	24
Figura 12. Curva de madurez del clon MEX 05-204 comparada con el clon testigo MEX 69-290 (T).....	25
Figura 13. Características botánicas, A. yema, B. copa y C. color del tallo cubierto por la vaina.....	26

Figura 14. Curva de madurez de la variedad MEX 05-204 comparada con la variedad testigo MEX 69-290 (T).....	27
Figura 15. Trazado manual del terreno.....	28
Figura 16. Diseño del establecimiento del estudio y distribución de los tratamientos.....	29
Figura 17. Corte, acarreo y limpieza de la semilla.....	30
Figura 18.- Siembra de la caña plantilla en el fondo del surco y tapado de la misma.....	31
Figura 19. Método de siembra cordón doble “punta con cola”.....	31
Figura 20. Precipitación y evaporación en la Región de la Chontalpa, Tabasco.....	32
Figura 21. Precipitación de agua (mm) en los meses en que se desarrolló el cultivo de caña de azúcar en el presente estudio (CONAGUA 2012-2013).....	33
Figura 22. Cálculo y pesado de la cantidad de fertilizante a aplicar a cada tratamiento.....	33
Figura 23. Homogenización de los compuestos N-P-K.....	34
Figura 24. Aplicación de fertilizante a chorrillo, previo a la siembra de la semilla.....	34
Figura 25. Descripción del perfil edáfico en el área de estudio.....	41
Figura 26. Comportamiento de la altura de la planta de la caña de azúcar en dos clones utilizando diferentes dosis de fertilización a la edad de ocho meses.....	47
Figura 27. Comportamiento de la altura de la planta de la caña de azúcar en dos clones utilizando diferentes dosis de fertilización a la edad de diez meses.....	48
Figura 28 - A y B. Comportamiento del diámetro del tallo en los clones usando diferentes dosis de fertilización a la edad de ocho y diez meses, respectivamente.....	50
Figura 29. Comportamiento del diámetro del tallo en los dos clones a la edad de ocho meses.....	51
Figura 30. Número de entrenudos en dos clones usando diferentes dosis de fertilización a la edad de ocho meses.....	52
Figura 31. Número de entrenudos en dos clones a la edad de ocho meses.....	53

Figura 32. Número promedio de entrenudos usando diferentes dosis de fertilización a la edad de ocho meses.....	53
Figura 33. Número promedio de entrenudos en dos clones usando diferentes dosis de fertilización a la edad de diez meses.....	54
Figura 34. Número de hojas en dos clones de caña a diferentes dosis de fertilización..	55
Figura 35. Índice de área foliar en dos clones a diferentes dosis de fertilización a los 10 meses de edad.....	56
Figura 36. Comportamiento del rendimiento de dos clones de caña con distintas dosis de fertilizantes a la edad de ocho meses.....	59
Figura 37. Comportamiento del rendimiento de dos clones de caña con distintas dosis de fertilizantes a la edad de diez meses.....	59
Figura 38. Asociación entre la variable índice de área foliar y rendimiento de tallo a los diez meses de edad.....	60

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Procedimiento a desarrollar para liberar una variedad de caña de azúcar... 19	
Cuadro 2. Métodos para realizar análisis químicos de suelo.23	
Cuadro 3. Propiedades químicas de un Cambisol éutrico (arcílico) a dos profundidades, 0-30 cm y 30-50 cm, tomadas con barrena tipo Holandesa. 44	
Cuadro 4. Textura de un Cambisol Eútrico (arcílico), a dos profundidades tomadas con barrena tipo Holandesa. 45	

1.1.- INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar (*Saccharum spp* L.) es uno de los cultivos más importantes en la actualidad, se cultiva en más de 130 países del mundo y los principales productores son Brasil, India, China, Tailandia, Pakistán y México (FAOSTAT, 2013). A nivel mundial la caña de azúcar representa el 81% en la obtención de azúcar, seguida por la remolacha azucarera (18%). Según reportes de la FAOSTAT (2013) México, como productor de caña, ocupó el sexto lugar a nivel mundial, con una producción de 4,962,495 toneladas, donde el consumo *per cápita* ha aumentado en 45.6% desde 1970, lo que significa que cada uno de nosotros consumimos entre 42 y 52 kg. Entre los principales estados productores de este cultivo se encuentran, en orden de prelación, Veracruz, Jalisco, San Luis Potosí, Oaxaca, Tamaulipas, Chiapas, Nayarit, Puebla, Morelos, Quintana Roo y Tabasco. (SIAP-SAGARPA, 2014).

A pesar de su importancia social y económica la caña ha atraído poca inversión en tecnología, por lo que en general, los rendimientos por hectárea están por debajo de lo óptimo. Sin embargo, el incremento de la superficie cultivada a nivel nacional ha disfrazado la eficiencia productiva de caña de azúcar por hectárea. Por ejemplo, en la zafra 2010-2011, la superficie sembrada correspondía a 777,242.71ha (SIAP-SAGARPA, 2012), cifra que aumentó a 845,162.67 ha en la zafra siguiente, 2011-2012 (SIAP-SAGARPA, 2013), acarreado un aumento en la producción total. En el estado de Tabasco en la Zafra, 2010-2011 la superficie sembrada correspondía a 29,112.00 ha (SIAP-SAGARPA, 2012), aumentando a 34,344.00 ha en la zafra 2011-2012 (SIAP-SAGARPA, 2013).

El umbral de rendimiento en caña en Tabasco fue de 62.03 tha^{-1} en la zafra 2010-2011 (SIAP-SAGARPA, 2012) y de 57.95 tha^{-1} en la zafra 2011-2012 (SIAP-SAGARPA, 2013). Sin embargo, el mencionado umbral puede ser más alto, dependiendo de los precios internacionales del azúcar, los cuales son muy variables (Aguilar *et al.*, 2013), ya que la media nacional fue de 78.16 tha^{-1} (SIAP-SAGARPA, 2013). Por lo que buscar alternativas para incrementar el rendimiento de tallo moledero por hectárea es de vital importancia, ya que, por una parte, se aprovechan mejor los recursos, evitando incluso un mayor impacto al ambiente y, por otra, la sustentabilidad económica se ve favorecida.

El cultivo de caña de azúcar es conocido como un sistema que afecta grandemente la sustentabilidad edáfica, dado el manejo irracional que se hace, sobre todo de los residuos orgánicos (Sánchez *et al.*, 2003; Obrador, 2009). Además de que el campo cañero está fragmentado (minifundio), debido a la ventaja que tienen los propietarios al ser derechohabientes al Seguro Social (LDSCA, 2005), existiendo por lo general, un manejo inadecuado, bajo uso de insumos, afectaciones de plagas y enfermedades, altos porcentajes de despoblación (baja densidad de plantas por hectárea), mala calidad de la semilla (se usan como semillero plantaciones que son destinadas para producción de azúcar), mal manejo del drenaje, falta de riego, variedades y plantaciones envejecidas, entre otros (Carrillo *et al.*, 2008). Uno de los insumos más costosos del manejo agronómico del cultivo de caña es la fertilización, debido a ello, el uso adecuado de los fertilizantes es muy importante, las dosis deben estar acorde con la potencialidad del rendimiento y nutrimentos en el suelo, condicionado por diversos factores, entre ellos, el ambiente y la calidad genética de la semilla (Thorburn *et al.*, 2007). En Tabasco las dosis de fertilizantes que se aplican a la caña de azúcar corresponden, mayormente, a manejos tecnológicos que se realizan en otro sitios (extrapolación) y dado que, generalmente los sitios usados como semilleros son áreas dedicadas a la producción comercial, se usa la misma dosis (120-60-60), razón por la que es necesario establecer semilleros de alta pureza varietal y manejados racionalmente con el fin de producir semillas de alta calidad (Valdez *et al.*, 2004; Obrador, 2009). Los nutrimentos del suelo en condiciones tropicales tienen una alta variabilidad temporal determinada especialmente por la distribución de las lluvias a lo largo del año, factor a tener en cuenta dado que, aproximadamente, solo el 2% de las áreas de abastecimiento del ingenio se riegan (Salgado *et al.*, 2009).

Por lo anterior en el presente trabajo se plantea lo siguiente:

1.2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

1.2.1 Objetivos

- Conocer los contenidos nutrimentales del suelo bajo estudio que den lugar a un mejor crecimiento y desarrollo de los clones
- Conocer la respuesta en rendimiento de dos nuevos clones de caña de azúcar (MEX 05-223 y MEX 05-204) a diferentes dosis de fertilización (N-P-K) para la fase semillero (ocho meses de edad).
- Valorar el crecimiento y desarrollo de dos nuevos clones de caña de azúcar (MEX 05-223 y MEX 05-204) a diferentes dosis de fertilización (N-P-K) para la fase semillero (ocho meses de edad).

1.2.2 Hipótesis

- Los contenidos nutrimentales del suelo en estudio resultan en un mejor crecimiento y desarrollo de los dos clones.
- El rendimiento de tallos en los clones (MEX 05-223 y MEX 05-204) es mayor conforme incrementan las dosis de fertilización aplicadas.
- El crecimiento y desarrollo de los clones (MEX 05-223 y MEX 05-204) se ve favorecido según se incrementan las dosis de fertilización.

1.3. REVISIÓN DE LITERATURA

1.3.1. La caña de azúcar (*Saccharum spp.*)

La caña de azúcar ha acompañado el desarrollo del país, siendo muchas las formas y manifestaciones a través de las cuales la planta y sus subproductos han intervenido en el quehacer del pueblo mexicano. Cada una de las regiones cañeras de México posee características y condiciones productivas singulares que hacen que el potencial productivo, la expectativa de rendimientos agroindustriales y los costos de producción involucrados varíen significativamente (Flores, 1997).

La producción de caña de azúcar en el País es susceptible a ser incrementada y en el estado de Tabasco aún más. De hecho, un manejo agronómico adecuado conlleva, sin duda alguna, a una mejor rentabilidad del cultivo, sin embargo, existen varios problemas de importancia en los campos cañeros (Figura 1), entre los que destacan: el uso de variedades envejecidas y con mala distribución en lo que respecta a su maduración (tempranas, medias y tardías), altos porcentajes de despoblación por pérdida gradual de la densidad óptima, disminución de la fertilidad de los suelos y mal uso de los fertilizantes, falta de aplicación de tecnología de riego y drenaje en superficies de alta viabilidad y en general, aplicación oportuna de insumos (Salgado *et al.*, 2009).



Figura 1. Problemática del campo cañero.

1.3.2. Clasificación taxonómica de la caña de azúcar

Roach y Daniels (1987), consideraron dos agrupaciones naturales de esta subtribu, que no constituyen unidades taxonómicas formales: la *Saccharastrae* y la *Euliastrae*. A la agrupación *Saccharastrae* pertenece el género *Saccharum*, así como un grupo de géneros tales como: *Erianthussect. Ripidium*, *Sclerostachya*, *Narenga* y *Miscanthussect. Diandra*, los cuales son capaces de cruzarse con las especies *Saccharum officinarum*, *Saccharum sinense*, *Saccharum barberi*, *Saccharum edule*, *Saccharum robustum* y *Saccharum spontaneum*, que constituyen recursos genéticos básicos de la caña de azúcar. Esta agrupación de géneros, a partir de los cuales se ha considerado el origen evolutivo de la caña de azúcar, se ha denominado complejo *Saccharum*, designación formal no taxonómica. Los híbridos cultivados comercialmente en el mundo son obtenidos, sobre todo, a partir de las especies principales del *Saccharum*, con algunas introgresiones de géneros afines. (Pérez *et al.*, 1997).

Reino: *Eukaryota*

Subreino: *Cormobionta*

División: *Magnoliophyta*

Clase: *Liliatae*

Orden: *Poales*

Familia: *Poaceae (Graminea)*

Tribu: *Andropogonoideae*

Subtribu: *SaccharinaeBenth*

Género: *Saccharum*

1.3.3. Origen y distribución

La caña de azúcar, *Saccharum spp*, como planta cultivada se originó en Nueva Guinea (Grassl, 1974). A causa de su complejo origen posee características citogenéticas excepcionales en relación con la mayoría de las plantas. Estas características hacen del mejoramiento de la caña de azúcar una difícil tarea, pues a ellas también se suman los efectos ambientales a que está sometido el cultivo.

Hace más de mil años las cañas nobles fueron llevadas por todas las islas del archipiélago del pacífico por los navegantes polinesios; sin embargo, el Nuevo Mundo recibió su primera caña de azúcar de otra fuente, se trató de la conocida “caña criolla”, la que se ha podido comparar es idéntica a la “puri” de la india y que resulta ser un híbrido entre una caña india del grupo Mungo (*S. barberi*) y una caña noble (*S. officinarum*). Esta variedad se supone fue introducida en el Nuevo Mundo por Cristóbal Colón en su segundo viaje, en 1493, habiendo sido cultivada por más de doscientos cincuenta años (Pérez *et al.*, 1997).

En la actualidad, el azúcar es uno de los principales edulcorantes, y la caña su principal fuente (Díaz, 2002). La caña de azúcar se ubica en las zonas tropicales, siendo las más propicias para el desarrollo del cultivo, es decir, entre los trópicos de Cáncer y Capricornio (Figura 1). Los países con mayor producción en el mundo son Brasil, India, China, Tailandia, Pakistán, México, Colombia, Filipinas, Indonesia, USA, Australia y Argentina, entre otros (FAOSTAT, 2013).

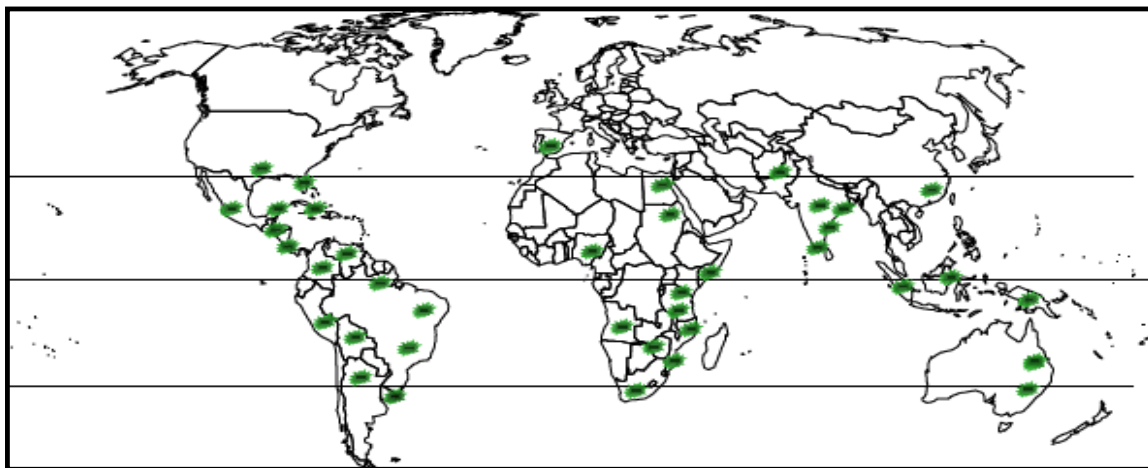


Figura 2. Distribución mundial de la producción de caña de azúcar (Díaz, 2002).

En México se contaba, en el año 2013, con una superficie sembrada y cosechada de 845,162.67 y 782,801.11ha, respectivamente, de las cuales se obtuvo una producción de 61,182,077.38t, y un rendimiento promedio de 78.16 tha^{-1} . En el estado de Tabasco la superficie sembrada y cosechada fue de 34,344.00 y 32,325.00 ha, respectivamente, de donde se obtuvo una producción de 1,873,372.45 t, logrando un rendimiento promedio de 57.95 tha^{-1} . Los municipios productores de caña de azúcar son: Cárdenas, Huimanguillo, Tenosique, Cunduacán, Comalcalco y Balancán (SIAP-SAGARPA, 2014).

1.3.4. Requerimientos climáticos

Los principales componentes climáticos que controlan el crecimiento, el rendimiento y la calidad de la caña de azúcar son: la temperatura, la radiación solar y la disponibilidad de humedad en el suelo (Valdez *et al.*, 2008).

1.3.4.1. Latitud y Altitud

La caña de azúcar se desarrolla adecuadamente en climas tropicales y puede producirse entre las latitudes 35° norte y sur, en altitudes que varían entre 0 y 1,550 msnm, sin embargo, hay evidencias de que la mayor producción de caña y azúcar se encuentra entre los 0 y 200 msnm (Valdez *et al.*, 2008).

1.3.4.2. Radiación solar

Para el cultivo de caña de azúcar es importante la radiación solar (18 a 36 MJm^{-2}), se ha evidenciado que este cultivo responde más eficientemente a elevadas intensidades lumínicas, cuando hay mayor actividad fotosintética y por ende, mayor traslación de los carbohidratos de las hojas y tallos, reflejándose en incrementos en la producción y rendimiento (Díaz, 2002; Romero *et al.*, 2009). El cultivo es amante de la luz solar, siendo plantas C4, tienen altas tasas fotosintéticas, y el punto de saturación es elevado con relación a la intensidad luminosa; el crecimiento del tallo se incrementa cuando la luz del día dura entre 10 y 14 horas. El incremento del índice de área foliar es rápido del tercer al quinto mes, coincidiendo con la fase de desarrollo del cultivo (Valdez *et al.*, 2008).

1.3.4.3. Temperatura

El crecimiento de la caña de azúcar está estrechamente relacionado con la temperatura y su acumulación durante su ciclo, encontrándose relaciones lineales entre la temperatura promedio diaria, la tasa de elongación y de engrosado de tallo. Para el cultivo de caña se requieren temperaturas mínimas de 15 a 16°C, las óptimas varían entre 25 y 26°C y la máxima superior es de 28°C, con un límite crítico a los 33°C. La temperatura óptima para la germinación de las yemas es de 32 a 38°C, decrece la germinación por debajo de los 25°C, reduce por encima de los 35°C y prácticamente se para cuando la temperatura está por encima de los 38°C (Valdez *et al.*, 2008; Romero *et al.*, 2009).

1.3.4.4. Precipitación

Se ha cultivado en lugares con un total de lluvia que va desde los 1,100 hasta los 1,500 mm anuales; bien distribuida es adecuada, es decir, abundantes en los meses de crecimiento vegetativo, seguida por un periodo seco para el madurado (Valdez *et al.*, 2008; Romero *et al.*, 2009). La caña de azúcar, por ser un cultivo de alta producción de material vegetal por unidad de superficie, involucra altos requerimientos de agua, ya que para construir un gramo de materia seca de tallo moletero requiere 0.5 L de agua; con esa cantidad de agua se acumulan de 0.25 y 0.40 g de sacarosa. El consumo hídrico varía en cada fase de desarrollo, siendo su máximo requerimiento durante el periodo de gran crecimiento. Al respecto Valdez *et al.* (2008) menciona que durante este periodo la lluvia promueve un rápido crecimiento del cultivo, la elongación de los tallos y la formación de entrenudos.

1.3.5. Requerimientos edáficos

Según Valdez *et al.* (2008), en el estado de Tabasco se reconocen tres tipos de suelos que tienen potencial para el establecimiento de caña de azúcar: los muy aptos (Fluvisoles eútricos, Vertisoles eútricos y Cambisoles eútricos); los aptos (Cambisoles crómicos y Leptosoles rendzicos) y los medianamente aptos para el cultivo de la caña de azúcar (Luvisoles gléyicos y Cambisoles endogléyicos).

Las zonas cañeras de Tabasco se ubican principalmente en cuatro unidades de suelos, Cambisol (55 %), Vertisol (15 %), Fluvisol (15 %), y Luvisol (15 %). Estos suelos, en términos generales, presentan un pH ácido o ligeramente ácido, con medios a bajos contenidos de nutrimentos y de materia orgánica y con drenaje superficial de lento a medio (Palma *et al.*, 2007).

Los suelos tipo **Cambisol**, son así conocidos porque su estructura se encuentra en desarrollo (horizonte cámbico). Los **Vertisoles**, presentan un horizonte vértico, conformado por un 30 % o más de arcillas en todo el perfil, presentan grietas en la época de seca. Los **Fluvisoles** son suelos de origen aluvial, se caracterizan por presentar textura media con estratificación en sus horizontes, buen drenaje y materia orgánica. El suelo **Luvisol** presenta problemas de anegamiento y manto freático elevado en una buena parte del año, son imperfectamente drenados su textura va de media a arcillosa (IUSS-WRB, 2007).

A las plantas de caña de azúcar se les ha observado mejor desempeño en suelos francos, profundos y fértiles (Romero *et al.*, 2009). Pero también se pueden desarrollar en suelos arcillosos con buen drenaje. La caña de azúcar puede tolerar variaciones en la fertilidad y en el equilibrio nutricional del suelo, pero los rendimientos decrecen o aumentan en la medida que lo haga la fertilidad que tenga el suelo.

1.3.6. Morfología de la caña de azúcar

La caña de azúcar pertenece al género *Saccharum* L., es una gramínea, de la familia Poaceae, es una planta C4, con alta eficiencia fotosintética, se encuentra entre las especies de plantas terrestres más eficientes, con alta producción de hojas y de tallos, potencialmente puede producir alrededor de 45 t ha⁻¹ de masa seca por año (Fuchs *et al.*, 2005).

1.3.6.1. Raíz

Entre sus funciones más destacadas es absorber nutrimentos y agua del suelo, también sirve de anclaje para la planta. La industria azucarera la conoce como cepa (figura 3), es de tipo fibrosa (fasciculada) y se puede extender hasta 80 cm de profundidad si se trata

de suelos profundos, sin embargo, aproximadamente el 80% del sistema radicular se localiza en los primeros 35 cm del suelo (Amaya *et al.*, 1995; Valdez *et al.*, 2008).

La caña dispone de dos tipos de raíces: las primordiales que se originan de los meristemos radiculares de la banda de las raíces, en los entrenudos del trozo sembrado, son delgadas, no manifiestan polaridad ni dominancia y su periodo termina con la brotación de los hijos de la caña. Las raíces permanentes son emitidas por el amacollamiento y, por el contrario, son más gruesas, menos fibrosas, con rápido crecimiento y protegidas por la cofia que las facultan para penetrar entre las partículas de suelo (Sánchez, 1972).

