

**Evaluación de Dosis de Nitrógeno en Cultivo Caña de Azúcar (*Saccharum Officinarum*) en
la Variedad CC 11-600**

Por:

Magda Cecilia Narvárez Castillo

Universidad Nacional Abierta y a Distancia- UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente- ECAPMA

Programa de Agronomía

Palmira

2024

**Evaluación de Dosis de Nitrógeno en Cultivo Caña de Azúcar (*Saccharum Officinarum*) en
la Variedad CC 11-600**

Por:

Magda Cecilia Narváez Castillo

Director:

Milton Ararat

Proyecto Aplicado para Optar por el título de Agrónoma

Universidad Nacional Abierta y a Distancia- UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente- ECAPMA

Programa de Agronomía

Palmira

2024

Dedicatoria

Los sueños se cumplen cuando deseas cumplirlos, el resto está en las manos y la voluntad
de Dios.

A mis padres Isabel y José que siempre están ahí como amigos y compañeros.

Agradecimientos

A todas las personas que me animaron, todos ellos seres de luz que siempre dijeron tu puedes. A

esos maestros incansables que con su paciencia entendieron que realmente para ser libres

debemos fortalecer nuestro conocimiento y aquellos que dijeron nunca es tarde.

Al ingenio La Cabaña por ser mi escuela, sus campos son el mejor salón de clases, a la

universidad UNAD y sus profesores, es un reto estudiar a distancia...pero se puede.

Gracias a todos.

Resumen

La caña de azúcar es un cultivo muy relevante en el Valle Geográfico del Río Cauca, existen sembradas alrededor de 238 mil ha, su producción depende de las condiciones climáticas, la actividad antrópica, las variedades, suelos, la nutrición y la cosecha. Esta gramínea se caracteriza por tener un ciclo de entre 12 a 13 meses en los cuales tiene diferentes fases de crecimiento, para su buen desarrollo la fertilización es uno de los aspectos fundamentales ya que ésta garantiza la producción en términos de toneladas de caña por hectárea (TCH) y sacarosa (TSH). En la actualidad existen nuevas variedades que para cultivar se usa una dosis tradicional de fertilizante. Sin embargo, cada una de ellas tiene una eficiencia y un aprovechamiento propio de cada una, el nitrógeno es el principal elemento que se consume en mayor proporción y conocer la dosis adecuada de ella es importante ya que asegura rentabilidad y sostenibilidad en el negocio. En este estudio llevado a cabo en el ingenio la cabaña, se evaluaron diferentes dosis de nitrógeno para dos variedades la CC 11-600 y la CC 01-1940, los resultados indican que para la primera la dosis de 184Kg de nitrógeno le permite obtener su mayor potencial en TCH, mientras que para la segunda 138 kg son suficientes. Al hacer las tablas de rango crítico que permite ajustar la fertilización de acuerdo a un modelo estadístico indican que para la CC 11-600 son suficientes 138 kg de nitrógeno y para la CC 011-940 solo son necesaria 115 kg, este manejo asegura una mayor ganancia ya que optimiza el recurso y se produce de manera sostenible.

Palabras clave. Caña de azúcar, cultivo, fertilización, producción, variedades, sostenibilidad.

Abstract

Sugar cane is a very relevant crop in the Geographic Valley of the Cauca River, there are around 238 thousand hectares planted, its production depends on climatic conditions, anthropogenic activity, varieties, soils, nutrition and harvest. This grass is characterized by having a cycle of between 12 to 13 months in which it has different growth phases. For its proper development, fertilization is one of the fundamental aspects since it guarantees production in terms of tons of cane per hectare (TCH) and sucrose (TSH). Currently there are new varieties that use a traditional dose of fertilizer to grow. However, each of them has its own efficiency and use, nitrogen is the main element that is consumed in the greatest proportion and knowing the appropriate dose of it is important since it ensures profitability and sustainability in the business. In this study carried out at the La Cabana mill, different doses of nitrogen were evaluated for two varieties, CC 11-600 and CC 01-1940. The results indicate that for the former, the dose of 184Kg of nitrogen allows it to obtain its greater potential in TCH, while for the second 138 kg are sufficient. When making the critical range tables that allow fertilization to be adjusted according to a statistical model, they indicate that for CC 11-600 138 kg of nitrogen are sufficient and for CC 011-940 only 115 kg are necessary. This management ensures greater profit since it optimizes the resource and is produced sustainably.

Keywords. Sugar cane, cultivation, fertilization, production, varieties, sustainability.

Tabla de Contenido

Introducción	12
Pregunta de Investigación	14
Justificación	15
Objetivos	16
Objetivo general	16
Objetivos Específicos	16
Marco Teórico	17
La Caña de Azúcar (<i>Saccharum Officinarum</i>)	17
Taxonomía	18
Generalidades del Cultivo	19
Factores Limitantes Climáticos y Edafológicos que Afectan el Cultivo	25
Ensayos Previos de fertilización Nitrogenada	26
Metodología	28
Localización	28
Descripción de los Suelos	29
Evaluación de la Variabilidad Espacial	31
Descripción de los Tratamientos	31
Resultados	35
Resultados de la Evaluación de las Propiedades Químicas	35
Desarrollo del Cultivo	35
Respuesta de la Producción en Términos de Toneladas de Caña por ha a los Diferentes	
Tratamientos	37

	8
Resultados en Términos de Sacarosa	39
Determinación de Valor Crítico	40
Discusión General	46
Conclusiones	47
Referencias Bibliográficas	48

Lista de Figuras

<i>Figura 1. Etapas Fenológicas del Cultivo de Caña</i>	21
<i>Figura 2. Localización Geográfica Ingenio La Cabaña</i>	28
<i>Figura 3. Consociaciones para Caldas Agroindustria suerte 018</i>	29
<i>Figura 4. Variabilidad Insitu del Predio</i>	31
<i>Figura 5. Diseño Experimental</i>	33

Lista de Gráficos

Gráfico 1. <i>Balance Hídrico del Ciclo el Cultivo</i>	36
Gráfico 2. <i>Resultados en TCH por Variedades y Tratamiento</i>	38
Gráfico 3. <i>Resultados de Sacarosa por Variedades y Tratamiento</i>	39
Gráfico 4. <i>Valor Crítico para TCH Variedad CC 01-1940</i>	41
Gráfico 5. <i>Valor Crítico para TCH Variedad CC 11-600</i>	42
Gráfico 6. <i>Valor Crítico para TSH en CC 01-1940</i>	43
Gráfico 7. <i>Valor Crítico para TSH en CC 11-600</i>	44

Lista de Tablas

Tabla 1. <i>Descripción de Unidades de Elemento Aplicadas.</i>	32
Tabla 2. <i>Caracterización química del suelo de Caldas Agroindustrias 018.</i>	35
Tabla 3. <i>Resultados de Prueba Estadística ANDEVA</i>	37
Tabla 4. <i>Modelo para Establecer el Valor Crítico</i>	40
Tabla 5. <i>Costo de Precios de los Pertilizantes abril 2022 para los Distintos Tratamientos.</i>	45

Introducción

Debido a su crecimiento exponencial en los últimos años el cultivo de caña de azúcar es considerada una excelente alternativa para grandes y pequeños cultivadores del Valle geográfico del río Cauca; esto ha conllevado a un incremento en el uso de fertilizantes nitrogenados.

Algunos cultivadores consideran que el rendimiento del cultivo de caña de azúcar depende de la cantidad de fertilizantes aportados durante el ciclo del cultivo, especialmente nitrógeno, la dosis adecuada de este nutriente depende de factores como la variedad, el suelo, el clima entre otros que al final impiden o favorecen la absorción y la repuesta la planta y su aprovechamiento. (Arzola, N. 2006)

“Como lo plasma la literatura el nitrógeno es uno de los macronutrientes fundamentales en el desarrollo de las plantas, este debe aplicarse en las dosis requeridas de acuerdo a la necesidad del cultivo, con el fin de obtener mejores rendimientos”. (Segura et al., 2000; Smith et al., 2000, Weterings y Russell, 2004).

Además, es de fundamental importancia suplir la necesidad de las plantas en este caso de nitrógeno dependiendo del requerimiento de las etapas fenológicas, así como lo sugiere Landerors “la cantidad total de nitrógeno (N) que demanda el cultivo debe distribuirse de acuerdo con las necesidades que requiere la planta en sus fases de crecimiento y desarrollo” (Gowda et al., 1988; Toledo et al., 2002 citados por Landerors, C. et., al, 2016).

El nitrógeno es un elemento muy móvil y corre el riesgo de perderse por distintas razones de ahí su importancia de aplicarlo en las dosis adecuadas y su posterior incorporación para disminuir dichas pérdidas. Su uso ineficiente y excesivo del nitrógeno incrementa el costo de producción y puede llegar a causar contaminación (Yepis et al.,1999).

En los últimos años la necesidad de disminuir los costos de producción y la búsqueda de una sostenibilidad a través del uso racional de fertilizantes nitrogenados ha con llevado a generar nuevos estudios acerca de la nutrición del cultivo. Para responder a estas necesidades es necesario buscar alternativas que permitan cuantificar las dosis necesarias para variedades nuevas como lo es la CC 11-600.

Pregunta de Investigación

Paradójicamente, la nutrición del cultivo se ha mantenido con la aplicación de 184 kg de nitrógeno o más. Sin embargo, variedades como la CC 01-1940 o la CC- 8592 presentan diferentes tasas de asimilación que hacen que las cantidades de nutrientes se absorben sean en distintas proporciones. Dicho esto, surgen un par de preguntas de investigación que guiarán el proyecto: ¿Existe la dosis adecuada de nitrógeno para cultivar la CC 11-600 que garanticen mayores toneladas por hectárea? y ¿existe una dosis de nitrógeno que permita obtener mejor sacarosa en la variedad CC 11-600?

Justificación

El cultivo de caña de azúcar la igual que otros cultivos requieren la disponibilidad adecuada de elementos como nitrógeno, fosforo, potasio, elementos secundarios y menores. Estudios previos indican que las nuevas variedades como la CC 01-1940 han requerido mayor consumo de nutrientes a diferencia de la CC85-92. (CENICAÑA 2015).

Las nuevas variedades cultivadas requieren la evaluación de diferentes dosis de nitrógeno que permitan conocer de manera simple la dosis adecuada para alcanzar su máximo productivo.

La optimización del uso de nitrógeno en el cultivo de caña de azúcar es crucial para maximizar la productividad y rentabilidad, mientras se minimiza el impacto ambiental. La variabilidad en las necesidades de nutrientes entre diferentes variedades de caña de azúcar, como la CC 01-1940 y la CC85-92, destaca la importancia de evaluar y ajustar las dosis de nitrógeno para cada variedad específica. Al hacerlo, los productores pueden asegurar una nutrición adecuada para el cultivo, reducir costos y minimizar la contaminación por exceso de nutrientes, lo que a su vez contribuye a la sostenibilidad del cultivo y la protección del medio ambiente.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar la dosis de nitrógeno necesaria para el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) de la variedad CC 11-600

Objetivos Específicos

Determinar la variación en el consumo de nitrógeno y su eficiencia de uso.

