

UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

**Productividad de la caña de azúcar
(*Saccharum officinarum* L. Var. CC
01-1940) mediante el deshoje
artificial en Pradera Valle del cauca,
Colombia**

Verónica Liseth Calderon Amariles

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Palmira, Colombia

2020

Productividad de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L. Var. CC 01-1940) mediante el deshoje artificial en Pradera Valle del Cauca, Colombia

Verónica Liseth Calderon Amariles

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Ciencias Agrarias

Director:

M.Sc. Alexander Bohórquez Páez

Codirector (a):

Ph.D. Maria Sara Mejía de Tafur

Línea de Investigación:

Fisiología de Cultivos

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Palmira, Colombia

2020

Dedicatoria

Al concluir esta etapa de mi vida, dedico esta tesis a Dios, a mis padres y a mi esposo Jorge Eliecer Tello Castrillón. Gracias por todo su amor, la paciencia y el apoyo que me brindaron en todo momento.

A los profesores por su ayuda y motivación diaria.

Agradecimientos

Mis más sinceros agradecimientos a las siguientes entidades y personas que de muchas formas contribuyeron para llevar a cabo esta investigación.

Al Grupo Agroindustrial Riopaila Castilla por el espacio brindado para llevar a cabo la investigación.

A mi director, Ingeniero Agrónomo Alexander Bohórquez por brindarme su apoyo y conocimiento durante la realización del trabajo.

A la Doctora María Sara Mejía de Tafur por ser mi guía y compartir sus conocimientos.

Al equipo de Agronomía de planta Castilla por su colaboración en las actividades de campo.

Al Ingeniero Agrónomo Iván Darío Castro León por su apoyo.

A mi familia por estar conmigo y darme su apoyo incondicional siempre.

Al alma mater, Universidad Nacional de Colombia sede Palmira por su gran aporte a mi formación como persona y profesional.

Resumen

En el manejo agronómico de la caña de azúcar se viene investigando sobre metodologías con mejores resultados en producción y sacarosa, una de estas es el área foliar que genera el cultivo, ya que la cantidad de hojas que se producen durante su ciclo de crecimiento son más de las que necesita para obtener una máxima producción. Anteriormente se utilizaba la práctica de deshoje para aumentar los contenidos de sacarosa, sin embargo, las investigaciones son insuficientes y no permiten tomar decisiones sobre esta práctica en cultivos comerciales. El objetivo fue evaluar las variables de productividad del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en la variedad 'CC 01-1940', al implementar el deshoje artificial. Se determinó la curva de maduración del cultivo, el crecimiento de tallos (cm/mes), sacarosa % caña, rendimiento teórico (%) y se observó en la cosecha las toneladas de caña por hectárea (TCH) y toneladas de azúcar por hectárea (TAH). El método estadístico fue completamente al azar con dos tratamientos y dos repeticiones más un análisis de correlaciones con el programa SAS. Los resultados obtenidos mostraron que las variables sacarosa % caña y rendimiento teórico presentaron diferencias significativas entre los tratamientos, lo cual demostró la eficiencia del deshoje. En conclusión, la defoliación artificial mostró un efecto fisiológico sobre el rendimiento teórico y el contenido de sacarosa, lo que permite establecer nuevos manejos agronómicos para el cultivo en diferentes zonas agroecológicas con base en esta información.

Palabras clave: Producción, sacarosa, fisiología, manejo agronómico

Abstract

In the agronomic management of the sugarcane crop, research has been carried out on methodologies with better results in production and sucrose, one of these is the leaf area generated by the crop, since the number of leaves produced during its growth cycle are more than you need for maximum production. Previously, the defoliation practice was used to increase sucrose content, however, research is insufficient and does not allow decisions to be made about this practice in commercial crops. The objective was to evaluate the productivity variables of the sugar cane crop (*Saccharum officinarum*) in the variety 'CC 01-1940', by implementing artificial defoliation. The crop maturity curve, stem growth (cm / month), sucrose % cane, theoretical yield (%) were determined and tons of sugar cane per hectare (TCH) and tons of sugar per hectare were observed at harvest (TAH). The statistical method was completely randomized with two treatments and two repetitions plus a correlation analysis with the SAS program. The results obtained showed that the variables sucrose % cane and theoretical yield presented significant differences between the treatments, which demonstrated the efficiency of the defoliation. In conclusion, artificial defoliation showed a physiological effect on the theoretical yield and the sucrose content, which allows establishing new agronomic management for cultivation in different agro-ecological zones based on this information.

Keywords: Production, sucrose, physiology, agronomic management

Contenido

	Pág.
Resumen	IXI
Lista de figuras	XIII
Lista de tablas	XIV
Introducción	1
1. Marco teórico	5
1.1 El cultivo de caña en el Valle geográfico del río Cauca	5
1.2 Zonas agroecológicas en el valle del río Cauca	6
1.3 Productividad de la caña de azúcar	7
1.4 Fisiología de la caña de azúcar.....	8
1.5 Etapa de maduración de la caña de azúcar	9
1.5.1 Factores que interfieren en el proceso de la maduración	11
1.6 Relación crecimiento – maduración	12
1.7 Efecto de la radiación solar y la precipitación en la caña de azúcar	14
1.8 Almacenamiento de la sacarosa	15
1.9 La hoja de la caña de azúcar	16
1.9.1 Índice de área foliar y fotosíntesis.....	16
1.10 Deshoje artificial	18
1.10.1 Estudios sobre deshoje artificial en caña de azúcar.....	20
2. Metodología	21
2.1 Localización geográfica del ensayo	21
2.2 Variedad de caña.....	21
2.3 Manejo agronómico del cultivo.....	22
2.4 Diseño experimental	22
2.4.1 Descripción de los tratamientos	22
2.4.2 Detalle de las unidades experimentales.....	23
2.5 Variables evaluadas.....	23
2.5.1 Trabajo de campo (metodología multi-etápica)	24
2.5.2 Análisis estadístico de la información	25
2.6 Técnicas y métodos de laboratorio utilizados para establecer las variables de respuesta.....	25
3. Resultados y Discusión	27
3.1 Curva de maduración.....	27
3.2 Rendimiento teórico (%)	30
3.3 Sacarosa % caña.....	31

XII Productividad de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L. Var. CC 01-1940)
mediante el deshoje artificial en Pradera Valle del Cauca, Colombia

3.4 Crecimiento (altura y diámetro del tallo)	32
3.5 Relación precipitación - rendimiento %.....	34
3.6 Relación radiación solar - rendimiento %.....	35
3.7 TCH y TAH.....	37
3.8 Determinación de la respuesta del cultivo al deshoje artificial	38
3.8.1 Conforme a los tratamientos.....	38
3.8.2 A lo largo del tiempo (DDS).....	39
3.9 Análisis de correlaciones	40
4. Conclusiones y recomendaciones	43
4.1 Conclusiones.....	43
4.2 Recomendaciones.....	44
A. Anexo: Planos, estudio de suelos, zona agroecológica y fotografía de cada tratamiento	45
B. Anexo: Análisis de varianza y correlaciones de Pearson	47
Bibliografía	51

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1- 1 Efecto de las condiciones climáticas sobre el rendimiento % Fuente: (Cock, J.H., Luna, C.A., Palma, 1993).	6
Figura 1- 2 Metodología de la secuencia de análisis para zonificación agroecológica en su cuarta aproximación. Fuente (Carbonell, 2011).	7
Figura 1- 3 Esquema integrado de la fotosíntesis. Fuente: (Cenicaña, 2014)	17
Figura 1- 4 Parcela de caña con deshoje manual. (Fotografía por Verónica Calderon, 2019).....	19
Figura 2- 1 Variedad CC 01-1940, partes de la planta.	22
Figura 3- 1 Curva de maduración efectuada en la var.CC 01-1940	28
Figura 3- 2 Precipitación y temperatura registrada en el ciclo de maduración.....	29
Figura 3- 3 Porcentaje Brix en caña.....	29
Figura 3- 4 Rendimiento % de caña.....	30
Figura 3- 5 Porcentaje de sacarosa en caña	31
Figura 3- 6 Estado de crecimiento en altura (cm) de la caña de azúcar.....	32
Figura 3- 7 Estado de crecimiento en diámetro (mm) de la caña de azúcar.....	33
Figura 3- 8 Relación precipitación - rendimiento %.....	34
Figura 3- 9 Relación radiación solar – rendimiento %.....	35

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 2- 1 Descripción de los tratamientos.	23
Tabla 2- 2 Ejemplo tabla de selección, metodología multi-etapica.	24
Tabla 3- 1 Producción en términos de TCH, TAH y Rendimiento teórico	37
Tabla 3- 2 Valores de los factores ambientales presentes durante la etapa de maduración del cultivo.....	36
Tabla 3- 3 Diferencias estadísticas entre las variables de respuesta conforme a los tratamientos.	38
Tabla 3- 4 Respuesta estadística de las variables a lo largo del tiempo	39
Tabla 3- 5 Tabla de correlaciones de Pearson $p < 0.05$	40

Introducción

El cultivo de caña de azúcar es muy importante en el mundo por su alta actividad productiva. Es sembrado en la zona tropical y ocupa alrededor de 50,5 millones de hectáreas alcanzando una producción de 139 millones de toneladas de caña entre 2017/2018 (ASOCAÑA, 2018). Ocupa el séptimo puesto entre los cultivos más sembrados en el mundo y en Colombia ocupa el quinto lugar; representa aproximadamente el 3,7% del producto interno bruto (PIB) agrícola y en el Valle del Cauca, el 38,1% (ASOCANA, 2017).