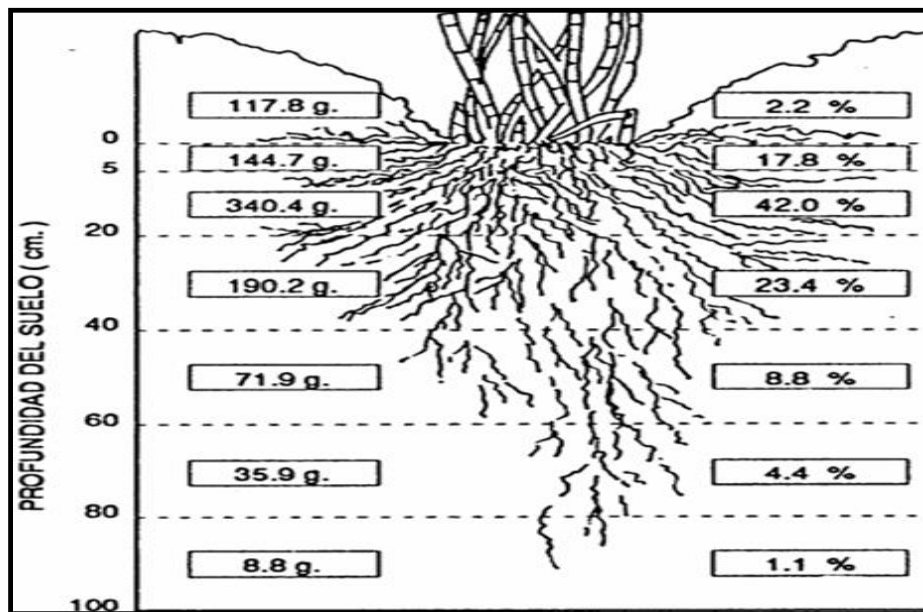


Figura 3. Distribución del sistema radicular a diferentes profundidades del suelo, durante el periodo de máximo crecimiento (Subiros, 2000).

1.3.6.2. Tallo

Es la estructura esencial de la planta y el de mayor importancia para la producción de azúcar, se encuentra dividido en nudos y entrenudos (Figura 4), se compone de una parte sólida y otra líquida; el jugo contiene agua y sacarosa (Díaz, 2002). Los nudos son la porción más dura y fibrosa de la caña, cada nudo separa dos entrenudos. Los entrenudos derivan de la parte apical del tallo, en ellos ocurre la división celular que, a su vez, determina la elongación y la longitud final del tallo (Amaya *et al.*, 1995); Valdez

et al. (2008) reporta un diámetro de entrenudo que varía entre 2.5 y 3.0 cm y una longitud del entrenudo de 10 a 12 cm.

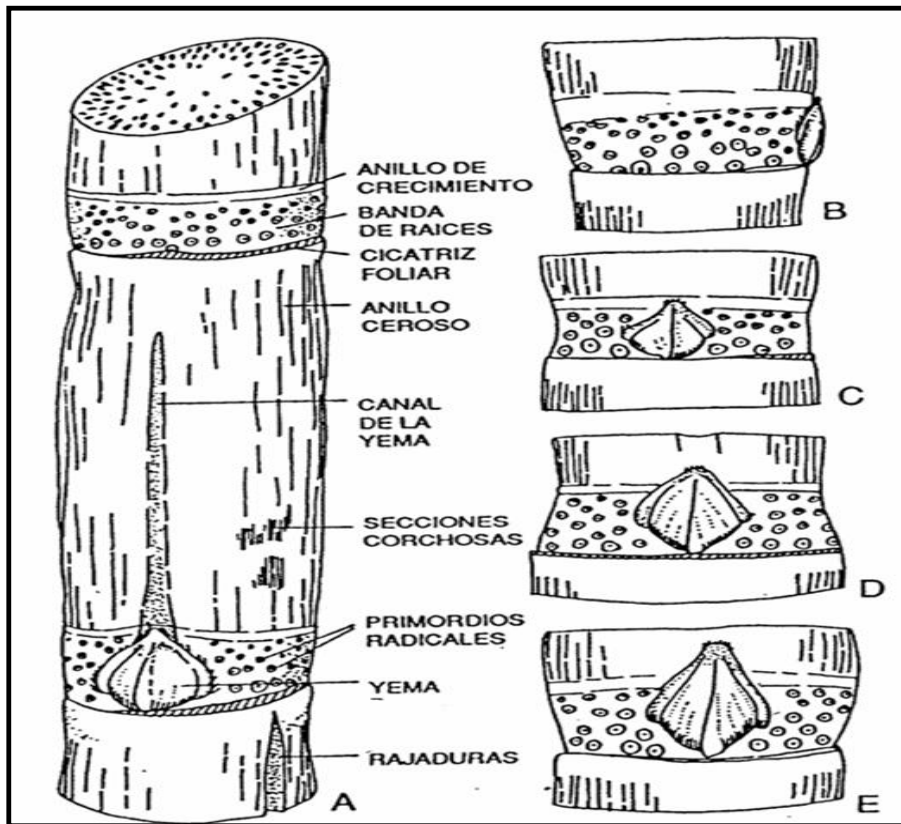


Figura 4. Sección del tallo mostrando los nudos y entrenudos. **A.** diagrama del nudo y entrenudo, **B.** banda de raíces ancha con primordios radicales, **C.** banda de raíces cortas con primordios radicales, **D.** banda de raíces en forma conoide, **E.** banda de raíces en forma de cono invertido (Subirós, 2000).

1.3.6.3. Yema

Se encuentra en la banda radical. En la yema se distingue el prófalo, que es la primera hoja, el poro germinativo, por donde emergerá el tallo en el momento de germinar la yema, el ala, la zona central, punto de separación entre el ala y la zona central, y el apéndice. En la Figura 5 se muestran algunas de las variaciones morfológicas que se presentan en las yemas.

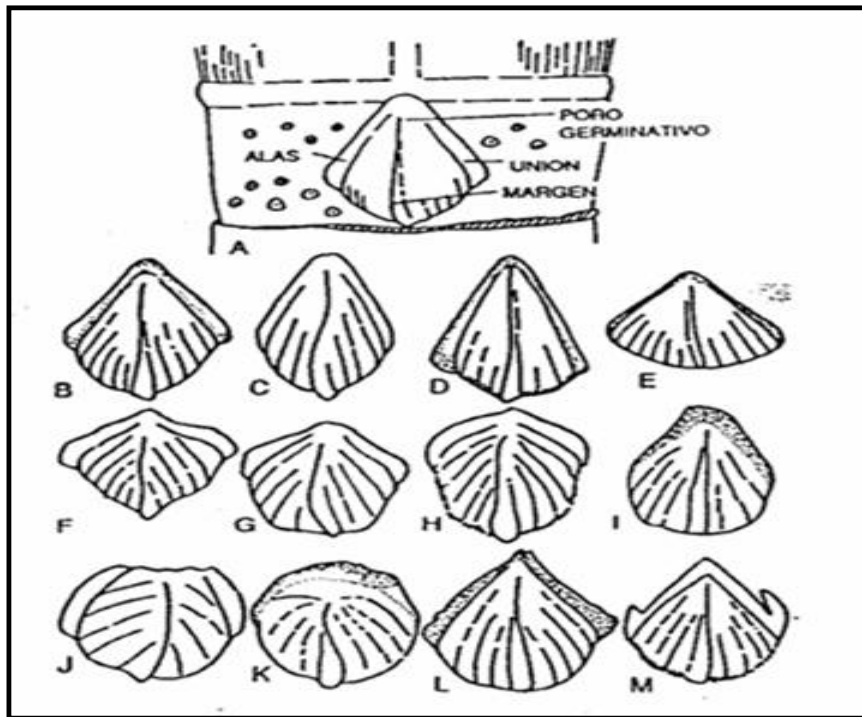


Figura 5. Morfología de las yemas del tallo. **A.** estructura de la banda de raíces y la yema, **B.** ovada, **C.** ovada angosta, **D.** deltoide larga, **E.** deltoide corta, **F.** romboide, **G.** pentagonal, **H.** pentagonal con alas en la parte superior, **I.** ovada angosta con alas prominentes en la parte superior, **J.** redonda con alas laterales, **K.** redonda con poro germinal central, **L.** ovada con alas pronunciadas, **M.** ovada con alas secundarias (Subirós, 2000).

1.3.6.4. Hoja

Las hojas de la caña de azúcar tienen su origen en los entrenudos (Díaz, 2002). De ellas depende, totalmente, la función fotosintética de la planta para producir carbohidratos. La lámina es la parte más importante para el proceso de la fotosíntesis, los bordes presentan prominencias continuas en forma aserrada cuyo número y longitud varían dependiendo la variedad de la caña (Figura 6), determinando el área de intercepción de la radiación solar y la dimensión del aparato fotosintético (Junqueira *et al.*, 2008).

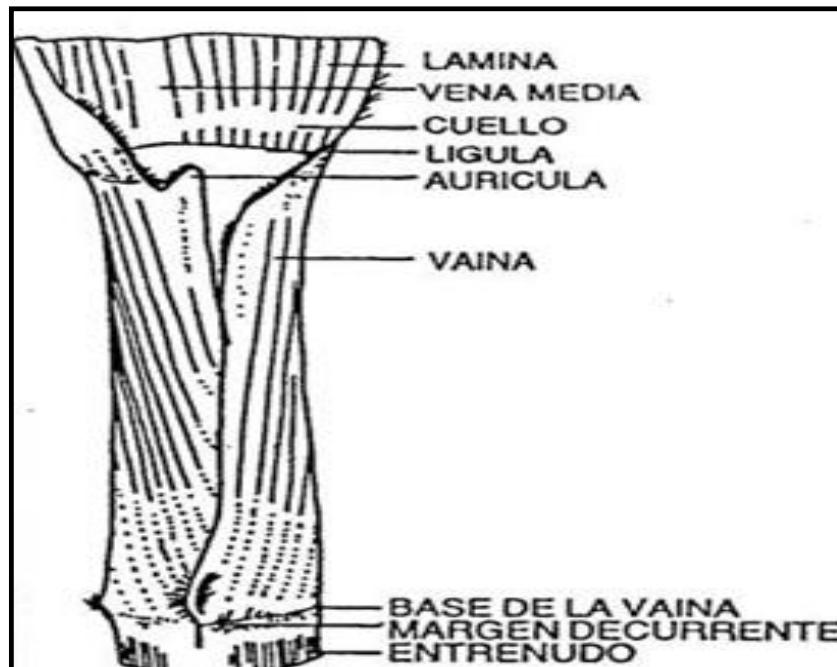


Figura 6. Estructura de la hoja de la caña de azúcar. (Subirós, 2000).

1.3.7. Fenología de la caña de azúcar

Es importante recalcar que cada fase de crecimiento (Figura 7) tiene requerimientos y sucesos diferentes (Romero *et al.*, 2009).

1.3.7.1. Emergencia y establecimiento de la población inicial de tallos (30 a 50 días)

Esta fase se destaca por la emergencia sucesiva de plántulas, futuros macollos del cultivo que alcanzan cierta altura, permitiendo que el número de hojas verdes aumente. La uniformidad en la emergencia de los retoños puede ser afectada por la fecha de plantación (Romero *et al.*, 2005); la emergencia pobre y prolongada son también aspectos de importancia porque pueden llegar a afectar el éxito de las siguientes fases. Un factor que podría favorecer una excelente brotación de las plantas es la temperatura del suelo, ya que temperaturas de suelo inferiores a 16°C limitan dicha actividad, entre 16°C y 20°C la germinación es lenta, requiriendo más días para la emergencia de los brotes, pero cuando se superan los 20°C la velocidad de la emergencia se incrementa progresivamente (Romero *et al.*, 2009).

Mite (2005) al evaluar la curva de crecimiento de diferentes clones de caña, observó que la mayor absorción de nutrientes, principalmente N-P-K, sucede en los primeros tres meses de edad, además, con base en sus resultados menciona que la época de plantación es importante sobre los porcentajes finales de germinación, ya que éstos pueden ser cercanos o inferiores a 50% cuando la plántula fue establecida en los meses de junio a agosto; cuando la plantación se dio en los meses de septiembre a octubre se encontró entre un 56 y 65 % de germinación, el mayor porcentaje de emergencia, 70 %, se vio cuando la plantación se realizó en noviembre (Figura 7-A).

1.3.7.2. Macollaje y cierre del cañaveral (50 a 70 días)

Esta fase es de gran interés, en ella se establece el número potencial de tallos cosechables; durante esta fase existe un aumento acelerado de la población de tallos, se completa el amacollamiento del surco y a la vez, el incremento de hojas totales, debido al aumento de tallos por surco. El cierre del cañaveral, que es donde ha incrementado el índice de área foliar del cultivo y momento hasta que el manejo agronómico del cultivo se facilita, determina el paso a la siguiente fase. En la regulación del macollo, la radiación solar incidente (intensidad y calidad) ejerce un rol central, sin embargo, otros factores como el régimen térmico (Romero *et al.*, 2005), la disponibilidad de agua y nutrientes (especialmente el nitrógeno), las características del cultivar, la competencia con malezas y los efectos de plagas y enfermedades, entre otros, adquieren una influencia destacable. Durante esta fase ocurre la generación del sistema radicular adventicio y definitivo del cañaveral (Figura 7-B).

1.3.7.3. Periodo de gran crecimiento (180 a 220 días)

Comprende desde el cierre de campo hasta el inicio del periodo de madurez de los tallos. Durante esta fase no debe faltar humedad en el suelo, es fundamental para que el sistema radical se desarrolle y pueda absorber los nutrimentos. Cualquier falla en el suministro de agua parece afectar el balance de la nutrición de la planta, ya que es cuando se realiza una mayor acumulación y absorción de nitrógeno (Rengel *et al.*, 2011). Además, induce el inicio del proceso de maduración y acumulación de sacarosa antes de su etapa óptima. Se caracteriza por el aumento de biomasa y del número de tallos

por área. Al respecto Rengel *et al.* (2011) observaron, en una plantación de caña de azúcar, que a partir de los 185 días después del corte se inicia una mayor producción de tallos en relación con la emisión de hojas y vainas, traduciéndose en un rápido aumento de la producción de materia seca. Este es el periodo es el recomendado como óptimo para la realización de cortes con fines de multiplicación u obtención de material vegetativo, y se puede extender hasta una edad de la plantación de siete a nueve meses (Victoria y Calderón, 1995, Valdez *et al.*, 2008), siempre que en las fases anteriores se le haya proporcionado un manejo agronómico adecuado (Figura 7-C).

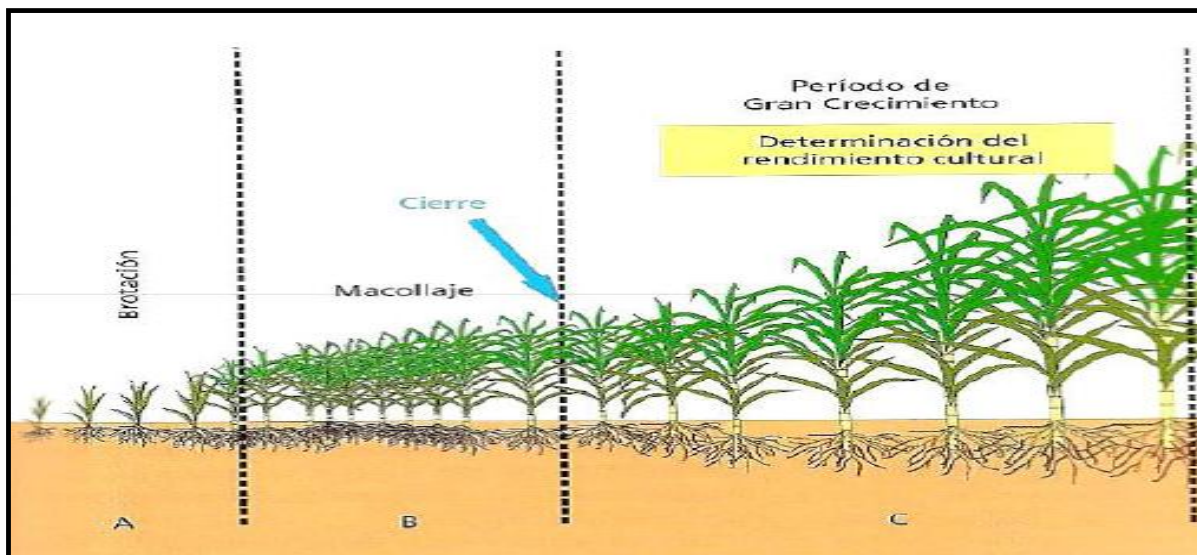


Figura 7. Etapas fenológica del cultivo de la caña de azúcar. **A.** Brotación, **B.** Macollaje y **C.** Periodo de gran crecimiento. (Romero *et al.*, 2009)

1.3.8. Relación fertilización y rendimiento de caña de azúcar

En el cultivo de la caña de azúcar, el fertilizante químico es uno de los insumos más costosos, por lo cual, además de considerar la dosis por tipo de suelo, es importante tener en cuenta la fuente, el método y la época de aplicación. Los nutrientes esenciales para la caña de azúcar son 19 y pueden ser separados en tres grupos: los elementos no minerales (C, H y O), los macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S y Si) requeridos en cantidades expresadas en % o en gkg^{-1} de peso seco y los micronutrientes (Fe, Zn, B, Cu, Cl, Mn, Ni, Na y Mo) requeridos en menores cantidades expresadas en % o en mgkg^{-1} de peso seco. (Quintero, 1995).

Las necesidades nutrimentales de cualquier plantación de caña de azúcar están determinadas por la cantidad total de nutrimentos que necesita extraer del suelo durante su crecimiento. En las plantas, el suministro de éstos es el resultado de la interacción de dos fenómenos: la disponibilidad de nutrimentos en el suelo y la habilidad de las plantas de absorberlos. Al respecto, Valdez *et al.* (2008) reportaron que la extracción de los nutrimentos del suelo, fue distinta en dos clones de caña, Mex 57-473 y Mex 68-P-23, obteniendo para cada uno de los clones en N (148.67 y 70), P (98.84 y 76) y K (431.64 y 354), con lo cual alcanzaron rendimientos de 97 y 94 tha^{-1} . Rengel *et al.* (2011) reportaron que el cultivo de caña de azúcar al final del ciclo vegetativo acumula un total de 201.4 kg ha^{-1} de nitrógeno y de 180 a 200 kg ha^{-1} cuando tiene una edad aproximada de 240 días. Para el fósforo reportan que la planta acumula un total de 43.4 kg ha^{-1} al final del ciclo vegetativo, siendo este elemento menos extraído en relación con los otros dos elementos mayores primarios; también encontraron que la planta acumuló un total de 149.0 kg ha^{-1} de potasio en los primeros 6 meses. En este sentido, la caña de azúcar es un gran demandante de altas cantidades de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), este último nutrimento se encuentra en cantidades importantes en los suelos cañeros del estado (Valdez *et al.*, 2008). Sin embargo, el más demandado es el nitrógeno, el cual no es un constituyente natural de los minerales del suelo, pero puede ser obtenido de los siguientes procesos: descomposición de la materia orgánica, precipitaciones atmosféricas, descargas eléctricas, fijación simbiótica y no simbiótica, y el proceso más importante, su adición mediante fertilizantes comerciales (Chávez, 1999).

La adición de fertilizantes en el cultivo de caña tiene un alto costo, aun así se ha recomendado la dosis de fertilización de 120-60-60 por parte de los Ingenios del Estado de Tabasco. Ésta, tiene más de 30 años de utilizarse en forma generalizada, sin que para ello se considere el tipo de suelo, disponibilidad y extracción de nutrimentos, ni el clon de caña de azúcar cultivado. Desde hace mucho tiempo se ha sabido que el rendimiento de la caña de azúcar responde de forma positiva al aporte de fertilizantes como el nitrógeno. Al respecto, Angulo *et al.* (1993) al utilizar dosis de 0, 50, 100, 150 y 200 kg de nitrógeno, encontraron que los mejores rendimientos correspondieron a las dosis que estuvieron por encima de los 100 kg ha^{-1} . También Chávez y Arrea (1984) al utilizar dosis de 0, 60, 120, y 180 kg de nitrógeno hectárea, observaron que conforme se aumentó la

cantidad de nitrógeno aportado, la producción de caña también se incrementa, sin embargo, los mejores rendimientos los obtuvieron cuando se aplicaron 180 kg de N ha⁻¹.

Salgado *et al.* (2003), aplicando distintas dosis de fertilización y midiendo su efecto sobre el rendimiento alcanzado durante el ciclo plantilla (edad de 18 meses), encontraron que las parcelas con mejor rendimiento fueron aquellas en las que se aplicó la fórmula 160-80-80 y 200-80-80, alcanzando rendimientos de 158.2 y 143.8 tha⁻¹, respectivamente, sin embargo, numéricamente el rendimiento por hectárea cuando se aplicaron 200 kg de nitrógeno tendió a disminuir el tonelaje; aunado a esto, los rendimientos más bajos, 104, 102.3 y 104 tha⁻¹, se obtuvieron cuando se usaron las formulas 120-40-0, 120-40-40 y 80-40-40, respectivamente, valores que resultaron ser similares ($p > 0.05$) a los obtenidos en las parcelas donde no se aplicó fertilizante (89.6 tha⁻¹). Bastida *et al.* (2009) encontraron que la respuesta de los clones (PPC%) es afectada por la edad de corte y a su vez la edad de corte está afectada por el efecto de ciclo (plantilla, soca y resoca).

Junqueira *et al.* (2008) en un trabajo realizado en dos zonas de Brasil, encontraron que las parcelas con plantaciones de caña de azúcar evaluadas, independientemente de la dosis de fertilización, respondieron de forma distinta en el rendimiento por hectárea; estos autores atribuyeron esta respuesta a otros factores que aportaron este mineral (la materia orgánica nativa y añadida). Por lo que el factor zona toma importancia en la determinación de la dosis óptima.

Investigadores del Colegio de Postgraduados se han dado a la tarea de generar nuevas dosis de fertilización, pero hasta ahora sólo se ha trabajado en plantaciones comerciales destinadas a la producción de azúcar (Salgado *et al.*, 2009), lo que hace relevante este trabajo, donde se evaluaron dosis de fertilización para la fase semillero en dos nuevos clones establecidas sobre un suelo Cambisol eútrico.

1.3.9. Clones

En el campo cañero mexicano, los clones de caña de azúcar cultivados son muy heterogéneos, debido a la mezcla de ellos en el campo, y homogéneos dado que tres de ellos ocupan aproximadamente el 80% de la superficie total. Se considera que las los clones de caña conocidas en el estado están maduras y aptas para cosecharse cuando

alcanzan un nivel superior al 16% de sacarosa y 85% de pureza del jugo, los clones alcanzan esos niveles a los 12, 14 ó 16 meses de edad. Por lo que se clasifican como de madurez temprana, medias y tardías, encontrándose en el estado en las siguientes proporciones 18.61%, 81% y 0%, respectivamente. Lo recomendado como apropiado es que existan en porciones de 30, 40 y 30%, respectivamente (Valdez *et al.*, 2008). Algunos clones llegan a la fase de madurez más pronto que otras, periodo que contempla desde el momento de la siembra hasta que la planta está lista para la cosecha (crecimiento, maduración y sazonado). Por lo anterior, se ha considerado que existe un efecto significativo de la variedad cultivada sobre el rendimiento de caña de azúcar (Bastida *et al.*, 2009).