Evaluar el efecto de la fertilización sobre el rendimiento del cultivo.

Analizar el impacto económico de la fertilización nitrogenada.

Determinar las dosis de nitrógeno con un modelo matemático.

Marco Teórico

La caña de Azúcar (*Saccharum Officinarum*)

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) es una gramínea del trópico, se considera por algunos como un pasto *gigante*, que tiene un tallo macizo, que puede llegar a alcanzar de dos a tres metros de altura, su tallo contiene sacarosa más conocida como azúcar, el cual se extrae y se cristaliza con un proceso en la fábrica. Esta planta es una monocotiledónea que pertenece a la familia de las poaceas, su origen fue Asia y se condujo a través de otros países de Arabia, India, África y Europa. Paso por el atlántico en la época de la conquista y llegó a Brasil, las Antillas, en la zona norte y Suramérica, principalmente a Colombia, Brasil, Perú y México (Aguilar, 2010).

Según la Organización Internacional del Azúcar (OIA) Colombia entre los años 2022-2023 continúa dentro de los 15 mayores productores y exportadores de azúcar en el mundo, del cual solo participó con un 1,3% en la producción mundial. Al comparar la productividad en términos de toneladas por hectárea, Colombia es líder en productividad, cuyo resultado obedece a los avances en innovación, investigación, tecnologías desarrolladas por los ingenios y su respaldo de CENICAÑA, ASOCAÑA entre los años 2022-2023.

El área sembrada en caña de azúcar para el año 2022 en el valle geográfico del río Cauca fue 238.350 hectáreas, lo que representó una disminución del 2,6% frente al año anterior. Por su parte el área cosechada fue 182.670 has, con un 7,0% más que el año anterior pese a las condiciones climáticas. La molienda fue de 23.0 millones de toneladas, 0,6 % más que el año 2021, sin embargo, el rendimiento en fábrica presentó una disminución del 1,6% anual respecto al año anterior. (Informe anual del sector Agroindustrial de la caña 2022-2023).

Del área sembrada en el año 2022 el 75% corresponde a propietarios proveedores y el 25% son propiedad de los 14 ingenios. La producción en promedio fue de 117,8 toneladas de

caña por hectárea (TCH) y con una producción de 12,3 toneladas de azúcar por hectárea (TAH). (ASOCAÑA, 2023).

Este cultivo se distribuye en 51 municipios de 5 departamentos (Valle del Cauca, Cauca, Risaralda, Caldas, Quindío). El mismo informe expresa que en el país contamos con 15 plantas, 8 de las cuales transforman solo azúcar, 6 en azúcar y alcohol y todas generan energía.

(ASOCAÑA 2012-2023).

Taxonomía

La caña de azúcar presenta la siguiente clasificación botánica según la ficha técnica del cultivo de azúcar Maldonado Cruz S. (2015):

Reino: plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Subclase: Commelinidae

Orden: Poales

Familia: Poaceae

Género: *Saccharum*

Especie: Spontaneum y robustum (silvestre), edule, barberi, sinense y officinarum (domestica)

La caña de azúcar que se siembra actualmente en Colombia corresponde al género *S. officinarum* y provienen de hibridaciones introducidas de otros países como: JAVA (POJ), Barbados (B), Hawai (H), Puerto Rico (PR), India (CO, Coimbatore), Estados Unidos (CP, LP), Venezuela (V), Brasil (SP, RB) y República Dominicana (RD) (Osorio, 2007). Las variedades CENICAÑA Colombia (CC) fueron creadas con el fin de generar resistencia a

plagas, enfermedades y seleccionadas para diferentes zonas agroecológicas, adaptadas a nuestras condiciones entre de las que se destacan tres ambientes: húmedo, semi-seco y seco.

Generalidades del Cultivo.

El cultivo de caña está influenciado por varios factores entre ellos están los antrópicos, la variabilidad genética, condiciones climáticas, el manejo agronómico y las labores de cosecha. La calidad de caña se determina por la cantidad de azúcar recuperada por tonelada molida, que además depende de contenidos de sacarosa campo, bajos contenidos de: materia extraña, sólidos solubles y fibra, (Larrahondo, 1995., CINCAE, 2015).

Los seres humanos influyen de manera positiva o negativa en los sistemas de producción, bien sea de manera directa o indirecta, con el uso de recursos o tecnologías, la tenencia de tierra, las políticas agrícolas, el mercado, la mano de obra, la variación de precios entre otros. (Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la caña de azúcar, 2015)

El efecto varietal es uno de los parámetros más importantes ya que el mejoramiento genético busca producir cañas con alto contenido de sacarosa por tonelada, un 13% aproximado de fibra, resistencia o tolerancia a plagas y enfermedades, además de la presencia de sustancias como almidones, ácidos orgánicos, fenoles entre otros. (CINCAE, 2015)

Vásquez, N. (s.f) señala que el cambio climático determina directamente el proceso de crecimiento y la cantidad de azúcar producida, además de generar plagas y enfermedades que alteran los contenidos de sacarosa. Variables como la luminosidad la cual su relación es directa si baja la intensidad de la luz, también disminuye la elaboración y el almacenamiento de azúcares en el tallo. Por otro lado, si no existe la adecuada humedad en el suelo (capacidad de campo), el desarrollo se ve afectado, al igual que las precipitaciones o los riegos en el periodo de agostamiento puede afectar el rendimiento del cultivo. La temperatura es otro factor que influye

en la absorción de agua y nutrientes siendo determinante en la aceleración o desaceleración del crecimiento, además oscilaciones de entre 11 y 12 grados centígrados entre la temperatura diurna y nocturna pueden ayudar en la acumulación de sacarosa.

En cuanto al manejo agronómico, la fertilización es uno de los factores más críticos porque no solo impacta en el presupuesto, sino que afecta la calidad, la cantidad y el contenido de azúcar según CINCAE (2015).

Elementos como el nitrógeno, el potasio y el fósforo son los elementos que más se consumen, el nitrógeno estimula el crecimiento esto obedece a que favorece el macollamiento y cuyo efecto se nota en las toneladas de caña por ha, pero excesos pueden conducir a la disminución de la concentración de la sacarosa, porque retarda la maduración. Sin embargo, se puede provocar un crecimiento exagerado del tallo. Por su parte el potasio no solo influye en el crecimiento y el desarrollo de los tallos si no que es el encargado de transportar los azúcares desde las hojas al tallo (Cuellar, et al., 2002). Deficiencias en este elemento disminuyen los contenidos de sacarosa e incrementan los contenidos de azúcares reductores, los cuales son los causantes del color en la fábrica. (Larrahondo, 1995). Excesos de potasio cambia la cristalización de la sacarosa generando incrustaciones, si hay presencia de sodio, potasio, calcio y magnesio, pueden incrementar la concentración de mieles en el proceso de cristalización, generando baja recuperación de sacarosa (CINCAE, 2015).

El fósforo no solo se requiere para el desarrollo en el cultivo sino también para la clarificación del jugo, concentraciones entre 300 a 600 ppm de P_2O_5 son necesarias para una buena floculación y clarificación (Larrahondo, 2012)

La cosecha es el otro factor determinante ya que la edad determina la madurez del cultivo, la maduración fisiológica se logra cuando los tallos alcanzan su mayor potencial con su

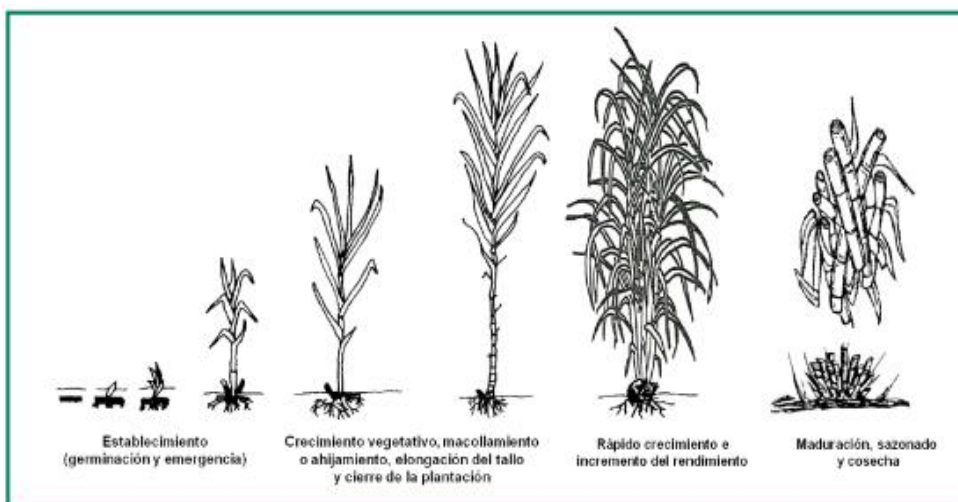
punto máximo de acumulación de sacarosa, con la ayuda de madurantes químicos este proceso es acelerado, estas moléculas actúan en el proceso fisiológico de la planta, disminuyendo el crecimiento y permitiendo que las invertasas actúen en la acumulación de sacarosa en los tallos. (Almeida et al., 2006).

CINCAE (2015) indica que el ingreso de materiales como hojas, cogollos, suelo y chupones más conocido como materia extraña, disminuye las concentraciones de sacarosa por dilución, además de afectar la calidad del jugo, los autores indican que 1% de cogollo u hojas pueden incrementar el color de 4 al 15%, estas materias extrañas dependen del tipo de cosecha y del tipo de corte. Después de la quema de caña esta se deteriora produciendo pérdidas, en su mayoría obedece a procesos bioquímicos y microbiológico desdoblado de esta manera la sacarosa en sus azúcares reductores.

Por otra parte, el desarrollo del cultivo tiene 4 fases de crecimiento según Allen (2006), Humbert, (1974) y se describen a continuación:

Figura 1.

Etapas fenológicas del cultivo de caña



Fuente. Benvenuti, 2005, FAO, 2006.

Fase de establecimiento: periodo de 30 a 50 días, en esta etapa se da la germinación y emergencia a través del crecimiento de plantillas o el rebrote de los retoños conocido como socas, en ambos casos crecerán nuevos tallos. En esta etapa es necesario mantener la humedad del suelo y hacer los controles de malezas adecuados, condiciones de baja humedad conllevan a baja población ya que el sistema radicular es pequeño y de baja profundidad (Barbieri, 1993).

