

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA**

**FERTILIZANTES DE LIBERACIÓN CONTROLADA EN EL CULTIVO DE  
CAÑA DE AZUCAR (*Saccharum officinarum*) EN LA EMPRESA AZUCARERA  
CHOLUTECA (ACHSA)**

**POR:**

**SELVIN VALENTIN MENDOZA APLICANO**

**TESIS**

**PRESENTADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA COMO  
REQUISITO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:**

**INGENIERO AGRÓNOMO**



**CATACAMAS, OLANCHO**

**HONDURAS, C.A**

**DICIEMBRE 2013**

**FERTILIZANTES DE LIBERACIÓN CONTROLADA EN EL CULTIVO DE  
CAÑA DE AZUCAR (*Saccharum officinarum*) EN LA EMPRESA AZUCARERA  
CHOLUTECA (ACHSA)**

**POR**

**SELVIN VALENTIN MENDOZA APLICANO**

**ESMELYM OBED PADILLA, M Sc.**

**Asesor principal UNA**

**GUILLERMO ROMERO Ing.**

**Asesor principal INGENIO AZUCARERO**

**TESIS**

**PRESENTADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA COMO  
REQUISITO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:**

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**CATACAMAS, OLANCHO**

**HONDURAS C.A.**

**DICIEMBRE 2013**

## **DEDICATORIA**

### **A DIOS TODO PODEROSO**

Sin su ayuda nada hubiese sido posible y por darme las fuerzas necesarias para salir adelante y poder cumplir mis metas, brindándome la sabiduría y paciencia para enfrentar todos los obstáculos, sobre todo darme la salud y contar con el amor de mi familia. Por nunca dejarme de su mano.

### **A MIS PADRES**

**Juan de Dios Mendoza Betanco (Q.D.D.G)** y **María Silvia Aplicano** por brindarme apoyo moral, económico y espiritual en estos cuatro años, quienes han sido mi sustento y mis fuerzas para seguir adelante.

### **A MIS HERMANOS Y SOBRINOS**

Melva Mendoza, Yelva Mendoza y Enma Mendoza, Yarely Mendoza, Sury Mendoza, Selvin Osorto por darme apoyo y cariño en todo momento que lo necesité.

### **A MIS COMPAÑEROS DE LA CLASE “KAYROS”**

Por formar parte de mi vida estudiantil y permitirme vivir momentos de felicidad junto a cada uno de ellos, en especial a Gerardo Meraz, Alex Mejía, Carlos Pagoada, José Madrid, José Morazán, Hedman Mendoza, Francisco Sánchez, Edilberto Sierras, Edil Rodríguez, Mauricio Sánchez, José Sandoval, Maynor Juárez, José Cartagena, Edgar Escoto, Jovany Cardona, Wilberto Cruz, Julián Mendoza, Franklin Meza, José Norales, Perla Navarro, Hannady Melghen, Efraín Flete, y compañeros de lucha de la ®.

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A DIOS TODOPODEROSO**

Reconozco que nadie más pudo regalar y mostrarme su amor en todo momento, brindarme sabiduría, paciencia e inteligencia para alcanzar este gran sueño.

### **A MIS QUERIDOS PADRES**

**Juan de Dios Mendoza Betanco (Q.D.D.G)** y **maría Silvia Aplicano** por mostrarme su amor y darme la guía en la vida que se convirtió en la ruta encaminándome hacia el éxito.

### **AL M. Sc. ESMELYM OBED PADILLA**

Por facilitarme las herramientas de formación necesarias y culminar de la mejor manera esta investigación.

### **AL ING.GUILLERMO ROMERO, ING. BAYARDO MEDAL, ING. MARCOS MARTINEZ**

Por brindarme su apoyo durante el desarrollo del experimento en la empresa azucarera Choluteca (ACHSA).

### **AL M. Sc. RUBEN SINCLAIR Y ING. ROBER RUBI**

Por formar parte y apoyarme en la realización del trabajo de investigación.

## ÍNDICE

|                                                                                      | <b>Pág.</b> |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| ACTA DE SUSTENTACION.....                                                            | i           |
| DEDICATORIA.....                                                                     | ii          |
| AGRADECIMIENTOS.....                                                                 | iii         |
| LISTA DE CUADROS .....                                                               | vi          |
| LISTA DE FIGURAS .....                                                               | vii         |
| LISTA DE ANEXOS .....                                                                | ix          |
| RESUMEN.....                                                                         | x           |
| <b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>                                                         | <b>1</b>    |
| <b>II. OBJETIVOS .....</b>                                                           | <b>1</b>    |
| 2.1. General.....                                                                    | 1           |
| 2.2. Específicos.....                                                                | 1           |
| <b>III. REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>                                             | <b>3</b>    |
| 3.1. Generalidades de la caña de azúcar .....                                        | 3           |
| 3.2. Descripción morfológica de la variedad CP88-1165.....                           | 3           |
| 3.3. Clasificación .....                                                             | 4           |
| 3.4. Fertilización nitrogenada en cultivo de caña .....                              | 4           |
| 3.5. Importancia del nitrógeno (N) en la nutrición de caña.....                      | 5           |
| 3.6. Requerimiento de nitrógeno (N) por el cultivo de caña .....                     | 5           |
| 3.7. Principales pérdidas de nitrógeno (N) .....                                     | 6           |
| 3.7.1. Lixiviación del nitrato .....                                                 | 6           |
| 3.7.2. Desnitrificación .....                                                        | 6           |
| 3.7.3. Volatilización del amonio.....                                                | 7           |
| 3.8. Manejo de la fertilización nitrogenada .....                                    | 7           |
| 3.9. Diferentes momentos de fertilización con nitrógeno (N) en cultivo de caña ..... | 8           |
| 3.10. Fertilizantes nitrogenados.....                                                | 8           |
| 3.10.1. Agrocote .....                                                               | 9           |

|                                                  |    |
|--------------------------------------------------|----|
| <b>IV. MATERIALES Y MÉTODO</b>                   | 10 |
| 4.1. Ubicación del estudio                       | 10 |
| 4.2. Materiales y equipo                         | 10 |
| 4.3. Métodos                                     | 10 |
| 4.4. Diseño experimental                         | 11 |
| 4.5. Fertilización y tratamientos                | 11 |
| 4.6. Variables evaluadas                         | 12 |
| 4.6.1. Macollamiento                             | 12 |
| 4.6.2. Altura y Crecimiento                      | 12 |
| 4.6.3. Número de entrenudos                      | 12 |
| 4.6.4. Longitud y diámetro del entrenudo central | 12 |
| <b>V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>                 | 13 |
| 5.1. Macollamiento                               | 18 |
| 5.2. Altura de la planta                         | 20 |
| 5.3. Diámetro del tallo                          | 23 |
| 5.4. Número de entrenudos                        | 26 |
| 5.5. Longitud de entrenudos                      | 29 |
| <b>VI. CONCLUSIONES</b>                          | 13 |
| <b>VII. RECOMENDACIONES</b>                      | 13 |
| <b>VIII. BIBLIOGRAFIA</b>                        | 35 |
| <b>ANEXOS</b>                                    | 38 |

## LISTA DE CUADROS

| No.              | Descripción                                                                                                                                                                            | Pág. |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| <b>Cuadro 1.</b> | Descripción de los tratamientos a evaluar. ....                                                                                                                                        | 11   |
| <b>Cuadro 2.</b> | Promedio para las variables macollamiento, altura de la planta (cm),<br>diámetro de tallo (cm) según el muestreo y los tratamientos aplicados en el<br>cultivo de caña de azúcar. .... | 15   |
| <b>Cuadro 3.</b> | Promedio para las variables número de entrenudos, longitud de entrenudos<br>(cm)según el muestreo y los tratamientos aplicados en el cultivo de caña de<br>azúcar. ....                | 17   |

## LISTA DE FIGURAS

| No.               | Descripción                                                                                                                                   | Pág. |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| <b>Figura 1.</b>  | Comportamiento del número de macollas en el cultivo de caña de azúcar según la fecha de muestreo realizada. ....                              | 18   |
| <b>Figura 2.</b>  | Número promedio de macollas en el cultivo de caña de azúcar según la fecha de fertilizante aplicado. ....                                     | 19   |
| <b>Figura 3.</b>  | Tendencia del número de macollas en el cultivo de caña de azúcar para el tipo de fertilizante aplicado según la fecha de muestreo. ....       | 20   |
| <b>Figura 4.</b>  | Comportamiento de altura de la planta (cm) en el cultivo de caña de azúcar según la fecha de muestreo realizada.....                          | 21   |
| <b>Figura 5.</b>  | Promedio de altura de la planta en el cultivo de caña de azúcar según la fecha de fertilizante aplicado. ....                                 | 22   |
| <b>Figura 6.</b>  | Tendencia de altura de la planta en el cultivo de caña de azúcar para el tipo de fertilizante aplicado según la fecha de muestreo. ....       | 23   |
| <b>Figura 7.</b>  | Comportamiento de diámetro del tallo (cm) en el cultivo de caña de azúcar según la fecha de muestreo realizada. ....                          | 24   |
| <b>Figura 8.</b>  | Promedio de diámetro del tallo en el cultivo de caña de azúcar según la fecha de fertilizante aplicado. ....                                  | 25   |
| <b>Figura 9.</b>  | Tendencia de diámetro del tallo (cm) en el cultivo de caña de azúcar para el tiempo de fertilizante aplicado según la fecha de muestreo. .... | 26   |
| <b>Figura 10.</b> | Comportamiento del número de nudos en el cultivo de caña de azúcar según la fecha de muestreo realizada.....                                  | 27   |
| <b>Figura 11.</b> | Promedio de número de nudos en el cultivo de caña de azúcar según la fecha de fertilizante aplicado. ....                                     | 28   |
| <b>Figura 12.</b> | Tendencia del número de nudos en el cultivo de caña de azúcar para el tipo de fertilizante aplicado según la fecha de muestreo. ....          | 29   |

|                                                                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 13.</b> Comportamiento de longitud de entrenudos en el cultivo de caña de azúcar según la fecha de muestreo realizada. ....                        | 30 |
| <b>Figura 14.</b> Promedio de longitud de entrenudos en el cultivo de caña de azúcar según la fecha de fertilizante aplicado. ....                           | 31 |
| <b>Figura 15.</b> Tendencia de longitud de entrenudos en el cultivo de caña de azúcar para el tipo de fertilizante aplicado según la fecha de muestreo. .... | 32 |

## LISTA DE ANEXOS

| No               | Descripción                                                       | Pág. |
|------------------|-------------------------------------------------------------------|------|
| <b>Anexo 1.</b>  | Análisis de varianza para la variable macollamiento. ....         | 39   |
| <b>Anexo 2.</b>  | Análisis de varianza para la variable altura de planta.....       | 39   |
| <b>Anexo 3.</b>  | Análisis de varianza para la variable Diámetro de tallo. ....     | 40   |
| <b>Anexo 4.</b>  | Análisis de varianza para la variable número de entrenudos.....   | 40   |
| <b>Anexo 5.</b>  | Análisis de varianza para la variable longitud de entrenudos..... | 41   |
| <b>Anexo 6.</b>  | Toma de datos para la variable macollamiento. ....                | 41   |
| <b>Anexo 7.</b>  | Toma de datos para la variable altura de la planta.....           | 42   |
| <b>Anexo 8.</b>  | Toma de datos para la variable diámetro del tallo.....            | 42   |
| <b>Anexo 9.</b>  | Toma de datos para la variable número de entrenudo. ....          | 43   |
| <b>Anexo 10.</b> | Toma de datos para la variable longitud de entrenudos. ....       | 43   |

**Mendoza Aplicano, SV. 2013.** Fertilizantes de liberación controlada en el cultivo de caña de azúcar (*saccharum officinarum*) en la empresa azucarera Choluteca (ACHSA). Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional de Agricultura. 43 p.