Según Valdez *et al.* (2008) en Tabasco existe un total de 23 clones de caña de azúcar, 21 de éstos están clasificados como de madurez media y todos son resistentes al carbón y a la roya. Los clones de caña de azúcar, con el paso del tiempo, se vuelven susceptibles al ataque de diferentes plagas y enfermedades, lo que contribuye al bajo rendimiento en campo. Se ha sugerido que el efecto del clon sobre el rendimiento se resolvería en gran medida al implementar nuevos clones resistentes al ataque de plagas y enfermedades predominantes en la zona y, sobre todo, contribuirá a uniformizar los clones en el campo cañero.

En el Colegio de Postgraduado, derivado del proceso de liberación de nuevos clones de caña de azúcar (**Cuadro 1**), se liberaron dos clones que han mostrado ser resistentes a las plagas y enfermedades en el estado, nombrándolos COLPOS CTMEX 05-204 y COLPOS CTMEX 05-223. Si bien la selección de variedad es adaptadas y un manejo adecuado a regiones agroecológicas definidas pueden reducir en cierta medida la desventaja de las zonas cañeras subtropicales (Romero *et al.*, 2009).

Cuadro 1. Procedimiento a desarrollar para liberar una variedad de caña de azúcar.

Fase	Período de evaluación		Población teórica	Nomenclatura	Parcela experimental	Localización
	Ciclo	Meses				
Plántula	Soca	18	10,000	Híbrido	1 cepa/90 cm	Campo Experimental
Surco	Soca	24	2,000	Clon	1 surco de 3 m	Campo Experimental
Parcela	Soca	24	400	Clon	3 surcos de 5 m	Campo Experimental
Multiplicación I	Plantilla	10 a 12	80	Variedad	4 surcos de 25 m	Campo Experimental
Prueba de adaptabilidad	Soca	24	80	Variedad	3 surcos de 10 m	Diferentes zonas ecológicas
Multiplicación II	Plantilla	10 a 12	16	Variedad	Variable	Campo Experimental
Evaluación Agroindustrial	Resoca	38 a 42	16	Variedad	6 surcos de 12 m	Diferentes zonas ecológicas
Multiplicación III	Plantilla	10 a 12	1 a 4	Variedad prometedora	Variable	Campo Experimental
Prueba Semicomercial o semillero	Plantilla	10 a 12	1 a 4	Variedad prospecto comercial	Variable	Zona de abastecimiento de los ingenios

1.3.10. Enfermedad

En el cultivo de la caña de azúcar las plagas y las enfermedades forman parte de los factores que reducen el rendimiento de caña de azúcar. Entre las enfermedades de mayor importancia se pueden mencionar las virales (mosaico, raya clorótica), las bacteriana (escaldadura foliar, raquitismo de la soca, raya roja) enfermedades fungosas (carbón, pokkah boeng, roya) (Cova *et al.*, 2006).



Figura 8. Enfermedades presentes en la región.

1.4. MATERIALES Y MÉTODOS

1.4.1. Área de estudio

El estudio se realizó de septiembre de 2012 a junio de 2013, en la región de la Chontalpa Tabasco, en el Campo Experimental (km 21) del Campus Tabasco-CP, las coordenadas de su ubicación son 17°59'10.90" latitud norte y 93°35'29.64" longitud oeste. La ubicación geográfica de la parcela de estudio se muestra en la Figura 9.

De acuerdo al sistema de Köppen, el clima se clasifica como Am(g)"w", con presencia de lluvias abundantes en el verano (julio-agosto), sequías prolongadas en los meses de marzo-abril y nortes a finales del año, la temperatura media durante el año es de 26°C. Se presentan precipitaciones promedio anuales de 2324 mm, en los meses secos (marzo y abril) caen menos de 50 mm por mes y alrededor de 400 mm en los meses lluviosos (septiembre y octubre) (García, 1988).

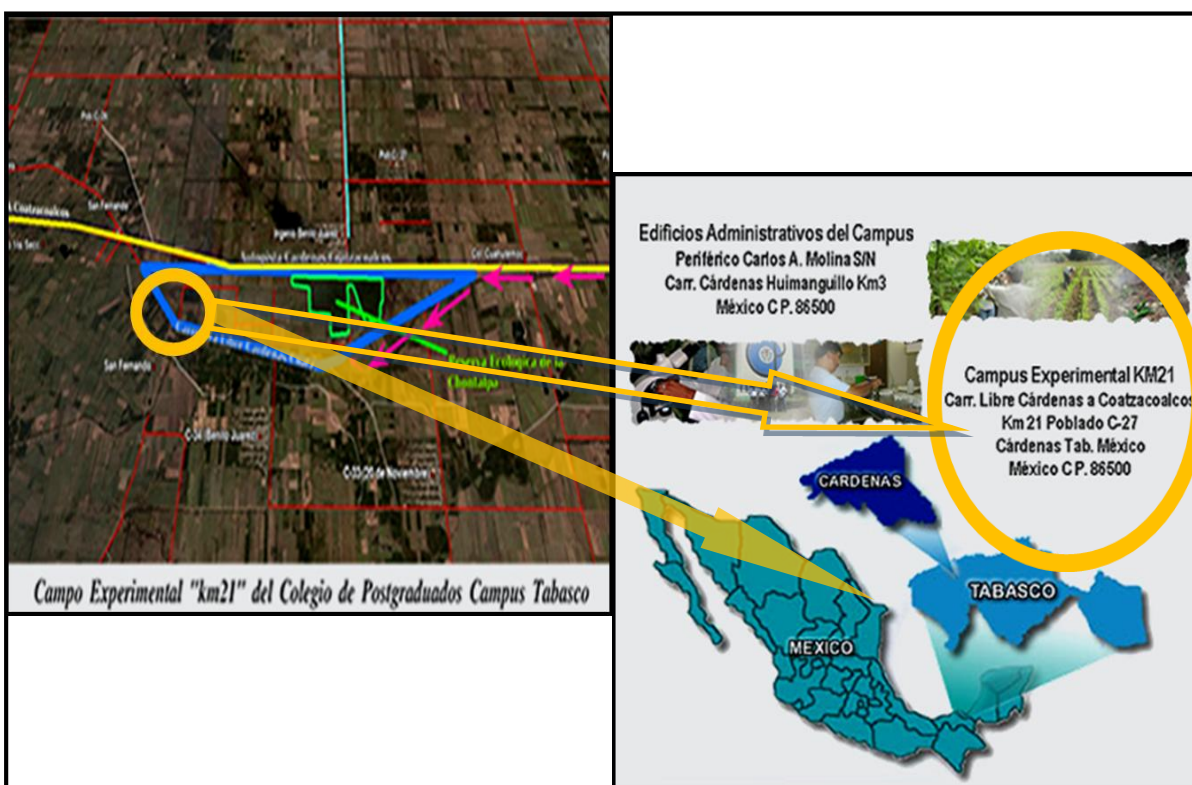


Figura 9. Ubicación del área de estudio.

1.4.2. Caracterización de la unidad de suelo

En la parcela de estudio se hizo un perfil de suelo de 1.80 m de profundidad (Figura 10), su descripción en campo se realizó siguiendo la metodología propuesta por Cuánalo (1990), se tomaron muestras de cada uno de los horizontes y las muestras fueron transportadas al Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas y Agua (LASPA) del Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, para los análisis correspondientes en base a la Norma Oficial Mexicana (NOM-021-RECNAT-2000).

La descripción y análisis de suelo de los horizontes permitieron clasificar al suelo de la parcela experimental de acuerdo con la segunda edición de la Base de Referencia Mundial del Recurso Suelo (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007).



Figura 10. Perfil de suelo en estudio.

1.4.3. Diagnóstico nutrimental del suelo

Se tomaron muestras de suelo (en zig-zag) con barrena tipo holandesa a dos profundidades, de 0-30 cm y 30-50 cm, para cada una se obtuvo un total de 15 submuestras de forma aleatoria. Se procedió a homogenizar las submuestras de cada profundidad para extraer una muestra compuesta por estrato, las cuales fueron debidamente etiquetadas para su posterior análisis, conforme a los procedimientos descritos en la Norma referidas en el primer párrafo de esta sección (Cuadro 2).

La clasificación textural de cada uno de los horizontes en estudio fue determinada con base en el triángulo de texturas de suelo que muestra los porcentaje de arena (0.05 a 2.00), limo (0.002 a 0.05 mm), arcilla (<0.002 mm) de los tipos de textura básicos del suelo (Ortiz y Ortiz, 1984).

Cuadro 2. Métodos para realizar análisis químicos de suelo.

Parámetros	Métodos	Referencia
pH	En agua (1:2)	
Materia Orgánica	Combustion húmeda Walkley and Black	
Nitrógeno total	Semi-micro Kjeldahl (modificado para incluir nitratos)	
Fósforo disponible	Ólsen y Dean	NOM-021- REC NAT-2000
Capacidad de Intercambio Catiónico	Extracción con acetato de amonio	
Bases intercambiables	Na, K, Ca y Mg	
Textura	Bouyoucos	

1.4.4. Material genético

Se utilizaron tallos de dos clones, el material vegetativo se cortó a los 8 meses.

1.4.4.1. COLPOSCTMEX 05-204 (MEX 05-204)

Progenitores CC 92-2198 x CC 93-4206.

1.4.4.1.1 Características botánicas

Tallos erectos ligeramente en zig-zag de color morado con tintes verdes cuando está cubierto por la vaina y verde con tintes morado cuando está expuesto al sol; corteza de dureza media y en promedio la longitud moledera del tallo es de 3.60 metros, entrenudos en huso y con grietas de crecimiento, diámetro delgado, yema ovada abultada con alas rebasa ligeramente el anillo de crecimiento, mismo que, es abultado, posee una coloración rojiza en su parte posterior, hoja ancha, erectas con el ápice curvado, color verde claro. Por lo aserrado de sus bordes es cortante, collar rectangular verde aceituna, lígula creciente; aurículas la interna deltoide y la externa transitoria ascendente, con regular cantidad de ahuates en la vaina. (Figura 11).

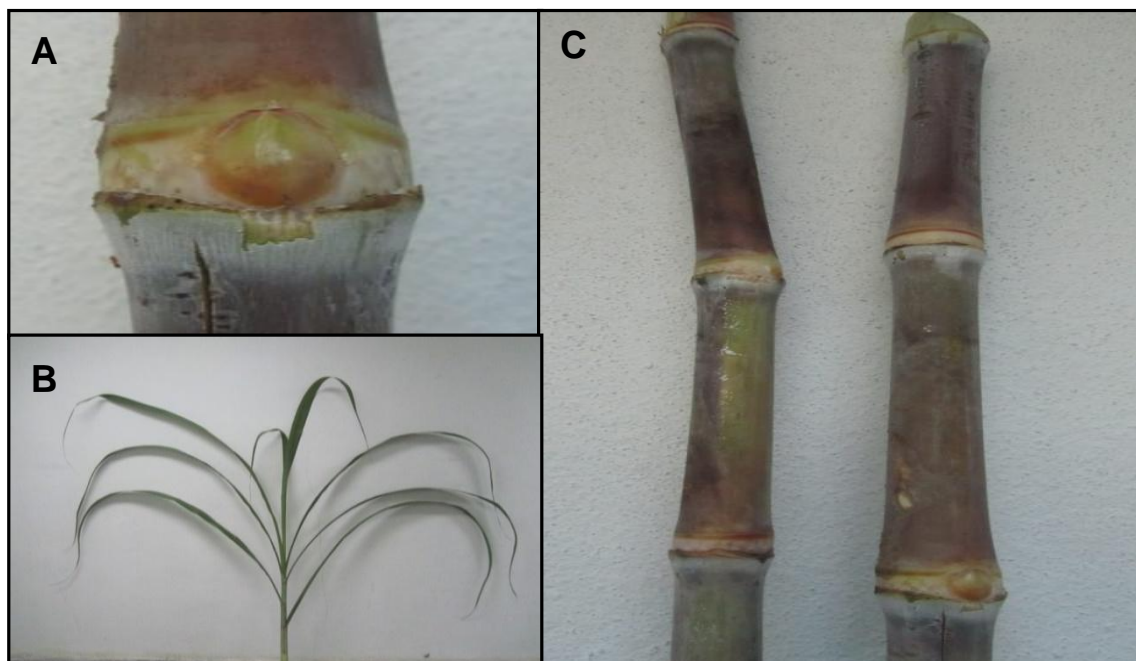


Figura 11. Características botánicas, **A.** yema, **B.** copa y **C.** color del tallo cubierto por la vaina.

1.4.4.1.2. Características agronómicas

Es de buena germinación, amacolla temprano, rápido cierre de campo. Es de habito de crecimiento erecto, susceptible al acame por su alto rendimiento ($121.57 \text{ ton ha}^{-1}$) en ciclo plantilla, despaje regular, las hojas adheridas se desprenden fácilmente con la mano, excelente población y gran soqueadora.

1.4.4.1.3. Características fitosanitarias

Resistente a las enfermedades del carbón y la roya café, tolerante a la mancha de ojo y al pokkah boeng.

1.4.4.1.4. Características industriales

Es un clon de maduración media a tardía (Figura 12), gran concentradora de sacarosa de 16.67% en el mes de abril y de alta pureza en jugos de 90%; se debe cosechar en los meses de marzo a mayo, su corteza es media y con alto contenido en fibra 12.4%.

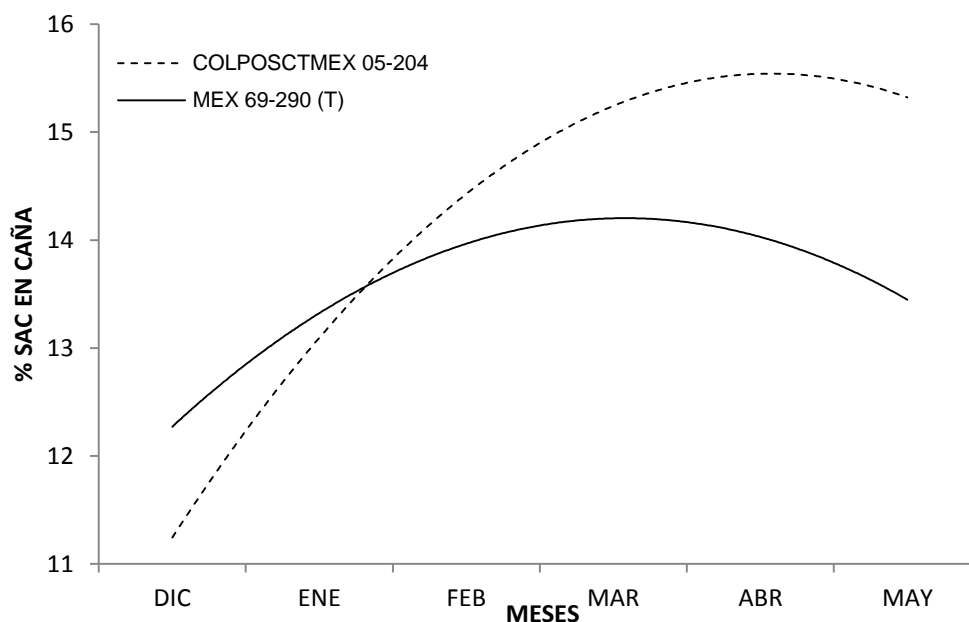


Figura 12. Curva de madurez del clon MEX 05-204 comparada con el clon testigo MEX 69-290 (T).

1.4.4.2. COLPOSCTMEX 05-223 (MEX 05-223)

Progenitores MEX 60-1403 X CP 80-1827.

1.4.4.2.1. Características botánicas

Tallos erectos ligeramente en zig-zag de color verde amarillento cuando está cubierto por la vaina y verde oscuro cuando está expuesto al sol; corteza de dureza media y longitud moledera de 3.00 a 3.50 metros, entrenudos cilíndricos, con diámetro de medio a grueso, yema triangular corta con alas abultada rebasa ligeramente el anillo de crecimiento, mismo que, posee una coloración rojiza en su parte posterior, tiene grietas de crecimiento, hoja ancha, erectas con el ápice curvado, color verde oscuro. Por lo aserrado de sus bordes es muy cortante, collar rectangular verde aceituna, lígula deltoide; aurículas la interna lanceolada larga y la externa transitoria descendente, con abundantes ahuates en la vaina. (Figura 13).

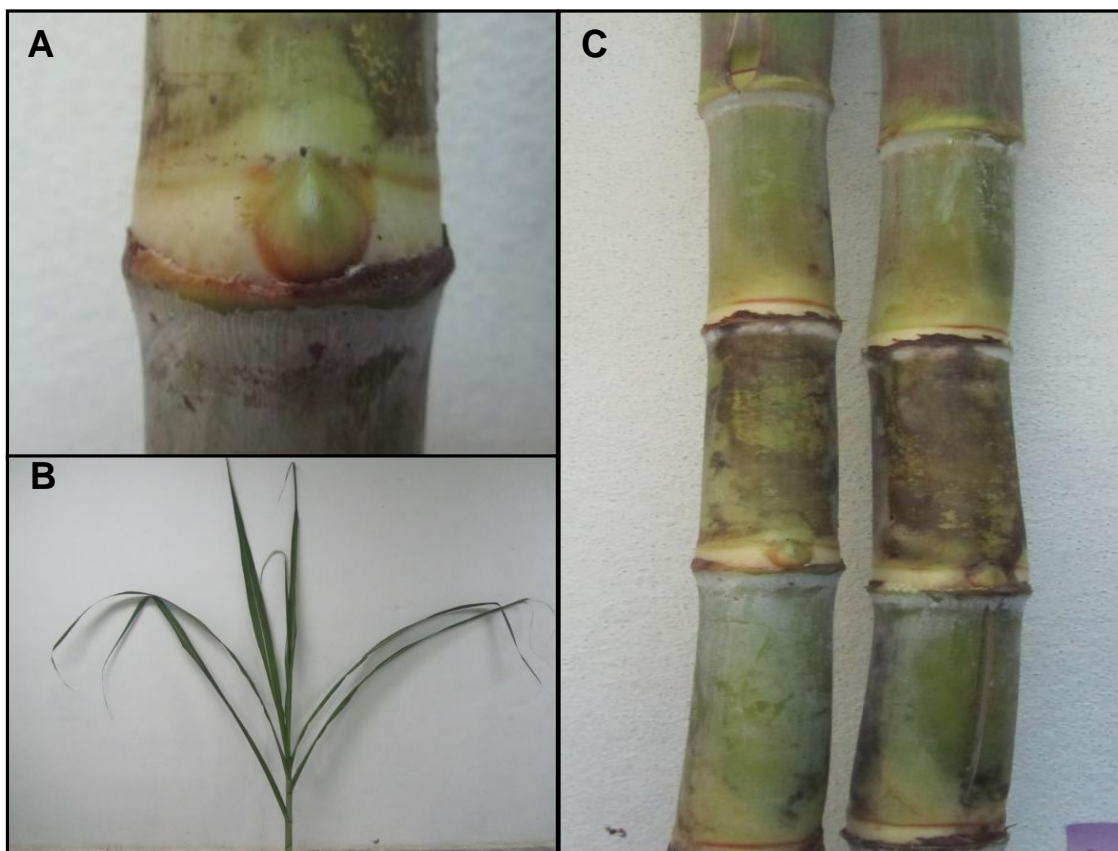


Figura 13. Características botánicas, **A.** yema, **B.** copa y **C.** color del tallo cubierto por la vaina.

1.4.4.2.2. Características agronómicas

Es de buena germinación, amacolla temprano, rápido cierre de campo. Es de habito de crecimiento erecto, susceptible al acame por su alto tonelaje 121.577 ton en ciclo plantilla, despaje regular, las hojas adheridas se desprenden fácilmente con la mano, excelente población y gran soqueadora.

1.4.4.2.3. Características fitosanitarias

Resistente a las enfermedades del carbón y la roya café, tolerante a la mancha de ojo y al pokkah boeng.

1.4.4.2.4. Características industriales

Es un clon de maduración media a tardía (Figura 14), gran concentradora de sacarosa de 16.67% en el mes de abril y de alta pureza en jugos de 90%; se debe cosechar en los meses de marzo a mayo, su corteza es media y con alto contenido en fibra 12.4%.

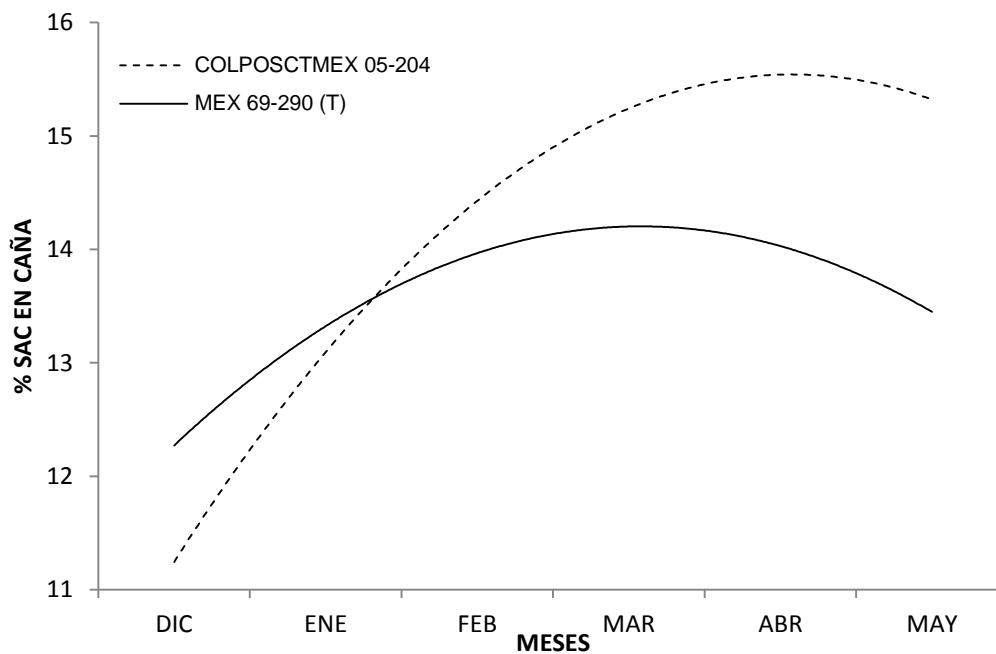


Figura 14. Curva de madurez de la variedad MEX 05-204 comparada con la variedad testigo MEX 69-290 (T).

1.4.5. Preparación del terreno

Consistió en el desmonte mecánico de arbustos, para luego realizar un pase de barbecho con arado reversible a 30 cm de profundidad, dos pasos de rastra semipesada y surcado (Valdez *et al.*, 2008).

1.4.6. Establecimiento del experimento

El establecimiento del estudio consistió, primeramente, en el trazado manual del terreno, utilizando cal y materiales de la región (Figura 15).