Cuando la germinación es por yemas esta puede ser afectada por la humedad, la temperatura, la aireación del suelo, la sanidad de la yema, la humedad del esqueje, el contenido de azúcares reductores y su estado nutricional. Condiciones de suelo bien aireados y humedad adecuada pueden asegurar un 60% de germinación (Humbert, 1974). En esta etapa es importante revisar la edad/calidad tanto de semilla como esquejes ya que son determinantes para una adecuada germinación, como también la fecha de siembra la cual puede verse afectada por condiciones climáticas que inciden directamente en la emergencia, el desarrollo y la producción. (Romero, 2005)

Fase de ahijamiento o de reposo fisiológico: el periodo esta entre 50-70 días, es una etapa muy exigente a la humedad, en este momento se desarrolla la mayor cantidad de follaje. En esta fase se hace la aplicación de fertilizantes con el fin de asegurar el desarrollo de este, la elongación del tallo es rápida y el contenido de fibra es alto, mientras que la sacarosa es baja como lo mencionan Fauconnier y Bassereau (1975). En este momento se generan las hojas activas y los tallos que definen un gran porcentaje del rendimiento; lo cual se ve afectado por la humedad, la fertilización, la luz, la variedad, la temperatura y el riego (Barbieri, 1993).

Fase de rápido crecimiento: esta fase se desarrolla entre 180-220 días, el dosel se cierra hasta el periodo de madurez, la biomasa aumenta al igual que el número de tallos, siendo necesario mantener la humedad del suelo, si ésta es escasa afecta la maduración y evita la

acumulación de sacarosa en condiciones adecuadas. De los retoños formados, solo entre el 40 al 50% sobrevive y forman tallos molinables. En esta etapa se define la elongación y su rendimiento. (Barbieri, 1993).

Fase de maduración y cosecha: entre 60 a 140 días, depende de la variedad. Sin embargo, aproximadamente 3 meses antes, la humedad ya no es necesaria, con el fin de disminuir el crecimiento e incrementar la sacarosa. (Pereira, 2006). La cosecha se hace en la base del tallo y puede ser mecánica o manual y puede ser quemada o cortada en verde. (Rivera, s.f.).

Factores Limitantes Climáticos y Edafológicos que Afectan el Cultivo.

En general el cultivo se adapta a diferentes condiciones de clima, manejo y suelo. Aunque esto se considera como una ventaja en su adaptación a las diferentes condiciones agroecológicas, en general se traduce a baja sensibilidad a suelos pobres y regímenes cálidos, sus características fisiológicas son lo que le permite generar mecanismos eficientes que le permiten adaptarse con facilidad. Sin embargo, es necesario hacer estudios de condiciones ambientales, meteorológicos y edafológicos con el fin de potencializar su producción. (Rivera, n. d). Algunos autores mencionan que la caña puede tolerar variaciones severas en la fertilidad y en el equilibrio natural, su producción va estar directamente relacionada con el nivel de fertilidad que puede ser bajo o desbalanceado.

En los factores climáticos: el cultivo de caña se adapta a una gran diversidad de condiciones climáticas, pero su mejor zona son las regiones tropicales cálida que cuenta con una amplia radiación solar. (Humbert, 1974. Castro et al., 2017).

La precipitación normal oscila entre 800 a 1500 mm que se requieren en la fase de crecimiento vegetativo, la cual debe de ir acompañada de abundante distribución de luz, favoreciendo el crecimiento y la elongación del entrenudo. En la fase de maduración se requiere

un periodo seco que favorezca la acumulación de sacarosa, ya que las lluvias estimulan el crecimiento, implicando una disminución de la misma. (Aguilar, A. S.f)

El mismo autor indica que la temperatura, para una adecuada brotación debe oscilar entre 32°C -38°C. Cuando la temperatura está por encima de 38°C se reduce la tasa fotosintética y aumenta la transpiración; en la maduración la oscilación de la temperatura debe ser entre 12°C - 14°C, la cual reduce el crecimiento e incrementa la sacarosa, una mayor temperatura promueve la acumulación de azúcares reductores (fructosa y glucosa).

La humedad relativa debe estar entre 80 y 85% de este modo se favorece la elongación, entre 45-65%, con baja humedad en el suelo, favorece la maduración, (Inman-Bamber y Smith, D. 2005)

Este cultivo se caracteriza por su eficiencia en la fotosíntesis por ser C4, ya que posee dos tipos de cloroplastos, los mesófilos y los ubicados en la vaina vascular que le permiten capturar más CO₂, su velocidad fotosintética es entre 2 a 3 veces mayor que una planta C3, ya que puede hacer el proceso incluso con las estomas cerrados, permitiendo ser más eficiente en el uso del agua y la transpiración. (De Souza Rolim, 2008). El 70% de la radiación se toma por las seis hojas superiores, las hojas inferiores su absorción es menor por el sombramiento mutuo. (Barbieri, 1993).

Con respecto a los factores edafológicos, los suelos no solo proveen nutrientes y agua también anclaje, siendo necesario buscar una buena salud y calidad del mismo, la caña al igual que otros cultivos requiere que sus propiedades físicas, químicas y biológicas, sean adecuadas para alcanzar su mayor crecimiento, rendimiento y calidad de la caña. La caña puede ser cultivada desde un suelo arenoso, franco –arcilloso y arcilloso. Las condiciones edáficas ideales son suelo bien drenados profundos, francos con una densidad aparente de 1, a 1,2 g/cm³, con

adecuada distribución de tamaño de poros, nivel freático bajo de 1,5 m, retención de humedad del 15%. (Salgado, 2010, 2008).

Nutricionalmente este cultivo extrae gran cantidad de nutrientes, para ello es necesario aplicar considerables cantidades de fertilizantes de macro y micronutrientes para suplir sus necesidades, esto obedece a su gran producción de biomasa, que en fresco puede alcanzar un valor cercano o por encima de 100 t/ha lo que representa entre 0 a 35 toneladas de materia seca por hectárea. Se estima que más o menos se aplican entre 800 a 1500 kg/ha año entre potasio, nitrógeno y otros nutrientes (Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la caña de azúcar, 2015).

Normalmente la aplicación de fertilizantes se hace usando las mismas fuentes, en las mismas dosis en los diferentes tipos de suelos, tanto la falta o la baja disponibilidad limitan los procesos de crecimiento y producción. El nitrógeno es importante ya que estimula el crecimiento y su desarrollo, haciendo que macolle. El fósforo su función principal es el desarrollo radical, fomenta el crecimiento de los brotes, incrementando la producción y el desarrollo de los mismos. El potasio favorece también el desarrollo, estimula la elongación del tallo, el diámetro y en general la producción. Elementos como magnesio, azufre y hierro incrementan la actividad fotosintética. (Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la caña de azúcar, 2015).

El nitrógeno se absorbe por las raíces o por las hojas en las formas de NO_3 y NH_4 , los cuales se transforman en carbohidratos y proteínas, además de la formación de clorofila. Si existe deficiencias la coloración es verde –amarillento, especialmente en hojas viejas y si la deficiencia es muy marcada se da en hojas nuevas estas se secan prematuramente, los tallos son delgados y cortos, disminuyendo la productividad por metro cuadrado. (Quintero, 1995).

En cuanto al fósforo su aplicación se hace con el fin de mejorar la producción, la sacarosa por su parte no tiene efectos. Sin embargo, si tiene una influencia directa en el proceso de clarificación, jugos con altos contenidos de P_2O_5 son de fácil floculación y mejor decantación de impureza, mientras que jugos pobres requieren el uso y el consumo de ácido fosfórico. (Korndofer, G. 1994).

La concentración de fósforo en el jugo depende de la extracción que hace la raíz y este se condiciona por el tipo de suelo, la variedad, la dosis aplicada y la fuente usada en la fertilización. Si un suelo tiene fosforo disponible, mayor es la concentración en el jugo. (Guimat'acs y Silva 1977).

El potasio afecta el contenido de ceniza y a su vez la cristalización por la formación de falsos núcleos, pero si se favorece la producción de miel. Sin embargo, el potasio aplicado no afecta la concentración en la caña (Korndofer, G. 1994).

Ensayos Previos de Fertilización Nitrogenada.

Quintero, D. y Jaramillo, L. (1995), indican que las primeras pruebas de nitrógeno se realizaron en el ingenio La Cabaña suerte 016, en un suelo bengala (Inceptisol) la variedad usada fue la V71-51, donde se evaluaron dosis de nitrógeno entre 0 y 200 kg/ha con intervalos de 20 kg/ha la prueba se realizó en 11 parcelas semi-comerciales con dosis estables de P_2O_5 y K_2O . El resultado de la prueba indicó que a medida que se incrementó la dosis de nitrógeno el contenido de nitrógeno foliar aumentó, una vez se realizó la cosecha, las mayores producciones respondieron cuando los contenidos fueron mayores a 2,2% de nitrógeno foliar. Para la variedad en estudio el uso de 180 unidades de nitrógeno el TCH fue de 148 toneladas y con 200 unidades de nitrógeno más 60 de K_2O la producción alcanzo 160 toneladas por ha y sacarosa de 16,59%

En el año 1997 se realizó un ensayo con dosis de nitrógeno en suelos con diferentes características fisicoquímicas en los ingenios Cauca, Castilla, Risaralda, Mayagüez, San Carlos y Rio Paila. La fuente usada fue urea, sulfato de amonio, nitro plus con dos aplicaciones a los 30 y 90 días en plantillas y 30 y 60 días en socas, para las variedades MZC 74275, PR 61-632 y POJ 28-78. En los resultados se encontró que la respuesta al N disminuyó en la medida que se incrementó la materia orgánica. Las variedades MZC 74275, PR 61-632 y POJ 28-78 respondieron a dosis altas en suelos como puerto tejada y Argelia con rangos de materia orgánica de 2%, en suelos como Cachipay y Galpón su producción fue media, con materias orgánicas entre el 2,3 y 3,3%. La variedad POJ 28-78 en el suelo Burriga se obtuvo las producciones más bajas y la PR 61-632 en suelos manuelitas cuya materia orgánica estuvo en valores cercanos o superiores a 3%, los suelos pobremente drenados requieren más nitrógeno que los suelos bien drenados. En este estudio se estableció que para algunas variedades como la MZC 74275 y POJ 28-78 no responde al fraccionamiento mientras que la PR 61-632 responde mejor a dos aplicaciones, por su parte no se encontró diferencias entre fuentes. (Quintero, 1997).

Estudios más recientes en la variedad CC 01-1940 indican que presenta una tasa de absorción hasta el quinto mes después de la siembra, en una proporción de 45Kg /ha y luego desciende 10 kg/ha, lo que implica una buena absorción de fertilizantes después de ser aplicados y a su vez sigue absorbiendo en menor proporción hasta finalizar el ciclo. La fuente más usada es la urea, que no se debe aplicar después del quinto mes, la dosis de nitrógeno a usar depende del contenido de materia orgánica del suelo. (CENICANA, 2018).