En Colombia la caña de azúcar es una de las principales actividades económicas, se ubica entre los 3 y 5 grados de latitud norte, justamente en los departamentos de Quindío, Risaralda, Caldas, Cauca y Valle del Cauca; comprendido por unas 430.000 hectáreas planas a 1000 metros sobre el nivel del mar aproximadamente, con una oscilación de lluvias de 1600 mm/año en promedio, temperatura de 11°C en el día y la noche, producida durante todo el año (ASOCANA, 2017). Para el año 2018 reportó un área total de 243,232 hectáreas en Caña de azúcar, con 207.083 hectáreas cosechadas. Según LMC Internacional, El país con mayor productividad en el mundo es Colombia, con 16,8 toneladas de azúcar por hectárea en promedio entre 2015 y 2019. Del total de área sembrada, aproximadamente 17.000 hectáreas están ubicadas en los llanos orientales que son utilizadas en la producción de etanol y electricidad.

En los 47 municipios que abarca el valle geográfico del río Cauca, se encuentra ubicado el sector azucarero, que va desde el sur del departamento de Risaralda hasta el norte del departamento del Cauca. En toda esta región hay aproximadamente 238.134 hectáreas sembradas en caña de azúcar, siendo el 75% propiedad de productores y proveedores de los ingenios y el 25% tierras propias de los ingenios de la región. Estos son 13 (Risaralda, Riopaila, Carmelita, San Carlos, Pichichi, Providencia, Manuelita, Castilla, Mayagüez, María Luisa, Incauca, Cabaña, Occidente). De estos, 6 ingenios poseen destilerías para

la producción del alcohol carburante (Risaralda, Riopaila, Providencia, Manuelita, Mayagüez e Incauca) (ASOCANA, 2017).

El grupo agroindustrial Riopaila Castilla, con más de 100 años en el mercado nacional e internacional, se encarga de producir y comercializar productos como azúcar, miel, alcohol, energía y palma, y así contribuir a la seguridad alimentaria y energética del país. Posee 5900 hectáreas del cultivo en Puerto López Meta, con las que genera cerca de 290 mil empleos en toda Colombia.

Con la exigencia de mercado creciente, el centro de investigación de la caña de azúcar de Colombia (CENICAÑA), viene desarrollando nuevas variedades a lo largo del tiempo con mejores resultados en toneladas de caña por hectárea y sacarosa lo que supone mayor estabilidad en el manejo agronómico y la maduración tanto natural como artificial de cada una de estas variedades. Es importante conocer sobre el manejo de las variedades en términos de eficiencia agronómica, de recuperación y fisiología de las mismas y como se relacionan con el rendimiento teórico y el porcentaje de sacarosa cuando la maduración es vegetativa o se utiliza la aplicación de productos maduradores, ya que normalmente esta labor se usa diferente para cada variedad y sitios donde se encuentre ubicado el cultivo. Los resultados que se presenten podrían ser interesantes desde el punto de vista empresarial y se podría traducir en una disminución del impacto ambiental por la disminución del uso de productos químicos y dosificaciones.

En Colombia se presentan excelentes condiciones edáficas, ubicación geográfica y climática que se aprovechan para producir caña de azúcar; aunque en muchas ocasiones estas no inducen la alta acumulación de sacarosa. Cenicaña ha realizado investigaciones que han estado orientadas al aumento en los rendimientos, cuidando la continuidad de los cultivos y la producción total (Villegas, Fernando; Arcila, 1995).

Es fundamental conocer que el cultivo de caña de azúcar genera mucha más área foliar durante una parte de su ciclo de crecimiento que la que realmente necesita para obtener su máxima producción.

En la antigüedad, se utilizaba la práctica de deshoje para aumentar los contenidos de sacarosa; esta consistía en disminuir el área foliar de la planta, eliminando varias hojas a partir de la base del tallo. Actualmente esta técnica no se practica (Villegas, Fernando; Arcila, 1995). Las defoliaciones completas en caña de azúcar, durante la temporada de crecimiento, pueden no tener efectos significativos en el rendimiento de la caña; sin embargo, es imposible generar confianza en tal concepto ya que es debidamente necesaria el área foliar para generar fotosíntesis y producción de sacarosa (Degaspari, 1980). Lo que indica que la caña de azúcar puede desarrollarse y mantener más área de la hoja verde de lo que es esencial para obtener altos niveles de productividad y concentración de azúcar y en este contexto, podría ser posible manejar una actividad defoliante en el cultivo sin efectos adversos en el azúcar recuperable total. Aun no existen estudios previos específicamente diseñados para dilucidar el efecto de la defoliación en la producción de azúcar.

Según literatura, para una fotosíntesis óptima de la caña de azúcar, solo es necesario un total de ocho a diez hojas superiores por tallo; es decir, que entre la cantidad de hojas que produce el tallo de caña (30 - 35) bajo buenos sistemas de manejo, existen también las hojas parasitas que captan los fotoasimilados que podrían ser utilizados para su crecimiento.

El objetivo general del presente estudio fue evaluar caracteres de interés del cultivo de caña de azúcar, variedad CC 01-1940, al implementar el deshoje artificial y se estudiaron objetivos específicos como conocer la respuesta del cultivo de caña de azúcar ante el deshoje artificial en función del rendimiento teórico y concentración de sacarosa y estudiar el comportamiento en función del crecimiento de los tallos al implementar el deshoje artificial.

1. Marco teórico

1.1 El cultivo de caña en el Valle geográfico del río Cauca

El sector azucarero colombiano comprende los municipios que van desde el sur del departamento de Risaralda hasta el norte del departamento del Cauca, por toda la línea central, con aproximadamente 225.560 hectáreas en caña de azúcar. Este cultivo tiene la propiedad de sembrarse y cosecharse durante todos los meses, cada año y gracias a los aportes investigativos de CENICAÑA, se ha logrado el liderazgo en productividad a nivel mundial (ASOCANA, 2017).

Las condiciones geográficas y ambientales que se presentan en el valle del río Cauca hacen que sea catalogada como una de las cuatro mejores regiones del mundo para cultivar caña de azúcar; la temperatura varía entre 23,8°C y 30°C y oscilación de 11°C, la condición de lluvia es de aproximadamente 1000 mm en dos épocas del año. La producción en promedio está en 125 t/ha, con 11% de rendimiento en azúcar; estos indicadores han permitido que el cultivo de caña para esta zona del país avance al pasar de los años (ASOCAÑA, 2016).

Las altas precipitaciones y largos periodos de lluvia con la influencia de un mal drenaje pueden causar en el cultivo una mala maduración y una baja en la producción de azúcar recuperada. Condiciones como luminosidad variante y cambios en la temperatura y precipitaciones generan cambios en la producción de sacarosa de los tallos dependiendo de la variedad, la época de cosecha y la localización del cultivo. Cuando hay poca precipitación y altas oscilaciones de temperatura, se obtienen mayores contenidos de sacarosa, pero en los meses de alta precipitación y fluctuación de temperatura, los contenidos de sacarosa se reducen. Figura 1-1 (Villegas T., 2010).

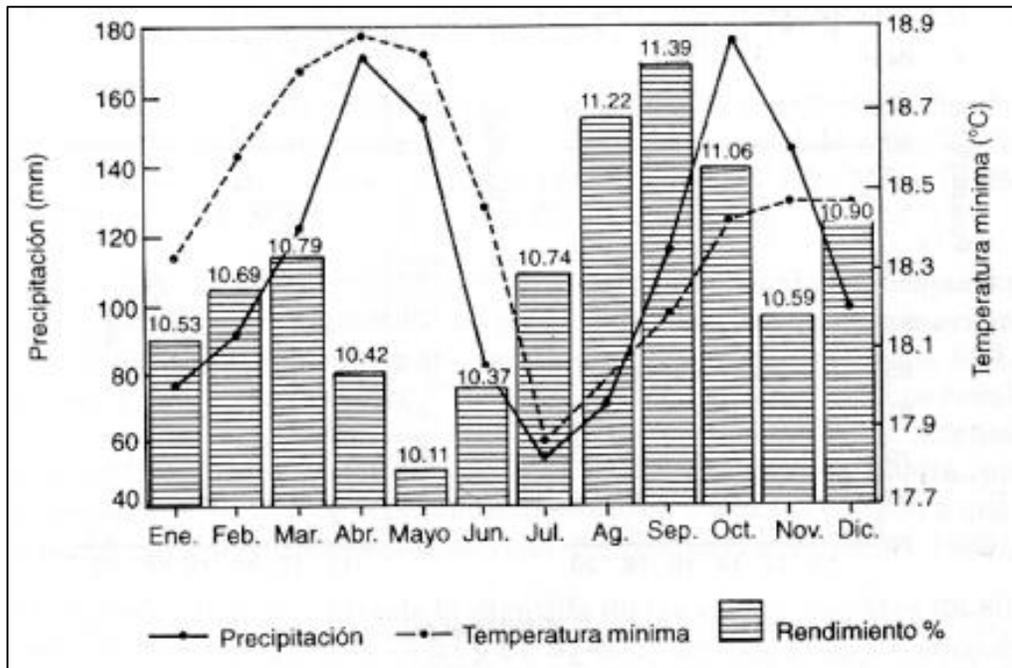


Figura 1- 1 Efecto de las condiciones climáticas sobre el rendimiento %. Fuente: (Cock, J.H., Luna, C.A., Palma, 1993).