El experimento fue realizado en bloques completos al azar, teniendo cuatro bloques, seis parcelas por bloque, de 10 surcos de 15 m lineales cada uno con una separación entre bloques de tres metros, se utilizó en total una superficie de 210 m² por parcela.



Figura 15. Trazado manual del terreno.

El diseño experimental comprendió seis tratamientos (dos clones * tres dosis), los cuales se distribuyeron al azar en cada bloque; se usaron cuatro repeticiones resultando un total de 24 parcelas (Figura 16).

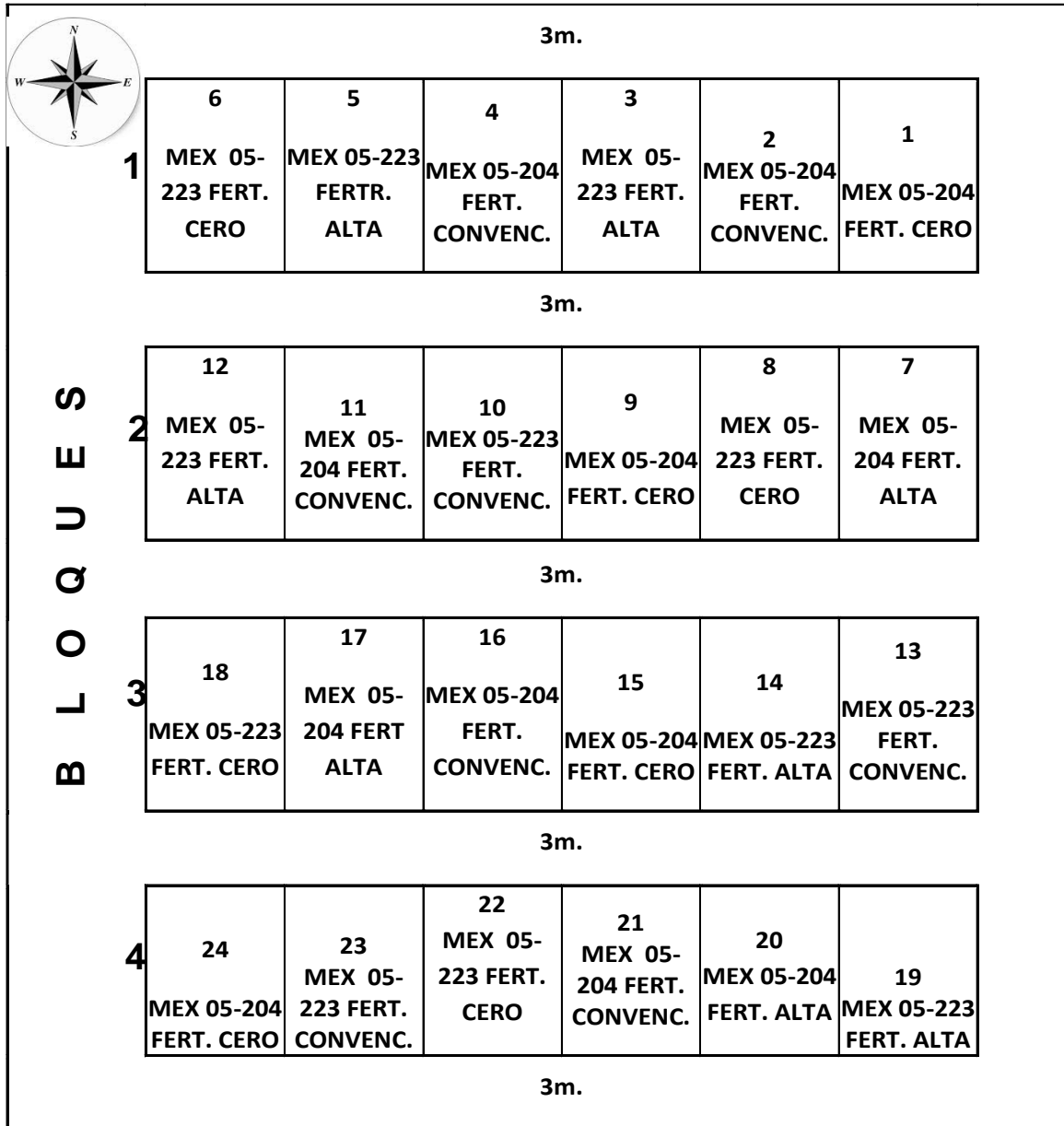


Figura 16. Diseño del establecimiento del estudio y distribución de los tratamientos.

1.4.7. Densidad de siembra, época y método

Se seleccionó la semilla de calidad de los semilleros del Campo Experimental Km21, se cortó la semilla a una edad de 8 meses y se utilizaron en promedio 167 varetas por unidad experimental (parcela), es decir, un total promedio de 2000 varetas por cada clon (MEX 05-223 y MEX 05-204), que corresponden a un total de 4000 varetas en las 24 parcelas, éstas se trasladaron en carretas de manera convencional al lugar de la siembra donde se les removió de toda la hoja seca que cubría las yemas (Figura 17).



Figura 17. Corte, acarreo y limpieza de la semilla.

La siembra de los dos clones seleccionados en el Campus Tabasco, MEX 05-223 y MEX 05-204, se llevó a cabo en el mes de octubre de 2012, esto es, durante la época de lluvias, lo cual favoreció su germinación. Para la siembra se usaron como “semilla”

varetas que tenían una edad de 8 meses, tal como lo sugiere Victoria y Calderón (1995) (Figura 18).



Figura 18.- Siembra de la caña plantilla en el fondo del surco y tapado de la misma.

El método de siembra utilizado fue a cordón doble (punta con cola), la semilla se depositó al fondo del surco y se picó aproximadamente cada 40 cm, sin que se dañara la yema, considerando que en cada trozo quedarán alrededor de cuatro yemas, posteriormente se tapó con una capa de tierra ligera (Valdez *et al.*, 2008) (Figura 19).



Figura 19. Método de siembra cordón doble “punta con cola”.

1.4.8. Manejo del agua

Las precipitaciones en el estado de Tabasco se presentan de forma abundante y heterogénea a lo largo del año (Figuras 20 y 21), por lo que se instalaron tensiómetros, para conocer el momento adecuado para el riego. Sin embargo, finalmente no se aplicó riego alguno, ya que la fecha de siembra correspondió al periodo de temporal que abarca los meses con mayor precipitación (junio a octubre); además de que hubo un comportamiento favorable de ésta en la época de estiaje. Alamilla (2012) recomendó que el momento de riego, en el cultivo de caña de azúcar, es cuando el manómetro del tensiómetro indica una lectura de alrededor de -18 kPa (-15 kPa al nivel de la cápsula) y concluirlo cuando la aguja del manómetro regresa a cero. La parcela contó con drenaje superficial para eliminar el exceso de agua.

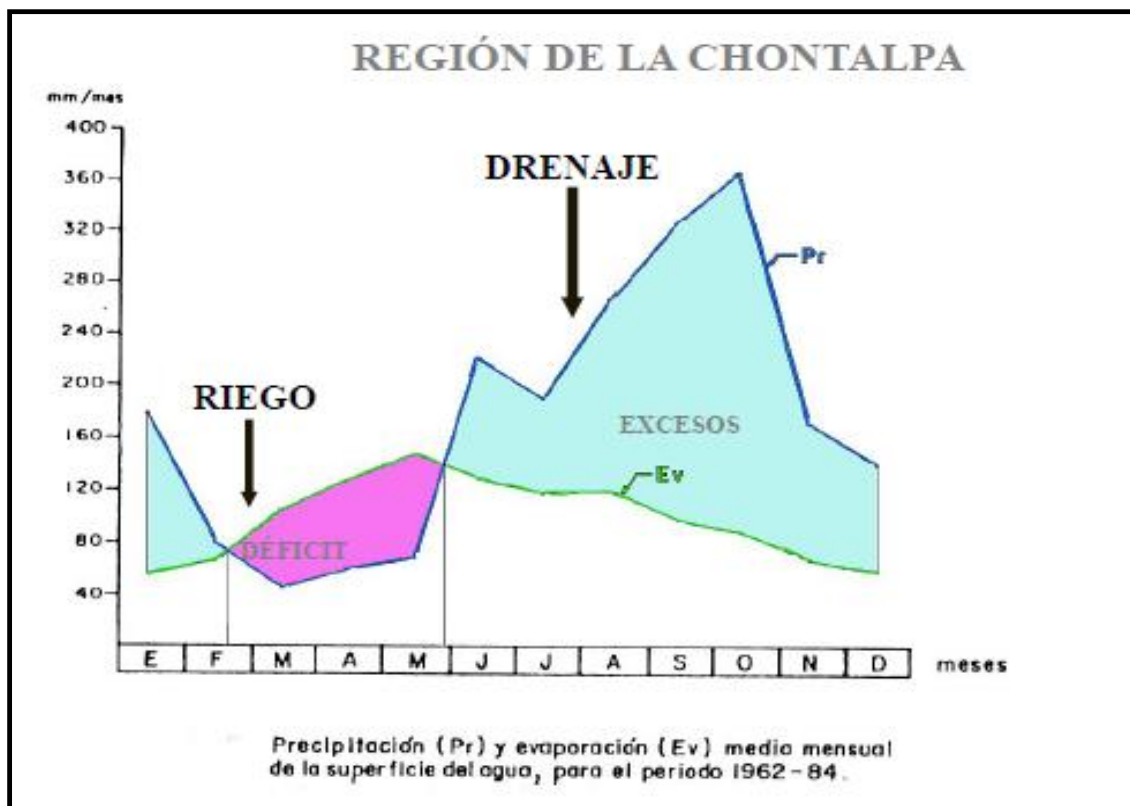


Figura 20. Precipitación y evaporación en la Región de la Chontalpa, Tabasco.

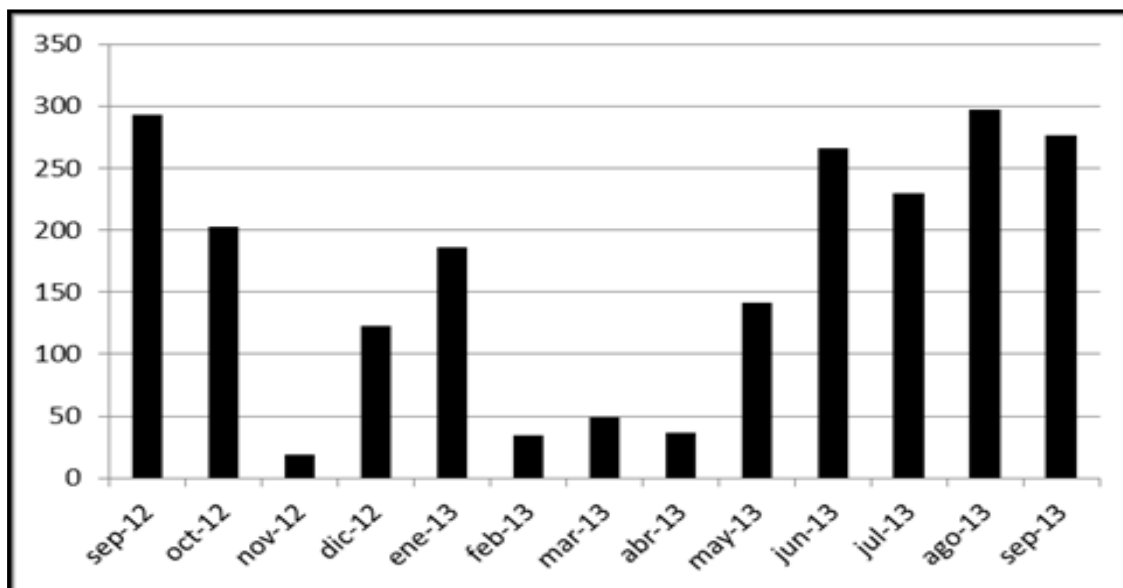


Figura 21. Precipitación de agua (mm) en los meses en que se desarrolló el cultivo de caña de azúcar en el presente estudio (CONAGUA 2012-2013)

1.4.9. Fertilización del suelo

Se calculó la cantidad de N, P y K para cada una de las parcelas, pesando porciones para cada surco de 15 m lineares. La dosis FERT. CERO: 00-00-00 tuvo cero componentes de N-P-K. En la dosis FERT. CONVENCIONAL: 120-60-60, se usaron porciones de 762g de N-P-K, a razón de 362 kg ha⁻¹. En la dosis FERT. ALTA: 200-80-80, se usaron porciones de 1,110g de N-P-K a razón de 529 kg ha⁻¹ (Figuras 22 y 23).



Figura 22. Cálculo y pesado de la cantidad de fertilizante a aplicar a cada tratamiento.



Figura 23. Homogenización de los compuestos N-P-K.

La primera fertilización química del cultivo se hizo de forma manual, a chorrillo y se colocó al fondo del surco al momento de la siembra. Se utilizaron como fuente de fertilizante para N, P y K los siguientes compuestos: Urea al 46%, Superfosfato triple al 46% (P_2O_5) y Cloruro de potasio al 60% (K_2O).

El fertilizante se aplicó de forma fraccionada en dos etapas, la primera fue al momento de la siembra, aplicándose 50% del N total y 100% de P y K. A los 90 días después de la siembra (DDS) se realizó la segunda fertilización, administrando el otro 50% del N, el cual fue fraccionado en partes iguales con la finalidad de disminuir la pérdida por efecto de lixiviación y volatilización, que se presentan en la temporada de lluvias (Carrillo *et al.*, 2008) (Figura 224).



Figura 24. Aplicación de fertilizante a chorrillo, previo a la siembra de la semilla.

1.4.10. Labores culturales

Las labores culturales se iniciaron desde el momento de la siembra y hasta los 90 DDS, etapa en la cual la caña es susceptible a la competencia de nutrimentos, agua y luz por las malezas. El control se hizo con agroquímicos, utilizando primero un herbicida pre emergente inmediatamente después de la siembra, el cual fue el “Diuron”, con una dosis a razón de 2.4-4.0 kg ha⁻¹. Posteriormente se realizó un aporque, cuando la planta alcanzó una altura de 60 cm, lo cual favoreció el control de maleza y brindó una mayor resistencia al acame. Finalmente se utilizó hasta antes del cierre del cultivo un herbicida post emergente “Ametrina”, a razón de 1.6 a 3.2 kg ha⁻¹ (Valdez *et al.*, 2008).

1.4.11. Control de plagas

No se realizaron prácticas de control de plagas y enfermedades porque no fueron necesarias, ya que las plagas no rebasaron los umbrales económicos y no se presentaron enfermedades, lo que corroboró la resistencia de los clones propuestos para problemas fitosanitarios como royas o carbón. Sin embargo, en la plantación en general se tomó en cuenta la presencia o incidencia de las plagas; principalmente la mosca pinta o salivazo (*Aeneolamia spp.*) que es la plaga más dañina del cultivo.

1.4.12. Arreglo de tratamientos y diseño experimental

El arreglo de los tratamientos fue un factorial 2 x 3, donde el primer factor fue los clones (MEX 05-223 y MEX 05-204), y el segundo la dosis de fertilización utilizada (FERT. CERO; FERT. CONVENCIONAL y FERT. ALTA). El diseño experimental empleado fue un bloque completo al azar (cuatro repeticiones), resultando 6 tratamientos en 24 parcelas (caña a la edad de 8 meses).

Tratamientos:

T0-223 =MEX 05-223*FERT. CERO.

TC-223 =MEX 05-223*FERT. CONVENCIONAL.

TA-223 =MEX 05-223*FERT. ALTA.

T0-204 =MEX 05-204*FERT. CERO.

TC-204 =MEX 05-204*FERT. CONVENCIONAL.

TA-223 =MEX 05-204*FERT. ALTA.

1.4.13. Variables de respuesta

Las variables inicialmente estudiadas fueron: descripción del perfil del suelo, contenido de nutrimentos en 0-30 cm y 30-50 cm de profundidad.

Las variables de respuesta a la edad de ocho meses fueron: rendimiento por hectárea, altura de la planta, diámetro de tallo, número de entrenudos, número de hojas y calidad de la semilla (Alamilla, 2012).

Las variables de respuesta, tomadas a la edad de diez meses, fueron analizados con un diseño experimental completamente al azar, debido a que se consideran estudios de índice de área foliar por cada tallo (20 repeticiones) que fueron tomados al azar considerando las dosis en estudio.

Con la finalidad de ver el comportamiento de las plantas de caña a la edad de 10 meses, se tomaron las siguientes variables: IAF (Méndez, 1993), altura de la planta, diámetro de tallo, rendimiento por hectárea.

1.4.14. Análisis estadístico

Las variables que se midieron a los ocho y diez meses de edad, y los efectos de la interacción clon-dosis de fertilización y/o efectos principales sobre las variables de respuesta, fueron analizados con el paquete estadístico SAS 9, para ello se utilizó el PROC ANOVA. La prueba de medias se realizó con la prueba Tukey $\alpha = 0.05$.

1.5. RESULTADOS

1.5.1. Caracterización de la unidad de suelo

El suelo en estudio corresponde a un Cambisol Eútrico (Arcílico) (Figura 25), que ocupa 1.2% de la superficie del estado de Tabasco. Estos suelos se derivan de sedimentos aluviales recientes que han alcanzado un ligero desarrollo manifestado por la alteración del horizonte B cámbico. Esta alteración se debe principalmente al intemperismo de los materiales originales y a algunos fenómenos de oxidación del hierro. Son conocidos también como suelos de “barro ligero” distribuidos en pequeños manchones en Cárdenas y Cunduacán. Ocupan áreas planas, rara vez con ligeras ondulaciones y pendientes inferiores al 1%. Son suelos profundos con colores pardos a pardos amarillentos (10 YR 3/2, 10 YR 4/2, 7.5 YR 4/6 colores pardos del perfil del suelo). Texturas desde Migajón arcillosas a Arcillosas, como es el caso del perfil estudiado. Presentó cuatro horizontes con clasificación de textura migajón arcillosa y dos horizontes con clasificación arcillosa, son ricos en nutrientes (principalmente bases intercambiables). Presenta problemas por el manto freático elevado en una parte del año, principalmente en los meses de septiembre y octubre pero, por su moderada permeabilidad, el agua desaparece rápidamente. Se clasifican como suelos II/D3, por tanto, su uso agrícola no se ve muy afectado, y dentro de los suelos con potencial para el establecimiento de la caña de azúcar en el estado de Tabasco, se clasifica como muy apto (Palma *et al.*, 2007; Valdez *et al.*, 2008).

El perfil del suelo se estratificó en seis horizontes (Figura 25). El contenido de N total en el primer horizonte fue MEDIO, en el segundo fue BAJO, y conforme incrementó la profundidad éste disminuyó hasta MUY BAJO. Estos valores son los esperados, básicamente por la relación que guarda este nutrimento con los contenidos de M.O. (Bolton *et al.*, 1990; Epstein *et al.*, 2006) que mostraron un patrón similar. El nitrógeno es el elemento que mayor demanda el cultivo de caña de azúcar, el cual no es un constituyente natural de los minerales del suelo, pero puede ser obtenido a partir de los siguientes procesos: descomposición de la M.O., precipitaciones atmosféricas, descargas eléctricas, fijación simbiótica y la aplicación adición de fertilizantes comerciales (Chávez, 1999). Un contenido medio de estos nutrimentos favorece la

producción de caña de azúcar, sin embargo, para alcanzar los rendimientos potenciales, la fertilización del cultivo resulta una práctica necesaria (Rodríguez y Chacón, 1993).

Otro de los nutrimentos más condicionantes del crecimiento y desarrollo del cultivo en suelos tropicales es el P, su contenido lo clasifica como ALTO en todos los horizontes, lo cual llama poderosamente la atención, ya que este elemento suele ser encontrado en concentraciones altas solo en los primeros horizontes, como consecuencia del historial de fertilización (Pinochet *et al.*, 2001; Ochwoh *et al.*, 2005) en el caso del K, se encontraron valores que van decreciendo conforme a la profundidad del perfil, con clase MEDIA en el primer horizonte a clase MUY BAJA del horizonte 2 al 6. Los suelos de origen aluvial suelen presentar altos contenidos K (López y Espinosa, 1995) sin embargo, extracciones continuas de este nutrimento, sin considerar la demanda del cultivo, suelen empobrecer gradualmente a los suelos agrícolas, dado que las aplicaciones de potasio, si se realizan, están por debajo de las necesidades del cultivo (Dumanski y Pieri, 2000). Los contenidos de M.O. fueron de MEDIOS en los primeros 25 cm, a BAJOS en los siguientes dos horizontes y a MUY BAJOS en los siguientes cuatro horizontes. La materia orgánica del suelo es una mezcla heterogénea de sustancias; fragmentos de plantas, raíces y animales, las cuales, a través de la actividad de los organismos del suelo, mineralizan sustancias que tienen efectos importantes sobre la fertilidad física, química y biológica de los suelos (Reeves, 1997, Schimel y Bennett, 2004). La disminución de la materia orgánica del suelo es un factor importante en la pérdida de la sustentabilidad de los agroecosistemas y, como consecuencia, de la reducción de áreas de uso agrícola (Sánchez, 1990).

Los valores de la CIC en los tres primeros horizontes fueron MEDIOS, disminuyendo en los otros horizontes a BAJOS, los contenidos en el primer horizonte podrían estar influenciados además por los contenidos de arcilla, los de materia orgánica y los otros dos básicamente por los contenidos de arcilla. Ésta propiedad química es de suma importancia en la fertilidad, ya que con ella podemos inferir acerca del tipo de arcilla presente, la magnitud de la reserva nutrimental y el grado de intemperismo de los suelos (Fulleny Catt, 2004). Es de suma importancia conocer las Bases Intercambiables, porque representan minerales secundarios insustituibles para el cultivo. El Ca se encuentra en clase MEDIA en el primer horizonte, pero a partir del segundo horizonte aumenta el valor

a clase ALTA hasta el cuarto horizonte, disminuyendo a clase BAJA en el último horizonte. El Mg se ubica en la clase MEDIA en el primero y en el último horizonte, pero en el resto su contenido es ALTO. El contenido de K se clasificó en su primer horizonte como MEDIO, del segundo al sexto horizontes es MUY BAJO, es un elemento que hay que tener en cuenta en las aplicaciones de fertilizantes, dada la alta demanda de este nutrimento por la caña de azúcar (Salgado *et al.*, 2009). El contenido de Na varía de 0.05-0.5 Cmol (+) kg⁻¹, valores que se considera no provocan problemas de salinidad (Salgado *et al.*, 2008; Salgado *et al.*, 2009).

El pH en el primer horizonte se clasifica como MODERADAMENTE ÁCIDO, en el segundo horizonte su valor <5.0 lo ubica como FUERTEMENTE ÁCIDO, del tercer al sexto horizontes se clasifica como MODERADAMENTE ÁCIDO.