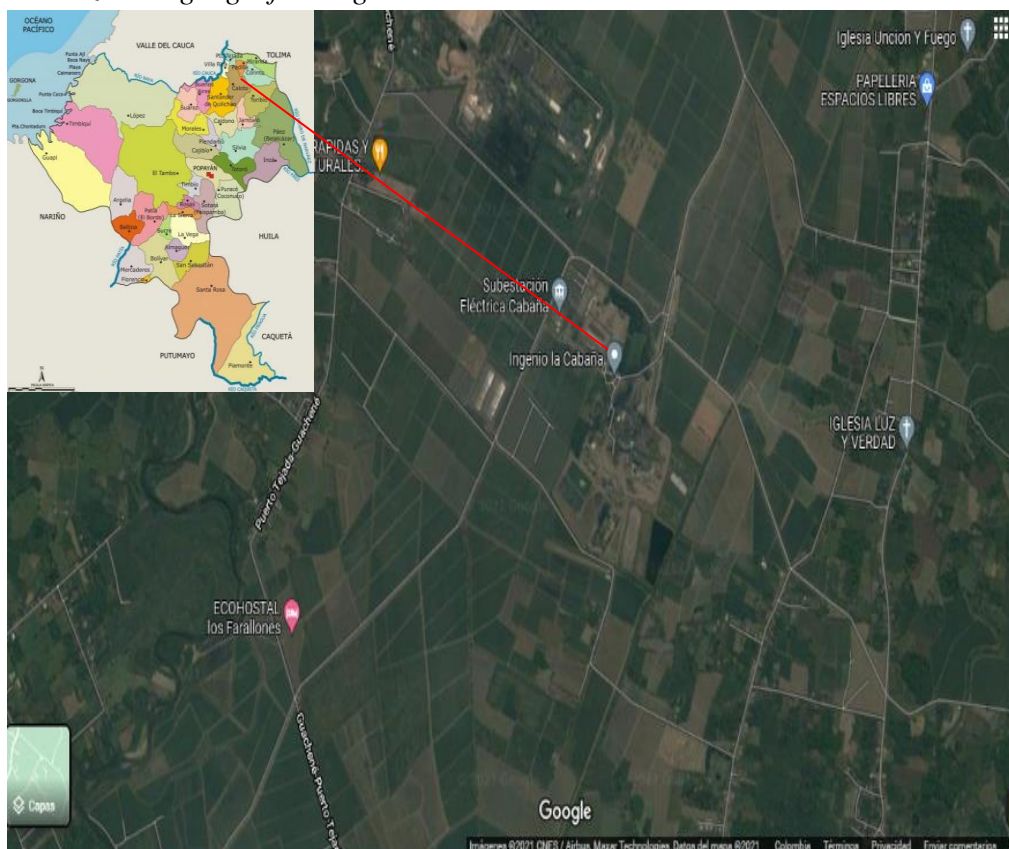
Metodología

Localización

El ingenio La Cabaña se encuentra ubicado al Norte del departamento del Cauca, el cual se dedica a la producción y comercialización de azúcar, miel, energía y bagazo. El ensayo se realizó en la hacienda Caldas Agroindustria suerte 018.

Figura 2

Localización geográfica Ingenio La Cabaña



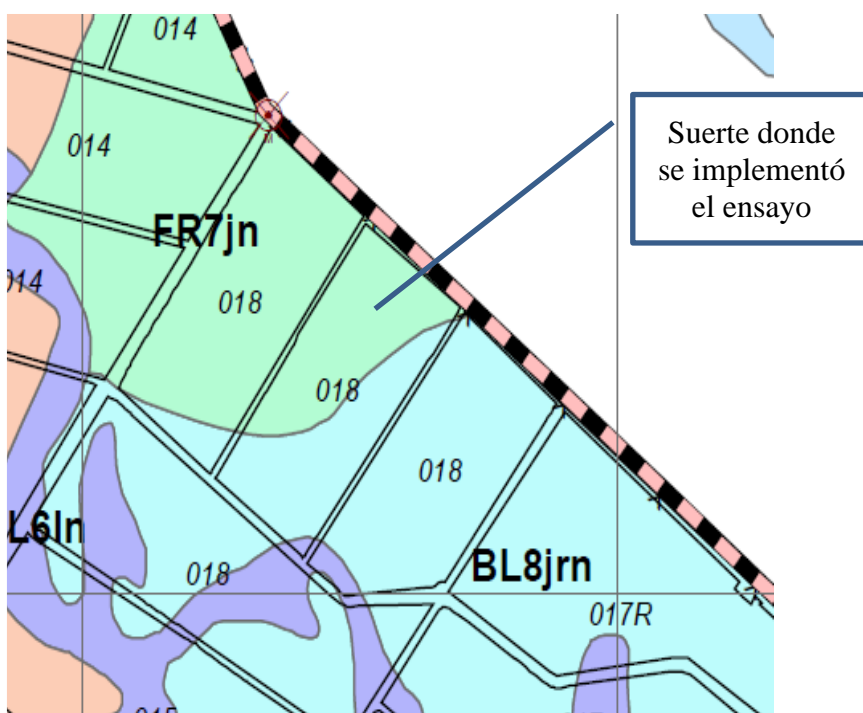
Fuente. Google maps (2024)

Descripción de los suelos

La suerte presentó dos tipos de Concesión Franciscano (FR7jn) y Ballesteros (BL8jrn) como se puede observar en la figura 3.

Figura 3

Consociaciones para Caldas Agroindustria suerte 018



Fuente. Ingenio La Cabaña

Según el Estudio de detallado de suelos la suerte está compuesta por un 49,85% de la consociación Franciscano y el 48,7% de Ballesteros.

La consociación Franciscano corresponde a una Aquic Haplustolls francoso fino, con una secuencia de horizontes A_B_C con colores grises muy oscuros a pardos oscuros. Textura general es franco arcilloso y en algunos casos se puede encontrar como franco arcillo limosa o arcillosa. Químicamente pueden tener mediana capacidad de intercambio catiónico, dominados

por calcio y magnesio, en general las bases se pueden encontrar en mediana concentración, con medianos contenidos de carbono orgánico y su fertilidad se puede considerar entre media a alta. (CENICAÑA, s.f)

Físicamente pueden ser suelos con alta capacidad de retención de humedad en los primeros 60 cm de profundidad, con porosidad dominada por micro poros, con permeabilidad e infiltración media. Sin dominancia de ningún tipo de arcilla, siendo entonces catalogados como mineralogía mezclada. (CENICAÑA,s.f)

Suelo con presencia de un epipedón móllico, con régimen de humedad usticos, pero puede presentar en algunas condiciones régimen ácuico, moderadamente profundos, con limitantes de materia orgánica y presencia de nivel freático alto. (CENICAÑA,s.f)

La consociación Ballesteros corresponde a un Typic Endoaquerts familia fina mezclada, con secuencia de horizontes A-B-C con colores oscuros y clases textural arcillosas a arcillo limosa.” Químicamente presentan alta capacidad de intercambio catiónico, la cual es dominada por calcio y magnesio, las bases están en proporciones medias, los contenidos de carbono orgánicos son bajos al igual que el fosforo, su calificación en fertilidad es alta.” (CENICAÑA, s.f)

Estos suelos están compuestos principalmente por minerales arcillosos llamados esmécticas, especialmente en las capas superficiales. Sin embargo, a medida que profundizamos, la cantidad de estos minerales disminuye, lo que indica una mezcla de diferentes tipos de minerales. Además, estos suelos retienen mucha agua, tienen mala capacidad de drenaje y son pegajosos y plásticos cuando están húmedos. Esto significa que el agua se filtra y penetra muy lentamente en el suelo.

Evaluación de Variabilidad Espacial.

Teniendo en cuenta que en la suerte se presenta variabilidad en los suelos es necesario realizar un estudio más profundo con el fin de realizar el diseño experimental, para ellos se optó por una evaluación con perfilador el cual es un instrumento que permite identifica la variabilidad insitu del predio. Ver figura 4.

Figura 4.

Variabilidad Insitu del Predio



Fuente. CENICAÑA, Ingenio La Cabaña (2019).

Descripción de los Tratamientos.

Se identificaron tres zonas homogéneas las cuales permitieron establecer el diseño experimental. Los tratamientos usados fueron los siguientes:

T1 con cero bultos de urea, dos bultos de Fosfato diamónico (DAP) y 2 bultos de Cloruro de Potasio (KCl)

T2 con dos bultos de urea, dos bultos de Fosfato diamónico (DAP) y 2 bultos de Cloruro de Potasio (KCl)

T3 con cuatro bultos de urea, dos bultos de Fosfato diamónico (DAP) y 2 bultos de Cloruro de Potasio (KCl)

T4 con seis bultos de urea, dos bultos de Fosfato diamónico (DAP) y 2 bultos de Cloruro de Potasio (KCl)

T5 con ocho bultos de urea, dos bultos de Fosfato diamónico (DAP) y 2 bultos de Cloruro de Potasio (KCl)

En término de unidades los tratamientos se describen así:

Tabla 1.

Descripción de Unidades de Elemento Aplicadas

Tratamiento	Nitrógeno	Fosforo	Potasio
		Kg/ha	
T1	0	46	60
T2	46	46	60
T3	92	46	60
T4	138	46	60
T5	184	46	60

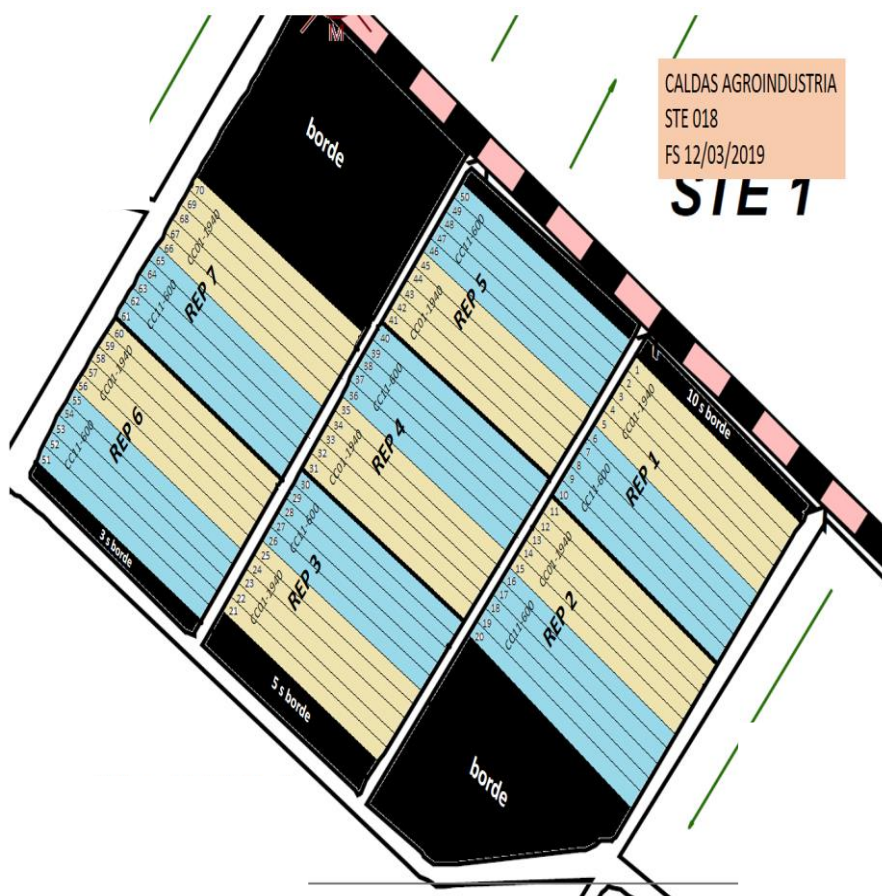
Fuente. Elaboración propia.