## **RESUMEN**

Con el objetivo de evaluar el efecto de la aplicación de diferentes fuentes de fertilizantes de liberación controlada sobre los componentes agronómicos en el cultivo de caña de azúcar (*saccharum officinarum*), se implementó un ensayo en el municipio de Marcovia Choluteca. Se utilizó un diseño completamente al azar con dos tratamientos y cuatro repeticiones (8 unidades experimentales). Las unidades experimentales estaban formadas de cuatro surcos de diez metros de longitud cada uno, distanciados entre surco a 1.60 m., el espacio de cada unidad experimental fue de 2 m. El área de cada tratamiento comprendió 220.8 m<sup>2</sup>. El área total del experimento fue de 533.6 m<sup>2</sup>, con una densidad de 84,962.5 plantas por Mz. Los tratamientos evaluados fueron fertica liberación controlada y fertica convencional. Las variables evaluadas fueron macollamiento, altura de planta, diámetro del tallo, número de entrenudos y longitud de entrenudos. La aplicación de Fertica liberación controlada presento mayor altura en la planta (74.80 cm), el mayor número de entrenudos (3.81) y la mayor longitud de entrenudos (33.73). El fertilizante fertica convencional presento el mayor número de macollas (7.08) y el mayor diámetro del tallo con (1.58 cm) aunque estadísticamente fueron similares. Según análisis económico el fertilizante fertica liberación controlada resulto ser la fuente de N más rentable en cultivo de caña de azúcar.

**Palabras claves:** Nitrógeno, Caña de azúcar, Fertica liberación controlada, Fertica convencional.

## I. INTRODUCCIÓN

Los fertilizantes de liberación controlada contienen nutrientes en alguna forma tal que su disponibilidad para la absorción y uso por las plantas se demora luego de su aplicación, o que su disponibilidad para las plantas se extiende por un tiempo suficiente en comparación a los “nutrientes de rápida disponibilidad” de otros fertilizantes tales como el nitrato de amonio o urea (AAPFCO 2005).

En caña de azúcar se ha encontrado que la eficiencia de uso de los fertilizantes nitrogenados por parte del cultivo es baja comparada con la eficiencia de otros cultivos. Varios autores han encontrado eficiencias de utilización que van desde 17 a 40 por ciento dependiendo de factores climáticos, edáficos y de manejo (Vallis and Keating, 1996; Chapman et al. 1994; Trivelin et al. 1995). En Guatemala con la utilización de métodos isotópicos de  $^{15}\text{N}$  se han encontrado eficiencias de 27 a 37 por ciento en suelos de alta fertilidad natural (Cengicaña, 1997).

El cultivo de caña de azúcar representa una de las principales actividades económicas de Honduras. La especie de mayor importancia en el ámbito mundial es *Saccharum officinarum* (FAO 2010).

En este contexto y con la finalidad de mejorar la eficiencia de uso de los fertilizantes por parte del cultivo de caña de azúcares realizará la presente investigación dado que el cultivo posee altos requerimientos nutricionales. Se ha demostrado en la práctica que este cultivo rápidamente agota los suelos, siendo necesario un programa adecuado de fertilización, que restituya al suelo lo extraído por la planta, o lo que se haya perdido a través de inundaciones, sequías, quemas, erosión y otros factores.

## **II. OBJETIVOS**

### **2.1. General**

- ✓ Evaluar el efecto de diferentes fuentes de fertilizantes de liberación controlada sobre los componentes agronómicos en el cultivo de caña de azúcar.

### **2.2. Específicos**

- ✓ Determinar el comportamiento agronómico del cultivo de caña de azúcar (macollamiento, altura y crecimiento, número de entrenudos, longitud y diámetro del entrenudo central.) según la fuente de fertilizante controlado aplicado.
- ✓ Encontrar la fuente de fertilizante de liberación controlada con la mayor rentabilidad para el cultivo de caña de azúcar en las condiciones evaluadas.
- ✓ Comparar el efecto de los dos fertilizantes en cuanto el crecimiento y desarrollo de la planta.

### **III. REVISIÓN DE LITERATURA**

#### **3.1. Generalidades de la caña de azúcar**

Este vegetal presenta un tallo aéreo herbáceo, duro pero algo flexible y tiene una altura entre 1.5 m. y 3 m. de alto y 4 cm de diámetro de color variable. Las flores están dispuestas en una gran panoja también llamada flecha, de 30 cm a 90 cm de alto. Las hojas son largas y anchas. Es en el tallo donde se encuentra el jugo azucarado constituido fundamentalmente por sacarosa y agua (INTA 2002).

La caña de azúcar se cultiva en terrenos de aluvión siendo su reproducción mediante semillas imposible, debido a que las mismas rara vez llegan a la madurez. Así que la multiplicación se realiza mediante estacas o estolones que se cortan del extremo del tallo que es menos rico en sacarosa. Luego se plantan los estolones en la tierra previamente arada donde se los dispone a una distancia de 1.5 m entre cada una y se los cubre con la tierra blanda dejando una de las puntas hacia afuera. La tarea de plantación de caña de azúcar se extiende desde abril y hasta que comienzan a caer las primeras heladas (esto es en el hemisferio sur, en Argentina) para luego cosechar el año siguiente en la misma época (INTA 2002).

#### **3.2. Descripción morfológica de la variedad CP88-1165**

Es regular deshoje natural, hábito de crecimiento de tallos semierectos, follaje escaso. Los entrenudos son de color rojizo, forma de crecimiento curvado ligeramente en zigzag, posee un canal en el lado de la yema en todo el largo del entrenudo, todos los tallos se rajan. Los nudos son en forma de crecimiento obconoidal en el lado opuesto de la yema, yema ovalada con alas, Anillo de crecimiento semiliso.

La vaina es regula desprendimiento, color verde con manchas moradas y rojas, poca presencia de afate. La lámina foliar tiene un borde semiliso. La aurícula es en forma lanceolada larga y corta en la misma vaina, lígula creciente lineal. El cuello es de color verde oscuro, Superficie lisa (Orozco, H *et al* .2004).

### **3.3. Clasificación**

La clasificación taxonómica de la caña de azúcar es la siguiente: (Innvista, 2002).

Reino: Vegetal

División: Magnoliophyta

Clase: Angiospermae

Sub-clase: Monocotyledoneae

Súper Orden: Commelinidae

Orden: Commelinales

Familia: Poaceae

Género: Saccharum

Especie: officinarum L.

### **3.4. Fertilización nitrogenada en cultivo de caña**

Del total del nitrógeno encontrado en la capa superficial del suelo, el 90 % está combinado orgánicamente y el resto es el nitrógeno inorgánico que puede ser aprovechado por las plantas (Bergamasco sf).

La aplicación de fertilizantes nitrogenados tiene el propósito de complementar el nitrógeno edáfico para satisfacer la demanda del cultivo; sin embargo el uso inapropiado de estos insumos aumenta la cantidad de nitrato residual en el suelo y el riesgo de su posterior lixiviación, independientemente si se trata de fertilizantes sintéticos u orgánicos (Arévalo, G *et al* sf).

### **3.5. Importancia del nitrógeno (N) en la nutrición de caña**

El nitrógeno es uno de los constituyentes más importantes de la planta, formando parte de aminoácidos, proteínas y otros componentes orgánicos. Su deficiencia produce un amarillamiento de las hojas, cepas de poco vigor y una reducción drástica del rendimiento de la caña de azúcar. Los principales efectos derivados de la aplicación del nitrógeno en el cañaveral, se evidencian en un mayor y más rápido macollaje (mayor población de tallos), como también en un mayor crecimiento vegetativo (más follaje y mayor altura y peso por tallo), lo que permite determinar un mayor rendimiento en caña y azúcar por hectárea (Romero *et al* 2004).

Más del 50% del nitrógeno total utilizado por la caña es aportado por la mineralización de la materia orgánica del suelo y el resto debería ser aportado por la fertilización. Pero solo entre el 20% y el 50% del Nitrógeno aplicado como fertilizante es utilizado por la caña de azúcar. La eficiencia de recuperación del nitrógeno está estrechamente relacionada con los tonelajes de caña obtenidos por hectárea. El fertilizante nitrogenado más utilizado es la urea (46% Nitrógeno), aunque actualmente también se está utilizando fertilizantes líquidos como el UAN (32 % Nitrógeno) (Romero *et al* 2004).

### **3.6. Requerimiento de nitrógeno (N) por el cultivo de caña**

Los requerimientos y suplencia de nitrógeno al cultivo de la caña de azúcar dependen del ciclo, de la variedad, de los rendimientos esperados del suelo, del clima y de la presencia de limitaciones como mal drenaje, compactación y salinidad, entre otros. Según Anderson (1997), la cantidad de nitrógeno removida para una producción de 100 toneladas de caña/ha (TCH) varía de 75 a 335 kg por hectárea (Zereza y Hernández 1998).

### **3.7. Principales pérdidas de nitrógeno (N)**

Según Leonard (1981).El problema es que las temperaturas tropicales y sub-tropicales siempre están suficientemente altas para fomentar la conversión rápida del N amonio en N nitrato por los microbios del suelo. La mayoría de los abonos de tipo amonio son cambiados completamente en nitrato lixiviable dentro de una semana en suelos calientes. Las pérdidas de nitrógeno por lixiviación crecen a medida que aumenta el nivel de lluvias y de suelos arenosos. La mejor manera de prevenir la lixiviación excesiva es aplicando una parte del abono durante la siembra y el resto más tarde en el ciclo de crecimiento.

La pérdida de nitrógeno (N) por volatilización del gas amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) puede ser la principal causa de la baja eficiencia de algunos fertilizantes amoniacales. Dichas pérdidas son el resultado de numerosos procesos químicos, físicos y biológicos, cuya magnitud es afectada por factores de ambiente, suelo y manejo tales como temperatura, pH del suelo, capacidad de intercambio catiónico (CIC), materia orgánica, cobertura, viento, tensión de vapor superficial y la dosis y localización del fertilizante (Ferraris 2010).

#### **3.7.1. Lixiviación del nitrato**

Según Addiscott (1990) la lixiviación del nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) consiste en el movimiento de este anión por el agua gravitacional a través del perfil del suelo. Por lo tanto, es un proceso físico irreversible que implica la pérdida de N del sistema de producción sin posibilidad de que retorne a la zona de exploración de las raíces. (Arévalo, G *et al* 2007).

#### **3.7.2. Desnitrificación**

Es un proceso de pérdida gaseosa de N que se favorece en condiciones de falta de oxígeno y alta presencia de nitratos. Al no haber oxígeno, los microorganismos utilizan el ion nitrato como receptor de elementos de electrones y lo reducen a NO,  $\text{N}_2\text{O}$  y  $\text{N}_2$ . En esta forma se escapa a la atmósfera.

Esta pérdidas se agravan con la presencia de suelos compactados y arcillosos, logrando perder por esta vía de 5 al 50% de N. Por tal razón, no se debe aplicar la totalidad del fertilizante nitrogenado en una sola aplicación y en el caso de cultivos de ciclo largo, como la caña de azúcar, en la fase inicial de crecimiento, se recomienda utilizar fuentes amoniacales (Moreno 2010).

### **3.7.3. Volatilización del amonio**

Es la pérdida de gas amoníaco desde el suelo. Bajo condiciones alcalinas los iones amonio son convertidos a moléculas de amoníaco en solución las cuales después pueden ser liberadas a la atmósfera del suelo (Zagal s.f.).

La volatilización es el proceso por el cual el Amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) puede ser perdido como Amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) a la atmósfera desde la solución del suelo. Este Nitrógeno(N) puede provenir de la mineralización del Nitrógeno orgánico del suelo o del Nitrógeno contenido en fertilizantes aplicados al suelo (Aloe y Toribio 2008).

### **3.8. Manejo de la fertilización nitrogenada**

Los fertilizantes nitrogenados de uso común contienen relaciones variadas de nitrato y amonio, sin embargo las bacterias del suelo oxidan rápidamente el amonio a nitrato en suelos bien aireados y de buena temperatura que favorecen el crecimiento del maíz. Por esta razón, el nitrato es la forma del N absorbida predominante por las plantas de maíz, independiente de la fuente de N aplicada (Below s.f.).