1.2 Zonas agroecológicas en el valle del río Cauca

El concepto de zona agroecológica en la caña de azúcar se determina a partir de espacios relativamente homogéneos relacionados con la respuesta del cultivo en producción; se ha caracterizado por factores de tipo biofísico estables a largo plazo, incluyendo elementos como el balance hídrico, estudio semidetallado y agrupación de suelos y los grupos de humedad. Este tipo de caracterización genera buenos elementos para la toma de decisiones en el manejo del cultivo, lo que se traduce a una racionalización del uso de los recursos y una disminución en costos de producción. (Carbonell, et al. 2001).

La nomenclatura se detalla a partir de un número inicial correspondiente a los grupos homogéneos de suelos (entre 1 y 33), continuando con la letra 'H' que determina grupo de humedad, unida a un número entre 0 y 5. Los 235 suelos ubicados en el valle geográfico del río Cauca fueron ordenados en 33 grupos homogéneos y los grupos de humedad se identificaron en zonas donde recurren similares niveles de exceso o déficit de humedad del suelo. (Carbonell, et al. 2011).

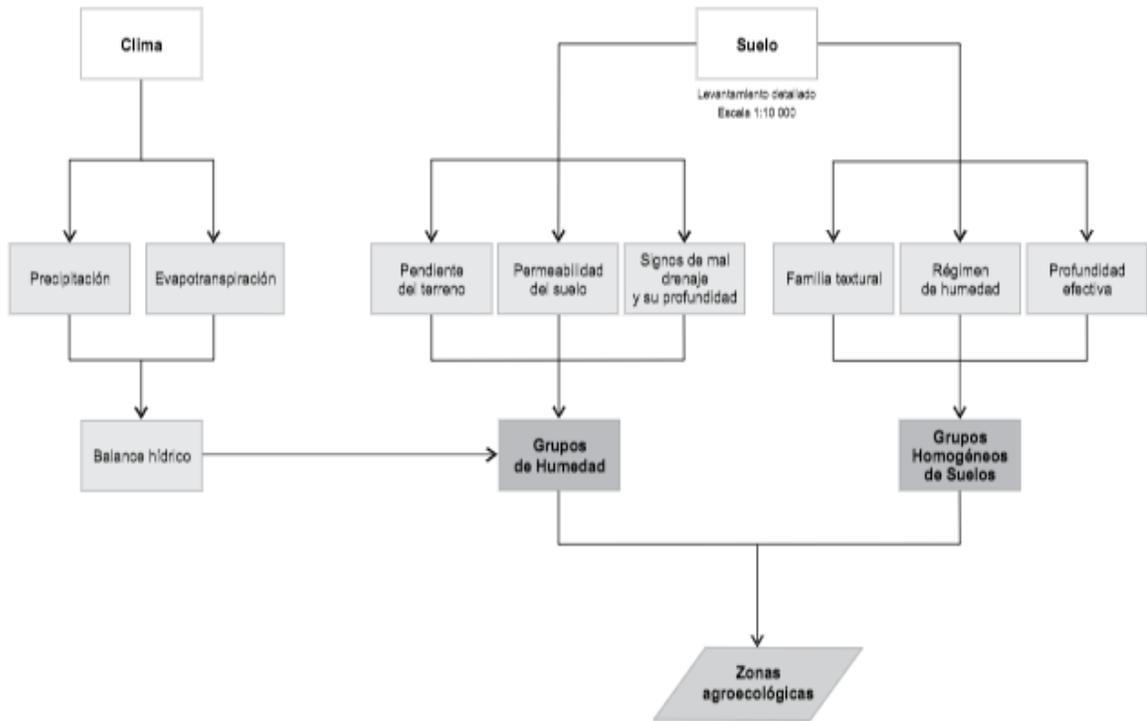


Figura 1- 2 Metodología de la secuencia de análisis para zonificación agroecológica en su cuarta aproximación. Fuente (Carbonell, 2011).

1.3 Productividad de la caña de azúcar

La variable azúcar recuperable (ARE) que se produce a partir de unidades de área y tiempo es el principal elemento útil a nivel económico de la caña. La producción en toneladas de caña por hectárea y sacarosa de los tallos determinan la cantidad de azúcar recuperable. El 70% de la biomasa total a nivel del suelo en la cosecha, está determinada por los tallos. En los elementos productivos de caña y azúcar estudiados a partir de los programas de variedades, ha sido observado que la cantidad de tallos dados por longitud y unidad de área, son los factores de mayor importancia en la producción (Brown, A. H., J.I, D., & II., 1969). La sacarosa es el factor más importante de la productividad de la caña y se encuentra en relación directa con los grados Brix, la densidad del jugo y la pureza.

Entre los componentes de importancia del rendimiento de la caña de azúcar, se presentan la fibra % caña que es la parte de sustancias no solubles en agua interesantes por su condición, y el jugo siendo la mezcla diluida de la sacarosa. Los sólidos solubles en agua (grados Brix), que se expresan en porcentaje y se representan por los azúcares reductores, la sacarosa y otros compuestos; la humedad % caña que se conoce a partir del punto de

madurez del cultivo y con una reducción de la humedad en los tallos que generan el cambio de azúcares reductores a sacarosa (E. Larrahondo & Villegas, 1995)

Azúcar recuperable estimado (ARE), se considera como el volumen de sacarosa y es promovido por la porción de materiales extraños, por la densidad de sólidos solubles distintos a la sacarosa y por la fibra; este dato determina la cantidad de azúcar que se puede recuperar en la fábrica (Diez, O., Zossi, S., & Cardenas., 2000).

1.4 Fisiología de la caña de azúcar

Dentro de la fisiología del cultivo de caña se debe apreciar desde la morfología de la planta hasta su desarrollo fenológico; involucrar todos los procesos de las diferentes etapas de su crecimiento y la acumulación de sacarosa de los tallos; este último es la fase más importante en la producción de este cultivo por ser el que genera la productividad y rentabilidad (Humbert, 1974). La germinación, al ser la primera etapa del cultivo, necesita la disponibilidad de agua adecuada. Esta etapa es influenciada por factores tanto externos como internos y en ella se produce una respiración mayor; es por esto que es de vital importancia favorecer el suelo con una buena aireación (Humbert, 1974).

La etapa de desarrollo del cultivo es muy sensible a cualquier déficit de agua que se presente. En el momento cuando la planta amacolla, se genera mayor cantidad de follaje y el cultivo empieza a cerrar. Aunque el contenido de fibra es alto, los niveles de sacarosa siguen siendo bajos; la temperatura óptima para esta etapa es de 30°C aproximadamente (C. V. Dillewijn, 1978). El macollamiento le favorece al cultivo el número indicado de follaje y cantidad de tallos activos para tener un buen rendimiento. La acción de una buena iluminación en la base de los tallos durante esta época, es muy importante.

El rápido crecimiento del cultivo comprende hasta el periodo de madurez de los tallos. En este aumenta la biomasa y es muy importante que se mantenga un alto nivel de humedad para el proceso de maduración y así aumentar los contenidos de sacarosa. En esta fase, se da la formación de nudos (4-5) por mes y se alcanza un alto índice de área foliar. La temperatura, humedad elevada y alta radiación solar, facilitan una mejor elongación de los tallos de caña (Benvenuti, 2005).

La maduración de la caña se inicia a los 2 o 3 meses antes de la cosecha; en esta fase se requiere poca humedad en el suelo, y por esto el riego del cultivo debe detenerse aproximadamente a los 10 meses de edad; así se interfiere el crecimiento de la planta y se inicia la acumulación de sacarosa. El proceso de maduración se da desde la base de los tallos hacia el ápice; debido a esto, en la parte basal del tallo hay mayor contenido de azúcares que en la parte superior (Pereira, 2006).

Una mayor luminosidad, noches frescas y días calurosos son efectivos para la estimulación de la maduración de la caña. Es de vital importancia conocer las etapas fenológicas del cultivo, para generar un mejor manejo y así aumentar los rendimientos y la producción de sacarosa.

1.5 Etapa de maduración de la caña de azúcar

Desde la perspectiva fisiológica, la maduración de la caña se basa en la finalización de la etapa de desarrollo vegetativo y el inicio de la acumulación de sacarosa en los tallos por medio de la energía (Saenz, 2004).

El proceso de maduración se define como un estado de senescencia, entre la etapa de rápido crecimiento y deceso de la planta (Braganti & otros, 2010). Este proceso fisiológico proporciona el rendimiento del cultivo y el almacenamiento de la sacarosa en la planta. El proceso se especifica en dos fases: primero el aumento y final de elongación de los entrenudos, seguido el crecimiento de la materia seca y segundo la concentración de la sacarosa en los entrenudos totalmente maduros dependientes de factores ambientales y nutricionales. Para estimar el mayor rendimiento industrial ideal en la etapa de maduración, se pueden considerar parámetros como la pureza, azúcares reductores (AR) y Brix (contenido de sólidos solubles); cuando los tallos están en el punto máximo de acumulación de sacarosa, es cuando se alcanza la maduración (Fernandez, 2003).