Estos tratamientos se usaron para fertilizar dos Variedades de caña CC 01-1940 y CC 11-600.

El diseño experimental correspondió parcelas divididas en bloque completos con siete repeticiones y se establecieron en campo de la siguiente manera (ver figura 5):

Figura 5.

Diseño Experimental



Fuente. Elaboración propia.

El ensayo en campo se estableció el 12 de marzo del año 2019 y se cosecho el 2 de abril de 2020 con edad de 13 meses.

El ensayo se realizó en una plantilla, las labores fueron preparación, adecuación y siembra. Para efectos del ensayo no se aplicó ningún fertilizante al fondo del surco, la fertilización se realizó a los 50 días después de la siembra, según los lineamientos del ingenio (aplicación se

realizó mecánicamente con una abonadora convencional, previamente calibrada y ajustada la dosis por ha). Las labores para el levante fueron riego cuando fue necesario, control de malezas.

Las variables evaluadas fueron toneladas de caña por hectárea, toneladas sacarosa hectárea. Para ellos se realizó el corte de cada parcela, se cosecho cada parcela, se controló su ingreso y el peso. Los datos de sacarosa fueron proporcionados por la fábrica.

Finalmente, la información recopilada se entregó a CENICAÑA con el fin de hacer un análisis estadístico que permita evaluar el efecto de los tratamientos y las variedades usadas.

Resultados

Resultados de la Evaluación de las Propiedades Químicas

Se tomaron análisis de suelos con el fin de caracterizar los suelos inicialmente, cuyos resultados vemos en la siguiente Tabla 2:

Tabla 2.

Caracterización Química del Suelo de Caldas Agroindustrias 018.

UC	pH	P	M O	Cl C	Ca	Mg	K	Na	Al	Mn	Fe	Cu	Zn	Ca/Mg	(Ca+ Mg)/ K
		Ppm	%	meq/kg						Ppm					
FR7jn	5,44	9,32	2,9 6	23, 42	9,6	4,59	0,23	0,05	0,05	54,04	30,9 8	3,35	3,07	2,1	61,7
BL8jrn	5,77	20,6 8	2,8	19, 12	11,87	5,08	0,26	0,07	0	48,11	14,5	4,66	3,71	2,3	65,2

Fuente. Ingenio La Cabaña

Al revisar estos análisis se identificó que corresponde a suelos ácidos, con diferencias en contenidos de fosforo, el suelo ballesteros presenta mayor concentración de P; en cuanto a materia orgánica sus contenidos están entre medios con tendencia a bajo, las bases por su parte Ca y Mg están en proporciones medias y con relación Ca/Mg adecuada. El potasio se encuentra en medio y en relación con (Ca + Mg) /K se encuentra disponible. Sin embargo, se debe hacer aplicaciones de mantenimiento para evitar deficiencias. Por el pH del suelo no se encuentran presencia de sodio y sin presencia de aluminio. En elementos menores su concentración es normal salvo que se debe hacer ajustes en zinc y cobre con el fin evitar posibles deficiencias, aunque estos elementos se verifican en el desarrollo del cultivo.

Desarrollo del cultivo

Se hace la siembra en el fondo de los surcos con una distancia de a 1,5 m con tallos de las variedades CC 01-1940 y CC 01-1600 la siembra se hace con un bandereo a 10 m con aproximadamente 9 semillas por metro, para una densidad de 59994 plantas/ha, la semilla es

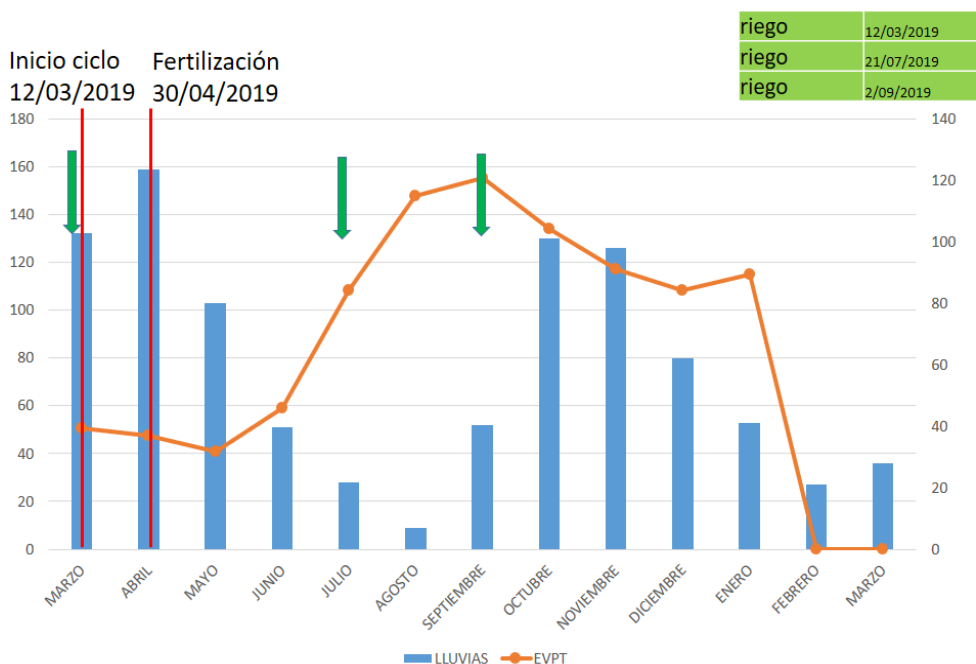
tratada con VITAVAX (fungicida), los tallos son tomados de un semillero de 6 meses de edad, se verifico que las yemas estuvieran fitosanitariamente sanas, además de asegurar que los semilleros correspondieran a las variedades anteriormente mencionadas.

La fertilización se realizó con una única aplicación mecánica e incorporada al fondo (20 cm) y a los 50 días después de la siembra, teniendo en cuenta las dosis y las cantidades mencionadas en los tratamientos.

Según el balance hídrico en la siembra se realizó un riego de germinación, desde junio, julio, agosto y septiembre se presentó la evaporación más alta, siendo necesario aplicar en julio y septiembre riegos con el fin de asegurar la humedad necesaria en el periodo rápido crecimiento. Para los meses siguientes la precipitación garantiza la humedad en el suelo. Ver gráfico 1.

Gráfico 1.

Balance Hídrico del Ciclo el Cultivo



Fuente. Elaboración propia.

Al cultivo se le hacen las labores de control de malas hierbas, la aplicación de 3 riegos uno de germinación y dos en el periodo de rápido crecimiento, no se le realiza la maduración con el fin de ver el efecto de los tratamientos sobre la producción de sacarosa.

A los 13 meses cada parcela fue cosechada se pesan en la báscula de ingenio, para ellos se toma el peso por cada vagón y el peso de caña que es transportada, para la sacarosa se hacen evaluaciones de pre cosecha.

Una vez se realizó el análisis estadístico de los datos se encontró que existe diferencias significativas con un 98 % de significancia entre variedades y con un 96% entre tratamientos, además no se evidencia que en la interacción variedad por tratamiento no existen diferencias

se puede apreciar en la siguiente tabla:

Tabla 3.

Resultados de Prueba Estadística ANDEVA

Test de tipo III de efectos fijos				
Efecto	DF Num	DF Den	Valor F	Pr F
Variedad	1	6	10.00	0.0196
Tratamiento	4	48	2.86	0.0334
Variedad *Tratamiento	4	48	0.29	0.8846

Fuente. Moreno, C. (2021)

Respuesta de la Producción en Términos de Toneladas de caña por ha a los diferentes Tratamientos.

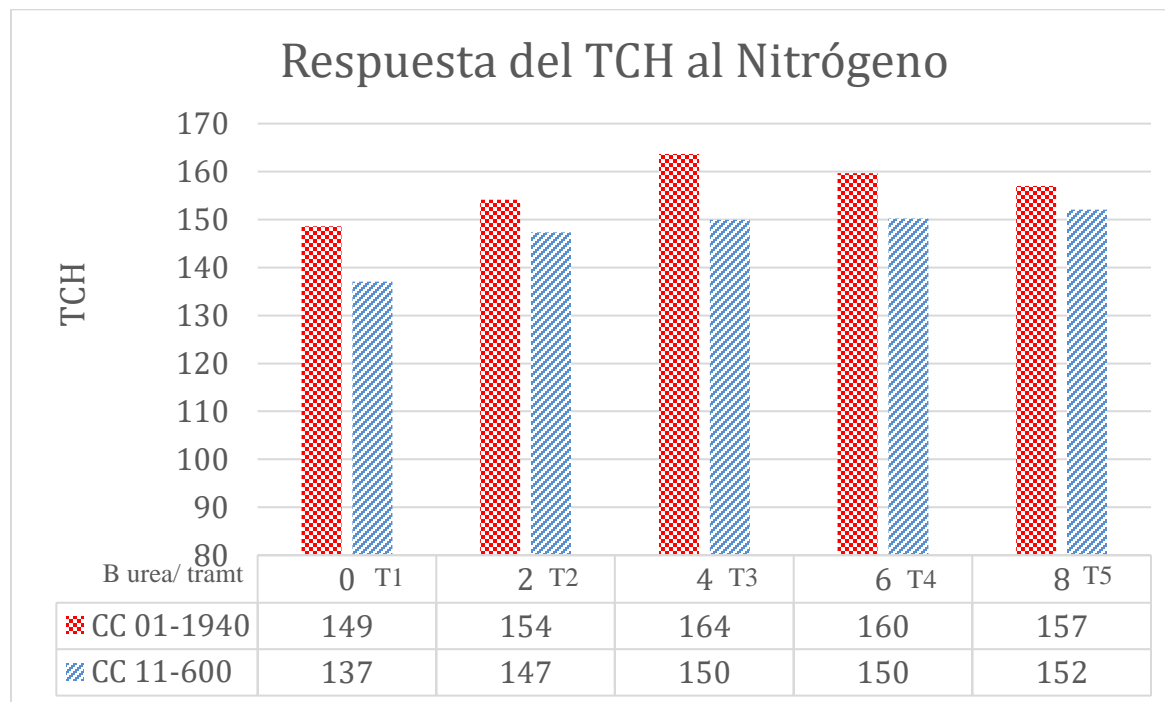
Para CC 01-1940 la dosis de 4 bultos de urea (92 kg de Nitrógeno) fue la que mejor respuesta con 164 Toneladas por ha, seguido de 6 bultos (138 kg de Nitrógeno) y 160 toneladas

por hectárea, como era de esperarse donde no se aplicó nitrógeno la respuesta fue menor 149 toneladas. (ver gráfico 1).