El lugar de colocación del abono nitrogenado está muy relacionado con la movilidad del fertilizante en el suelo, con la distribución del sistema radicular y con el propósito de evitar o reducir las pérdidas de nitrógeno por lavado y volatilización (en forma gaseosa a la atmósfera). (Romero *et al* 2004).

### **3.9. Diferentes momentos de fertilización con nitrógeno (N) en cultivo de caña**

La época de fertilización es uno de los principales factores que modifican el beneficio de la fertilización, ya que el gasto es el mismo para diferentes fechas de aplicación, pero no resulta similar el retorno, expresado en la mayor producción de caña y azúcar.

El momento de fertilizar el cañaveral con N se relaciona con el ritmo de absorción que tiene la caña de azúcar, la que es máxima en sus tres primeros meses de crecimiento (brotación y macollaje) y es capaz de absorber más N del que necesita, almacenándolo en sus tejidos. Luego, este N es removilizado para atender, junto al N aportado por el suelo, los elevados requerimientos de la fase de gran crecimiento. Este concepto sustenta la necesidad de que la fertilización nitrogenada debe practicarse temprano y asociado al crecimiento inicial del cañaveral.

El lugar de colocación del abono nitrogenado está muy relacionado con la movilidad del fertilizante en el suelo, con la distribución del sistema radicular y con el propósito de evitar o reducir las pérdidas de N por lavado y volatilización (en forma gaseosa a la atmósfera).

En este aspecto resulta necesario señalar que es más importante aplicar el fertilizante en época, aún con suelo seco (incorporándolo), que demorar la aplicación en espera de condiciones adecuadas de humedad. La urea incorporada estará almacenada en el suelo, esperando las primeras lluvias para disolverse, transformarse y estar a disposición de las raíces en la oportunidad óptima para el aprovechamiento del cultivo (Romero *et al.* sf).

### **3.10. Fertilizantes nitrogenados**

Más del 50% del nitrógeno total utilizado por la caña es aportado por la mineralización de la materia orgánica del suelo y el resto debería ser aportado por la fertilización. Pero solo entre el 20% y el 50% del Nitrógeno aplicado como fertilizante es utilizado por la caña de

azúcar. La eficiencia de recuperación del nitrógeno está estrechamente relacionada con los tonelajes de caña obtenidos por hectárea.

El fertilizante nitrogenado más utilizado es la urea (46% Nitrógeno), aunque actualmente también se está utilizando fertilizantes líquidos como el UAN (32 % Nitrógeno) (Romero *et al* 2004).

### **3.10.1. Agrocote**

Los fertilizantes agrocote están 100% recubierto con tecnología de poli-S avanzado, el rango Agrocote de nitrógeno y productos de potasio con azufre añadido proporcionan hasta 6 meses de liberación controlada de nutrientes.

#### **3.10.1.1. Agrocote 37-0- 0**

Este fertilizante contiene un 37% de N 0%P 0%K con un 13% de S, puede utilizar como una única aplicación o con mayor frecuencia mezclado con otros fertilizante, las características de esta fórmula son: el promedio del granulo (mm) 2.7, densidad Calc ( $\text{kg/m}^3$ ) 1089-1185 y liberación en 5-6 meses.

#### **3.10.1.2. Agrocote 38-0-0**

Este fertilizante contiene un 37% de N 0%P 0%K con un 13% de S, puede utilizar como una única aplicación o con mayor frecuencia mezclado con otros fertilizante, las características de esta fórmula son: el promedio del granulo (mm) 2.6 densidad Calc ( $\text{kg/m}^3$ ) 780-850 y liberación en 3-4 meses.

## **IV. MATERIALES Y MÉTODO**

### **4.1. Ubicación del estudio**

El ensayo se realizó en la Azucarera Choluteca (ACHSA) ubicada en San José Los Magos Municipio de Marcovia a 18 km al Departamento de Choluteca (Anexo 11). El cual cuenta con una precipitación promedio anual de 1,176.27 mm, humedad relativa de 60.2%. La velocidad del viento asciende a 12.6 km/hora, con una temperatura mínima de 23.9 °C, la media es de 30.1 °C y la temperatura máxima oscila hasta los 35°C. Los ensayos se montaron entre 13 y 17 msnm.

### **4.2. Materiales y equipo**

Se utilizó maquinaria agrícola para la preparación del suelo, cabuya, bolsas, estacas, etiquetas de identificación, machetes, azadones. La semilla de caña la constituye un trozo de tallo con tres yemas como máximo, fertilizantes sintéticos como: Agrocote 37 N encapsulado, Agrocote 38 N encapsulado. Para las respectivas mediciones se usó un pie de rey, cinta métrica.

### **4.3. Métodos**

Para evaluar el efecto del aporte de N de diferentes fuentes nitrogenadas en el crecimiento y desarrollo del cultivo de caña se estableció un experimento con un diseño completo al azar (Anexo 10). Las fuentes que se utilizó contienen diferentes concentraciones de N las cuales se aplicaron solo una vez al cultivo a los 40 días después de emergido.

#### 4.4. Diseño experimental

Se utilizó el modelo estadístico lineal para un diseño completamente al azar.

El modelo matemático para el análisis será:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}.$$

$Y_{ij}$ : Es la observación de la i-esimo tratamiento del j-esimo repetición.

$\mu$ : Media general.

$T_i$ : Es el efecto de la i-esimo tratamiento.

$E_{ij}$ : Es el término de error aleatorio independiente y supuestamente distribuido normal con media cero y varianza conocida.

#### 4.5. Fertilización y tratamientos

El sistema de aplicación de los fertilizantes se hizo mecanizada a los 40 días después de haber emergido los brotes de caña, la dosis por hectárea estará regulada de acuerdo a los resultados del análisis de los suelos de dichas parcelas. Se utilizó dos fuentes de N: Agrocote 37 N encapsulado, Agrocote 38 N encapsulado. Se realizó una mezcla con Agrocote para formar dos fertilizante como ser: Fertica liberación controlada (CRF) 30-6.8-0-0-6.0 SO<sub>4</sub> + 0.7 Zn + 0.3 B, Fertica convencional 30-7-0-0-11.0 S<sub>04</sub> + 0.7 Zn +0.3 B (Cuadro 1, Anexo 7).

**Cuadro 1.** Descripción de los fertilizantes a aplicar.

| Tratamientos | Fuentes de N                        | No. Repeticiones | Dosis qq/ha | Momento de aplicación       |
|--------------|-------------------------------------|------------------|-------------|-----------------------------|
| T1           | Fertica liberación controlada (CRF) | 4                | 12          | 40 días después de emergido |
| T2           | Fertica convencional                | 4                | 14          | 40 días después de emergido |

## **4.6. Variables evaluadas**

### **4.6.1. Macollamiento**

Se midieron contando los brotes cuando estos estén emitiendo del tallo de la planta (Anexo 12).

### **4.6.2. Altura y Crecimiento**

Para la toma de la altura se marcaron algunas plantas en el centro de las unidades experimentales y se llevó la secuencia de su crecimiento esto se realizó midiendo desde la base del tallo hasta la última lígula visible, se utilizó dicha medición con una cinta métrica. (Barrios 1999) (Anexo 13).

### **4.6.3. Número de entrenudos**

Se contaron una vez que estos sean visibles después de haber emergido y empezado el proceso de elongación de la caña (Anexo 15).

### **4.6.4. Longitud y diámetro del entrenudo central**

Se contaron al azar un promedio de 20 plantas de cada unidad experimental a las cuales se les midieron la longitud del entrenudo central haciendo uso de una cinta métrica y el diámetro mediante el uso del pie de rey (barrios 1999) (Anexo 14, Anexo 16).

## **V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

El ensayo se realizó en los plantíos de caña de azúcar de la empresa Azucarera Choluteca (ACHSA), ubicada en el municipio de Marcovia departamento de Choluteca, en los meses de Junio a Agosto de 2013, en los cuales se presentó una mínima precipitación con temperaturas promedios de 32 °C. Los resultados de las medias obtenidas para cada una de las variables propuestas durante la investigación, en el (Cuadro 2) demuestran que para la variable macollamiento se obtuvo 6.45, altura de la planta 70.57 cm, diámetro de tallo 1.57 cm. Los coeficientes de variación son bastante aceptables ya que todos son menores del 20% lo que significa que hubo una mayor homogeneidad entre los tratamientos y se pudo controlar el error experimental.

En el Cuadro 2, se observan los promedios obtenidos para las variables macollamiento, altura de la planta (cm), diámetro de tallo (cm), según la fecha de muestreo para cada tratamiento, en todas las variables antes mencionadas se puede observar que hubo diferencia entre los tratamientos estadísticamente significativa de ( $P < 0.05$ ) (Anexo 1, 2 y 3).

En la variable de macollamiento se observa que el fertilizante fertica convencional resulto ser más eficiente en comparación con el fertilizante de liberación controlada desde el primer muestreo hasta que se finalizó la evaluación, el fertilizante convencional por ser de muy rápida liberación pudo haber influenciado en cuanto a la rápida absorción de los nutrientes por la planta y por consiguiente la planta tuvo su respuesta mostrando mayor número de macollas.

En cuanto a la altura de la planta se muestra que hubo mayor respuesta con el fertilizante de liberación controlada, mostrando un crecimiento más rápido en comparación con el fertilizante convencional, esto debido a que las plantas con este fertilizante de liberación controlada mostraron menos macollas por lo que tenían más disponibilidad de los nutrientes para su crecimiento, también las pocas macollas por planta favorecieron a una mayor penetración de rayos solares que es indispensable para su crecimiento.

La variable diámetro de tallo en ambos fertilizantes se mantuvo constante en los primeros cuatro muestreos, para en quinto y sexto muestreo se empezó a ver diferencias mostrando el fertilizante convencional un mayor grosor en el tallo de las plantas superior a las tratadas con liberación controlada, en el séptimo y octavo muestreo realiza el fertilizante de liberación controlada supero al fertilizante convencional, esto debido que para esa fechas hubo presencia de lluvias lo que favoreció a que se liberara más nutrientes de dicho fertilizante a ello se le puede atribuir su eficiencia, para el muestreo final el fertilizante convencional mostro un diámetro de tallo mayor.