La sacarosa, es el elemento que constituye aproximadamente la mitad de la materia seca total de la caña de azúcar, el almacenamiento en el parénquima es del 22% del peso fresco total. En los tejidos de almacenamiento de la planta, la acumulación de azúcares está controlada por la acción de las invertasas que son enzimas que conducen el uso y la acumulación de los azúcares en los tejidos de la planta (J. E. Larrahondo, 1995).

Durante la etapa de crecimiento, los asimilados se utilizan en la formación de la parte basal de los entrenudos. De ahí que la tasa de uso es menor que la pérdida, ya que los azúcares empiezan a formarse en esta etapa. La sacarosa sintetasa y la invertasa ácida, aumentan su actividad en dicho proceso; esto determina su colaboración con esta etapa. La cantidad de agua está relacionada de forma negativa con el proceso de la enzima sacarosa fosfato sintetasa, y a partir de ahí de forma positiva con el contenido de sacarosa. Los tejidos de almacenamiento no maduros acumulan la sacarosa y rápidamente se hidroliza por la invertasa ácida vacuolar (Lingle, 1999).

En la maduración, se cae la actividad de la invertasa ácida en el apoplasto y hay poca acción de la enzima invertasa ácida vacuolar. Cuando los órganos y tejidos están en proceso de crecimiento, se elimina la invertasa ácida del apoplasto en la generación de las células en la zona del meristemo. Mientras estas toman distancia, se aumenta la concentración de sacarosa y se alcanza el proceso de maduración.

El resultado directo de la respiración es el crecimiento de los tallos, ya que éste proceso puede liberar energía que la planta toma para estimular su elongación. La energía que se libera, se genera a partir del consumo de los hidratos de carbono almacenados; por esto, se relaciona con el tema de la relación entre el crecimiento, la respiración, la temperatura y el efecto que generan en la acumulación de azúcares (J. E. Larrahondo, 1995). El crecimiento y la maduración de los tallos son procesos antagónicos; esto se explica cuando se presenta un crecimiento rápido de toda la planta, y la sacarosa que se produce es utilizada como fuente de energía en los sitios de crecimiento (Villegas T., 2010). La acumulación de la sacarosa se da en contra de un gradiente de concentración; en este proceso se utiliza la energía que es producida por la respiración. La maduración de la caña se puede ajustar por medio de nitrógeno aplicado controlado y el riego finalizando el crecimiento para favorecer la concentración de sacarosa. Además, la fisiología ideal para la maduración se puede alterar por las altas temperaturas; intercambio entre fotoperiodos de tiempo corto y largo que promuevan la fase reproductiva y los niveles freáticos altos (J. E. Larrahondo, 1995).

1.5.1 Factores que interfieren en el proceso de la maduración

En los tallos de la caña, se genera primeramente un atraso en el crecimiento, favorecido por las sequias, las bajas temperaturas y otros aspectos; a partir de ahí, se genera el periodo de maduración en el que el contenido de humedad y época de cosecha aseguran la concentración de azúcares óptima. Esto quiere decir que cuando la humedad disminuye en la planta, se produce el cambio de los azúcares reductores a sacarosa (E. Larrahondo & Villegas, 1995).

Humedad: es el elemento de mayor importancia para determinar la maduración; según (Azevedo, 1981), el porcentaje de humedad durante la vida de la planta va desde 83 a 71% gradualmente y el contenido de sacarosa crece sobre el 45% del peso total de la materia seca. La humedad interna es el componente principal para la translocación de los azúcares; en la fase de desarrollo, el adecuado suministro de humedad le permite a la planta atraer los nutrientes del suelo además de ser asimilados por el tallo para realizar sus procesos fisiológicos. Luego es necesario reducir la cantidad de agua suministrada para aumentar la calidad de los jugos. De aquí que cuando se recupera la humedad en el suelo en la época de cosecha por las lluvias o riegos mal programados, se retoma el crecimiento vegetativo del cultivo y se disminuyen la calidad de los jugos (E. Larrahondo & Villegas, 1995).

Luminosidad: la luz es el factor principal para el proceso de fotosíntesis de la planta; la caña por ser una planta tipo C4, la aprovecha mayormente. Si se disminuye la intensidad de la luz, se reduce el almacenamiento de los azúcares y los almidones en las hojas. Dentro del contenido de sacarosa se pueden originar cambios cuando se presenta variación en la luminosidad, cambios de temperatura y precipitaciones (Cock, J.H., Luna, C.A., Palma, 1993). Cuando se disminuye la potencia de la luz, se incrementa el tamaño de los tallos primarios y se retarda el crecimiento de los tallos secundarios, cambia la apariencia de las hojas, el crecimiento de las raíces se detiene y se reduce el porcentaje de materia seca (Humbert, 1974).

Temperatura: en la maduración de la caña, desempeña un papel muy importante, ya que es la encargada de la disminución del crecimiento y por ende de la acumulación de mayor azúcar. Se ha podido observar que, a menor temperatura, se aumenta el contenido de sacarosa en los tallos. Infortunadamente, no se pueden controlar los factores climáticos, pero se pueden manejar los ciclos del cultivo para adaptarlo a dichos factores. En este proceso es preferible temperaturas que oscilen entre 12 – 14°C ya que influyen sobre la tasa de crecimiento vegetativo; además a temperaturas altas la sacarosa se degrada en glucosa y fructosa, se estimula la respiración y se produce poca acumulación de azúcares (E. Larrahondo & Villegas, 1995).

Los nutrimentos: estos pueden generar problemas en la fase de desarrollo y maduración de la planta. El nitrógeno, por ejemplo, al ser un elemento esencial en la fase de desarrollo del cultivo, permite obtener altos niveles de producción de caña, pero en exceso genera un efecto negativo en los jugos. Las aplicaciones de nitrógeno, así como de otros elementos deben hacerse en la primera etapa de desarrollo del cultivo para favorecer la acumulación de sacarosa.

1.6 Relación crecimiento – maduración

Esta relación en caña de azúcar, se direcciona a las tasas de crecimiento inducidas por la eficiencia fotosintética. A partir de la emergencia de la planta, se comienza a producir azúcares simples que son fruto de la fotosíntesis y que pasaran a formar la sacarosa que será utilizada para el crecimiento de los tallos. Gracias a la hidrólisis, la sacarosa se puede desdoblar en azúcares reductores para generar la energía que la planta necesita (Villegas T., 2010).

En la primera etapa del cultivo, la planta utiliza sus reservas de sacarosa en la formación de tallos. Aquí, se conoce el macollamiento; entre los cuatro y los diez meses las reservas de sacarosa se usan con el fin de favorecer el desarrollo de los tallos, y debido a esto, se conoce como etapa de rápido crecimiento. Aquí, la caña puede crecer entre 7 y 9 cm por semana dependiendo de la variedad y demás factores. Hasta dicha etapa, la planta no puede acumular cantidades enormes de sacarosa en los tallos, lo que explica que la caña no se coseche antes de la etapa de maduración.

La maduración inicia a partir del décimo mes, en condiciones del valle del río Cauca; en el momento en que la caña baja su ritmo de crecimiento, se inicia la acumulación de sacarosa. El crecimiento de la planta, se define básicamente por los fenotipos y el ambiente. En conclusión, según las condiciones ambientales que se presenten durante todo el año se puede afectar el desarrollo del cultivo (Alexander, 1973).

Los niveles de temperatura óptimos para el desarrollo del cultivo, se encuentran entre 26 y 30 °C; Una temperatura por debajo desfavorece el desarrollo de los tallos y generan un incremento en la sacarosa. También es importante la fluctuación entre las temperaturas de día y noche, ya que promueven una mayor acumulación de sacarosa. La disponibilidad de agua, es uno de los factores ambientales que más influyen en el crecimiento de la planta de caña y el más propenso a modificarse por medio del agricultor. Su mal manejo puede generar efectos perjudiciales en el desarrollo del cultivo; la poca disponibilidad de agua también puede afectar la producción, incluso si es en la última época de desarrollo de los tallos, ya que se induce el agostamiento, frena el desarrollo y se aumentan los contenidos de sacarosa (Amaya, Cock, Hernández, & Irvine, 1995).

Investigaciones han demostrado que en la fotosíntesis las hojas cumplen de manera eficiencia el uso del agua, siendo de 4.0 micromoles de CO₂/μmol de agua/hectárea aproximadamente, que corresponde a alrededor de 6 toneladas de sacáridos por cada 1000 m³ de H₂O. Es decir, que en la respiración se malgasta la fotosíntesis en un 40% aproximadamente y que por cada 1.30 toneladas de biomasa seca hay una tonelada de tallos secos. Esto indica que al producir 100 toneladas de biomasa seca de caña por hectárea, se necesitan alrededor de 1100 mm de agua (Amaya et al., 1995).