Cambisol eútrico CMeu (arcílico) (Figura 25)

Perfil de suelo

Localización: 17 59.307 N W 09336.987

Localidad: Campo Experimental Km. 21,
carretera Cárdenas-Coatzacoalcos, Lote 2
Colegio de Postgraduados, Campus
Tabasco

Elevación: 22 MSNM

Relieve: Plano

Drenaje Superficial: Receptor


Material Parental: Deposito Aluvial
(aluvión)

Flora Cultivada: Acahual

Flora Nativa: maleza

Fauna: Sin fauna

Observaciones: Día Nublado

Perfil	Ho	Descripción.
	0-25	Color (10 YR 3/2) pardo grisáceo muy oscuro, textura Migajón arcillosa, arcilla fina; consistencia húmeda pegajosa, plástica y fina. Estructura moderadamente desarrollada, poliédrica, en bloques subangulares; poros frecuentes muy finos, continuos, caóticos dentro y fuera de los agregados tubulares en todo el horizonte. Cutanes por eluviación, zonales, delgados, pocos, agregados de minerales arcillosos de óxido e hidróxidos de hierro, sin nódulos. No hay reacción al ácido clorhídrico, composición no calcáreo, permeabilidad lenta, imperfectamente drenado, hay presencia de grietas de 1cm de ancho en el primer horizonte. Presencia de raíces comunes, delgadas y finas, pH 5.
	25-65	Color (10 YR 3/2) pardo grisáceo muy oscuro, moteado de color 10 YR 5/6, café amarillento, textura arcillosa, arcilla fina; consistencia húmeda muy pegajosa, muy plástica y fina. Estructura fuertemente desarrollada, poliédrica en bloques subangulares; poros frecuentes, muy finos, continuos, caóticos dentro y fuera de los agregados tubulares en todo el horizonte; Cutanes por eluviación, zonales, delgados, poco agregados de minerales arcillosos, de óxido e hidróxidos de hierro, sin nódulos. No hay reacción al ácido clorhídrico, composición no calcáreo, permeabilidad lenta, imperfectamente drenado, presencia de raíces comunes y finas, pH 5.
	65-87	Color (10 YR 4/1) gris oscuro, moteado 10 YR 5/6, café amarillento, textura arcillosa, arcilla fina; consistencia húmeda muy pegajosa, muy plástica y fina, Estructura débilmente desarrollada, poliédrica en bloques subangulares; poros frecuentes muy finos, continuos, caóticos dentro y fuera de los agregados tubulares en todo el horizonte, sin nódulos. No hay reacción al ácido clorhídrico, composición no calcárea, permeabilidad moderadamente lenta, imperfectamente drenado, presencia de raíces raras y finas, pH 5.
	87-122	Color (10 YR 4/2), pardo oscuro, moteado 10 YR 4/6, café amarillento, textura migajón arcillo arenoso. Estructura débilmente desarrollada, poliédrica en bloques subangulares; poros numerosos muy finos, continuos, caóticos dentro de los agregados tubulares en todo el horizonte, sin nódulos. No hay reacción al ácido clorhídrico, composición no calcárea, permeabilidad moderada, imperfectamente drenado, presencia de raíces muy raras, pH 5.
	122-149	Color (7.5 YR 4/6), pardo fuerte, moteado 10 YR 4/6, café amarillento, textura migajón arcilloso. Estructura débilmente desarrollada, poliédrica en bloques subangulares; poros numerosos muy finos, continuos, caóticos dentro de los agregados tubulares en todo el horizonte sin nódulos. No hay reacción al ácido clorhídrico, composición no calcárea, permeabilidad moderada, imperfectamente drenado, sin raíces, pH 5.
	149-170	Color (7.5 YR 2.5/3), café muy oscuro, mateado 7.5 YR 3/1, gris muy oscuro, textura migajón arenoso, Estructura débilmente desarrollada, poliédrica en bloques subangulares; poros numerosos muy finos, continuos, caóticos dentro de los agregados tubulares en todo el horizonte, sin nódulos. No hay reacción al ácido clorhídrico, composición no calcárea, permeabilidad muy rápida, imperfectamente drenado, sin raíces, pH de 5.

Profundidad	% Clase							CIC	(Cmol ₍₊₎ kg ⁻¹)				mg kg ⁻¹	CaCl2
	N	MO	R (arcilla)	L (limo)	A (arena)	textural	Na		K	Ca	Mg	P	pH	
0-25	0.14		2.73	31.04	33.44	35.52	Migajón-arcilloso	24.46	0.06	0.44	7.51	2.68	13.15	5.23
25-65	0.05		0.93	51.04	24.72	24.24	Arcilla	22.84	0.19	0.17	15.07	2.03	12.01	4.86
65-87	0.03		0.56	55.51	20.25	24.24	Arcilla	25.81	0.25	0.05	17.47	6.97	16.32	5.69
87-122	0.05		0.46	29.04	16.72	54.24	Migajón arcillo arenoso	14.89	0.18	0.04	9.92	3.99	18.90	5.80
122-149	0.02		0.40	29.04	34.72	36.24	Migajón arcilloso	17.37	0.21	0.03	11.65	4.95	17.78	5.80
149-170	0.02		0.40	17.04	4.72	78.24	Migajón arenoso	7.20	0.08	-0.26	4.75	2.17	15.80	5.91

Figura 25. Descripción del perfil edáfico en el área de estudio

1.5.2. Diagnóstico de la fertilidad del suelo a 0-30 y 30-50 cm de profundidad

La materia orgánica presente en los primeros 30 cm se encuentra en clase MEDIA y disminuye a BAJA en los siguientes 20 cm (Cuadro 3), observándose un comportamiento similar al de los primeros dos horizontes del perfil del suelo (Figura 25). Plan (1995) mencionó que los procesos de degradación se ven beneficiados a lo largo de los años debido a la quema que se da en la caña al inicio de la zafra y a los residuos en la post-zafra. El efecto de la quema en el cultivo de caña de azúcar involucra efectos negativos en las propiedades físicas del suelo, básicamente en la estructura, propiedad que se relaciona con la presencia de poros necesarios para el almacenamiento de agua disponible para las plantas y su movimiento en el perfil, y en el intercambio gaseoso que favorece la exploración radical y crecimiento de los organismos del suelo (OADES, 1984; Krull *et al.*, 2004); en las propiedades químicas se detecta la pérdida de elementos, nutrimentos, principalmente C, N, y S (Raison, 1979) y en las biológicas, la biota del suelo se ve afectada al disminuir en cantidad y calidad la M.O. del suelo. Las quemas en campos de caña pueden, a largo plazo, tener consecuencias desfavorables para la biota al desaparecer, en forma de cenizas, grandes volúmenes de paja cuyo peso se calcula en más de 10 toneladas por cada 100 toneladas de cañaha⁻¹ en el campo (Fernández y Novo 1998). La M.O. es el parámetro que más ha explicado la respuesta a la aplicación de N, recomendándose usarla para la estimación de dosis de fertilización de N, y se encuentra, por su manejo, de manera común en suelos cañeros, en contenidos bajos presentándose una disminución gradual con el paso del tiempo hasta una estabilización relacionada con la resistencia de compuestos carbonados al ataque la fauna del suelo (Montero *et al.*, 2012). La M.O. guarda una estrecha relación con parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo, razón por la que es un indicador confiable para evaluar su fertilidad y/o degradación (Armida-Alcudia *et al.*, 2005). Los valores encontrados de materia orgánica son más altos que los de Salgado *et al.* (2009) en los primeros 30 cm; sin embargo, en los siguientes 20 cm, la M.O. es menor que lo reportado por los anteriores autores.

El P se agrupó en la categoría clase ALTA en ambas profundidades (Cuadro 3), los resultados de este estudio coinciden con los encontrados por otros autores en diferentes zonas cañeras del país (Salgado *et al.*, 2009) y se relacionan estrechamente con las aplicaciones de P fertilizante en cantidades que rebasan las necesidades del cultivo, de hecho, si se considera la densidad aparente del suelo y se hace la estimación de los kg de P en las profundidades 0-30 y 30-50, su contenido estaría en el orden de 57 y 47, respectivamente, cantidades suficientes para una buena respuesta en rendimiento del cultivo (Obrador, 2009).

La CIC tuvo valores que la clasificaron como MEDIA en ambas profundidades, este indicador es una medida importante para la fertilidad química, movilización de los nutrimentos y productividad de los suelos y se encuentra estrechamente relacionada con la MO y las arcillas del suelo (Otero *et al.*, 1998; Mora *et al.*, 1999).

El K decayó de MEDIO (0-30 cm) a MUY BAJO conforme la profundidad fue mayor, este nutrimento es el que más extrae la caña de azúcar y se relaciona estrechamente con la calidad de los jugos (Anderson y Bowen, 1994). Su demanda puede ser alrededor de 282 kg ha⁻¹ (para 100 t de tallos ha⁻¹), más del doble de lo que requiere de nitrógeno (FAO, 2002). Estimando los contenidos de este nutrimento en las dos profundidades se observa que están alrededor de los 250 kg ha⁻¹, razón por la que hay que considerar las aplicaciones de este elemento en dosis requeridas por el cultivo.

El Ca se clasificó como MEDIO y ALTO en las profundidades de 0-30 y 30-50 cm, respectivamente y el Mg tuvo contenido ALTO en ambas profundidades. Estos dos nutrimentos (Ca y Mg), de manera común, no son considerados en las dosis de fertilización en suelos aluviales (Palma, 2007), aunque en la caña de azúcar son acumulados en cantidades considerables, 112 y 70kg ha⁻¹, respectivamente (Rengel *et al.*, 2011), lo que puede deberse a los altos contenidos existentes en algunos suelos (suministro), (Obrador, 2009).

El N total mostró contenido MEDIO y BAJO en las profundidades 0-30 y 30-50 cm, respectivamente, los valores de N total no son un buen parámetro para estimar el suministro nutrimental de N, dado que no se encuentra en forma disponible para la planta (Stevenson, 1982). Las plantas, para su crecimiento y desarrollo, obtienen el nitrógeno de los fertilizantes o a partir de dos procesos microbianos; el primero es el proveniente

de la fijación biológica, es decir la conversión de N₂ atmosférico a N inorgánico por microorganismos del suelo en asociación simbiótica con las plantas. El segundo es la mineralización de N, que es la conversión del N orgánico contenido en materia orgánica del suelo a N mineral, por la biota del suelo, siendo éste el que indica la cantidad disponible para las plantas, aunque es difícil de estimar (Deenik, 2006; Schomberg *et al.*, 2009). Las dosis de fertilización nitrogenada que se aplican al cultivo de caña son más altas que las de P o K y esto responde, en gran medida, a la alta dinámica del N y/o al bajo suministro de este elemento a los suelos cañeros y que se relaciona básicamente con el manejo agronómico del cultivo (Salgado *et al.*, 2009, Valdez *et al.*, 2008).

El pH va de 5.4 a 5.6, valores que indican que el suelo, en general, es moderadamente ácido. El pH ácido afecta directamente la disponibilidad y aprovechamiento de los nutrimentos para las plantas, sobre todo P, Ca y Mg, y de igual manera altera las condiciones para que la microflora del medio se desarrolle adecuadamente. Sin embargo, con los valores encontrados no es necesario aplicar enmiendas calcáreas (cal dolomítica) para elevar el pH o para suplir de Ca y Mg al suelo en estudio.

Cuadro 3. Propiedades químicas de un Cambisol eútrico (arcílico) a dos profundidades, 0-30 cm y 30-50 cm, tomadas con barrena tipo Holandesa.

Nutriente.	Unidad	Profundidad* 1	Clase**	Profundidad* 2	Clase**
Materia Orgánica	(%)	2.3	M	1.33	B
Fósforo Olsen	(mg kg ⁻¹)	15.17	A	12.17	A
Capacidad de intercambio catiónico	(Cmol ₍₊₎ kg ⁻¹)	16.38	M	19.86	M
Potasio	(Cmol ₍₊₎ kg ⁻¹)	0.33	M	-0.01	MB
Calcio	(Cmol ₍₊₎ kg ⁻¹)	9.99	M	12.77	A
Magnesio	(Cmol ₍₊₎ kg ⁻¹)	3.51	A	4.63	A
Nitrógeno total	(%)	0.14	M	0.05	B
pH		5.48	Ma	5.64	Ma
Densidad aparente		1.25		1.3	
profundidad* 1= 0-30 cm profundidad* 2= 30-50 cm					
Clase** A= alta; M= media; B= baja; MB= muy baja; Ma= moderadamente ácida.					

Respecto a la textura, se encontró que en los primeros 30 cm de profundidad, el suelo corresponde a migajón arcilloso, y entre los 30-50 cm siguientes, la textura cambia a arcilla (cuadro 4).

Cuadro 4. Textura de un Cambisol Eútrico (arcillico), a dos profundidades tomadas con barrena tipo Holandesa.

Profundidad	R* Arcilla	L* Limo	A* Arena	Clase textural
0-30 cm	35.04	34.72	30.24	Migajon arcilloso
30-50 cm	41.04	32.72	26.24	Arcilla

*unidad en %.

1.5.3. Altura de la planta de caña de azúcar en fase semilla a la edad de ocho y diez meses

En la Figura 26 se muestra el comportamiento de la altura de la planta de caña de azúcar cuando tiene una edad de ocho meses, en los dos clones. Se encontró que la interacción entre clon-dosis afecta la altura de la planta ($p < 0.0002$), esto sugiere que, ni la dosis ni el clon por sí solos, son de interés sobre esta variable. Se puede observar que el tratamiento FERT. CERO del clon MEX 05-204 (T0-204) obtuvo mayor altura ($p < 0.05$) que el tratamiento FERT. CERO de la variedad MEX 05-223 (T0-223), sin embargo, las parcelas que recibieron la dosis convencional y altas de fertilizante, independientemente del clon, tratamiento FERT. CONVENCIONAL clon CP-204 (TC-204); tratamiento FERT. CONVENCIONAL clon MEX 05-223 (TC-223); tratamiento FERT. ALTA clon MEX 05-204 (TA-204); tratamiento FERT. ALTA clon MEX 05-223 (TA-223), obtuvieron mayor crecimiento ($p < 0.05$) que cuando no recibieron fertilizante (T0-204 y T0-223), pero fueron estadísticamente iguales. Esta respuesta se pudo deber a que, independiente de que cada variedad de caña de azúcar extrae cantidades diferentes de nutrimentos, hay un suministro suficientemente alto para que expresen su potencial en crecimiento (Quintero, 1995) y la aplicación de FERT. CONVENCIONAL es suficiente para mostrar diferencias con la FERT. CERO ($p < 0.05$), y para no mostrarlas con la FERT. ALTA.

($p < 0.05$). Al respecto, Bastida *et al.* (2009) observaron que el tipo de variedad tiene efecto sobre las variables de producción; además, indicaron que las respuestas de las variedades como edad de corte y la interacción variedad-edad de corte, están influenciadas por el efecto del ciclo de cosecha (plantilla o soca), y por el manejo. De la huerta *et al.* (2005) encontraron una altura promedio de 1.67 m en cañas de 11 meses de edad, menor a la registrada en el presente estudio en los clones fertilizados. Los contenidos de M.O. (2.7%) y N (0.14%) encontrados en el suelo en estudio pueden haber favorecido la respuesta a la aplicación de fertilizantes, con contenidos de M.O. inferiores al 3.3 % las planta responden a la fertilización y, por encima de este porcentaje el efecto de la fertilización sobre las variables de producción se reduce o desaparece (Zérega y Hernandez, 1998). El suelo en estudio presenta propiedades sobre todo físicas muy propias para el cultivo de la caña de azúcar (Palma *et al.*, 2007), un manejo adecuado de su fertilidad (física, química y biológica) podría evitar el uso excesivo de fertilizantes (Salgado *et al.*, 2006) y la pérdida de sustentabilidad edáfica.

Los clones del presente estudio alcanzaron alturas promedio entre los 2 y 2.38 m sin recibir N-P-K, valores similares reportaron Silva *et al.* (2009) cuando utilizaron combinaciones entre cantidad de riego y fertilizante proporcionado, encontrando alturas de 1.85 m cuando aplicaron 775 mm de riego más 68 kg de N y 106 kg de K_2O ; y de 2.31 m cuando aplicaron 1065 mm de riego más 156 kg de N y 222 kg K_2O . Existen trabajos en donde se obtuvieron alturas de tallo de 2.41 m y 2.35 m que corresponden a la fertilización con urea y NH_4NO_3 , respectivamente, usadas como fuente de N para proporcionar 180 kg ha^{-1} , alturas que corresponden a plantas que fueron cosechadas a una edad de siete meses (Zérega *et al.*, 1997) cercana a la del presente estudio. Sin embargo, la altura promedio de la planta de caña de azúcar en el presente estudio, resultó mayor que las encontradas por Silva *et al.* (2014), quienes reportaron una altura promedio de 1.6 m a los 8 meses de edad. Las plantas del presente estudio estaban iniciando su mayor crecimiento, ya que se ha documentado que el mayor crecimiento en la altura de la planta de caña de azúcar se logra entre los 240 y 300 DDS. Mite (2005) reporta que la planta de caña de azúcar después de la plantación alcanza, a los ocho meses de edad, un crecimiento que varía entre 65 y 75 % de su altura total y mayor crecimiento de la planta origina una mayor producción de materia seca.

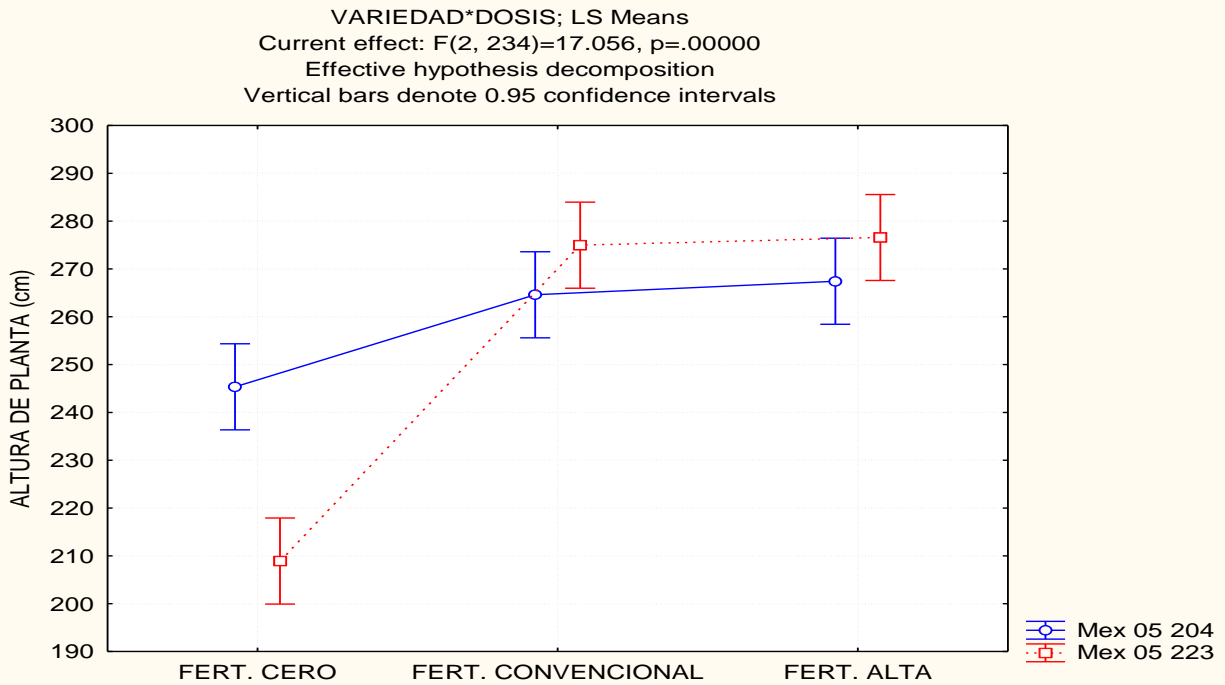


Figura 26. Comportamiento de la altura de la planta de la caña de azúcar en dos clones utilizando diferentes dosis de fertilización a la edad de ocho meses.

A la edad de diez meses esta variable continúa siendo afectada por la interacción entre el clon y la dosis ($p=0.00002$) (Figura 27), y presentado el mismo comportamiento que a los ocho meses de edad (Figura 24). La mayor altura correspondió a los tratamientos donde se aplicó fertilizante (TC-204; TC-223; TA-204; TA-223), aunque entre estos no hubo diferencia ($p>0.05$). Los tratamientos que presentaron menor altura fueron aquéllos donde no se aplicó fertilizante, sin embargo entre éstos sí hubo diferencia estadísticas ($p<0.05$). Se puede observar que cuando se utilizó la FERT. CONVENCIONAL, la altura fue similar que cuando se implementó FERT. ALTA; con base a estos datos, no se recomienda usar la fórmula 200-80-80, ya que esto solo repercutiría en la economía del productor.

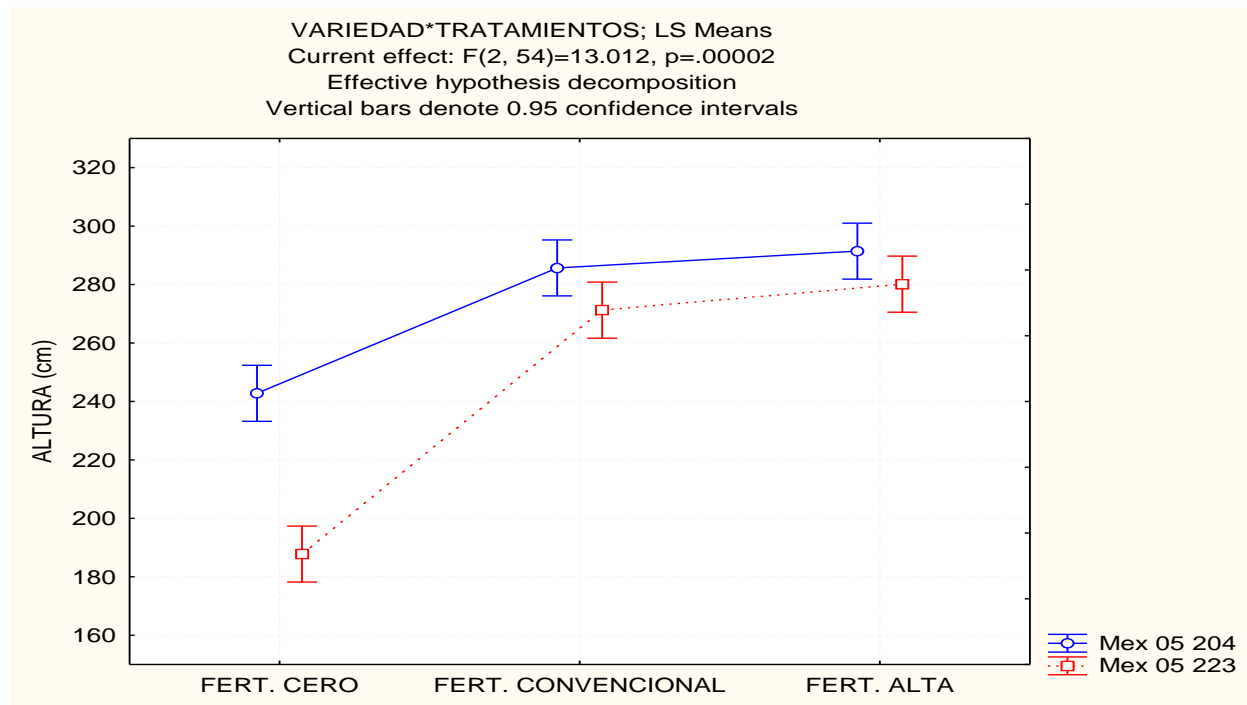


Figura 27. Comportamiento de la altura de la planta de la caña de azúcar en dos clones utilizando diferentes dosis de fertilización a la edad de diez meses.