**Cuadro 2.** Promedio para las variables macollamiento, altura de la planta (cm), diámetro de tallo (cm) según el muestreo y los tratamientos aplicados en el cultivo de caña de azúcar.

| Fecha de muestreo                                                                      | Fertilizante aplicado         | Macollamiento | Altura de la planta (cm)      | Diámetro de tallo (cm) |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|---------------|-------------------------------|------------------------|
| 19-jun                                                                                 | Fertica convencional          | 5.93a         | 20.00b                        | 0.00                   |
|                                                                                        | Fertica liberación controlada | 4.50b         | 26.17a                        | 0.00                   |
| 29-jun                                                                                 | Fertica convencional          | 6.19a         | 23.52b                        | 0.00                   |
|                                                                                        | Fertica liberación controlada | 5.28b         | 31.48a                        | 0.00                   |
| 07-jul                                                                                 | Fertica convencional          | 6.98a         | 40.97b                        | 0.00                   |
|                                                                                        | Fertica liberación controlada | 6.25b         | 51.50a                        | 0.00                   |
| 19-jul                                                                                 | Fertica convencional          | 7.78a         | 62.60b                        | 2.21a                  |
|                                                                                        | Fertica liberación controlada | 6.35b         | 73.94a                        | 2.16b                  |
| 29-jul                                                                                 | Fertica convencional          | 8.36a         | 78.45b                        | 2.45a                  |
|                                                                                        | Fertica liberación controlada | 7.19b         | 91.12a                        | 2.33b                  |
| 08-ago                                                                                 | Fertica convencional          | 7.53a         | 81.36b                        | 2.52b                  |
|                                                                                        | Fertica liberación controlada | 6.53b         | 90.80a                        | 2.58a                  |
| 18-ago                                                                                 | Fertica convencional          | 6.66a         | 101.73b                       | 2.66b                  |
|                                                                                        | Fertica liberación controlada | 5.11b         | 108.31a                       | 2.69a                  |
| 28-ago                                                                                 | Fertica convencional          | 7.21a         | 122.01b                       | 2.77a                  |
|                                                                                        | Fertica liberación controlada | 5.38b         | 125.09a                       | 2.74b                  |
| <b>ANAVA</b>                                                                           |                               |               |                               |                        |
| Media General                                                                          |                               | 6.45          | 70.57                         | 1.57                   |
| Muestreo                                                                               |                               | **            | **                            | **                     |
| Tratamiento                                                                            |                               | **            | *                             | ns                     |
| Muestreo x Tratamiento                                                                 |                               | ns            | ns                            | ns                     |
| C.V                                                                                    |                               | 4.53          | 7.1                           | 8.87                   |
| R <sup>2</sup>                                                                         |                               | 73.6          | 95.4                          | 99.1                   |
| Letras iguales representan valores estadísticamente similares entre fechas de muestreo |                               |               |                               |                        |
| **= Altamente significativo (P<0.01)                                                   |                               |               | *= Significativo (P<0.05)     |                        |
| ns= No significativo (P>0.05)                                                          |                               |               | C.V= Coeficiente de variación |                        |
| R <sup>2</sup> = Coeficiente de determinación                                          |                               |               |                               |                        |

En el Cuadro 3, presenta los resultados de las medias obtenidas para cada una de las variables propuestas durante la investigación, demuestran que para la variable, número de entrenudos 3.63, longitud de entrenudos 31.10 cm. Los coeficientes de variación son bastante aceptables ya que todos son menores del 20% lo que significa que hubo una mayor homogeneidad entre los tratamientos y se pudo controlar el error experimental (Cuadro 3).

En el Cuadro 3, se observan los promedios obtenidos para las variables número de entrenudos, longitud de entrenudos (cm) según la fecha de muestreo para cada tratamiento, en todas las variables antes mencionadas se puede observar que hubo diferencia entre los tratamientos estadísticamente significativa de ( $P < 0.05$ ) (Anexo 4 y 5).

Para las variables número de entrenudos y longitud de entrenudos en los dos fertilizantes evaluados se muestra que se mantuvieron constante durante los primeros tres muestreos, del cuarto muestreo hasta el final de la evaluación se observó que el fertilizante fertica liberación controlada fue más eficiente en comparación con el fertica convencional en ambas variables, esto pudo haber sido que para esas fechas hubo una menor cantidad de brotes en la planta lo que favoreció para obtener mayor cantidad de nudos, longitud de entrenudos.

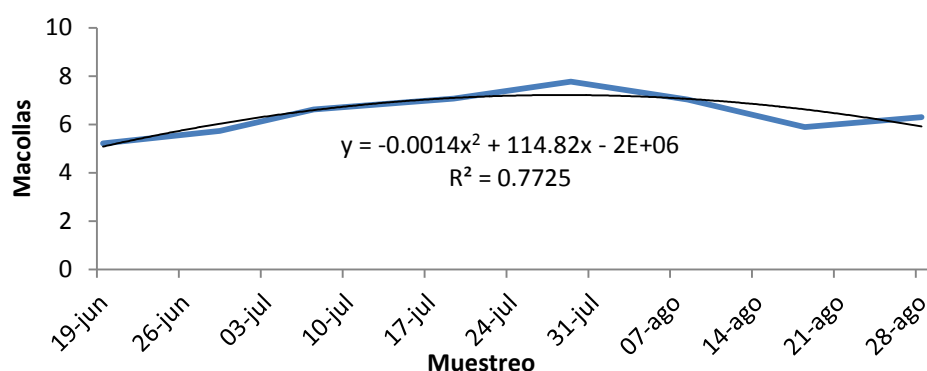
**Cuadro 3.** Promedio para las variables número de entrenudos, longitud de entrenudos (cm) según el muestreo y los tratamientos aplicados en el cultivo de caña de azúcar.

| Fecha de muestreo                                                                     | Fertilizante aplicado         | Número de entrenudos          | Longitud de entrenudos (cm) |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| 19-jun                                                                                | Fertica convencional          | 0.00                          | 0.00                        |
|                                                                                       | Fertica liberación controlada | 0.00                          | 0.00                        |
| 29-jun                                                                                | Fertica convencional          | 0.00                          | 0.00                        |
|                                                                                       | Fertica liberación controlada | 0.00                          | 0.00                        |
| 07-jul                                                                                | Fertica convencional          | 0.00                          | 0.00                        |
|                                                                                       | Fertica liberación controlada | 0.00                          | 0.00                        |
| 19-jul                                                                                | Fertica convencional          | 3.30b                         | 22.48b                      |
|                                                                                       | Fertica liberación controlada | 4.30a                         | 32.06a                      |
| 29-jul                                                                                | Fertica convencional          | 4.50b                         | 32.79b                      |
|                                                                                       | Fertica liberación controlada | 5.38a                         | 45.71a                      |
| 08-ago                                                                                | Fertica convencional          | 5.24b                         | 39.86b                      |
|                                                                                       | Fertica liberación controlada | 5.74a                         | 46.25a                      |
| 18-ago                                                                                | Fertica convencional          | 6.85b                         | 60.19b                      |
|                                                                                       | Fertica liberación controlada | 6.95a                         | 67.51a                      |
| 28-ago                                                                                | Fertica convencional          | 7.71b                         | 72.51b                      |
|                                                                                       | Fertica liberación controlada | 8.16a                         | 78.26a                      |
| <b>ANAVA</b>                                                                          |                               |                               |                             |
|                                                                                       | Media General                 | 3.63                          | 31.1                        |
|                                                                                       | Muestreo                      | **                            | **                          |
|                                                                                       | Tratamiento                   | **                            | *                           |
|                                                                                       | Muestreo x Tratamiento        | ns                            | ns                          |
|                                                                                       | C.V                           | 9.23                          | 9.67                        |
|                                                                                       | R <sup>2</sup>                | 99.1                          | 95.6                        |
| Letras iguales representan valores estadísticamente similares entre fecha de muestreo |                               |                               |                             |
| **= Altamente significativo (P<0.01)                                                  |                               | *= Significativo (P<0.05)     |                             |
| ns= No significativo (P>0.05)                                                         |                               | C.V= Coeficiente de variación |                             |
| R <sup>2</sup> = Coeficiente de determinación                                         |                               |                               |                             |

## 5.1. Macollamiento

En la Figura 1, se ilustran los resultados obtenidos para la variable, número de macollas en la cual se presenta el comportamiento de los dos tratamientos de fertilizantes, fertica convencional y fertica liberación controlada en el cultivo de caña de azúcar, el coeficiente de determinación es bastante aceptable ya que cuenta con 77% lo que significa que hubo una homogeneidad considerable entre los tratamientos y se pudo controlar el error experimental.

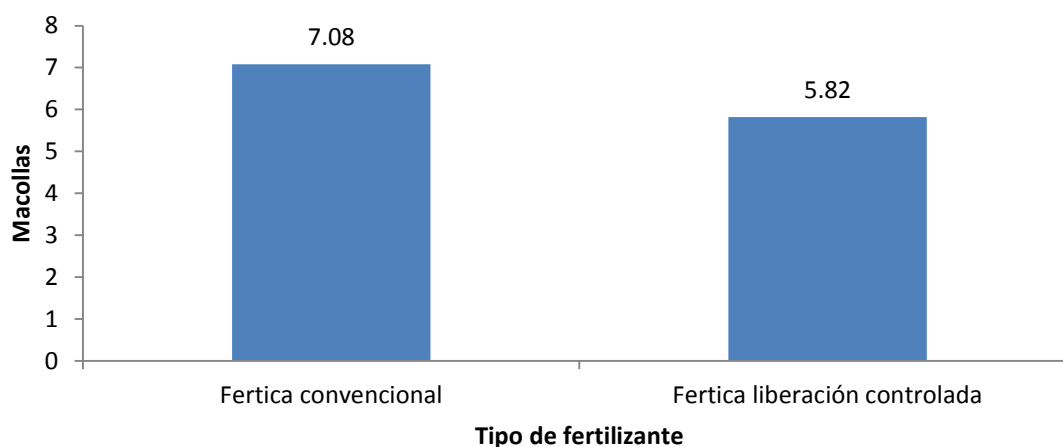
El número de macollas tiene una tendencia cuadrática observándose durante 42 días, después de la aplicación del tratamiento se obtuvo el mayor número de macollas para el 31 de julio y tendiendo a disminuir durante pasaba el tiempo y luego tiende ascender el número de macollas, para el 28 de agosto podemos atribuir esta variabilidad de ascendencia y descendencia al factor lluvia. Según Riveros y Herrera (2008), para que ocurra la reacción inicial en los fertilizantes de liberación controlada es necesario que haya disponibilidad de agua en el suelo ya que este debe de tener una humedad optima constante para su liberación, lo que afecto ya que en el tiempo que se realizó el experimento las lluvias fueron irregulares por lo que se puede observar que en los picos más altos de numero de macollas el fertilizante estaba actuando debido a las lluvias presentes en esos días.



**Figura 1.** Comportamiento del número de macollas en el cultivo de caña de azúcar según la fecha de muestreo realizada.

La variable número de macollas se observa en la Figura 2, que la mayor cantidad de macollas lo obtuvo el tratamiento con fertilizante fertica convencional con 7.07 macollas mientras que el fertilizante fertica liberación controlada presento 5.82 macollas, por lo que para la variable de macollamiento es más eficiente el fertilizante fertica convencional.

Se puede observar en la Figura 2, la urea suministrada al cultivo mediante la fórmula fertica convencional se aprovechó mejor y la absorción es más rápido por las plantas en comparación con la formula fertica liberación controlada, por lo que sus efectos en el número de macollas es mayor y se observan con facilidad en un periodo corto de tiempo después de fertilizado el cultivo. El mecanismo del fertilizante fertica convencional muestra su eficiencia ya que este libera más rápido los nutrientes necesarios que la planta necesita según su número de macollas.

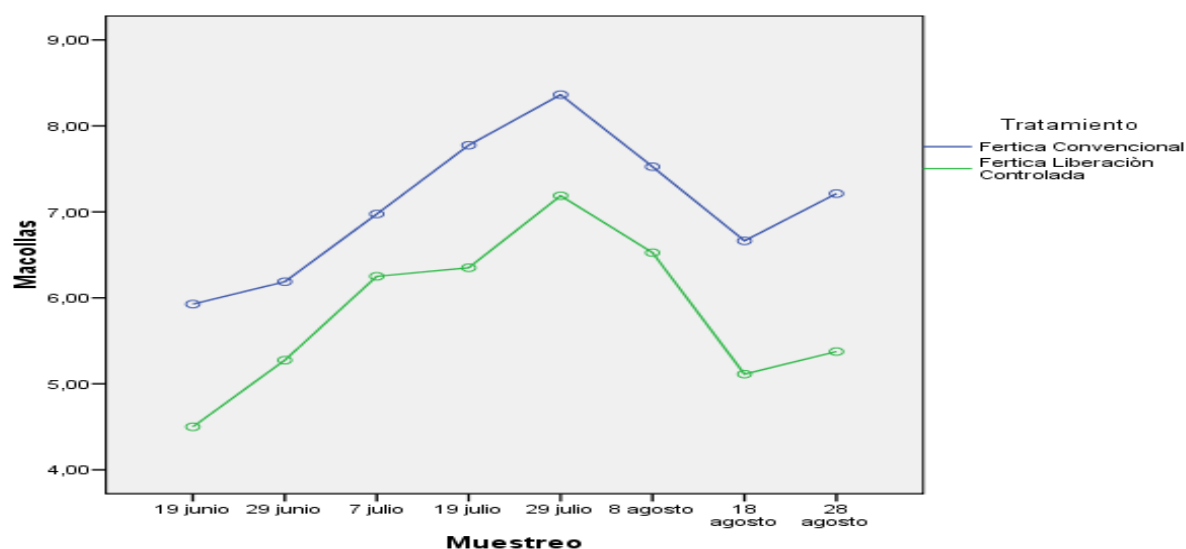


**Figura 2.** Número promedio de macollas en el cultivo de caña de azúcar según el fertilizante aplicado.

En la variable número de macollas se presenta en la Figura 3, que se obtuvo una tendencia mayor el tratamiento con fertilizante fertica convencional teniendo en el primer muestreo una mínima 6 macollas y el ultimo muestreo una máxima de 7.08 macollas mientras que el fertilizante fertica liberación controlada presento una mínima de 4.5 macollas y con una

máxima de 5.82 macollas por lo que para la variable de macollamiento es más eficiente el fertilizante fertica convencional.