Las condiciones climáticas y del suelo del Valle del Cauca no son uniformes; hay muchas variaciones en el clima y muchos tipos de suelo que generan cambios en todo el ciclo del cultivo y en la producción de caña. Debido a esto, se ha desarrollado un mapeo agroecológico que clasifica por zonas la unión de dos factores que son el balance hidrológico de los suelos y su clasificación (Carbonell, G.J.& Otros 2011).

1.7 Efecto de la radiación solar y la precipitación en la caña de azúcar

La radiación solar tiene la capacidad de cambiar grandes cantidades de agua líquida en vapor de agua, ya que es la fuente de energía más importante del planeta. Cuando se determina la influencia de la radiación solar en la evapotranspiración de los cultivos, es importante reconocer que no toda la energía disponible se invierte para evaporar el agua, pues una parte de esta se absorbe por la atmósfera y la tierra y de esta forma se cambia la temperatura del aire (FAO, 2006).

El cultivo de caña de azúcar se ha adaptado evolutivamente a lugares con temperaturas e intensidades lumínicas altas, alcanzando así una mayor eficiencia fotosintética (Taiz, L. y Zeiger, 2004). El efecto que tiene la intensidad lumínica en la etapa de maduración de la caña es principalmente por la incidencia de la temperatura, ya que a determinadas temperaturas hay requerimientos definidos de luz por el cultivo (C. Van Dillewijn, 1952).

Según estudios, las condiciones óptimas para la acumulación de sacarosa en los tallos de caña se dan cuando la radiación solar es alta y la precipitación es baja y se intercala con buena diferencia entre temperaturas máximas y mínimas (Bakker, 1999). En el día normalmente se presentan las temperaturas más altas debido a su relación con la intensidad de radiación solar. Debido a esto, cuando se disminuye la temperatura del aire, los fotosintatos que se producen en las hojas se ven afectados negativamente, así como su movilidad en el tallo, independiente del efecto que causa la misma sobre el crecimiento (Hartt, 1965).

Por su parte la precipitación es considerada la principal variable hidrológica. El contenido de sacarosa dentro del tallo de caña tiene una relación inversamente proporcional con la precipitación, pues cuando los niveles de temperatura no son acentuados, la disponibilidad hídrica para el cultivo pasa a ser de suma importancia para el proceso de maduración (Cardozo, 2012). La humedad en los tallos de caña depende de las condiciones meteorológicas que se presenten y de la época del año; cuando hay aumento en las temperaturas diurnas y reducción en la precipitación, el agua en los tallos se reduce y se favorece la maduración de la caña (Liu, D.L. y Heylar, 2003). El aumento de las

temperaturas y la precipitación promueven el crecimiento de la caña ya que los tejidos se rehidratan y hay inversión de la sacarosa.

C. Van Dillewijn (1952), afirma que la caña posee la capacidad de absorber determinada cantidad de agua por medio de sus hojas. Esta cantidad absorbida por el dosel de la caña puede variar dependiendo del índice de área foliar de la variedad. Cuando la precipitación es alta y se favorece la condición de anegación de los suelos, se puede reducir la producción de azúcar hasta en un 25%, posiblemente a la falta de oxígeno que se presenta. Las bajas en las cantidades de sacarosa, se pueden relacionar al aumento del contenido de humedad en los tallos en días lluviosos y con poca luz (C. Van Dillewijn, 1952).

1.8 Almacenamiento de la sacarosa

La glucosa y la fructosa, son azúcares formados en la fotosíntesis; estos azúcares residen en el cloroplasto un proceso de síntesis, para transformarse luego en azúcar recuperable, luego de sufrir unas reacciones químicas ordenadas por enzimas que se encuentran en este organelo. El proceso de translocación de la sacarosa se da en dirección hojas – tallo - raíces por medio del floema. Estando en el tallo, continúa la acumulación en las células del parénquima en orden hacia los puntos de crecimiento en donde se desdobra, por la acción de la invertasa ácida y los azúcares reductores que tienen permiso de entrar a la fase de respiración de las células y ahí se degradan para generar la energía óptima para que las células jóvenes puedan crecer y desarrollarse (Cuellar, et. al, 1997). Cuando la sacarosa ingresa al tejido parenquimatoso del tallo, con la ayuda de la invertasa neutra, se convierte en azúcares reductores y rápidamente, por medio de la fosforilación, nuevamente a la sacarosa para almacenarse en las células del tejido parenquimatoso.

En el transcurso del almacenamiento de la sacarosa en los tallos, el azúcar se mueve hacia la parte inferior y acumula en los entrenudos bajos, se disminuye la acumulación mientras va subiendo hacia la parte superior del tallo. Dicha acumulación de sacarosa varía según las condiciones del tejido (joven o maduro), y es influida por las invertasas y también por la demanda de energía para su propia elongación (Chaves, 1982).

1.9 La hoja de la caña de azúcar

En la caña de azúcar, las hojas representan un papel muy importante; estas se generan en los nudos y se reparte en diferentes sitios a lo largo del tallo durante su crecimiento. Las hojas están formadas por la yagua y la lámina foliar. Esta última es la parte más importante para el proceso de fotosíntesis, siendo la más común entre las variedades la pendulosa y erecta. La posición de dicha lámina foliar, no interfiere en la producción del cultivo ni en los rendimientos de sacarosa (Irvine, J.E; y Benda, 1989). La fuerza con la que se adhieren las yaguas al tallo, varía según el genotipo, es importante que las hojas se desprendan con facilidad una vez se desarrollan, debido a que facilita la cosecha y disminuye las impurezas en la molienda; Algunas variedades de caña que presentan déficit de deshoje y poseen áreas con alta capacidad de retención de humedad pueden generar lalas y formar raíces en los nudos, lo que disminuye la acumulación de la sacarosa al final de la etapa de maduración.

1.9.1 Índice de área foliar y fotosíntesis

El cultivo de caña de azúcar presenta un alto índice de área foliar (IAF) y una alta eficiencia fotosintética bajo luz solar intensa debido a que es una planta tipo C4; es decir, estas plantas fijan el carbono en las células externas del mesófilo en el complejo de 4 carbonos para luego liberar dióxido de carbono (CO₂) en las células de la vaina del haz de la hoja (Figura 1-2).

Existe una serie de estudios que revelan que la caña de azúcar, genera mucho más contenido de hoja que la que realmente necesita para obtener altos niveles de productividad y concentración de sacarosa. La hoja de caña posee suficiente capacidad de asimilación ya que es robusta y flexible para ajustar la entrega de carbono en pro de la demanda del sumidero y generar la división de carbono disponible en el almacenamiento de sacarosa (JCS, 2002).

En la caña de azúcar, al igual que en plantas superiores, la fotosíntesis es dependiente del flujo luminoso y las propiedades ópticas de la plantación. En completa iluminación, las hojas superiores son saturadas con luz y en lo profundo del dosel no existe saturación; por esto, la cantidad de luz absorbida limita los rendimientos; esto se explica directamente por el transporte de los fotones dentro del tejido foliar, los fenómenos biológicos y las características de las estructuras de los tejidos que generan impacto significativo en la forma en que las hojas propagan y absorben la luz. Entonces el desarrollo del área foliar es importante para aumentar la absorción de la radiación solar, mejorar los rendimientos y la acumulación de biomasa (De Lira & otros, 2009).

El índice de área foliar también constituye una parte del sistema de asimilación de una vegetación, lo que indica que genera un buen acercamiento para estudiar el desarrollo del follaje y la capacidad fotosintética total que tiene. En el área foliar de la caña, las 8 hojas superiores captan aproximadamente el 70% de la radiación solar y las hojas inferiores disminuyen su tasa fotosintética notablemente por la acción del sombreado que ejercen las hojas superiores. Por esto, se aprecia como óptimo un valor de 6 - 8 de hojas por tallo para un uso efectivo de la energía radiante (Barbieri, 1993).

1.10 Deshoje artificial

Los factores que contribuyen a los altos rendimientos de azúcar en el cultivo de caña, son su hábito de crecimiento perenne y la acumulación continua de sacarosa en la estructura vegetal (Moore, P. y Marezki, 1996). La caña de azúcar es una planta C4 con tasas de fijación de carbono de hasta 2.8 mg de CO₂ m² s⁻¹ y una producción media total de materia seca de 40 g m² día⁻¹; en la industria azucarera se usa el glifosato para aumentar los rendimientos de sacarosa, pero la respuesta varía entre las variedades de caña de azúcar (Martin et al, 1981)

Su & otros (1992), informaron que el glifosato reduce significativamente la actividad de la invertasa ácida y, por lo tanto, la concentración de sacarosa es mayor en el tallo. El deshoje de la caña de azúcar hace referencia a la eliminación de las hojas inferiores no deseadas a determinado tiempo. Figura 1-3. En el buen manejo agronómico, el tallo puede producir un gran número de hojas, comúnmente una cantidad igual al número de entrenudos; todas estas hojas no son productivas, solo las 8 hojas superiores son necesarias para una

fotosíntesis óptima de la planta. De hecho, las hojas verdes inferiores son parasitas, ya que captan los fotoasimilados de las hojas superiores que son utilizados para fortalecer el crecimiento de los tallos. La labor de deshoje artificial (manualmente), genera beneficios como promover la limpieza del campo, mejorar el movimiento del aire alrededor del follaje del cultivo, más cantidad de nutrientes disponibles para el crecimiento de los tallos, ayuda reducir la infestación de plagas, entre otras.