Para la CC 11-600 su comportamiento es distinto su mayor producción se encuentra cuando se aplican 8 bultos de urea (184 kg de Nitrógeno) y se puede obtuvo 152 toneladas de caña por hectárea, sí se aplican entre 4 a 6 bultos de urea (92-138 kg de Nitrógeno) la producción fue de 150 toneladas por ha, donde no hubo aplicación de nitrógeno la producción fue bajó a 137 toneladas por ha. (ver gráfico 2).

Gráfico 2.

Resultados en TCH por Variedades y Tratamiento.



Fuente. Elaboración propia.

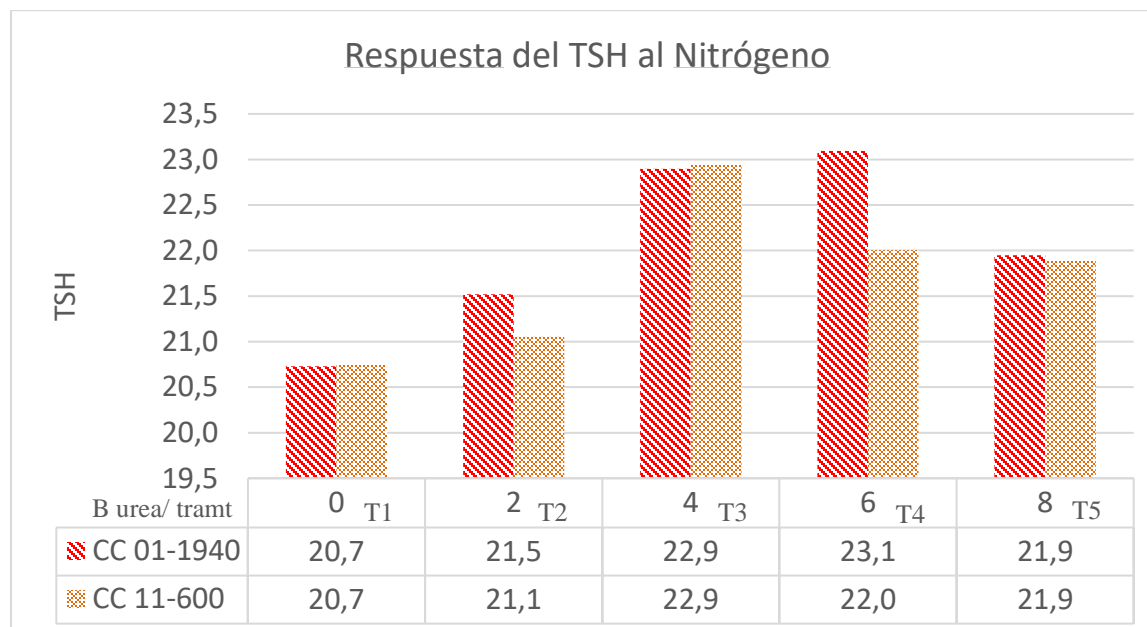
La comparación entre las variedades resultó con mejor producción en promedio con la CC 01-1940 con 156,8 toneladas por hectárea en comparación con la CC 11-600 que obtuvo 152 toneladas por hectárea. Esto representa una diferencia de 9,6 toneladas entre variedades.

Resultados en Términos de Sacarosa.

En toneladas de sacarosa por ha observamos que para la CC 01-1940 con 6 bultos de urea (138 kg de nitrógeno) el TSH fue de 23,1, seguido de 22,9 TSH con cuatro bultos (92 kg de nitrógeno). Cuando no se aplica urea (0 unidades nitrógeno) el TSH es el más bajo 20,7. (Ver gráfico 3).

Gráfico 3

Resultados de Sacarosa por Variedades y Tratamiento.



Fuente. Elaboración propia

Para la CC 11-600 la mejor sacarosa se logró con 4 bultos de urea (92 Kg de nitrógeno), seguido de la aplicación de 6 bultos de urea (138 kg de nitrógeno). El no aplicar nitrógeno induce a un bajo TSH. (Ver gráfico 4)

Al comparar la CC 01-1940 con la CC 11-600 el TSH de la primera en promedio fue de 22,2 y 21,72 con una diferencia de 0,48 unidades.

Lo ideal para un ingenio es lograr tener toneladas de caña y a su vez alcanzar buena sacarosa, cuando comparamos los dos gráficos encontramos que para la CC 0-1940 si se aplica entre 4 a 6 bultos de urea se alcanza un adecuado equilibrio, mientras que en CC 11-600 aplicar 8 Bultos permite alcanzar un buen tonelaje, pero se sacrifica la sacarosa, si se aplica entre 4 a 6 bultos se puede alcanzar un balance positivo para estas dos variables.

Determinación de Valor Crítico.

Con el fin de evaluar el valor crítico de producción se hace el tratamiento estadístico de los datos con el fin de evaluar el mejor modelo que se ajuste a los datos y que relacione la respuesta según variables evaluadas, variedad y bultos de urea aplicados, como se puede ver en la siguiente tabla:

Tabla 4.

Modelo para Establecer el Valor Crítico

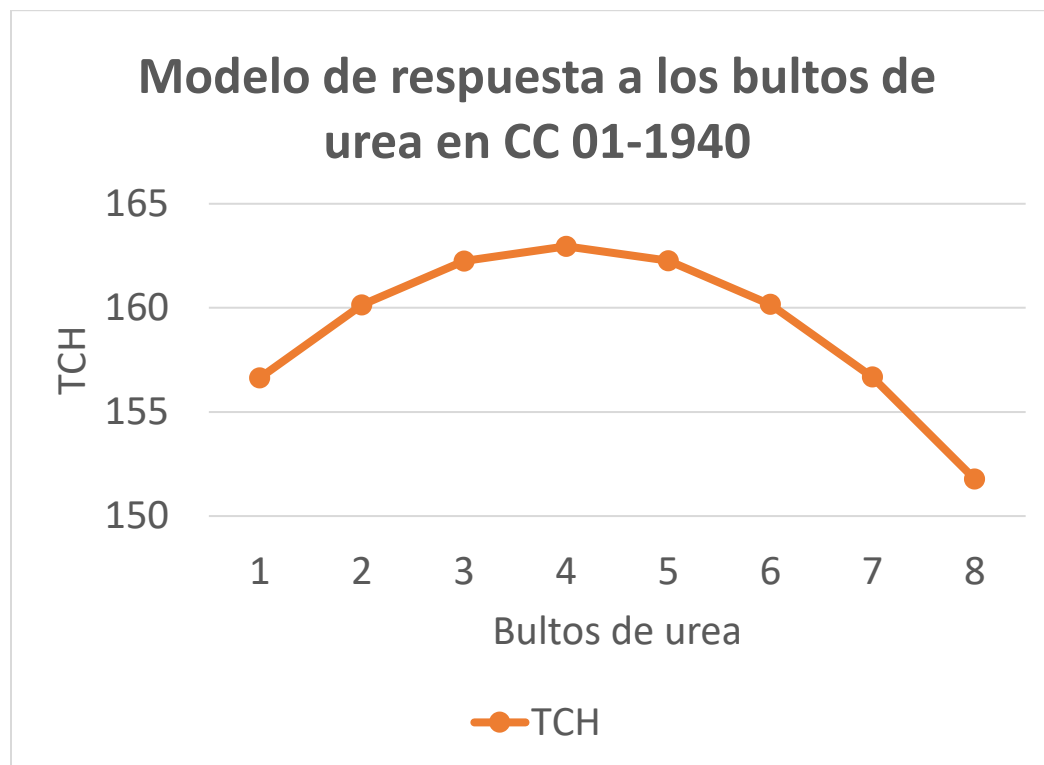
Etiqueta	Contraste			
	DF Num	DF Den	Valor F	Pr >F
Lineal	1	48	7.06	0.0107
Cuadrático	1	48	3.94	0.0529
Cubico	1	48	0.10	0.7497
Cuarto	1	48	0.32	0.5737

Fuente. Moreno, C. (2021)

Estadísticamente se puede usar entre un 98 y 95% un modelo lineal o cuadrático, en este sentido para determinar el valor crítico se usó el modelo cuadrático. Para la CC 01-1940 la curva de valor crítico para TCH la encontramos a continuación:

Gráfico 4

Valor crítico para TCH variedad CC 01-1940

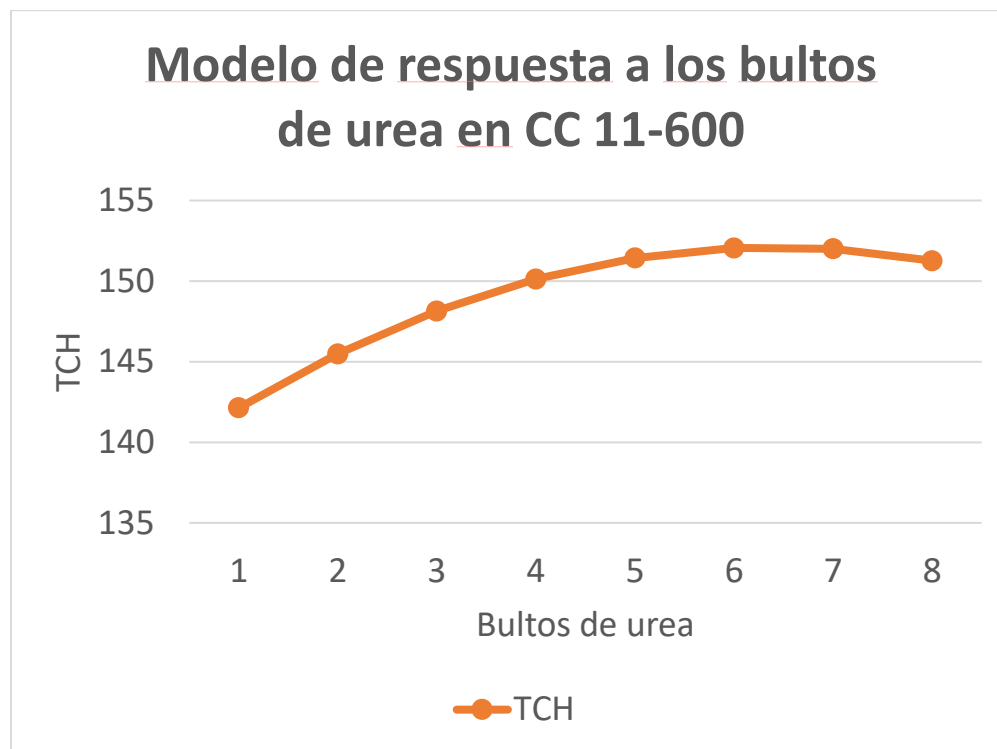


Fuente. Elaboración propia.