Los fertilizantes utilizados en relación a su mezcla física contenían el mismo porcentaje de nitrógeno, considerando que la dosis por hectárea fue mayor con el fertilizante fertica convencional en comparación con el fertilizante fertica liberación controlada, por lo que los resultados obtenidos están relacionados a la dosis utilizada y a la época en la cual se aplicaron, dado que para un mejor funcionamiento del fertilizante de liberación controlada se necesita que el suelo mantenga cierta humedad para que sea más efectivo, factor que no fue muy favorable debido a la escases de lluvia en dicho periodo.



**Figura 3.** Tendencia del número de macollas en el cultivo de caña de azúcar para el tipo de fertilizante aplicado según la fecha de muestreo.

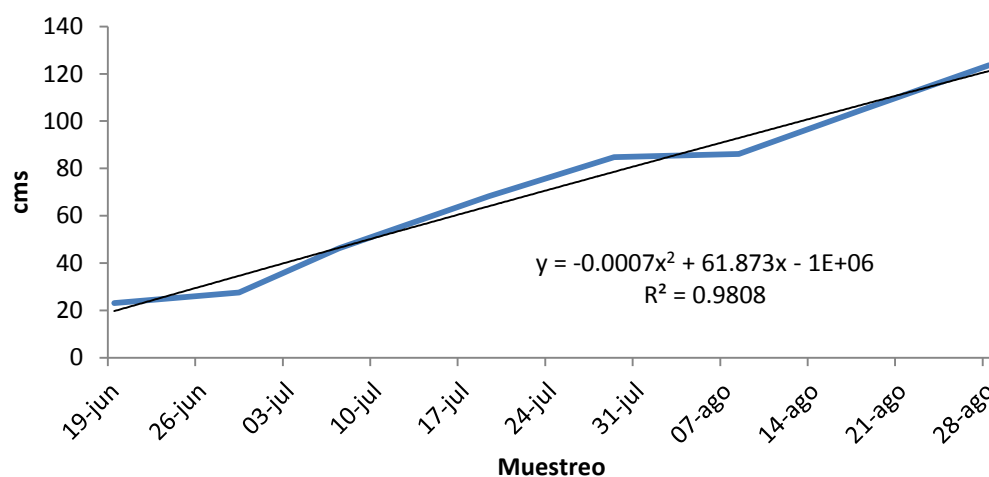
## 5.2. Altura de la planta

Los resultados obtenidos para la variable altura de la planta se ilustran en la Figura 4, en la cual se presenta el comportamiento de los dos tratamientos de fertilizantes fertica convencional y fertica liberación controlada en el cultivo de caña de azúcar, el coeficiente

de determinación es bastante aceptable ya que cuenta con 98% lo que significa que hubo una mayor homogeneidad entre los tratamientos y se pudo controlar el error experimental.

La altura de la planta tiene una tendencia cuadrática observándose durante 40 días después de la aplicación del tratamiento se obtuvo la mayor altura de la planta para el 29 de julio y tendiendo a disminuir para el 09 de agosto durante pasaba el tiempo tiende a aumentar la altura para el 28 de agosto.

Según Ronal y Asan 2012, quienes realizaron estudios de la efectividad de tres ureas incorporadas en el híbrido de maíz haz-1, sus resultados demostraron que el fertilizante de liberación controlada (agrocote), mostro un efecto sobre la altura de la planta resultando en una mayor altura comparándola con la formula convencional, por lo que podemos decir que la efectividad de los fertilizantes de liberación controlada se comprueba también en distintos tipos de cultivo.

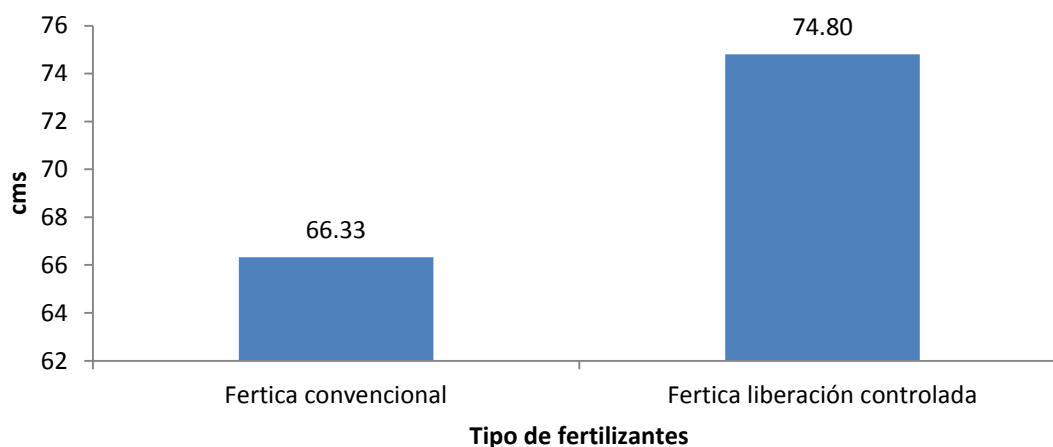


**Figura 4.** Comportamiento de altura de la planta (cm) en el cultivo de caña de azúcar según la fecha de muestreo realizada.

En la Figura 5, se ilustran los resultados de la altura total de las plantas, en el cual se observó que el comportamiento del crecimiento en cada fertilizante evaluado resulto

diferente mostrando una diferencia de altura de 8.48 cm entre tratamientos, el fertilizante fertica liberación controlada obtuvo la mayor altura con 74.80 cm, mientras que el fertilizante fertica convencional obtuvo menor altura con 66.33 cm, esto nos demuestra que el fertilizante de liberación controlada resulto más eficiente para esta variable evaluada.

Como se puede observar en la Figura 5, la urea suministrada al cultivo mediante la fórmula de agrocote es aprovechada mejor y más rápido por las plantas en comparación con la formula convencional, por lo que sus efectos en el crecimiento y desarrollo de la planta se observan con facilidad en un periodo corto de tiempo después de fertilizado el cultivo. El mecanismo del fertilizante de liberación controlada muestra su eficiencia ya que este va liberando poco a poco los nutrientes necesarios que la planta necesita según su desarrollo fisiológico.

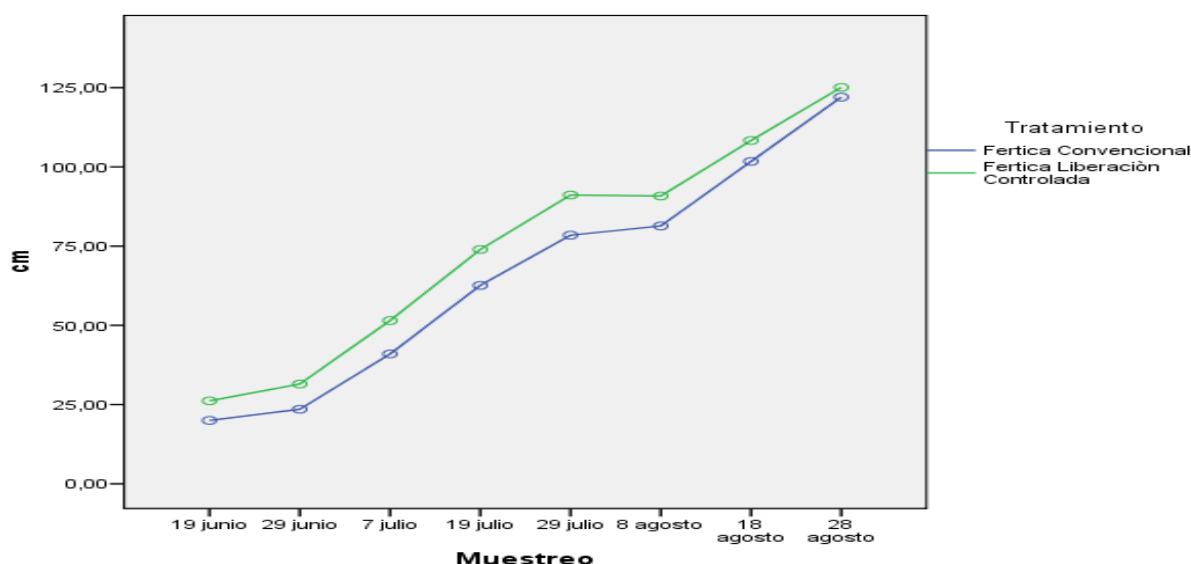


**Figura 5.** Promedio de altura de la planta en el cultivo de caña de azúcar según el fertilizante aplicado.

En la variable altura de la planta se reporta en la Figura 6 que se obtuvo una tendencia mayor el tratamiento con fertilizante fertica liberación controlada teniendo en el primer muestreo del 19 de junio con una altura mínima 26.17 cm y el ultimo muestreo fue el 28 de agosto con una altura máxima de 125.08 cm mientras que el fertilizante fertica

convencional presento una mínima de 19.99 cm altura y con una máxima de 122.01 cm altura por lo que para la variable de altura de la planta es más eficiente el fertilizante fertica liberación controlada.

Probablemente porque el fertilizante fertica convencional se obtuvo mayor pérdida en su aplicación de nitrógeno por lixiviación, precipitación y volatilización en el cultivo de caña de azúcar comparado con el fertilizante fertica de liberación controlada que se utilizó poca cantidad de nitrógeno al momento de aplicación.



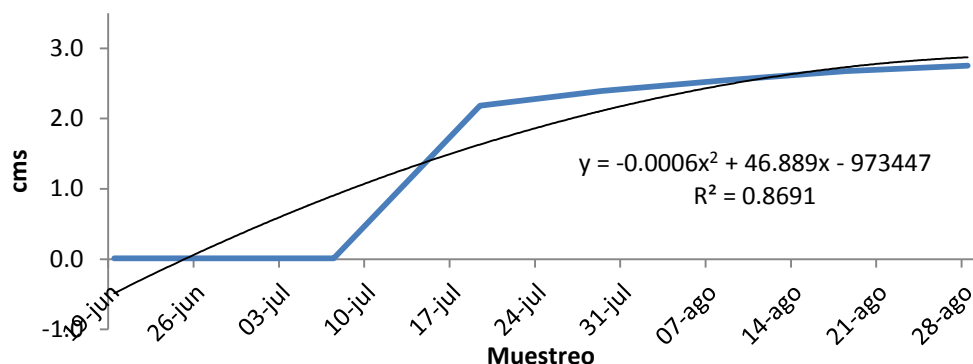
**Figura 6.** Tendencia de altura de la planta (cm) en el cultivo de caña de azúcar para el tipo de fertilizante aplicado según la fecha de muestreo.

### 5.3. Diámetro del tallo

Durante los meses de junio hasta el mes de agosto (Figura 7), se levantaron datos acerca del diámetro de tallo, estos se tomaron de los dos tratamientos fertica convencional y fertica liberación controlada en el cual su comportamiento nos muestra que el coeficientes de determinación es bastante aceptable ya que cuenta con 87% lo que significa que hubo una mayor homogeneidad entre los tratamientos y se pudo controlar el error experimental.