Figura 1- 4 Parcela de caña con deshoje manual. (Fotografía por Verónica Calderon, 2019).

Esta labor proporciona hojas que se pueden usar como forraje o como cobertura del suelo para evitar la competencia con arvenses. Aún se desconoce por completo el efecto del deshoje parcial sobre las actividades enzimáticas, el desarrollo de la planta y sus características

A la fecha, existe poca información publicada que pueda caracterizar los rasgos de defoliación artificial en los programas de mejoramiento genético y manejo agronómico del cultivo; aunque se puede sugerir que la defoliación es fácil de evaluar cualitativamente, algunas variedades son fáciles de defoliar en función de la apariencia visual; pero resulta

complejo medir los rasgos cuantitativos en todas las hojas de un tallo debido a los costos de mano de obra y eficiencia de protocolo.

1.10.1 Estudios sobre deshoje artificial en caña de azúcar

Para la caña de azúcar, la regulación del almacenamiento de sacarosa es compleja, ya que se produce en la hoja, se transloca en el floema y se almacena en el tallo (Hawker, J.S., 1965). Se han estudiado diferentes rutas metabólicas y mecanismos de transporte involucrados en dicha regulación (Hawker, J.S., C.R. Jenner, 1991).

Wendler et al, (1990) informaron que la concentración de la sacarosa en los tallos de caña de azúcar es el resultado de una síntesis y degradación simultáneas con enzimas clave como SPS y SAI; lo que determina que después de una diferencia inicial, los tallos de caña parcialmente deshojadas tienen una concentración de sacarosa similar a los tallos sin deshoje.

Pammenter and Allison, (2002) indican que el rendimiento de sacarosa por planta no se ve afectado por el deshoje de la caña de azúcar; las hojas que permanecen en los tallos en las plantas defoliadas parciales normalizan las relaciones fuente-sumidero en el tallo de la caña y esto puede ser la consecuencia de un aumento de la iluminación incidente o un cambio en las características fotosintéticas del resto hojas.

Gutierrez-Miceli, & otros (2002), proponen que las plantas de caña de azúcar pueden ser parcialmente defoliadas sin modificar la producción de sacarosa y los parámetros agronómicos, al tiempo que proporcionan hojas que pueden utilizarse como forraje y que al remover las hojas inferiores que están sombreadas, se modula el equilibrio, el crecimiento y el rendimiento del cultivo.

El deshoje puede afectar positiva o negativamente el rendimiento de la caña y la calidad de los jugos, dependiendo de las condiciones climáticas que se presente y el índice de lluvias durante la fase de gran crecimiento y maduración del cultivo.

2. Metodología

2.1 Localización geográfica del ensayo

El ensayo tuvo lugar en Pradera Valle del Cauca, Colombia en predios del grupo agroindustrial Riopaila Castilla, planta castilla (N 94° 89´ y E 125° 77) a una altura de 1050 m.s.n.m. zona agroecológica 11H1.

2.2 Variedad de caña

Se escogió la variedad CC 01-1940, caracteriza por sus tallos largos y erectos con entrenudos de forma cilíndrica, en zig-zag, con 13 cm de longitud y 35 - 43 mm de diámetro aproximadamente, tallo de color amarillo verdoso cuando está expuesto al sol y verde amarillento cuando no lo está. El anillo de crecimiento del nudo mide 3,3 mm de ancho, la yema tiene forma obovada y más grande que el anillo de crecimiento. Las hojas son de tamaño mediano, anchas y curvas en la base, la yagua es amarilla con vetas moradas y poca pelusa; aurícula inclinada - simétrica y deshoje natural (Figura 2-1) (Victoria, y otros, 2013).

Presenta un porcentaje de germinación del 90% aproximadamente, el macollamiento es de 9-12 tallos/cepa, escasa floración. Alta resistencia a enfermedades como el carbón, las royas y el virus del mosaico de la caña y al virus de la hoja amarilla. Es medianamente resistente a y plagas como *Diatraea spp.* y susceptible a *Aenolamia varia.*(Viveros, 2018)

Para esta variedad, en la formación de tallos es de suma importancia tener en cuenta la aparición de entrenudos, pues esto implica la renovación y senescencia de las hojas e índice de área foliar.



Figura 2- 1 Variedad CC 01-1940, partes de la planta. Fuente: (CENICAÑA, 2013)

2.3 Manejo agronómico del cultivo

El ensayo se estableció en una zona agroecológica 11H1 (semiseco) con manejo agronómico orgánico, que requirió un proceso especial en el campo desde la preparación del suelo hasta la cosecha. En este caso se utilizó como abono la gallinaza y se sustituyó cualquier producto químico. En la preparación se usó compost para la fertilización del suelo; control de malezas manual, tres riegos durante todo el ciclo del cultivo de acuerdo con el balance hídrico, mantenimiento manual de los canales de drenaje, sanidad vegetal orgánica y cosecha mecanizada en verde.

2.4 Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con dos (2) tratamientos y dos (2) repeticiones.

2.4.1 Descripción de los tratamientos

El factor a considerar en la investigación fue el impacto del deshoje en la variedad de caña de azúcar CC 01-1940, con dos tratamientos. Tratamiento 1 (Deshoje artificial) Tratamiento 2 (Sin deshoje) Tabla 2-1.

Tabla 2- 1 Descripción de los tratamientos.

Tratamiento	Descripción
1	Remoción de las hojas más bajas a intervalos de dos meses; este tratamiento inició a los 7.5 meses de edad del cultivo.
2	Tratamiento control; sin defoliación.

2.4.2 Detalle de las unidades experimentales

Cada unidad experimental se determinó por la división del área de ensayo en la que se definieron las repeticiones para cada tratamiento. Cada unidad experimental contó con 15 surcos de 70 metros de longitud (0,173 hectáreas). En el tratamiento 1 se realizó deshoje a los 7.5 y a los 9 meses de edad del cultivo.

La edad de inicio del ensayo se ajustó a la edad determinada por la literatura para establecer un deshoje productivo en el cultivo de caña procurando que las evaluaciones iniciaran dos meses después para permitir estimar en gran medida el efecto del deshoje artificial.

2.5 Variables evaluadas

Se evaluó de forma pertinente cada unidad experimental, utilizando metodología multi-etápica establecida por Cenicaña, Colombia

Las variables evaluadas fueron:

- Curva de maduración.
- Rendimiento teórico (%)
- Sacarosa % caña.
- Crecimiento de los tallos (altura y diámetro).

Se estimó la relación precipitación-rendimiento y radiación solar-rendimiento.

Datos sobre producción en términos de TCH y TAH.

Análisis de correlaciones y respuesta del cultivo a lo largo del tiempo.

2.5.2 Análisis estadístico de la información

Se utilizó análisis estadístico estándar para comparar los tratamientos con un modelo lineal generalizado GLM, prueba de rango múltiple Duncan y análisis de correlaciones.

2.6 Técnicas y métodos de laboratorio utilizados para establecer las variables de respuesta

- **Toneladas de caña por hectárea (TCH)**

El TCH está compuesto por la caña total cosechada por unidad de área. Es un registro generado por la báscula, que incluye destare por la materia extraña mineral y vegetal.

$$\text{TCH} = \text{Toneladas de caña} / \text{área (ha)}$$

- **Toneladas de azúcar por hectárea (TAH)**

Esta variable corresponde la multiplicación del TCH por el rendimiento de azúcar.

$$\text{TAH} = \text{TCH} * \text{Rendimiento (\%)}$$

- **Rendimiento %**

Obtenido a partir de metodologías de muestreo Multi-etápico en campo.

- **Sacarosa % campo:**

Por medio del método polarimétrico; basado en la propiedad que tiene la sacarosa para rotar el plano de la luz polarizada (dextrorrotación) en solución acuosa. El ángulo de rotación es proporcional a su concentración, con una precisión apta para ser utilizada como medida del contenido de sacarosa (J. E. Larrahondo, 1995).

- **Diámetro y altura de tallos**

Cinco estaciones de evaluación por tratamiento; se tomó la altura y el diámetro a 10 tallos de cada cepa inicialmente marcados desde un punto de la base de los tallos hasta la hoja TVD cada mes desde la aplicación de los tratamientos hasta la fecha de corte.

Nota: La cosecha se realizó mecánicamente a los 13 meses de edad del cultivo, tomando en cuenta solo los datos por tratamiento

3. Resultados y Discusión

3.1 Curva de maduración

Los datos registrados de sacarosa y pureza en el jugo en los dos tratamientos revelaron un comportamiento en general ascendente durante la mayor parte de la etapa de maduración que inició a los 10 meses de edad. El tratamiento 1 caracterizado por el deshoje parcial registró diferencia significativa durante la mayor parte de aplicación de los tratamientos finalizando el ciclo con 92% de pureza, comparado con el tratamiento 2 que terminó en 91% (Figura 3-1).

Una pureza alta en el jugo de caña, es considerada indicio de un buen contenido de sacarosa en los sólidos solubles totales; los resultados indican que, en cada 100g de materia seca, hay 92% de sacarosa y 8% de no sacarosa (impurezas).