1.5.4. Diámetro del tallo de la caña de azúcar a la edad de ocho

En la variable diámetro del tallo de caña no hubo efecto de la dosis de fertilización ($p=0.55$), tampoco hubo efecto para la interacción clon-dosis de fertilización ($p=0.32$) a los ocho meses (Figura 28-A), ni a los diez meses ($p=26$) (Figura 28-B).

Sin embargo, esta variable fue influenciada por el tipo de clon (Figura 29), encontrándose que la MEX 05-223 fue la que presentó un mayor diámetro de tallo a los ocho meses de edad ($p<0.0001$), con respecto a la MEX 05-204, cuyos valores promedio fueron 26.2 y 22.8 mm, respectivamente. El efecto del clon sobre el diámetro de tallo corrobora lo reportado por Bastida *et al.* (2009), quienes reportaron efecto de la variedad sobre las variables de producción de caña de azúcar.

El diámetro de tallo alcanzado en el presente trabajo coincide con los registrados en otros trabajos. Valdez *et al.* (2008) reportan diámetros de entrenudo que varían de 2.5 a 3.0 cm para el clon MEX 69-290. De la Huerta *et al.* (2005), evaluando el comportamiento de la caña de azúcar tratada con ENERPLANT y cultivada en suelos Vertisoles, encontró que los tallos presentaron en promedio un diámetro de tallo de 2.48 cm. Del presente

estudio solo el clon MEX 05-204 presentó diámetro de tallo inferior a lo reportado por estos autores. Valores similares fueron obtenidos por Silva *et al.* (2009), quienes reportaron promedios de diámetro del tallo de 23 mm, con un mínimo de 21.6 y un máximo de 24.4 mm cuando las plantas recibieron diferentes regímenes de riego y de fertilización.

Otros (Silva *et al.*, 2014) han encontrado diámetro de tallo de 32.6 mm a los 210 días de plantado, aumentando a 37.9 mm a los 330 días de edad, encontrando además que a partir de los 210 días el diámetro del tallo muestra un aumento, debido a que se encontraba en la etapa de gran crecimiento. Se observó un fuerte efecto que tiene el genotipo sobre esta variable (Figura 29); resultados que sugieren pueden servir para selección de genotipos y con ello aumentar el rendimiento por unidad de espacio.

El diámetro del tallo de la caña de azúcar, cuando se usa como semilla, es una variable importante, pues a mayor grosor, se espera que la planta pueda, por una parte, soportar factores ambientales adversos, y por otra, dar lugar a plantas más vigorosas. En este sentido, el grosor del tallo depende del clon, de la genética, de la morfología y de la fisiología de la planta.

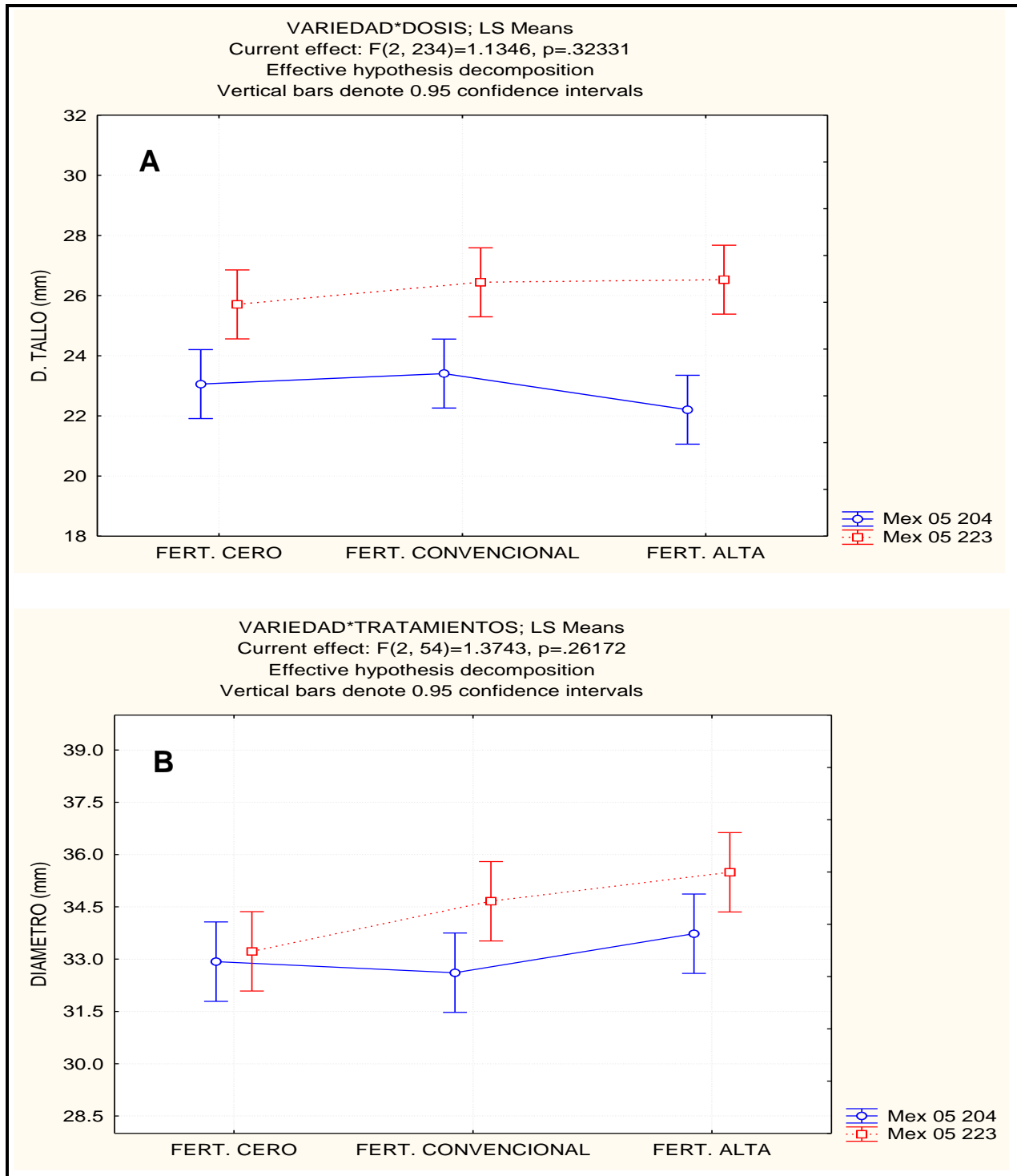


Figura 28 - A y B. Comportamiento del diámetro del tallo en los clones usando diferentes dosis de fertilización a la edad de ocho y diez meses, respectivamente.

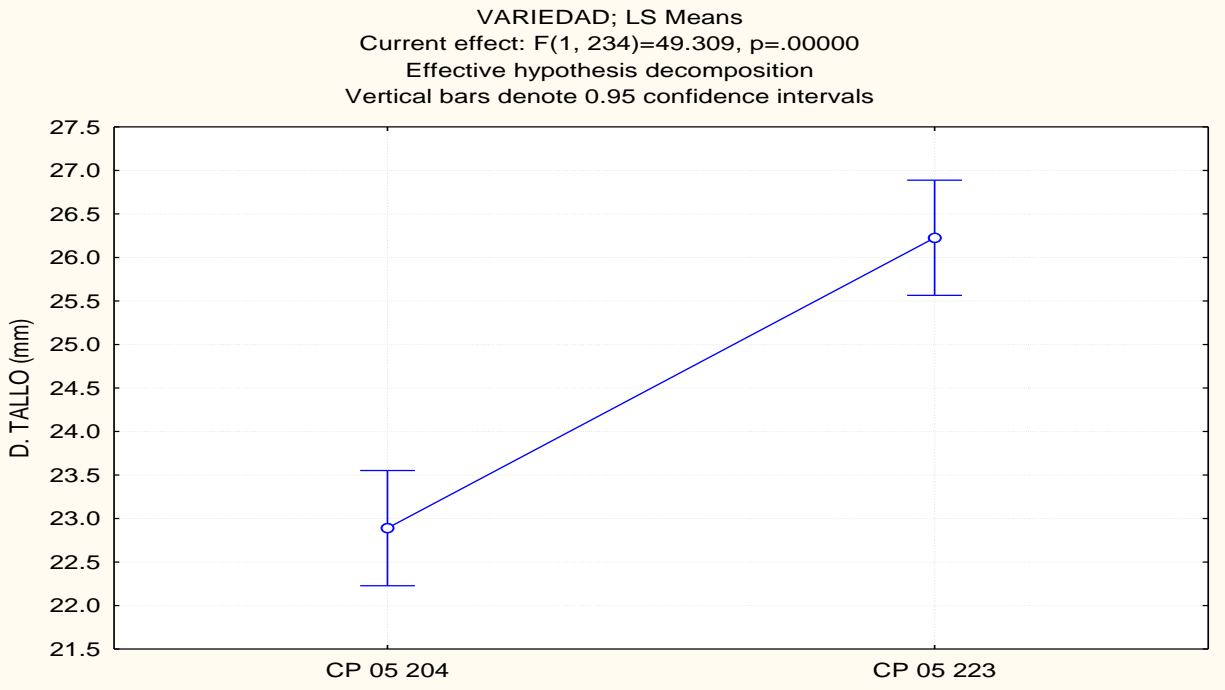


Figura 29. Comportamiento del diámetro del tallo en los dos clones a la edad de ocho meses.

1.5.5. Número de entrenudos de la caña de azúcar a la edad de ocho meses y diez meses

La variable número de entrenudo a los ocho meses no presentó influencia ($p > 0.85$) de la interacción clon-dosis (Figura 30), pero se encontró influencia por los factores principales, clon ($p = 0.0036$) y/o dosis ($p = 0.00005$) (Figura 31 y 32). A los diez meses de edad solo el clon MEX 05-223 presentó efecto estadístico significativo a la aplicación de fertilizante, sin embargo, todos sus valores fueron estadísticamente iguales a los del clon MEX 05-204 (Figura 33).

El número de entrenudos en la caña de azúcar es de suma importancia, ya que en ellos ocurre la división celular que, a su vez, determina la elongación del tallo y su longitud final (Amaya *et al.*, 1995). Otros factores que influyen en la elongación de los tallos en la caña de azúcar son las características morfológicas del clon, por la disponibilidad de agua que tenga el cultivo al momento de crecimiento y desarrollo (Silva *et al.*, 2014). En promedio se tienen longitudes del entrenudo de 14.2 y 13.7 cm para ambos clones MEX 05-223 y MEX 05-204, respectivamente, valor estimado a partir del promedio de la altura

de la planta y dividido entre el número de entrenudos, resultando ser más largos que los reportados por Valdez *et al.* (2008), quienes registraron valores entre 10 y 12 cm.

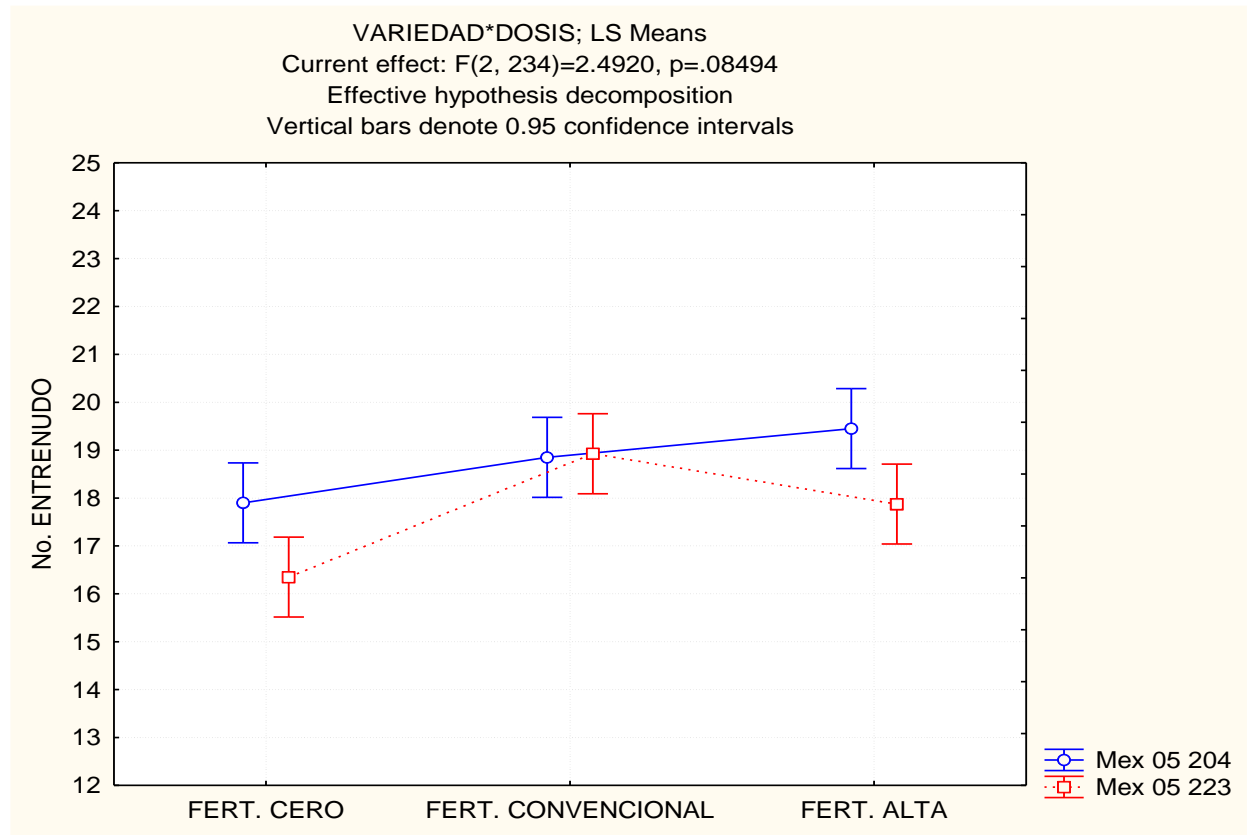


Figura 30. Número de entrenudos en dos clones usando diferentes dosis de fertilización a la edad de ocho meses.

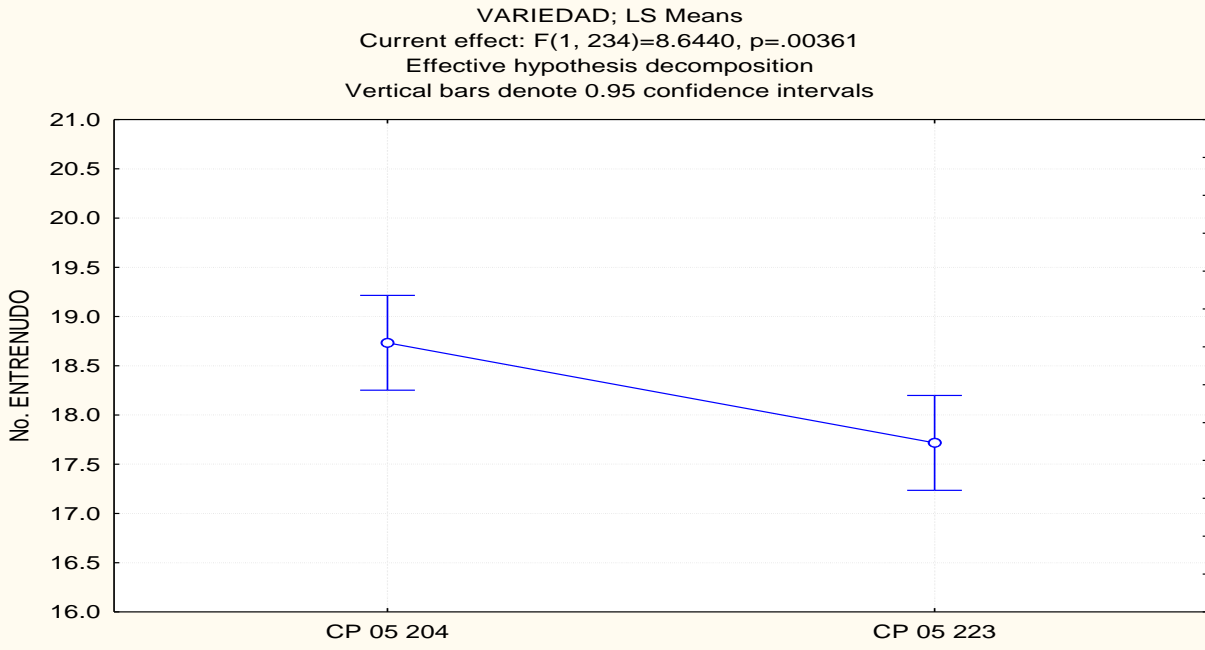


Figura 31. Número de entrenudos en dos clones a la edad de ocho meses.

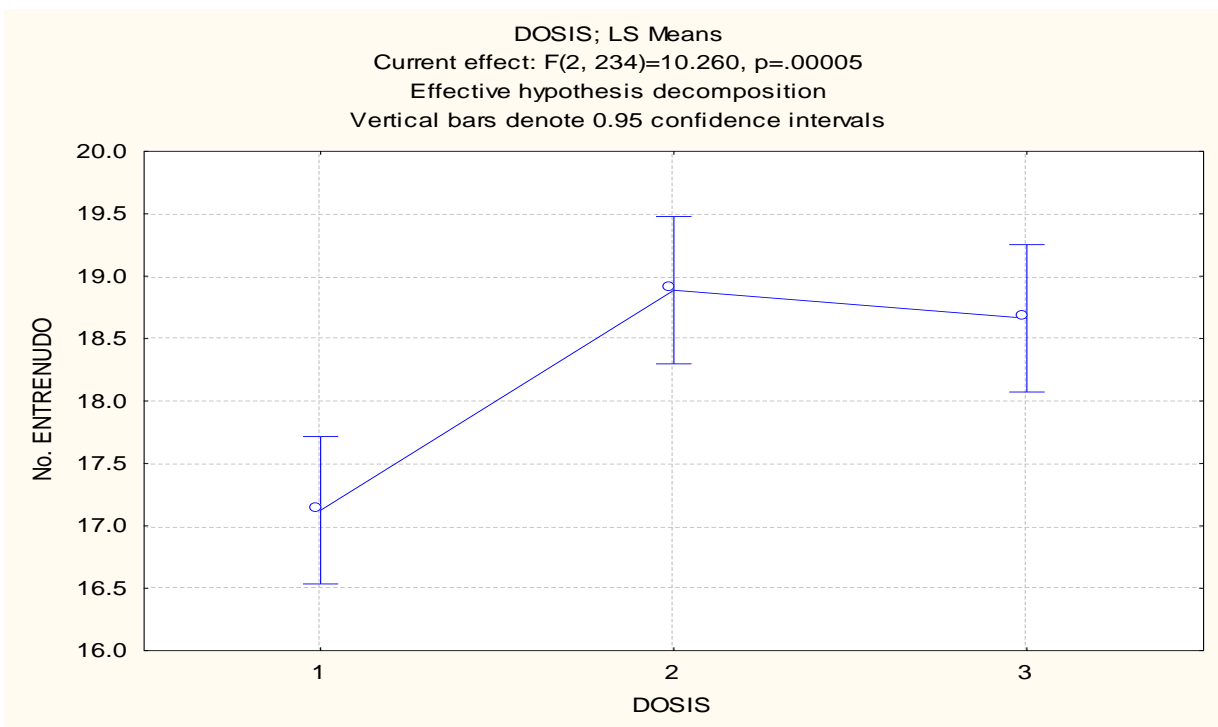


Figura 32. Número promedio de entrenudos usando diferentes dosis de fertilización a la edad de ocho meses.

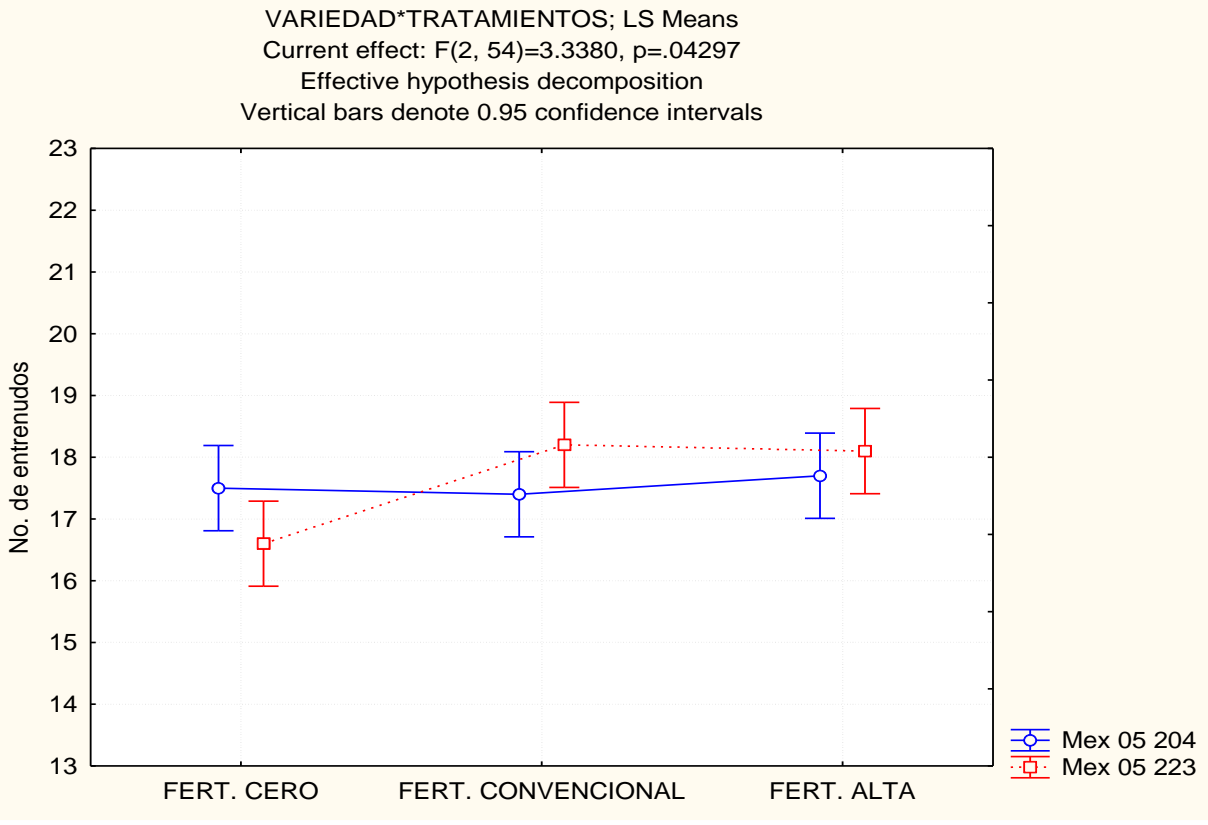


Figura 33. Número promedio de entrenudos en dos clones usando diferentes dosis de fertilización a la edad de diez meses.