Para el diámetro del tallo tiene una tendencia cuadrática, el diámetro de tallo se mantuvo constante durante los primeros 19 días después de aplicado el fertilizante esto fue debido a la poca actividad del mismo a consecuencia de poca humedad en el suelo, después de que el fertilizante empezó a actuar en los procesos de la planta, el diámetro del tallo fue incrementando día a día hasta que logro su pico más alto a los 30 días después de la aplicación, a partir de allí el incremento en diámetro fue muy lento hasta mantenerse constante por algunos días y en detrimento para las últimas fechas del experimento.

Según Pérez, *et al* (sf) los fertilizantes de liberación controlada contienen nutrientes en alguna forma tal que su disponibilidad para la absorción y uso por las plantas se demora luego de su aplicación, o que su disponibilidad para las plantas se extiende por un tiempo suficiente en comparación al fertilizante convencional, con lo dicho anteriormente podemos decir que la eficiencia del fertilizante en cuanto al diámetro de tallo en comparación con el fertilizante de liberación controlada, estuvo en función de la disponibilidad inmediata de los nutrientes proporcionados por el fertilizante convencional.

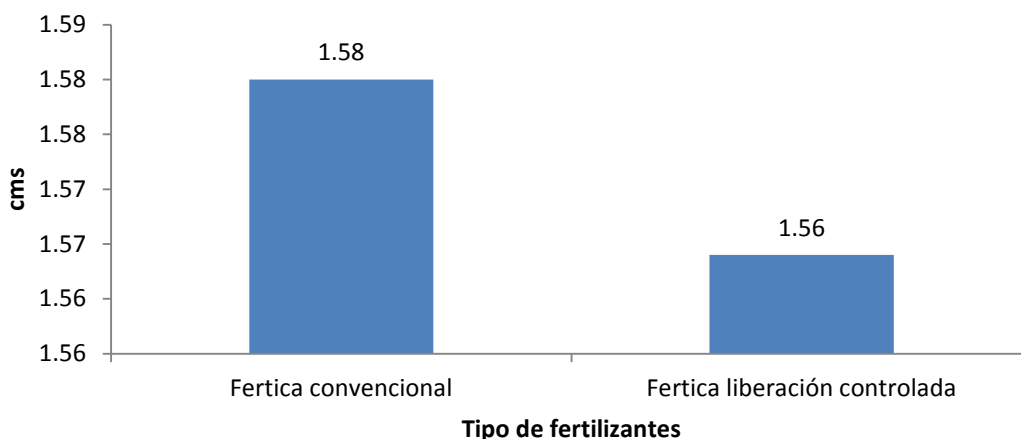


**Figura 7.** Comportamiento de diámetro del tallo (cm) en el cultivo de caña de azúcar según la fecha de muestreo realizada.

En la Figura 8, se muestran los promedios obtenidos para la variable diámetro del tallo (Anexo 3), que presentó el cultivo de caña de azúcar como respuesta a la aplicación de cada una de las fuentes de N. El análisis de varianza que se realizó a los datos obtenidos reportó

una alta significancia ( $P < 0.01$ ), siendo el tratamiento fertica convencional el que presentan mejor resultado con diámetro de 1.58 cm respectivamente y el valor más bajo lo reporta fertica liberación controlada con 1.56 cm.

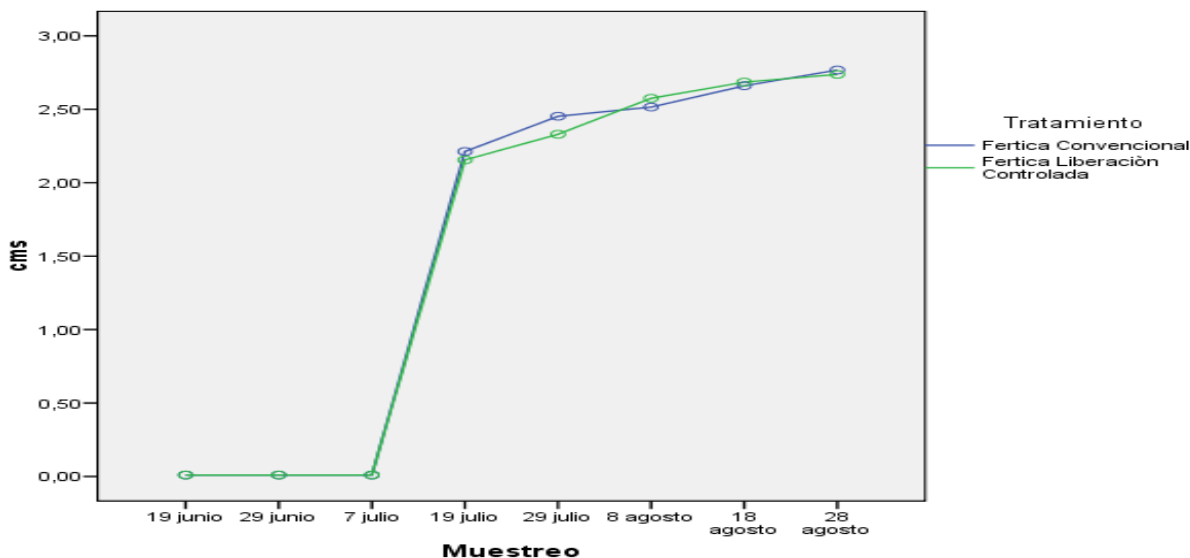
Los resultados se puede observar en la Figura 8, la urea suministrada al cultivo mediante la fórmula fertica convencional se aprovechó mejor a pesar que es más volátil, la absorción es más rápido por las plantas en comparación con la formula fertica liberación controlada, por lo que sus efectos en el diámetro del tallo es mayor y se observan con facilidad en un periodo corto de tiempo después de fertilizado el cultivo. El mecanismo del fertilizante fertica convencional muestra su eficiencia ya que este libera más rápido los nutrientes necesarios que la planta necesita según el diámetro del tallo.



**Figura 8.** Promedio de diámetro del tallo en el cultivo de caña de azúcar según el fertilizante aplicado.

En la variable diámetro del tallo se observa en la Figura 9, que se obtuvo una tendencia mayor el tratamiento con fertilizante fertica convencional teniendo en el primer muestreo del 19 de junio con un diámetro mínimo 0 cm y el ultimo muestreo fue el 28 de agosto con un diámetro máxima de 2.77 cm mientras que el fertilizante fertica liberación controlada presento una mínima de 0 cm diámetro y con una máxima de 2.74 cm diámetro por lo que para esta variable es más eficiente el fertilizante fertica convencional.

Los fertilizantes utilizados en relación a su mezcla física contenían el mismo porcentaje de nitrógeno, considerando que la dosis por hectárea fue mayor con el fertilizante fertica convencional en comparación con el fertilizante fertica liberación controlada, por lo que los resultados obtenidos están relacionados a la dosis utilizada.



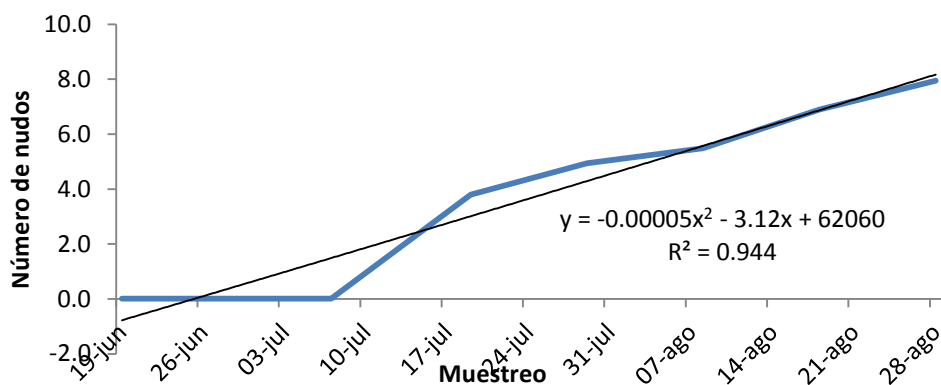
**Figura 9.** Tendencia de diámetro del tallo (cm) en el cultivo de caña de azúcar para el tiempo de fertilizante aplicado según la fecha de muestreo.

#### 5.4. Número de entrenudos

Los resultados obtenidos para esta variable se muestran en la Figura 10, en la cual se levantaron datos acerca del número de entrenudos, estos se tomaron de los dos tratamientos de fertilizantes fertica convencional y fertica liberación controlada en el cual su comportamiento nos muestra el coeficientes de determinación es bastante aceptable ya que cuenta con 94% lo que significa que hubo una mayor homogeneidad entre los tratamientos y se pudo controlar el error experimental.

Para el número de entrenudos tiene una tendencia cuadrática, el número de entrenudos se mantuvo constante durante los primeros 19 días después de la aplicado el fertilizante es debido a la poca actividad del mismo a consecuencia de la poca humedad del suelo, después de que el fertilizante empezó a actuar en los procesos de la planta el número de entrenudos fue incrementando hasta que logro su punto más alto a los 40 días después de la aplicación a partir de allí el incremento del número de entrenudos fue muy lento para el 29 de julio y tendiendo a disminuir durante pasaba el tiempo.

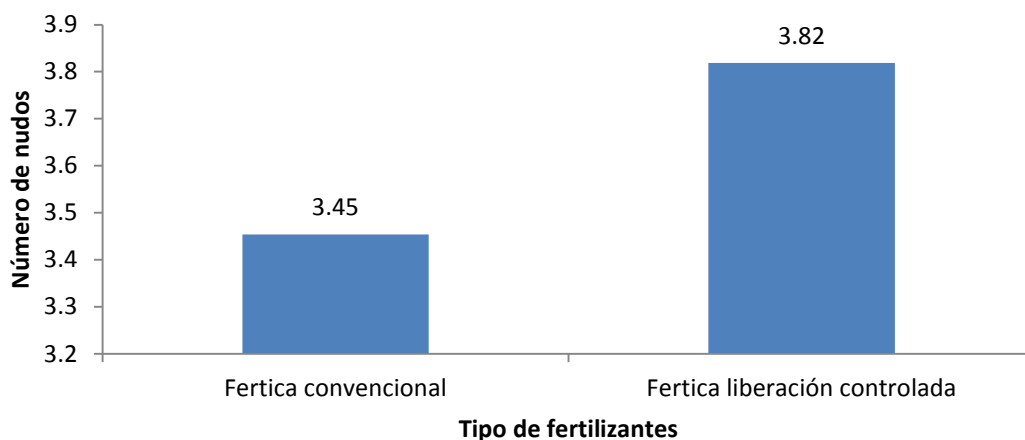
Según Pérez 2011, que realizo un estudio en el cultivo de caña azúcar con fertilizante de liberación controlada “Agrocote” utilizado un mezcla de 50 por ciento de fertilizante de liberación controlada y 50 por ciento de fertilizante convencional como: “Agrocote 38” y “Agrocote 51” para nitrógeno y potasio respectivamente. Este fertilizante de liberación controlada fue más efectivo en cuanto al rendimiento de la producción, que esos suelos permanecieron húmedos durante el ciclo del cultivo lo que permitió una buena liberación del mismo y aprovechamiento de la planta.