El porcentaje de sacarosa en el jugo, mostró en principio una caída que pudo estar influenciada por las altas tasas de lluvia que se presentaron. El tratamiento 1 (deshoje) registro el más alto contenido de sacarosa (17,6%) con diferencia estadística significativa en relación al control (16,8%) (Figura 3-1). Sin embargo, por la semejanza de los datos de sacarosa % que se obtuvieron la mayor parte del tiempo entre tratamientos, no se percata una evidente aceptación del cultivo al deshoje artificial.

Larrahondo, (1995) indicó que cuando el cultivo se encuentra en condición de estrés por humedad, el metabolismo de la planta y los carbohidratos y aminoácidos que se producen durante la fotosíntesis, son translocados a los tallos en los tejidos de almacenamiento ya que no serán utilizados para su crecimiento y desarrollo.

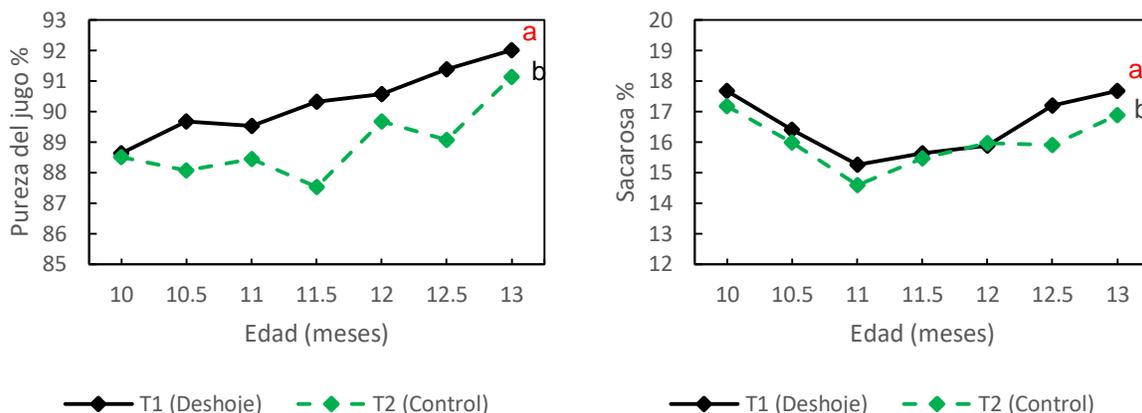


Figura 3- 1 Curva de maduración efectuada en la var.CC 01-1940

Como se nombró anteriormente, las condiciones climáticas que se presentaron durante la aplicación de los tratamientos (fuertes lluvias y bajas temperaturas) pudo generar efectos sobre la respuesta del cultivo al deshoje manual. En la figura 3-2 se puede observar que la precipitación durante el ciclo de la maduración fue variante y en las primeras semanas fue relativamente alta, alcanzando los 111 mm. Esto coincide con lo mencionado por (Villegas T., 2010) que resalta que altas precipitaciones y largos periodos de lluvia pueden causar en el cultivo una mala maduración y una baja producción de azúcar recuperada y las condiciones como luminosidad variante y cambios en la temperatura generan cambios en el contenido de sacarosa de los tallos. Cuando hay poca precipitación y altas oscilaciones de temperatura, se obtiene mayor volumen de sacarosa, pero en los meses con más lluvia y fluctuación de temperatura baja, los contenidos de sacarosa se reducen.

La metodología de deshoje en la caña de azúcar se considera útil para facilitar la aireación dentro del mismo y el aprovechamiento de la luz solar en las hojas activas para aumentar los rendimientos y la sacarosa. En vista de que la temperatura mínima marcada en la aplicación de los tratamientos fue inferior a 21°C, más el registro de las precipitaciones (Figura 3-2) podría sugerirse que los dos factores influyeron en la respuesta de la maduración del cultivo a la aplicación de deshoje artificial, como lo relaciona (Leite et, al., 2009) las bajas temperaturas generan una disminución del aprovechamiento de la luz para la concentración de sacarosa.

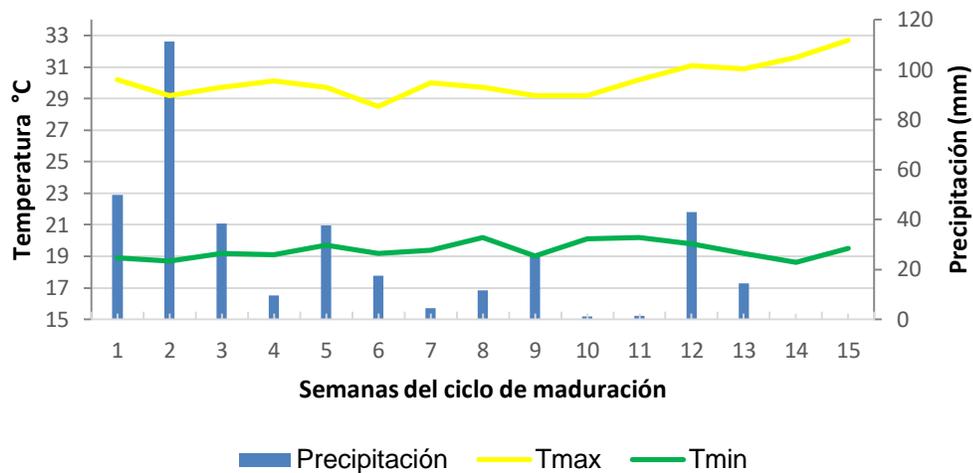


Figura 3- 2 Precipitación y temperatura registrada en el ciclo de maduración. Periodo: 8/10/2019 – 16/01/2020

El valle del Cauca presenta un régimen de lluvias bimodal; la primera temporada de lluvias entre (abril-mayo) y la segunda entre (octubre-noviembre); las temporadas secas se presentan entre los meses de julio-agosto y enero-febrero. El tiempo restante, es considerado periodo de transición. A partir de esto se destaca que el inicio de la maduración del cultivo coincide con el periodo de alta precipitación que desencadenó una baja en la producción de sacarosa.

Los resultados de la concentración de sólidos totales en los jugos (°Brix) obtenidos, fueron similares a los de sacarosa (% caña); esto se debe a que el valor máximo del porcentaje en agua de sólidos lo constituye la sacarosa (Figura 3-3).

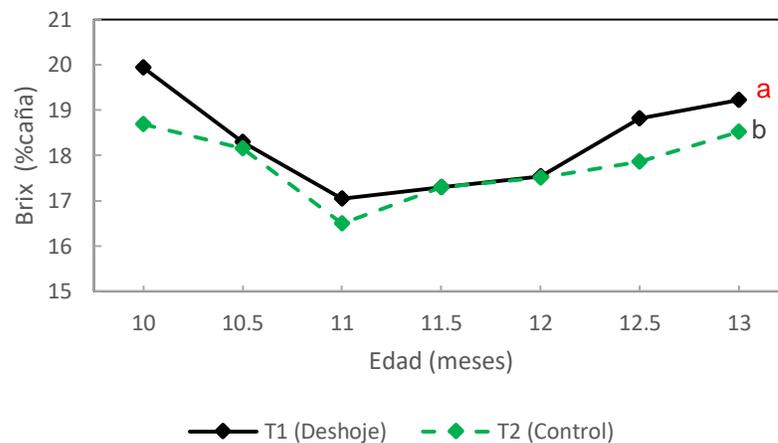


Figura 3- 3 Porcentaje Brix en caña

El tratamiento 1 (deshoje), obtuvo los más altos valores en brix (19,2%) al final de la evaluación del cultivo superando en un punto porcentual aproximadamente al tratamiento control (18,5%); aunque no se presentó diferencia significativa, se destaca que los valores promedios de los °Brix, se encuentran dentro de los rangos aceptables, ya que se objeta que los sólidos solubles concentrados en el jugo de los tallos maduros varía en épocas de lluvia entre un brix de 16 – 19° y en épocas secas de 19 – 22° Brix.

3.2 Rendimiento teórico (%)

El deshoje en el cultivo de caña de azúcar puede afectar los rendimientos y la calidad del jugo positiva o negativamente; dependiendo de la condición climática y la fase de maduración.

El rendimiento teórico % en el tratamiento 1 (deshoje) se mantuvo por encima del tratamiento 2 durante todo el ensayo con disminuciones en la época lluviosa; al final del ciclo el tratamiento 1 terminó con 11.91% sin diferencia significativa del tratamiento 2 (11.32%). Figura 3-4.

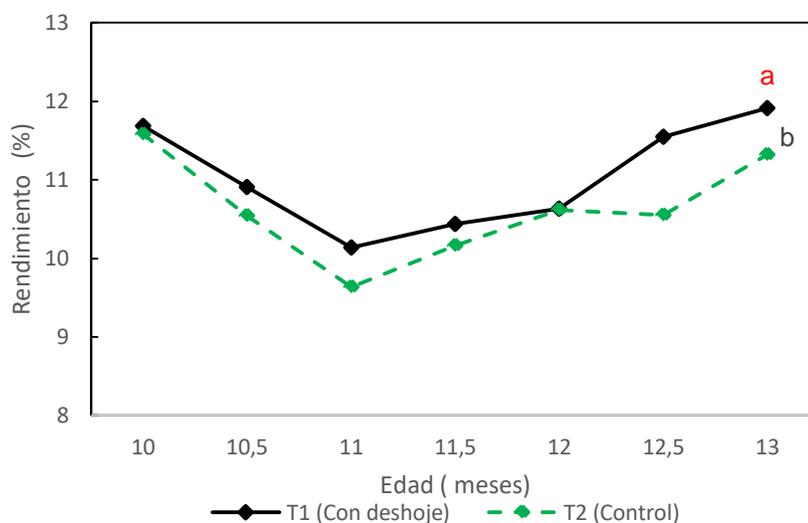


Figura 3- 4 Rendimiento % de caña

Las investigaciones realizadas sobre el deshoje en caña de azúcar se han relacionado principalmente con el aumento de los rendimientos y sacarosa, sin afectar la producción en términos de TCH.