1.5.6. Número de hojas de la caña de azúcar a la edad de ocho meses

En la Figura 34 se muestra el número promedio de hojas respecto a la dosis utilizada en dos clones de caña de azúcar, variable que no se vio afectada por la interacción clon-dosis ($p=0.67$); sin embargo, la dosis de fertilizante si influye esta variable ($p<0.01$). Los clones se ven afectadas al aumentar la cantidad de N-P-K, curiosamente los tratamientos donde no se aplicó N-P-K (T0-223, T0-204) presentaron similar cantidad de hojas ($p>0.05$) pero tuvieron mayor cantidad de hojas ($p<0.05$) con respecto a TC-223, TC-204, TA-204 y TA-223, estos cuatro tratamientos no presentaron diferencia en la cantidad de hoja ($p>0.05$). Según Valdez *et al.* (2008) el rendimiento de la caña de azúcar es dependiente de la luz solar, por ser una planta C4 tiene altas tasas fotosintéticas, lo que incrementa el crecimiento del tallo cuando la luz del día dura entre 10 a 14 horas. El incremento del índice de área foliar es rápido del tercer al quinto mes, coincidiendo con la fase de desarrollo del cultivo. Las parcelas que no recibieron fertilizante, presentaron

un mayor número de hojas (Figura 34) aunado aún menor índice de área foliar (Figura 37), no les favoreció para tener un mayor rendimiento de caña por hectárea, respecto a las fertilizadas (Figura 36 y 37) y las de menor número de hojas presentaron mayor índice de área foliar que represento un mayor rendimiento (Figura 35, 36 y 37).

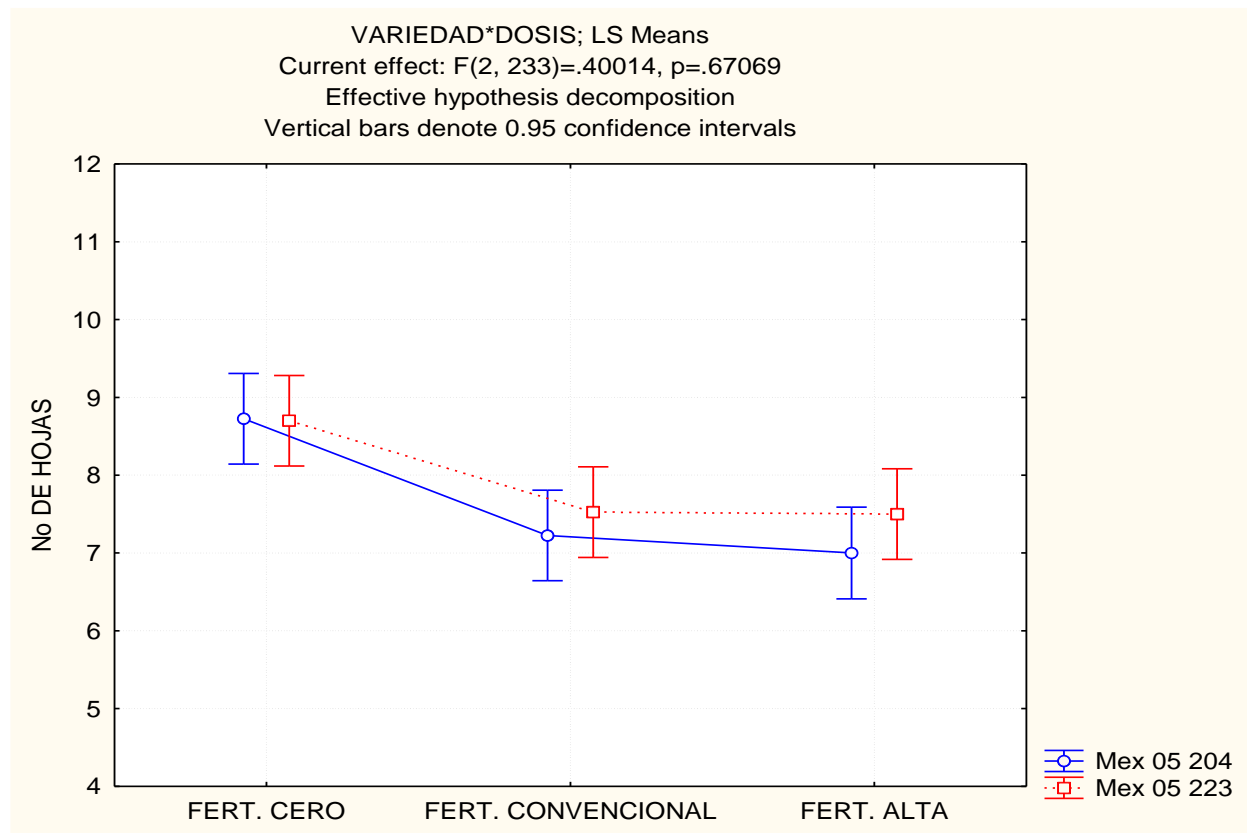


Figura 34. Número de hojas en dos clones de caña a diferentes dosis de fertilización.

1.5.7. Índice de área foliar (IAF) en caña de azúcar a los 10 meses de edad

En la Figura 35, se observa que la interacción clon-dosis afecta el IAF ($p=0.008$). Los tratamientos con menor IAF fueron los tratamientos que no recibieron fertilización en comparación con los que si recibieron (TC-204; TC-223; TA-204; TA-223) ($p=0.0001$). Cuando las plantas del presente estudio tuvieron una edad de ocho meses, aquellos tratamientos que presentaron mayor número de hojas no recibieron fertilizante, observando el IAF obtenido a los diez meses de edad, se puede deducir que el T0-204

y T0-223 tuvieron las hojas más angosta y cortas, debido a que son las que tienen bajos IAF (Figura 33). Wiedenfeld (1997) indicó que altas aplicaciones de N pueden aumentar el IAF, la tasa de crecimiento y el rendimiento de tallos, aunque esto significa un detrimento en la calidad del jugo y los grados brix. Un mayor IAF determinado por la interacción clon-dosis, puede estar provocando un mayor rendimiento por hectárea.

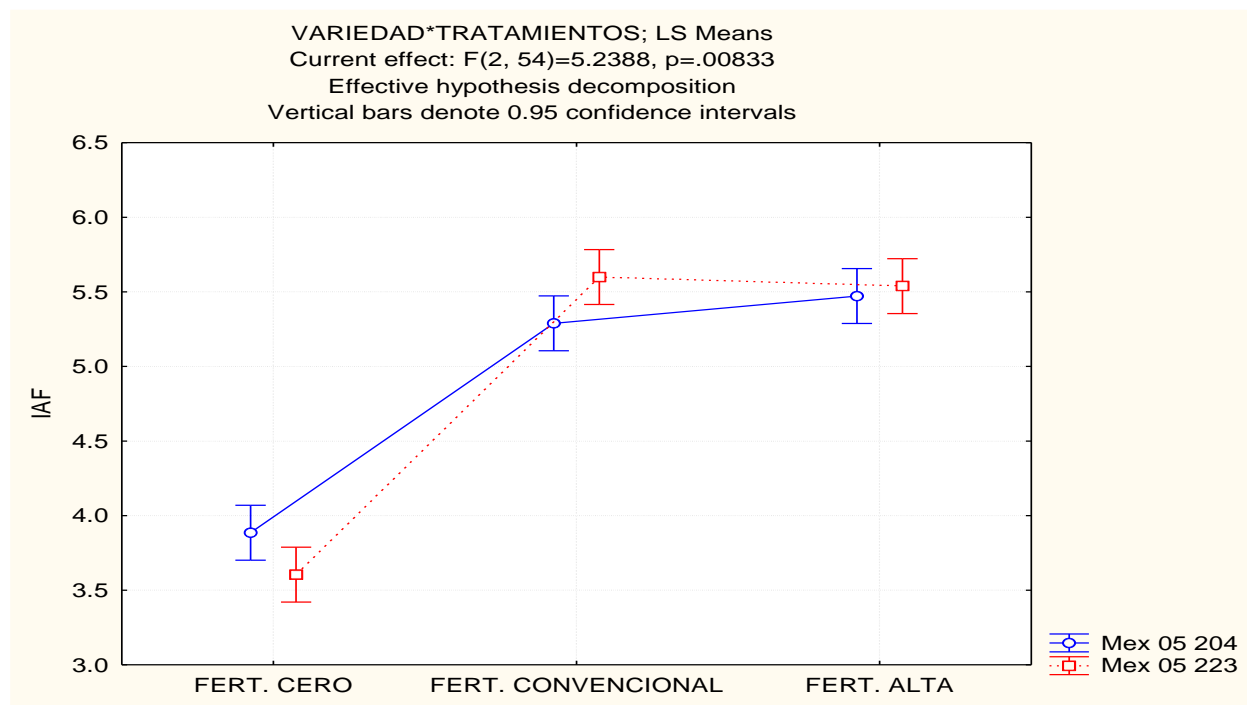


Figura 35. Índice de área foliar en dos clones a diferentes dosis de fertilización a los 10 meses de edad.

1.5.8. Rendimiento de caña de azúcar en dos clones a la edad de 8 y 10 meses

En la Figura 36 se muestra el promedio de toneladas estimadas por hectárea para cada uno de los tratamientos en estudio. Se encontró efecto de la interacción clon-dosis sobre el rendimiento de caña cuando se evaluó a una edad de ocho meses ($p= 0.00000$), es decir, toma importancia la combinación clon usado y la cantidad de fertilizante a implementar sobre el rendimiento. El efecto de cada factor, por sí solo, en este estudio no tiene relevancia alguna sobre el rendimiento por hectárea de caña de azúcar, pues la interacción clon-dosis toma prioridad. Se puede observar que el clon MEX 05-223

respondió de forma lineal a medida que fue aumentando el nivel de N, P y K aplicado (TC-223; TA-223); Al respecto Angulo *et al.* (1993) utilizaron dosis creciente de 0, 50, 100, 150 y 200 kg de nitrógeno, encontrando respuesta lineal en el rendimiento por ha⁻¹, ya que los mejores rendimientos correspondieron a las dosis que estuvieron por encima de los 100 kg ha⁻¹. También este comportamiento lineal fue reportado por Chávez y Arrea (1984), quienes al utilizar dosis de 0, 60, 120, y 180 kg de nitrógeno por hectárea, reportaron que conforme se aumentó la cantidad de nitrógeno aportado, la producción de caña también se incrementa, sin embargo, sugirieron que los mejores rendimientos los obtuvieron cuando se aplicó 180 kg de N ha⁻¹.

Sin embargo, el clon MEX 05-204 mostró comportamiento lineal en el rendimiento cuando se usó la dosis FERT. CONVENCIONAL, pero cuando recibió la dosis FERT. ALTA los rendimientos promedio se redujeron al grado de ser menores a aquellos donde se aplicó la dosis FERT. CONVENCIONAL (Figura 36). Esto contradice aquellos estudios donde se indica que a mayor cantidad de nutrientes se refleja en incremento en la producción (Angulo *et al.*, 1993; Chávez y Arrea 1984). Sin embargo, si se toman de referencia los tratamientos en donde no se aplicó fertilizante, siempre hubo respuesta en los clones utilizados cuando se les aportó N-P-K. (Salgado *et al.*, 2003) aplicando distintas dosis de fertilización y midiendo su efecto sobre el rendimiento durante el ciclo semilla (edad de 18 meses), encontraron que las parcelas donde se aplicó la fórmula 160-80-80 y 200-80-80 fueron las de mejor rendimiento, alcanzando 158.2 y 143.8 t ha⁻¹, respectivamente, cabe aclarar que en el citado trabajo, el rendimiento por hectárea tendió a disminuir el tonelaje cuando se aplicó 200 kg de nitrógeno. Algo similar pudo haber pasado con el clon MEX 05-204, indicando que bajo las condiciones del presente estudio aplicar la dosis 200-80-80 de N-P-K no es conveniente en este clon porque en vez de favorecer, afecta el rendimiento. El rendimiento que reporta en ciclo plantilla, resulta ser de mayor edad que las del presente estudio, siendo entre 11.5 a 18 meses por lo que los rendimientos resultan ser más altos (Bastida *et al.*, 2009; Rengel *et al.*, 2011), debido a que la edad de corte afecta el rendimiento (Bastida *et al.*, 2009). Otro trabajo (Valdez *et al.*, 2008) reportan que al aplicar la dosis 120-80-80 de N-P-K en un suelo Cambisol se estima alcanzar un rendimiento promedio esperado de 90 t ha⁻¹. Valores que el clon MEX 05-223 alcanzó con la dosis 200-80-80 (FERT. ALTA).

En la Figura 37 se muestra el promedio en kilogramos de una determinada cantidad de tallos (20 tallos) por para cada uno de los tratamientos en estudio. No se encontró efecto de la interacción clon-dosis sobre el rendimiento de caña cuando se evaluó a una edad de diez meses ($p= 0.7437$), entre la FERT. CONVENCIONAL y la FERT. ALTA no hay diferencia significativa, lo que nos indica que la planta responde de la misma forma en los tratamientos

Una mayor longitud y diámetro del tallo acarrea un mayor rendimiento de caña de azúcar, sin embargo, éstos son afectados por el clon, edad y ciclo de corte (platilla y soca), en ciclo platilla (bajo un manejo adecuado) se obtienen alrededor de 125 t ha^{-1} , y en ciclo soca alrededor de 95 t ha^{-1} (Valdez *et al.*, 2008). Bastida *et al.* (2009), determinando el rendimiento en varias variedades de caña de azúcar en ciclo planta encontraron rendimiento entre $110\text{-}150 \text{ t ha}^{-1}$ cuando se cortó a una edad de 12 meses, y entre $140\text{-}220 \text{ t ha}^{-1}$ cuando el corte se realizó a una edad de 16 meses; pero en el siguiente corte (soca) a una edad de 12 meses los rendimientos decayeron encontrándose entre $90\text{-}125 \text{ t ha}^{-1}$, y a los 16 meses de edad en fase soca los rendimientos estuvieron entre $70\text{-}105 \text{ t ha}^{-1}$. Salgado *et al.* (2003), trabajando con caña de azúcar en ciclo plantilla, a una edad de 18 meses, encontraron rendimientos de 158 y 144 t ha^{-1} usando fertilizante, y de 87 toneladas cuando el suelo no recibió ninguna fuente de fertilizante.

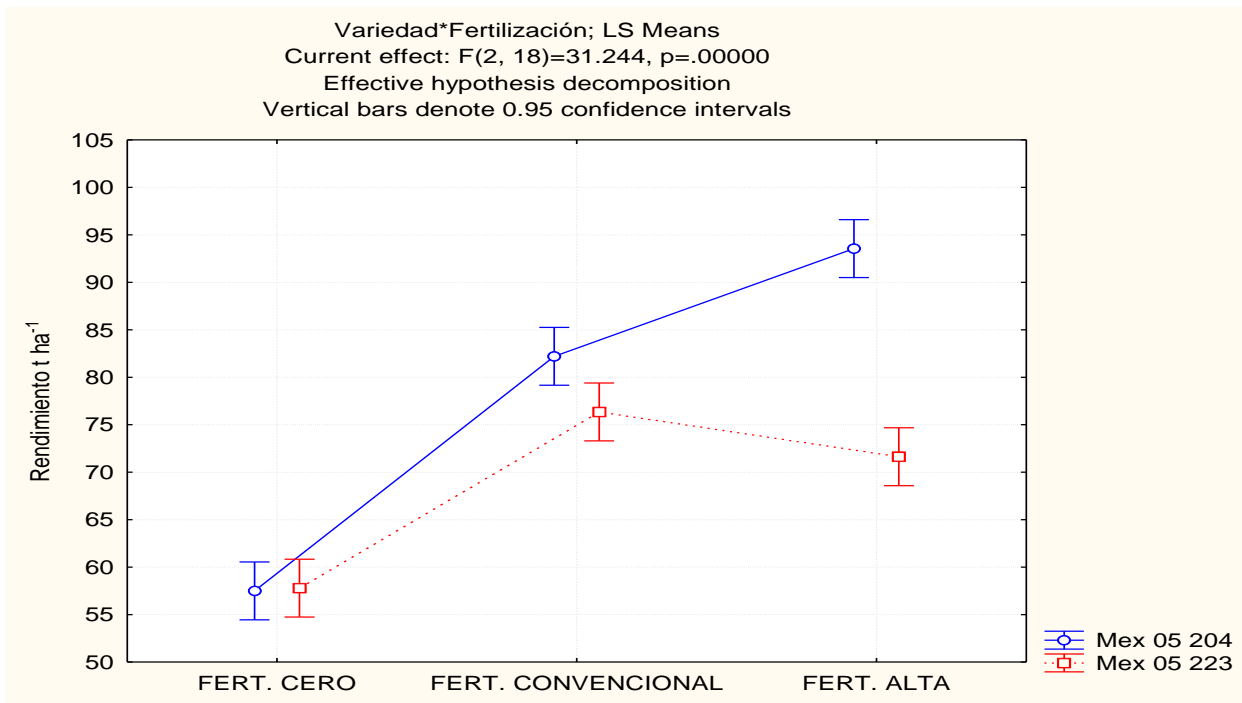


Figura 36. Comportamiento del rendimiento de dos clones de caña con distintas dosis de fertilizantes a la edad de ocho meses.

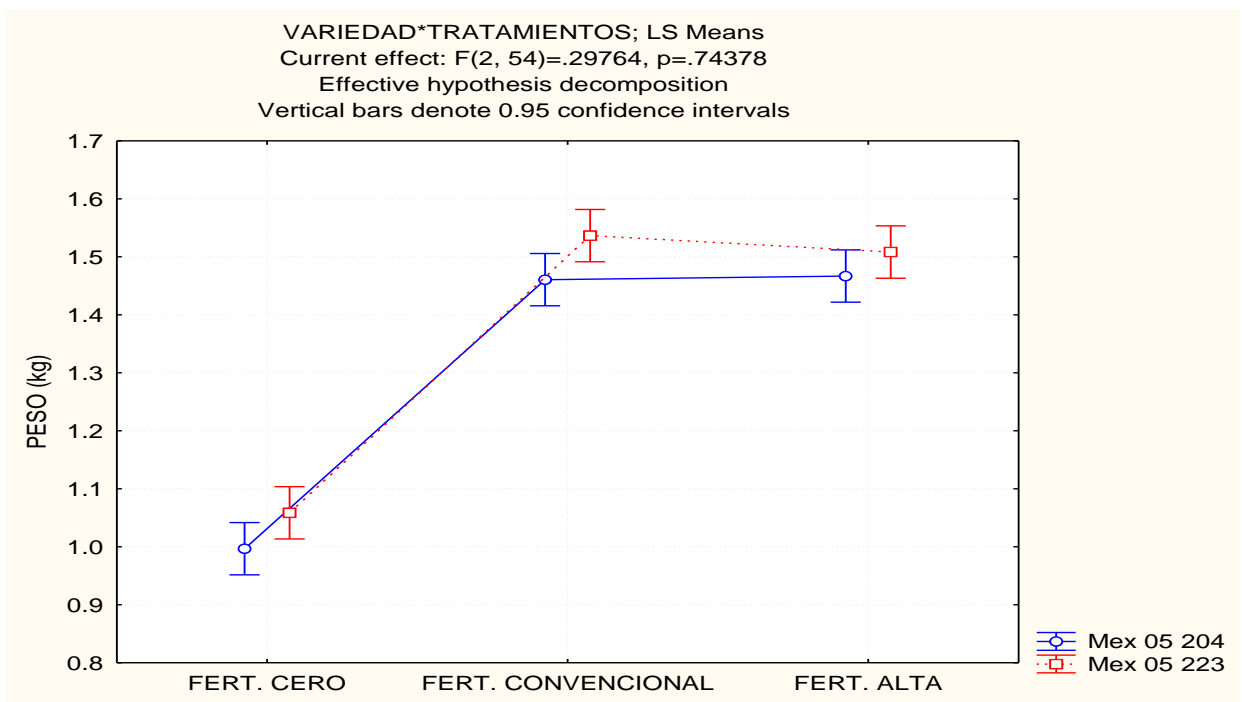


Figura 37. Comportamiento del rendimiento de dos clones de caña con distintas dosis de fertilizantes a la edad de diez meses.

1.5.9. Relación entre el Índice de área foliar y el rendimiento de la caña de azúcar a los diez meses de edad

En la Figura 38 se puede observar que la variable IAF explica en un 80% los rendimientos de tallo alcanzado, es decir, bajo las condiciones del presente estudio, por cada unidad que aumente el IAF, se espera que el rendimiento aumente en 0.2386 kg con una confiabilidad del 80%. Cuando se disminuye la eficiencia fotosintética de la planta puede reducir su altura, la cual es de importancia para el rendimiento (Guerra *et al.*, 2014). Herrera *et al.* (2013) trabajando con una gramínea, zacate *Pennisetum purpureum*, encontraron que para este cultivo, el rendimiento de materia verde se correlaciona con la altura de la planta y con el área de la hoja. Lo observado en las figura 25, 33, 34 y 35 se corroboran lo reportado en los trabajos antes citados.