Como la gráfica lo indica, en toneladas de caña por la ha el valor crítico está en 4 bultos (92 kg de nitrógeno) de urea aplicados, una vez se incrementa existe una tendencia a bajar las toneladas. Para la CC 11-600 la curva de valor crítico para TCH es la siguiente:

Gráfico 5

Valor crítico para TCH variedad CC 11-600



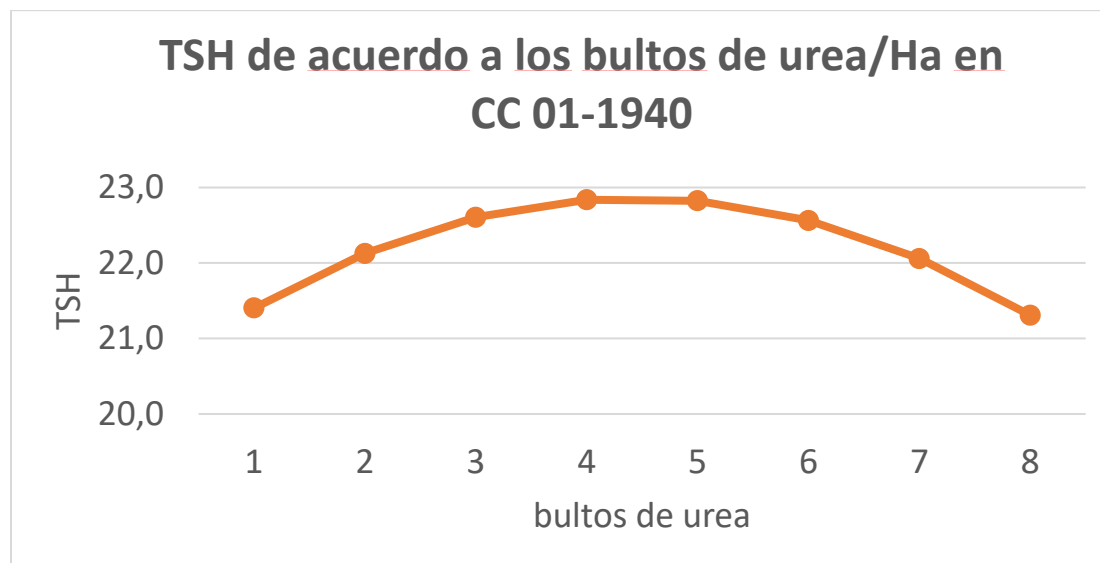
Fuente. Elaboración propia.

Como la gráfica lo indica, en toneladas de caña por ha el valor crítico esta entre 6 a 7 4 bultos (138 a 161 kg de nitrógeno) de urea aplicados, si se incrementa a 8 bultos de urea 184 kg de nitrógeno la producción tiende a bajar.

Por otro lado, las curvas de valor crítico para sacarosa por has, para la CC 01-1940 es:

Gráfico 6

Valor Crítico para TSH en CC 01-1940

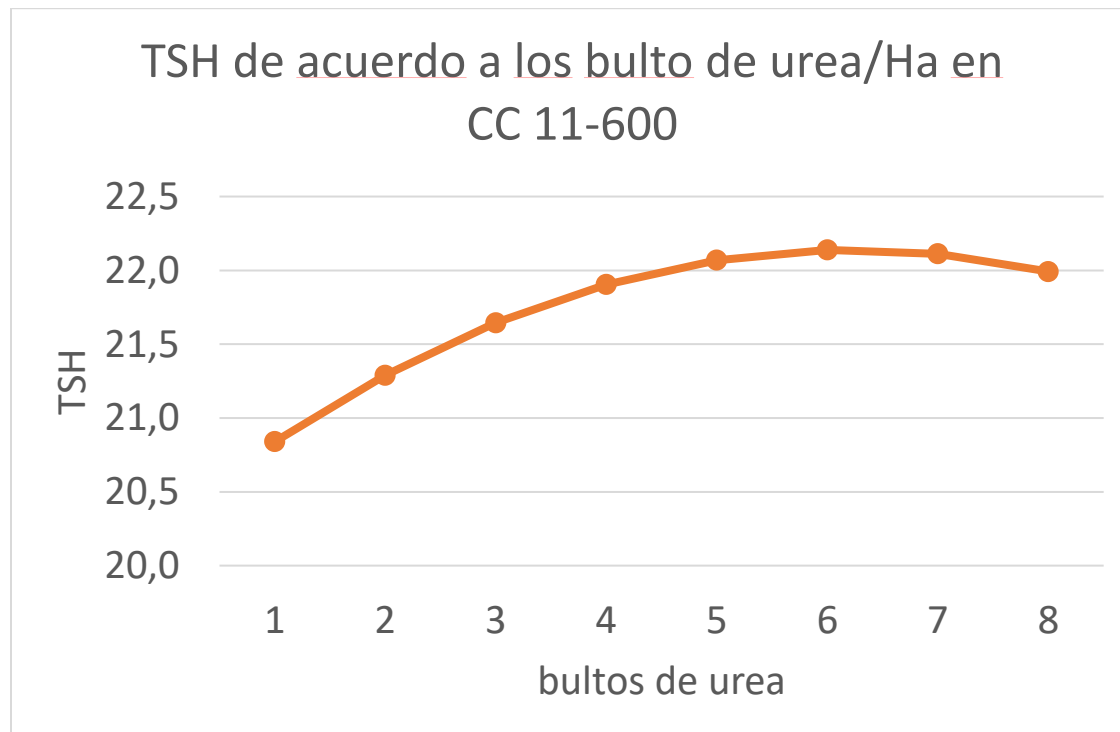


Fuente. Elaboración propia.

Para sacarosa el valor crítico oscila entre 4 a 5 bultos de urea (92 a 115 kg de nitrógeno aplicado), en la CC 01-940. Dosis mayores de 6 bultos la tendencia es a decaer. Y el valor crítico para CC 11-600 en TSH se representa en la siguiente gráfica:

Gráfico 7

Valor Crítico para TSH en CC 11-600



Fuente. Elaboración propia.

En la CC 11-600 el valor crítico para TSH en 6 bultos por ha (138 kg de nitrógeno aplicados), valores superiores según el modelo estadístico tienden a disminuir la producción de sacarosas. Teniendo en cuenta las gráficas de valor crítico para CC 01-1940 la dosis óptima para producir toneladas de caña, sin afectar la producción de sacarosa se encuentra en 5 bultos de urea (115 kg de nitrógeno) bajo las condiciones de suelo estudiadas.

En el caso de la CC 11-600 se podría aplicar la misma dosis de 5 bultos por ha (115 kg de nitrógeno) sin embargo, se podría seguir evaluando si se hace un ajuste a 6 bulto (138 kg de nitrógeno).

Evaluación de Costo: Para la determinación del costo hace el cálculo teniendo en cuenta el costo de compras según la información del ingenio Cabaña para el mes de abril del año 2020.

Tabla 5.

Costo de Precios de los Fertilizantes abril 2022 para los Distintos Tratamientos.

Tratamiento	Urea	DAP	KCL	Valor de fórmula
T1	0	2	2	\$ 811.880
T2	2	2	2	\$ 1.195.830
T3	4	2	2	\$ 1.579.780
T4	6	2	2	\$ 1.963.730
T5	8	2	2	\$ 2.347.680
Costo de Acuerdo al Modelo de Valor Critico				
CC 011940	5	2	2	\$ 1.771.755
CC 11600	6	2	2	\$ 1.963.730
Disminución del Costo Valor Critico vs Tratamiento t5				
	CC 011940			\$ 575.925
	CC 11600			\$ 383.950

Fuente. Elaboración propia.

Se observa que en la medida que se incrementa la cantidad de bultos de urea aplicados también incrementa su costo, esto obedece al costo unitario de cada fuente. Lo normal en la fertilización es la aplicación comercial de 8 bultos de urea. Al revisar el costo, si se aplica teniendo el criterio técnico de valor critico el ahorro por ha es importante, para la variedad CC 01-1940 se disminuye en \$575925, mientras que para la CC 11600 esta \$383,950 menos por ha. las aplicaciones con valor critico asegura un mayor rendimiento sin incrementar el costo.

Discusión General

La nutrición es fundamental para alcanzar la producción deseada. Chávez, 1999 indica que el nitrógeno es un elemento que se debe usar con cuidado ya que dosis excesivas o tardías, pueden afectar la maduración y por ende la concentración de sacarosa en el tallo, siendo entonces importante evaluar las dosis, la época y métodos de aplicación. Korndofer, (1994) explica que niveles altos de fertilizantes conllevan a desarrollo vegetativo, con mayor contenido de humedad y con sacarosas más bajas y mayor consumo de energía. Resultados similares fueron encontrados donde dosis crecientes de nitrógenos disminuyó la sacarosa por efecto del aumento de la humedad, sin embargo, la materia seca no se alteró. (Sturion, 1984, Azevedo et. al, 1994).

Korndofer, G. (1994), indica que el uso de fertilizantes especialmente los nitrogenados se enfocan principalmente en obtener un mayor crecimiento vegetativo, además de encontrar mayor humedad en la caña, sin embargo, dosis elevadas pueden ocasionar una disminución en la sacarosa por efecto de dilución por la humedad. El autor indica que “por cada unidad de incremento porcentual en la producción de caña debido al N, ocurre un descenso de 0,01% en el contenido de sacarosa en los tallos”, también indica que si su aplicación es tardía puede verse retrasado el proceso de maduración.

Anderson y Bowen (2000), indican que, aunque el nitrógeno estimula el crecimiento y la producción en toneladas de caña por ha, también su exceso puede retardar la maduración y reducir la concentración de sacarosa, haciendo crecer exageradamente los tallos.

La respuesta a nitrógeno sin embargo en los suelos depende del contenido de materia orgánica, la condición de drenaje, nivel freático, número de cortes, y la variedad (Quintero, 1999).

Conclusiones

Se pudo establecer que la variedad CC11-600 tiene una tendencia a consumir más cantidad de nitrógeno para alcanzar su máximo potencial.

La CC01-1940 es más eficiente ya que con menos unidades de nitrógeno supero a la CC 11-600 en términos de TCH (15 toneladas).