**Figura 10.** Comportamiento del número de nudos en el cultivo de caña de azúcar según la fecha de muestreo realizada.

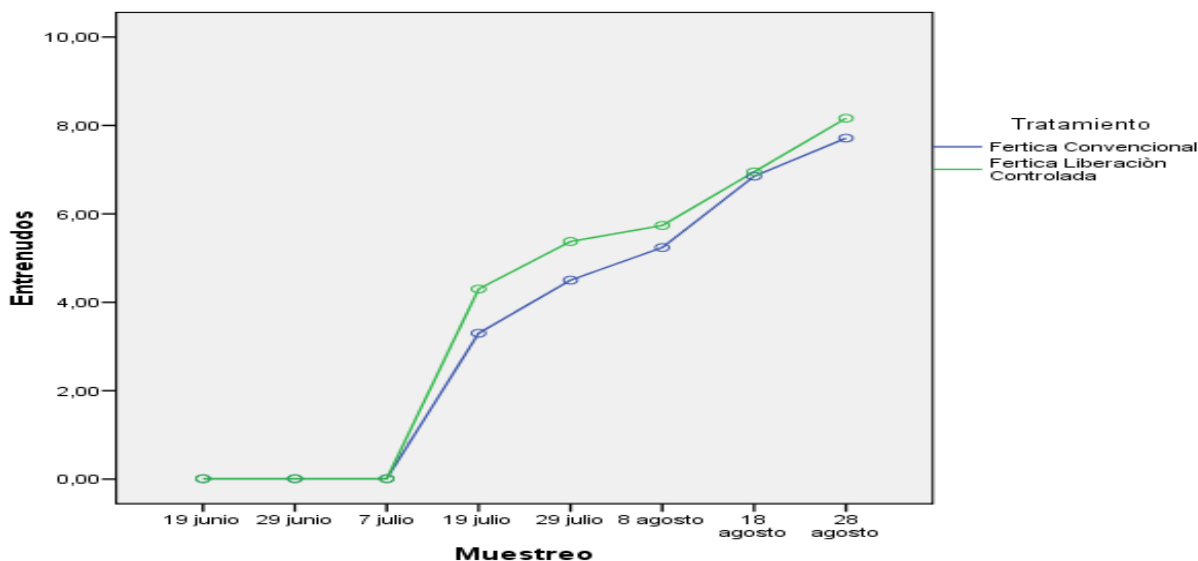
En la Figura 11, se observa los promedios obtenidos para la variable número de entrenudos (Anexo 4), presenta el análisis de varianza que se realizó a los datos obtenidos reportó una alta significancia ( $P < 0.01$ ), siendo el tratamiento fertica liberación controlada el que

presentan mejor resultado con número de entrenudos de 3.82 respectivamente y el valor más bajo lo reporta fertica convencional con 3.45. Se puede observar en la Figura 11, la urea suministrada al cultivo mediante la fórmula fertica liberación controlada es mejor aprovechada y más lento el proceso de absorción y la planta solo utiliza lo necesario para su funcionamiento fisiológico, en comparación con la formula fertica convencional, por lo que sus efectos en el número de entrenudos de la planta se observan con facilidad en un periodo corto de tiempo después de fertilizado el cultivo. El mecanismo del fertilizante de liberación controlada muestra su eficiencia ya que este va liberando poco a poco los nutrientes necesarios que la planta necesita según su número de entrenudos.



**Figura 11.** Promedio de número de nudos en el cultivo de caña de azúcar según el fertilizante aplicado.

En la Figura 12, se puede observar la tendencia acerca del comportamiento de los fertilizantes evaluados en la variable número de entrenudos, la cual nos muestra que a medida iban transcurriendo los días después de la fertilización se fue incrementando el número de entrenudos, esto para los dos tratamientos evaluados, sin embargo la gráfica nos ilustra que el fertilizante fertica liberación controlada obtuvo mayor número de entrenudos en comparación con el tratamiento fertica convencional.



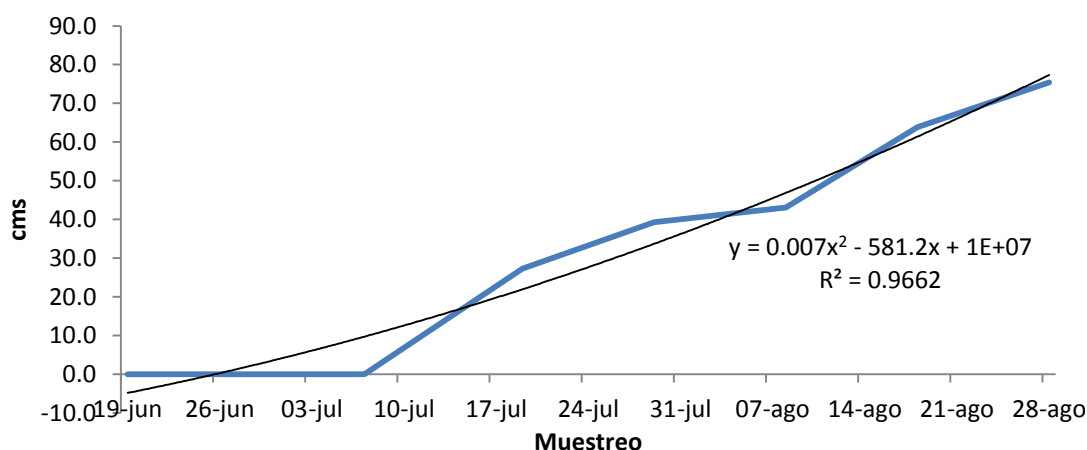
**Figura 12.** Tendencia del número de nudos en el cultivo de caña de azúcar para el tipo de fertilizante aplicado según la fecha de muestreo.

### 5.5. Longitud de entrenudos

En la Figura 13, se observan los resultados obtenidos acerca de la variable de longitud de entrenudos en los dos tratamientos evaluados de fertilizantes fertica convencional y fertica liberación controlada en el cultivo de caña de azúcar, el coeficientes de determinación es bastante aceptable ya que cuenta con 97% lo que significa que hubo una mayor homogeneidad entre los tratamientos y se pudo controlar el error experimental.

Para la longitud de entrenudos tiene una tendencia cuadrática, la longitud de entrenudos se mantuvo constante durante los primeros 19 días después de la aplicado el fertilizante es debido a la poca actividad del mismo a consecuencia de la poca humedad del suelo, después de que el fertilizante empezó a actuar en los procesos de la planta la longitud de entrenudos fue incrementando hasta que logro su pico más alto a los 61 días después de la aplicación a partir de allí el incremento de la longitud de entrenudos fue muy lento para el 19 de agosto y tendiendo a disminuir durante pasaba el tiempo.

Según Henríquez, Jiménez y Rodríguez 2011, los fertilizantes nitrogenados mejorados permiten que la absorción y el uso del N por la planta sean lentos después de la aplicación, lo que extiende su tiempo de disponibilidad respecto de otros fertilizantes como nitrato de amonio y urea. El fertilizante fertica liberación controlada evaluado resulto eficiente para dicha variable en comparación al fertica convencional.

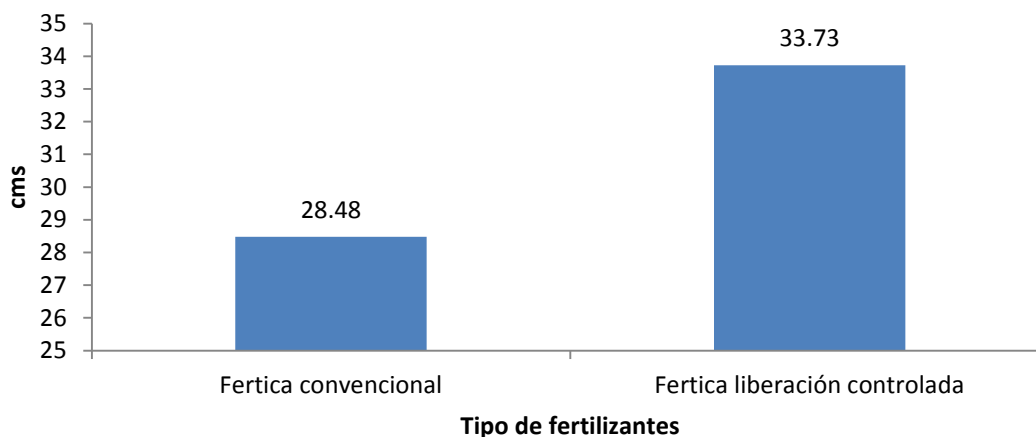


**Figura 13.** Comportamiento de longitud de entrenudos en el cultivo de caña de azúcar según la fecha de muestreo realizada.

En la Figura 14, se muestran los promedios obtenidos para la variable longitud de entrenudos (Anexo 5), que según los resultados de la prueba de medias de Tukey ( $P < 0.05$ ) se determinó que oscilan entre 28.48 y 33.73 cm. La mayor longitud la reportó el tratamiento fertica liberación controlada 33.73 cm y el valor más bajo corresponde al tratamiento fertica convencional 15.85 cm.

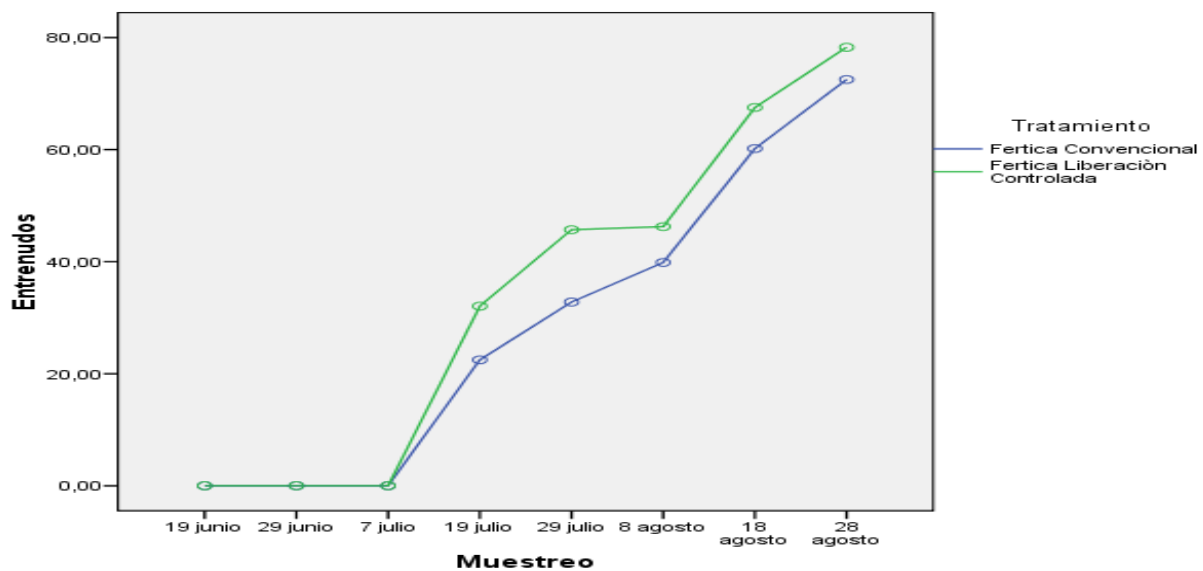
Como se puede observar en la Figura 14, la urea suministrada al cultivo mediante la fórmula de agrocote es aprovechada mejor por las plantas y no se pierde por volatilización debido porque esta fórmula está recubierta con aditivos acidificantes en comparación con la formula convencional, por lo que sus efectos en la longitud de entrenudos de la planta se observan con facilidad en un periodo corto de tiempo después de fertilizado el cultivo.

El mecanismo del fertilizante de liberación controlada muestra su eficiencia ya que este va liberando poco a poco los nutrientes necesarios que la planta necesita según su longitud de entrenudos.



**Figura 14.** Promedio de longitud de entrenudos en el cultivo de caña de azúcar según el fertilizante aplicado.

Las tendencias correspondientes a la longitud de entrenudos se ilustran en la Figura 15, en la cual se pudo medir durante el tiempo que duro el experimento, mostrando que a medida avanzaban los días después de la aplicación de los fertilizantes en los dos tratamientos, los entrenudos mostraron un aumento en su longitud. El tratamiento que muestra una mayor respuesta en cuanto al elongamiento corresponde al fertica liberación controlada, el cual presenta una presentó una mayor eficiencia en cuanto a dicha variable estudiada.



**Figura 15.** Tendencia de longitud de entrenudos en el cultivo de caña de azúcar para el tipo de fertilizante aplicado según la fecha de muestreo.