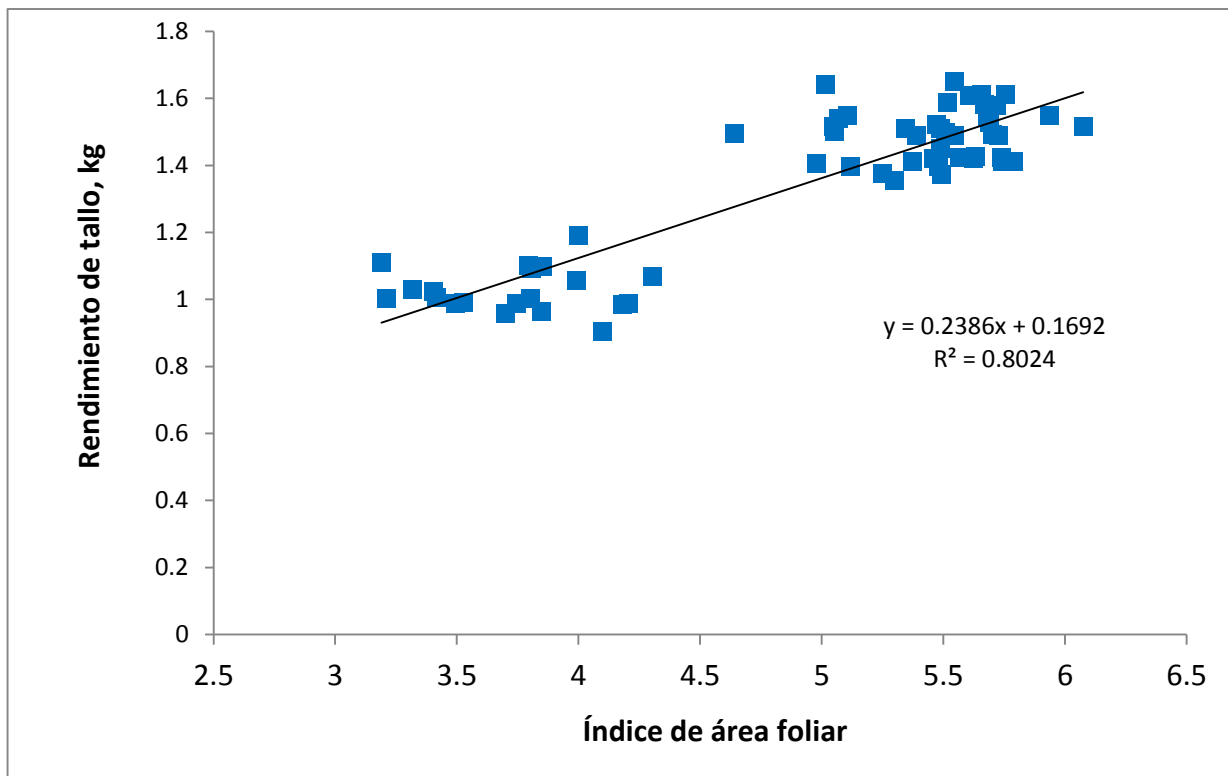


Figura 38. Asociación entre la variable índice de área foliar y rendimiento de tallo a los diez meses de edad.

1.6. CONCLUSIONES

- El efecto de la quema en el cultivo de caña de azúcar involucra efectos negativos en la fertilidad de los suelos, los contenidos de M.O. y N total en el presente estudio sugieren un mejor manejo de los residuos de cosecha, así como también en el reajuste en la dosis de potasio (se encontró en contenido medio y muy bajo) dado que es el elemento nutriente que más exporta el cultivo de caña y el que más se relaciona con la calidad de los jugos, el P se encontró en cantidades importantes probablemente por el historial de fertilización de este elemento, los otros parámetros estudiados presentaron valores suficientes para el óptimo crecimiento y desarrollo del cultivo.
- El rendimiento de tallos molederos en los clones de caña de azúcar (MEX 05-223 y MEX 05-204) en las dos fechas de estudio, incrementó cuando se realizaron aplicaciones de fertilizante siendo la FERT. CONVENCIONAL al menos igual estadísticamente a la FERT. ALTA, la unidad de suelo que involucra sobre todo la fertilidad física y los buenos contenidos de algunos nutrimentos, favorecieron la expresión potencial del rendimiento con la dosis convencional.
- En la fase de semillero evaluada a los ocho meses de edad, la interacción clon-dosis solo mostro influir sobre el rendimiento y sobre la altura de la planta. El número de hojas, el número de entrenudo solo fueron influidas por la dosis utilizada. En el diámetro del tallo no hubo efecto de la dosis, tampoco hubo efecto para la interacción clon-dosis. Sin embargo, esta variable fue influenciada por el tipo de clon, encontrándose que la MEX 05-223 fue la que presentó un mayor diámetro de tallo, con respecto a la MEX 05-204. El rendimiento de caña de azúcar se asocia al IAF con una correlación de un 82%.

1.7. LITERATURA CITADA

- Aguilar R.N., Olvera V.L.A y Galindo M.G. Evaluación de aptitud de tierras al cultivo de caña de azúcar en la Huasteca potosina, México, por técnicas geomáticas. Rev. Geogr. Norte Gd. [online]. 2013, n.55 [citado 2014-08-05], pp. 141-156.
- Alamilla M. J.C. 2012. Efecto de la tensión de humedad en el suelo sobre el rendimiento del cultivo de caña de azúcar. Tesis de maestría en ciencias, Colegio de Postgraduados, Campus Campeche.
- Amaya E.A., Cock J.H., Hernández A del P. E Irvine J.E. 1995. Biología. En: CENICAÑA. El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia, Cali, CENICAÑA-Centro De Investigación de la Caña de Azúcar De Colombia. p. 31-62.
- Anderson D.L. y Bowen J.E. 1994. Nutrición de la Caña de Azúcar. Instituto de La Potasa y El Fósforo A.C. Quito Ecuador. 40. p.
- Angulo M.A., Chávez S.M.A. y Guzmán S.G. 1993. Efecto de cinco dosis de Nitrógeno sobre los rendimientos agroindustriales de tres variedades comerciales de caña de azúcar, promedio de tres cosechas, en un suelo Inceptisol de Guanacaste. Participación de DIECA en el IX Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA. Octubre. p. 140.
- Armida A.L., Espinoza V.D., Palma L.D.J., Galviz S.A. y Salgado G.S. 2005. Carbono en biomasa microbiana y carbono soluble como indicadores de calidad de Vertisoles cultivados con caña azucarera. Terra Latinoamericana 23(4): 545-551.
- Bastida L, Rea R, de Sousa O, Briceño R, Hernández E. 2009. Potencial azucarero y panelero de cinco cultivares de caña de azúcar en el valle de Santa Cruz de Bucaral, estado Falcón, Venezuela. Agronomía Trop 59(2): 137-148.
- Bolton H., Smith J.L. and Wildung R.E. 1990. Nitrogen mineralization potentials of shrub-steppe soils with different disturbance histories. Soil Sci. Soc. Am. J. 54: 887-891.
- Carrillo-Á.E., Vera E.J., Alamilla M.J.C., Obrador O.J.J. y Aceves N.L.A. 2008. Como Aumentar el Rendimiento de la Caña de Azúcar en Campeche. Colegio de Postgraduados, Campus Campeche. 101 p.

- Chávez M. A. y Arrea M. 1984. Efecto de la fertilización con N, P, K en los rendimientos de la caña de azúcar en un ultisol de Turrialba. Congreso Agronómico Nacional, 6, San José Costa Rica. Resúmenes. San José, Colegio de Ingenieros Agrónomos, vol. 1. p. 56-66.
- Chávez S.M. 1999. El Nitrógeno, Fósforo y Potasio en la caña de azúcar. Liga agrícola industrial de la caña de azúcar. Dirección de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar-DIECA. San José, Costa Rica. p. 129.
- Chávez, M. 1999. Nutrición y fertilización de la caña de azúcar en Costa Rica. Conferencia 78. XI Congreso Nacional Agronómico/III Congreso Nacional de Suelos. Costa Rica. pp. 123-214.
- Cova J., Nass H. y Orozco A. 2006. Enfermedades de la caña de azúcar (*Saccharum spp*) presentes en el estado Portuguesa durante el periodo 2003-2005. Revista Digital CENIAP HOY Número 10. Maracay, Aragua, Venezuela. ISSN 1690-4117, Depósito legal 200302ARR1449. URL: www.ceniap.gov.ve/ceniaphoy/articulos/n10/arti/cova_j/arti/cova_j.htm
- Cuánalo de la C.H. 1990. Manual para la descripción de perfiles de suelo en el campo. 3ª ed. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados. Chapingo. 40 p.
- De la Huerta C.M., Fernandez G.L., Saborit S.M., Castillo F.P., Nieto M.M. 2005. Comportamiento de la planta de caña de azúcar tratada con ENERPLANT cultivada en suelos Vertisoles. Revista Electrónica Granma Ciencia. Vol 9 (1): 6 p. ISSN 1027-975X.
- Deenik J. 2006. Nitrogen Mineralization Potential in Important Agricultural Soils of Hawaii, Department of Tropical Plant and Soil Sciences, Soil and Crop Management. 5 pp.
- Díaz M.L.L. y Portocarrero R.E.T. 2002. Manual de producción de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.). Honduras. 148 p.
- Dumanski J. and Pieri C. 2000. Land quality indicators: research plant. Agriculture, Ecosystems and Environment 81: 93-102.
- Epstein H.E., Pareuelo J.M., Piñeiro G., Burke I.C. and Lauenroth W.K. 2006. Interactions of water and nitrogen on primary productivity across spatial and temporal scales in

- grasslands and shrubland ecosystems. pp. 201-216. In: P. D'Odorico and A. Porporato (eds.). *Dryland Ecohydrology*. Springer. Dordrecht, Netherlands.
- FAO. 2002. *Los fertilizantes y su uso*. Cuarta edición, revisada, FAO e IFA. 87 p. Roma, Italia.
- FAO. 2006. *Crop Water Management for Sugarcane*. EN: <http://www.fao.org/landandwater/aglw/cropwater/sugarcane.stm>
- FAOASTAT.2009. *Estadísticas de producción*. <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>.
- FAO STAT.2013 (Division of Statistics. Food and Agriculture). <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>. Consultado: 16/09/2014
- Fernández C. y Novo R. 1998. *La vida microbiana en el suelo*. Ed. Científico Técnica. La Habana, Cuba.
- Flores CS. 1997. *Las enfermedades de la caña de azúcar en México*. pp 143-147.
- Fuchs M., González V., Rea R., Zambrano A.Y., De Sousa V.O., Díaz E., Gutiérrez Z., y Castro L. 2005. *Mejoramiento de la caña de azúcar mediante la inducción de mutaciones en cultivos de callos*. *Agronomía Trop.* 55 (1): pp. 133-149.
- Fullen M.A., and Catt J.A. 2004. *Soil management: problems and solutions*, London.
- García E. 1988. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. 4ta. Edic. Edit. Indianápolis. D. F. México. 246 p.
- Grassl C.O., 1974. *The Origin of the sugar cane*, ISSCT, *Sugarcane Breed. Newsl.*, 34: pp. 10-18
- Guerra A., Barbosa A. de B., Guidorizi K.A., Souza G.M. 2014. *Efectos de temperaturas do arna fotosíntese da cana-de-acúcar na fase inicial do desenvolvimento*. *Revista Agrarian*. Dourados 7(24): pp. 211-217.
- Herrera R.S., García M., Fortes D., Cruz A.M. y Romero A. 2013. *Determinación de indicadores en base húmeda, para explicar la variabilidad entre clones de *Pennisetum purpureum**. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 7(2): pp. 195-199.
- IUSS-WRB. 2007. *Base Referencial Mundial del Recurso Suelo*. Primera actualización 2007. *Informes sobre Recursos Mundiales de suelos No. 103*. FAO, Roma. 130 p.

- Junqueira H., Ocheuze P.C., Vitti A.C., Otto R., Faroni C., Salgado S. 2008. Índices biométricos de la caña-planta relacionados con la fertilización nitrogenada. VII Congreso de técnicos azucareros de Latinoamérica y el caribe. Caña de azúcar: Oportunidades y desafíos para Latinoamérica. Guatemala.
- Junqueira H., Cheuze P., Vitti A., Otto R., Faroni C., y Salgado S. 2008. Producción de tallos y atributos tecnológicos en la cosecha de la caña planta relacionados con la fertilización nitrogenada. VII Congreso Técnicos azucareros de Latinoamérica y el Caribe. Caña de azúcar oportunidades y desafíos para Latinoamérica. Guatemala.
- Krull E., Skjemstad J., and Baldock J. 2004. Functions of Soil Organic Matter and the Effect on Soil Properties: A Literature Review. Report for GRDC and CRC for Greenhouse Accounting. CSIRO Land and Water Client Report. Adelaide: CSIRO Land and Water. Australia.
- LEY DE DESARROLLO SUSTENTABLE DE LA CAÑA DE AZÚCAR Nueva Ley DOF 22-08-2005 <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LDSCA.pdf>.
- López A. y Espinosa J. 1995. Manual de nutrición y fertilización del banano. Quito, Ecuador, Instituto de la Potasa y el Fósforo. 82 p.
- Méndez F. 1993. Determinación del área foliar en plantas de caña de azúcar variedad C-323-68. Maracay 2101. Venezuela. Vol. 11 (2).
- Mite C.J.R. 2005. Curva de absorción de nutrientes del cultivo de caña de azúcar en el Valle de Cantarranas, Compañía Azucarera Tres Valles, Francisco Morazan, Honduras. Tesis .pp 55.
- Montero S.B.; Angarita B.E.; Gutiérrez G.M.; Cobo V.Y.; Villazon G.J.A. 2012. Cultivo continuado en caña de azúcar, características químicas y extracción de nutrientes en Vertisuelos negros. ISSN 1027-675X. Revista Granma Ciencia. Vol 16:(2): 6 p.
- Mora O., Díaz A. y Zérega L. 1999. Fertilidad de suelos cultivados con caña de azúcar (saccharum sp Híbrido) del estado Yarucuy en base a los análisis de suelo. Caña de Azúcar 17. P. 21-36.
- NOM-021-RECNAT-2000. 2002. Norma oficial mexicana que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 85 p.

- OADES J.M. 1984. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management .Plant and Soil 76:319-337.
- Obrador O.J.J. 2009. Labores culturales en el cultivo de caña de azúcar. En: Valdez B. A., Guerrero P.A., García L.E., 2009. Manual para el cultivo y producción de la caña de azúcar. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. H. Cárdenas, Tabasco. México. P. 22-25.
- Ochwoh V., Claassens A. and Jager P. 2005. Chemical changes of applied and native phosphorus during incubation and distribution into different soil phosphorus pools. Communications in Soil Science and Plant Analysis 36: 535-556.
- Ortiz V.B. y Ortiz S.C.A. 1984. Edafología. Chapingo, México. 5ta. Edición. 374 p.
- Otero L., Ortega S. F. y Morales. 1998. Participación de la arcilla y la materia orgánica en la capacidad de intercambio catiónico de Vertisoles de la Provincia Granma. Terra Latinoamericana. Chapingo, México. 16 (003):p.189-194.
- Palma L.D.J., Cisneros D. J., Moreno C. E. y Rincón R. J. A. 2007. Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. Colegio de Postgraduados-ISPROTAB-FUPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México. 199 p.
- Pérez O.G., de Prada F., China A., Bernal N., O'Reilly J.P. 1997. Recursos Genéticos de la caña de azúcar. Instituto Nacional de la Caña de Azúcar. La Habana. Cuba. pp. 10-17.
- Pinochet D., Epple G. y Macdonald R. 2001. Fracciones de fósforo orgánico e inorgánico en un transepto de suelos de origen volcánico y metamórfico. R.C. Suelo Nutr. Veg. 1(2): pp. 58-69.
- Plan S. I. 1995. Labranza y propiedades físicas de los suelos. Efectos de los sistemas de labranza en la degradación y productividad de los suelos. Reunión bienal de la red Latinoamericana de labranza conservacionista. FONAIAP-FOA-ISSS-UNELLEZ-RELACO. p. 26-41.
- Quintero D.R. 1995. Fertilización y nutrición. En: CENICAÑA. El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia, Cali, CENICAÑA. pp. 153-177.
- Raison R.J. 1979. "Modification of the soil environment by vegetation fires with particular reference to nitrogen transformation: a review," Plant Soil 51: 73-108.

- Rangel M., Gil F. y Montaña J. 2011. Crecimiento y dinámica de acumulación de nutrientes en caña de azúcar, I. Macronutrientes. *Bioagro*, 21 (3): 43-50.
- Reeves D.W. 1997. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems *Soil & Tillage Research* 43: pp. 131-167.
- Rengel M., Gil F. y Montaña J. 2011. Crecimiento y dinámica de acumulación de nutrientes en caña de azúcar. I. Macronutrientes. *Biagro* 23(1): pp. 43-50.
- Roach, B. T. and J. Daniels. 1987. "A review of the origin and improvement of sugar cane", *Int. Sugarcane Breeding Work shop. COPERSUCAR, Brazil, June.* pp. 1-33.
- Rodríguez R.M., y Chacón A.M. 1993. Estudio de interacción de nutrimentos (N-P-K) en un suelo Vertisol de Liberia, Guacaste, sobre los rendimientos agroindustriales de la caña de azúcar. Promedio de cuatro mediciones. In: Participación de DIECA en el IX congreso Nacional Agronómico y de recursos Naturales. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA. pp. 144-145.
- Romero E.R., Digonzelli P.A., Scandaliaris J. 2009. Manual del cañero. 1a ed. - Las Talitas : Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres. ISBN 978-987-21283-7-1. 232 p.
- Romero E.R., Scandaliaris J. Tonatto J., Leggio N. M. F., y Alonso Luis. 2005. Emergencia y crecimiento inicial de caña planta de la variedad TUCCP 77-42 en diferentes épocas de plantación. *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán.* ISSN0370-5404. 82(1-2): pp. 37-44.
- Salgado G.S., Nuñez E.R., Bucio A.L. 2003. Determinación de la dosis óptima económica de fertilización en caña de azúcar. *Terra latinoamericana.* Sociedad mexicana de la ciencia del suelo. 21(2): pp. 267-272.
- Salgado G.S., Palma L.D.J., Zavala C.J., Lagunes E.L.C., Castelán E.M., Ortiz G.F., Juárez L.J.F., Rincón R.J.A. y Hernández N.E. 2008. Programa sustentable de fertilización para el ingenio pujiltic, Chiapas, México. *Terra Latinoamericana.* 26 (4): p.361-373.
- Salgado G.S., Palma L.D.J., Zavala C.J., Lagunes E.L.C., Castelán E.M., Ortiz G.F., Juárez L.J.F., Ruiz R.O., Armida A.L. y Rincón R.J.A. 2009. Sistema integrado

- para recomendar dosis de fertilizantes en caña de azúcar (SIRDF): Ingenio Presidente Benito Juárez. Colegio De Postgraduados, Campus Tabasco. H. Cárdenas, Tabasco, México. 84 p.
- Sánchez H. R., Palma L.D.J., Obrador O.J.J. y López N.U. 2014. Efecto de los rastrojos sobre las propiedades físicas y químicas de un suelo Vertisol y rendimientos de caña de azúcar (*saccharum officinarum l.*) en Tabasco, México. INCI [online]. 2003, vol.28, n.7 [citado 2014-08-05], pp. 404-407.
- Sánchez P.A. 1990. Deforestation reduction initiative: An imperative for world sustainability in the twenty first century. In Bouwman, A.E. (ed) Soils and the Greenhouse Effect. New York, USA: John Wiley.
- Sánchez, N.F 1972 Materia Prima: Caña de Azúcar México DF Librería de Porrúa Hnos. y Cia, S.A 583 p.
- Schimel J.P. and Bennett J. 2004. Nitrogen mineralization: challenges of a changing paradigm. Ecology 85: 591–602.
- Schomberg H.H., Wietholter S., Griffin T.S., Reeves D.W., Cabrera M.L., Fisher D.S. 2009. Assessing indices for predicting nitrogen mineralization in soils under different management systems. Soil Sci. Soc. Am. J. 73:1575–1586.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera-Secretaría agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación (SIAP-SAGARPA). 29-09-2014 <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/>
- SIAP-SAGARPA. 2012. (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). Cierre de la producción agrícola por cultivo. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Consultado: http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=184. 07/11/12.
- SIAP-SAGARPA. 2013. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Cierre de la producción agrícola por cultivo. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Consultado: http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=184. 25/10/13.
- SIAP-SAGARPA. 2014. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Cierre de la producción agrícola por cultivo. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola.

Consultado: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/25/09/2014>.

- Silva C.T.S., De Azevedo H.M., De Azevedo C.A.V, Neto J.D, De Carvalho C.M. Filho R.R.G. 2009. Crescimento da cana-de-acucarcom e semiirrigacao complementar sob diferentes niveis de adubacáo de cobertura nitrogenada e potássica. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada 3(1): 3-12.
- Silva N. F., Cunha F.N., De Olivera C.R., Moura L.M. De F., De Moura L.C. Teixeira M.B. 2014. Crescimento da cana-de azúcar sobaplicacaco de Nitrógeno viagotejamentosubsuperficial. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada. 8(1): 1-11.
- Stevenson F.J. 1982. Organicforms of soilnitrogen. pp. 67-122. In F.J. Stevenson (ed.) Nitrogen in agriculturalsoils. Monography N° 22. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, USA.
- Subirós R.F. 2000. El cultivo de la caña de azúcar. 1. Reimpresión de la 1. Ed. San José, C.R.: EUNED. 448 p.
- Thorburn PJ, Webster AJ, Biggs IM, Biggs JS, Staunton SP, Park SE. 2007 Systems to balance production and environmental goals of nitrogen fertilizer management. Proc. Int. Soc. SugarCane Technol. 26: 302-309.
- Valdez B. A., Guerrero P. A., García L. E., Obrador O. J. J. 2008. Manual para el cultivo y producción de la caña de azúcar. Colegio de Postgraduado, Campus Tabasco. Cárdenas, Tabasco. México. 52 p.
- Valdez B.A., Orellana P.P.A., Novisel R.V. y Torres R.D. 2004. Crecimiento, regeneración y radiosensibilidad de callos de caña de azúcar (*Saccharum* spp. híbrido var. "SP 70-1284") tratados con radiación gamma fuente ⁶⁰Co. Biotecnología Vegetal. 4 (3): 165-169.
- Victoria J.I., Calderón, H. 1995. Establecimiento de semilleros y multiplicación de variedades. En: CENICAÑA. El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia, Cali, CENICAÑA. P. 115-129.
- Wiedenfeld R.P. 1997. Sugarcane responses to N fertilizer application on clay soils. J. Amer. Soc. SugarCaneTechnol. 17:14-27.
- Zérega L., Hernández T. 1998. Efecto del nitrógeno orgánico y mineral sobre el rendimiento de la caña de azúcar. Bioagro 10(3): 63-67.

Zérega M.L., Hernández A.T., Valladares G.J., 1997. Efecto de diferentes fuentes de Nitrógeno y Dosis de Magnesio sobre el suelo y el cultivo de caña de azúcar.