El efecto de la dosis de nitrógeno depende de la variedad: para la CC 11-600 su mejor TCH se presentó con la aplicación de 184 kg de nitrógeno con una producción de 152 toneladas de caña por hectárea, mientras que para la CC 01-1940 la aplicación de 138 Kg de nitrógeno permitió obtener 164 toneladas de caña por hectárea.

En la sacarosa para la CC 01-1940 (23,1 TSH) correspondió a la aplicación de 184 kg de nitrógeno, mientras que, para CC 11-600 cuando se aplicó 92 kg de nitrógeno la sacarosa fue mayor 22,9 de TSH.

A nivel comercial las aplicaciones se hacen sin tener en cuenta estos ejercicios de calibración, siendo muy normal aplicar los 184 Kg de nitrógeno, sí se aplica lo necesario 138 kg puede significar un ahorro de \$ 383.950 pesos por ha para la CC 01-1940. Para la CC11-600 se puede bajar a la misma dosis de nitrógeno alcanzando un balance entre TCH y sacarosa con el mismo ahorro económico.

El modelo de producción critico indica que para las dos variedades aplicar menos es más rentable que aplicar dosis altas de nitrógeno, para el caso de la CC 01-1940 la aplicación de 115 kg de nitrógeno y para la variedad CC 11-600 con 138 Kg son suficientes para alcanzar su potencial en cuanto a TCH y TSH, reduciendo el costo en \$575,925 pesos para la primera variedad y \$383.950 para la segunda.

Referencias Bibliográficas

Aguilar, A (s.f) *Ficha técnica del cultivo de caña de azúcar.*

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/141823/Ficha_Tecnica_Ca_a_de_Azucar.pdf

Aguilar,A.(2010). *La caña de azúcar y sus derivados en la Huasteca San Luis Potosí*

México. Diálogos Revista Electrónica de Historia, 11(1),81-110.

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43915696003>

Allen R. G. (2006).*Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los*

requerimientos de agua de los cultivos por organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación FAO estudio FAO riego y drenaje 56, Roma, 323 p.Soaes

Almeida, M.; Caputo, M.; et al. (2006). *Efecto de dos maduradores en la acumulación de*

sacarosa en productividad y en el florecimiento de genotipos de caña de azúcar. p. 41-

52. Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Latinoamérica y el Caribe, VI.

Memorias. Guayaquil, Ecuador. 12-15.

Anderson, D. L. y Bowen, J. E. (2000). *Nutrición de caña de azúcar.* Instituto de la Potasa y el

Fósforo (INPOFOS). Quito, Ecuador. p. 40

ASOCAÑA (2020-2021). *Cultivamos país, cosechamos solidaridad, somos azúcar y mucho más,*

Informe Anual. Sector Agroindustrial de la Caña. de:

<https://www.asocana.org/documentos/2372021-4CF8EC5C>

00FF00,000A000,878787,C3C3C3,FF00FF,2D2D2D,A3C4B5.pdf

ASOCAÑA (2011-2022.) *Somos azúcar y mucho más, Informe Anual.* Sector Agroindustrial de

la Caña. Documento recuperado de:

<https://www.asocana.org/modules/documentos/vistadocumento.aspx?id=15398>

Arzola, N. (2006). *Diagnóstico de la necesidad de fertilizantes nitrogenados en caña de azúcar.*

Parte 1. Enfoque tradicional. En: VI Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Latinoamérica y el Caribe. ATALAC, Guayaquil, Ecuador. 12-15 septiembre. p: 229-234

Azevedo, D, F, C. Parazzi, H, et al. (1980) *Efeito da adubação nitrogenada na maturação da cana-de-açúcar.* Congresso Nacional da Sociedade de Técnicos Azucareiros do Brasil; I, 1979. Maceió. Anais ... Maceio: STAB, v. 2, p. 346-349

Barbieri, V. (1993). *Condicionamento climático da produtividade potencial da cana-de-açúcar (Saccharum spp); um modelo matemático-fisiológico de estimativa.* 142p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba

Benvenuti, F. (2005) *Relação de índices espectrais de vegetação com a produtividade da cana-de-açúcar e atributos edáficos* Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola 120 p

Castro, C., Prado, E., Paladines, J. et al (2017). *Factores Que Afectan Al Cultivo De Caña De Azúcar Para Producción De Bioetanol En Ecuador.* European Scientific Journal August Vol.13, No.24 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431

CENICAÑA (2018). *Caracterización agronómica y productiva de la variedad CENICAÑA.* Colombia (CC) 01-1940/ Carlos Viveros (Ed) – centro de investigación de la caña de azúcar de Colombia 162 p. Seri Técnica No 40

CENICAÑA,(s f) *Centro de investigación en caña de azúcar*

<https://www.cenicana.org/apps/geoportal/src/frontend/index.html#18/3.19967/-76.38563>

CINCAE (2015). *Carta informativa, Centro de investigación de la caña de azúcar del Ecuador.*

ISSN 1390292. <https://cincae.org/wp-content/uploads/2013/04/A%C3%B1o-17-1.pdf>

Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la caña de azúcar, 2015. Ficha técnica del cultivo de la caña de Azúcar.

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/141823/Ficha_Tecnica_Ca_a_de_Azucar.pdf

Cuellar, I.; De León, M.; et al.(2002). *Manual de fertilización de la caña de azúcar en Cuba.* La Habana, Cuba. 128 p.

De Souza Rolim G. (2008). *Validation of the deardorff model for estimating energy balance components for a sugarcane crop.* Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.), 658(4):325-334, July/August 2008

EcuRed. (2017). *Organogénesis en Biotecnología Vegetal. 2.*

[https://www.ecured.cu/Organog%C3%A9nesis_\(Biotecnolog%C3%ADa_Vegetal\)](https://www.ecured.cu/Organog%C3%A9nesis_(Biotecnolog%C3%ADa_Vegetal))

Fauconnier, R; Bassereau, D.(1975). *La caña de azúcar. Técnicas agrícolas y producciones tropicales.* Editorial Blume. Barcelona, España. 405 p

FAO (2006). *Crop Water Management for Sugarcane.* En:

<http://www.fao.org/landandwater/aglw/cropwater/sugarcane.stm>

Guimat'acs, E., G. M. A, Silva. (1977) *Estudos de variedades de cana-de-azúcar quanto ao teor de fosforo no caldo, ensaio preliminar.* In: Seminario Copersucar da Agro Industria Azucarera, 4, 1976, Aguas de Lindola. Anais.. Sao Paulo: Copel'sucar, p. 41-43.

Humbert, R. (1974). *El cultivo de la caña de azúcar.* Edit. CECSA. México D.F. 719 p.

- Inman-Bamber N.G. and Smith D.M. (2005) *Water relations in sugarcane and response to waters déficits*. Fields Crops Research, 92, 185-202 pp.
- Korndofer, G. (1994). *Importancia da adubacao na qualidade da cana-de-acucar*. En M. Eustaquio de Sa e S. Buzzeti. *Importancia da adubacao na qualidade dos produtos agricolas*. Sao Paulo: rcone, 1994.
- Larrahondo, J. (1995). *Calidad de la caña de azúcar*. En: El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia, CENICAÑA, Cali. p. 337-354.
- Larrahondo, J. (2012). *Composición y características químicas de la caña de azúcar y su impacto en el proceso de elaboración del azúcar*. Universidad del Valle. 110 p
- Laneros, C., Morono, J., Refugio, M., et al (2016). *Manejo del nitrógeno en la caña de azúcar de la zona centro de Veracruz, México*. Universidad Nacional de Nicaragua vol. 2, num. 1, 2016
- Osorio, G. (2007). *Manual: Buenas Prácticas Agrícolas -BPA- y Buenas Prácticas de Manufactura -BPM-en la Producción de Caña y Panela*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación – FAO. Pág. 53
- Pereira (2006). *Variabilidade espacial das propriedades físicas e químicas do solo em áreas intensamente cultivadas*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.10(2):294–305
- Quintero R. (1995). *Pruebas de manejo del nitrógeno en caña de azúcar*. Cali, Colombia, CENICAÑA. 12p. (Serie Técnica 17).
- Quintero, D. y Jaramillo, L. (1995). *Pruebas de manejo de nitrógeno en caña de azúcar*. Centro de investigación de la caña de azúcar de Colombia. 12 p

- Quintero, D. 1997. *Fertilización en caña de azúcar*. Centro de Investigación de la caña de azúcar de Colombia. ISSN 0120-846, Cali. Pag.15
- Quintero, D. 1999 fertilización de la CC 85-92 con nitrógeno y potasio en tres suelos del valle del río Cauca. Cali, CENICAÑA 33p
- Rivera, (s f). *Ficha técnica del cultivo de caña de azúcar SIVICAÑA*.
http://nutriciondebovinos.com.ar/MD_upload/nutriciondebovinos_com_ar/Archivos/File/CA%C3%91A_DE_AZ%C3%9ACAR,_FICHA_T%C3%89CNICA.pdf
- Romero, E. R.; 2005. *Importancia de la calidad de la materia prima en la productividad de la agroindustria azucarera*. Gacetilla Agroindustrial de la EEAOC N° 67 – Agosto, 1-13 p
- Salgado S. 2008. Programa sustentable de fertilización para el ingenio Pujilic, Chiapas, México Terra Latinoamericana 362 26(4):361-373.
- Salgado S. 2010. *Lotificación del campo cañero: una metodología para iniciar la agricultura de precisión en ingenios de México*. Interciencia. Mar 2010, 35 (3): 183- 190.
- Segura, M. L., Cortés, E. M., & Sánchez, E. M. C. (2000). *Fertilización y riego bajo invernadero en producción integrada*. Horticultura: Revista de industria, distribución y socioeconomía hortícola: frutas, hortalizas, flores, plantas, árboles ornamentales y viveros, (146), 16-24.
- Smith, C. J., Dunin, F. X., Poss, R., & Angus, J. F. (2000). *Nitrogen budget of wheat growing on a Riverine clay soil*. Australian Journal of Agricultural Research, 51(7), 867-876.
- Sturion, A. C 1984. *Influencia de diferentes niveles de adubación NPK en la productividad agrícola y en las características de caña-de-azúcar (Silccharum spp.)*, Piracicaba: ESALQ/USP p.49

Vásquez, N (s. f) *Efecto del clima en la producción de caña de azúcar en Central Progreso.*

<https://www.atamexico.com.mx/wp-content/uploads/2017/11/5.-AGRICULTURA-CA%C3%91ERA.pdf>

Weterings, K., & Russell, S. D. (2004). *Experimental analysis of the fertilization process.* The Plant Cell, 16(suppl_1), S107-S118.

Yepis, O; Fundora, O; et al (1999). *La contaminación ambiental por el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados en el cultivo de tomate.* Scientia Gerundensis. 24: 5-12.