## **VI. CONCLUSIONES**

- Existió diferencia estadística significativa entre las fuentes de N solamente para las variables, altura de la planta, número de entrenudos y longitud de entrenudos.
- El fertilizante fertica liberación controlada presentó una mejor altura, un mayor número de entrenudos y una longitud de entrenudos mayor en comparación con el fertilizante fertica convencional que se mantuvo por debajo de los valores obtenidos con el de liberación controlada.
- La aplicación del fertilizante fertica liberación controlada al suelo, permite evitar la pérdida de nitrógeno por volatilización, esto le permite que la planta tenga un mayor aprovechamiento y como resultado un mayor crecimiento y desarrollo de la misma.
- Los resultados obtenidos con el fertilizante de liberación controlada fueron muy buenos a pesar que en la época del ensayo no se presentó muchas lluvias, ya que para su activación y liberación se necesita que este húmedo el suelo.

## **VII. RECOMENDACIONES**

- Realizar ensayos con el fertilizante fertica liberación controlada y evaluar hasta la época de cosecha, para determinar qué tan efectivo es en el aspecto del rendimiento  $\text{ton/ha}^{-1}$  en comparación con otras fuentes de nitrógeno.
- Expandir la metodología de fertilización con fertica liberación controlada a los productores que abastecen al ingenio azucarero para que obtenga una mejor rentabilidad.
- Utilizar en épocas seca riego por goteo o por aspersión para mantener el suelo húmedo ya que este fertilizante necesita húmeda para que la planta tenga una buena absorción.
- Utilizar como fuente de N el fertilizante fertica liberación controlada en el cultivo caña de azúcar por ser la fuente que presentó la mejor rentabilidad.
- Replicar el ensayo con el fertilizante fertica liberación controlada en varias épocas del año y manejarlo desde la siembra hasta cosecha del cultivo para determinar en qué estación del año actúa mejor dicho fertilizante.

## VIII. BIBLIOGRAFIA

Agriculture/Products/Product.aspx/Controlled-Release-Fertilizers. Consultado el 19 may. 2013. Disponible en: <http://www.everris.com/enpac/Home/Specialty>.

Aloé, J; Toribio, M. 2008. Pérdidas por Volatilización del Amoníaco (en línea). Consultado 03 de may 2013. Disponible en <http://www.engormix.com>.

Arévalo, G; Hernández, T; Salcedo, E; Galvis, A. 2007. Aplicación de fertilizantes sintéticos o abonos verdes y su efecto sobre la cantidad de nitrato residual en el suelo. Chapingo. Serie de ciencias forestales y del ambiente, vol. 13, no 002, 85-90 p.

Barrios, NF. 1999. Evaluación de tres métodos de riego por superficie durante la etapa de elongación de la caña de azúcar (*saccharum officinarum*) bajo condiciones de tiquisate. Tesis. ing. agrónomo. Universidad Nacional de san Carlos Guatemala. 40 p. consultado el 16 may. 2013. En línea en: [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01\\_1826.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_1826.pdf)

Below, FE. s.f. Fisiología, nutrición y fertilización nitrogenada del maíz. Disponibilidad del nitrógeno. Informaciones agronómicas no 54, 3 p.

Bergamasco, AF; Rodríguez, LHA; Silva, FC da; Trivelin, PCO. s.f. Simulación de un Modelo de Balance de Nitrógeno en el Sistema Suelo - Caña de Azúcar. Consultado el 3 may. De 2013 .disponible en: <http://w.infoteca.cnptia.embrapa.br>.

Díaz, LL; Portocarrero, ET. 2002. Manual de Producción de Caña de Azúcar (*Saccharum officinarum* L.). Trabajo de graduación presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agrónomo en el Grado Académico de Licenciatura. Valle de Yeguary, Francisco Morazán, Honduras. Zamorano. 131p.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), ITA. 2011. La caña de azúcar (en línea). Roma, ITA. Consultado el 12 de mayo de 2013. Disponible En; <http://www.fao.org/ag>.

Ferraris, GN; Couretot, LA. 2010. Pérdidas de nitrógeno por volatilización y su implicancia en el rendimiento del cultivo de maíz. Efectos de fuente, dosis y uso de inhibidores. (En línea). Consultado 3 may. 2013. Disponible en <http://www.engormix.com/MA-agricultura/maiz/articulos>.

Henríquez, S; Jiménez, F; y Rodríguez, JF. 2011. Fertilizantes de última tecnología: alternativa para la mejor nutrición y producción de cultivos en Colombia, no 27, p 26.

INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). 2002. Folleto Ministerio de Agro y Producción Misiones. Consultado el 08 de jun. 2013. Disponible en <http://www.misiones.gov.ar/produccion.html>.

Leonard, D. 1981. Cultivos tradicionales: La fertilidad del suelo y el manejo. Carico, E. chakroff, M; Dybus, N. Washington, USA. Century. <http://www.cd3wd.com>.

Moreno, SJ. 2010. Evaluación del manejo del nitrógeno en el agro ecosistema caña de azúcar. Tesis para obtener el grado doctor en ciencias. Ejido de Salmoral. Veracruz. Institución de enseñanza e investigación en ciencias agrícola. 26-27 p. En lineaen:<http://www.biblio.colpos.mx>.

Orozco, H *et al.* 2004. Catálogo de variedades promisorias de caña de azúcar de la agroindustria azucarera guatemalteca. Guatemala, CENGICAÑA. 40p.

Pérez, O *et al.* 2011. Evaluación de fertilizantes de liberación controlada agrocote en el cultivo de caña de azúcar. Ing. Víctor Hugo Motta. Guatemala. 24 p.

Pérez, O *et al.* s.f. Evaluación de fertilizantes de liberación controlada en dos suelos con diferentes profundidades y diferentes condiciones climáticas en el cultivo de caña de azúcar p 260.

Riveros, M; Herrera, A. 2008. Nitrógeno de liberación controlada p 14.

Romero *et al* 2004. Recomendaciones para la fertilización de la caña de azúcar. Gacetilla Agroindustrial de la EEAOC N° 61. Consultado el 19 may 2013. Disponible en: [http://www.aaep.org/revistas/gacetilla/61/61\\_01.pdf](http://www.aaep.org/revistas/gacetilla/61/61_01.pdf).

Romero, E; Olea, I; Scandaliaris, J; Alonso, J; Digonzelli, P; Tonatto, J; Leggio, M. s.f. La fertilización de la caña de azúcar en Tucumán/ consultado el 04 de may de 2013. En línea en: <http://www.fertilizando.com/articulos/Fertilizacion-Cania-De-Azucar-Tucuman.pdf>.

Ronal R; Asan JD. 2012. Efectividad de tres ureas comerciales aplicadas en forma superficial e incorporada en el híbrido de maíz HAZ 1. Proyecto Ing. Agrónomo. Zamorano Honduras p 28.

Zagal, E. s.f. El ciclo del nitrógeno en el suelo (En línea). Consultado el 15 de mayo. 2013. Disponible en [www.ciencia-ahora.cl/Revista16/14ElCicloDelNitrogeno.pdf](http://www.ciencia-ahora.cl/Revista16/14ElCicloDelNitrogeno.pdf).

Zérega, L; Hernández, T. 1998. Efectos del nitrógeno orgánico y mineral sobre el rendimiento de la caña de azúcar. Bioagro. 64(10) n° 3. Consultado el 08 de jun. 2013. Disponible en <http://www.ucla.edu.ve/bioagro>.

# **ANEXOS**

**Anexo 1.** Análisis de varianza para la variable macollamiento.

| <b>F.V</b>     | <b>GL</b> | <b>SC</b> | <b>CM</b> | <b>F</b> | <b>Significancia</b> |
|----------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------------|
| Repetición     | 3         | 7.203     | 2.401     | 1.971    | ns                   |
| Muestreo       | 7         | 38.988    | 5.570     | 4.573    | **                   |
| Rep x Muestreo | 21        | 8.007     | 0.381     | 0.313    | ns                   |
| Tratamiento    | 1         | 25.263    | 25.263    | 20.742   | **                   |
| Muestreo xTrat | 7         | 1.909     | 0.273     | 0.224    | ns                   |
| Error          | 24        | 29.231    | 1.218     |          |                      |
| Total          | 63        | 110.602   |           |          |                      |

$R^2 = 73.60\%$

C.V= 4.53%

**Anexo 2.** Análisis de varianza para la variable altura de planta.

| <b>F.V</b>     | <b>GL</b> | <b>SC</b>  | <b>CM</b> | <b>F</b> | <b>Significancia</b> |
|----------------|-----------|------------|-----------|----------|----------------------|
| Repetición     | 3         | 1316.586   | 438.862   | 2.886    | ns                   |
| Muestreo       | 7         | 73,150.587 | 10,450.08 | 68.726   | **                   |
| Rep xMuestreo  | 21        | 226.681    | 12.699    | 0.084    | ns                   |
| Tratamiento    | 1         | 1,148.278  | 1,148.278 | 7.552    | *                    |
| Muestreo xTrat | 7         | 138.387    | 19.770    | 0.130    | ns                   |
| Error          | 24        | 3,649.325  | 152.055   |          |                      |
| Total          | 63        | 79,669.843 |           |          |                      |

$R^2 = 95.40\%$

C.V= 7.10%

**Anexo 3.** Análisis de varianza para la variable Diámetro de tallo.

| <b>F.V</b>     | <b>GL</b> | <b>SC</b> | <b>CM</b> | <b>F</b> | <b>Significancia</b> |
|----------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------------|
| Repetición     | 3         | 0.039     | 0.013     | 0.351    | ns                   |
| Muestreo       | 7         | 95.331    | 13.619    | 370.063  | **                   |
| Rep x Muestreo | 21        | 0.186     | 0.009     | 0.241    | ns                   |
| Tratamiento    | 1         | 0.004     | 0.004     | 0.106    | ns                   |
| Muestreo xTrat | 7         | 0.043     | 0.006     | 0.167    | ns                   |
| Error          | 24        | 0.883     | 0.037     |          |                      |
| Total          | 63        | 96.486    |           |          |                      |

$R^2 = 99.10\%$

C.V= 8.87%

**Anexo 4.** Análisis de varianza para la variable número de entrenudos.

| <b>F.V</b>     | <b>GL</b> | <b>SC</b> | <b>CM</b> | <b>F</b> | <b>Significancia</b> |
|----------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------------|
| Repetición     | 3         | 1.610     | 0.537     | 2.332    | ns                   |
| Muestreo       | 7         | 589.993   | 84.285    | 366.372  | **                   |
| Rep x Muestreo | 21        | 2.194     | 0.104     | 0.454    | ns                   |
| Tratamiento    | 1         | 2.139     | 2.139     | 9.297    | **                   |
| Muestreo xTrat | 7         | 2.317     | 0.331     | 1.439    | ns                   |
| Error          | 24        | 5.521     | 0.230     |          |                      |
| Total          | 63        | 603.774   |           |          |                      |

$R^2 = 99.10\%$

C.V= 9.23%

**Anexo 5.** Análisis de varianza para la variable longitud de entrenudos.

| F.V            | GL | SC         | CM        | F      | Significancia |
|----------------|----|------------|-----------|--------|---------------|
| Repetición     | 3  | 542.241    | 180.747   | 1.853  | ns            |
| Muestreo       | 7  | 49,261.303 | 7,037.329 | 72.136 | **            |
| Rep xMuestreo  | 21 | 407.568    | 19.408    | 0.199  | ns            |
| Tratamiento    | 1  | 440.318    | 440.318   | 4.513  | *             |
| Muestreo xTrat | 7  | 332.219    | 47.460    | 0.486  | ns            |
| Error          | 24 | 2,341.352  | 97.556    |        |               |
| Total          | 63 | 53,325.001 |           |        |               |

$R^2 = 95.60\%$

C.V= 9.67%

**Anexo 6.** Toma de datos para la variable macollamiento.



**Anexo 7.** Toma de datos para la variable altura de la planta.



**Anexo 8.** Toma de datos para la variable diámetro del tallo.



**Anexo 9.** Toma de datos para la variable número de entrenudo.



**Anexo 10.** Toma de datos para la variable longitud de entrenudos.