3.3 Sacarosa % caña

Al eliminar las hojas secas y verdes bajas de la caña, se genera una mayor efectividad de la fotosíntesis en las hojas superiores; en el momento en que se detiene el crecimiento de los tallos, se detiene la biosíntesis del ácido giberélico, pero no se afecta la fotosíntesis y es cuando empieza el aumento del contenido de sacarosa (Resende, 1999).

La sacarosa % caña tomada en los últimos días del ensayo, mostró diferencia significativa entre los dos tratamientos, por lo que se puede determinar una respuesta positiva a la aplicación del deshoje. El tratamiento 1 finalizó su ciclo con 17.51% comparado con el tratamiento control que se mantuvo en 14.63% Figura 3-5.

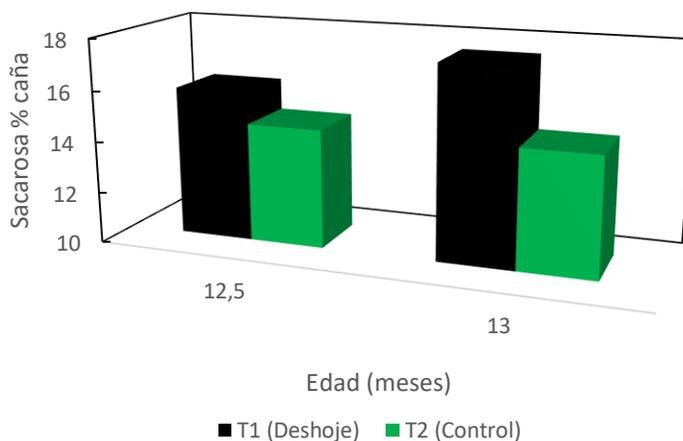


Figura 3- 5 Porcentaje de sacarosa en caña

La planta de caña tiene capacidad para producir sacarosa % caña, dependiendo de los factores climáticos, entre estos la radiación que se presenta en la época y teniendo en cuenta que la variedad sea excelente para la producción como lo es la CC 01-1940 (Davila, 1995). Tal parece, dichos factores y el efecto en la concentración de sacarosa, permiten mejores producciones tanto en campo como en fabrica. Los resultados obtenidos de

sacarosa % caña sugieren que el deshoje, relacionado con alta radiación solar puede generar mejores datos que una maduración fisiológica del cultivo normal.

Es indudable que la defoliación artificial puede facilitar la cosecha tanto en condiciones de humedad como en condiciones secas; se puede utilizar para cultivos de caña orgánica y zonas de restricción donde es imposible aplicar productos madurantes para limitar el crecimiento y así aumentar los rendimientos y contenidos de sacarosa. Estudios realizados por Cassalett, C. y Amaya (1984), han confirmado la efectividad de la defoliación cuando se espera hasta la etapa de maduración, pues así no se presentaría reducción en los rendimientos y se generaría una mayor producción en términos de azúcar.

3.4 Crecimiento (altura y diámetro del tallo)

La medición para estas variables se realizó mensualmente; el crecimiento de los tallos en función de la altura no mostró diferencias significativas entre los tratamientos, aunque el tratamiento 1 obtuvo mejores resultados al final del ciclo (242,8 cm). Figura 3-6.

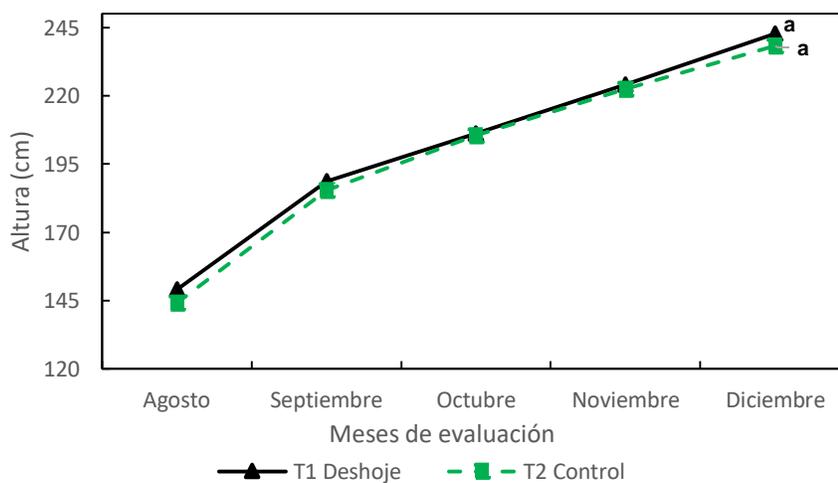


Figura 3- 6 Estado de crecimiento en altura (cm) de la caña de azúcar

En la figura 3-6 también se puede observar que el hábito de crecimiento del cultivo disminuyó a partir de septiembre posiblemente por su llegada a la fase de maduración en la que los tallos dejan de crecer para iniciar la acumulación de sacarosa. El índice de aumento en el tamaño de los tallos se mantuvo; aproximadamente 15 cm/mes, esto

también puede ser explicado por la humedad del suelo debido a los rangos de lluvia presentados o como lo expresan Villegas, T. F.; Torres (1993) que los tallos en condiciones naturales en etapa de maduración logran alrededor de 18 cm por mes.

Viveros, (2018) afirma que el crecimiento del tallo junto con la ganancia del peso es una variable con mucha influencia sobre el rendimiento. Esto determina la relación que existe sobre el crecimiento de los tallos y los rendimientos obtenidos en esta investigación.

El diámetro (mm) tampoco generó diferencia significativa entre los tratamientos y pudo estar influenciado por las condiciones climáticas presentadas, ya que para la variedad CC 01-1940 en una zona agroecológica 11H1 el diámetro establecido es entre 35 mm y 43 mm. Figura 3-7.

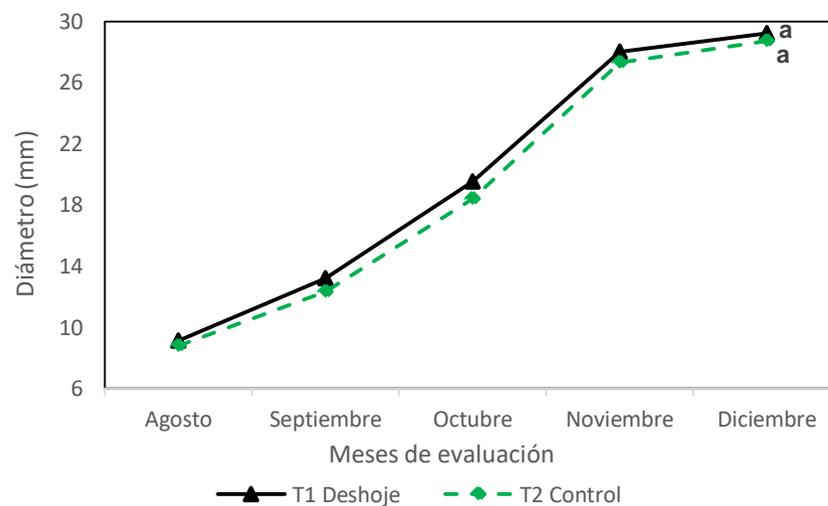


Figura 3- 7 Estado de crecimiento en diámetro (mm) de la caña de azúcar

El deshoje manual en caña de azúcar no influyó sobre el crecimiento de los tallos, pero si en la acumulación de sacarosa. Watson DJ, Motomatsu T, Loach K (1972) llegaron a la conclusión de que debe haber algún mecanismo de almacenamiento con el cual se mantiene una proporción casi constante entre el rendimiento y el crecimiento (materia seca) y que la concentración de la sacarosa no es representativa de los carbohidratos necesarios para el crecimiento vegetativo.

3.5 Relación precipitación - rendimiento %

El beneficio que se obtiene al momento de realizar la defoliación artificial se representa en los aumentos del rendimiento, al igual que cuando se aplica un producto regulador de crecimiento menos los costos de la labor (jornal) (J. E. Larrahondo, 1995) Los resultados obtenidos confirman que la precipitación que se presentó durante la época de maduración del ensayo tuvo influencia sobre los datos de rendimiento de los dos tratamientos.

Las investigaciones realizadas a la fecha, relacionadas con la defoliación de la caña, han tenido un enfoque principalmente en la evaluación de diferentes niveles de deshoje para incrementar el rendimiento sin necesidad de afectar la producción. Los valores de rendimiento (%) obtenidos en este ensayo no presentaron diferencias significativas, posiblemente influenciados por la precipitación. Figura 3-8.

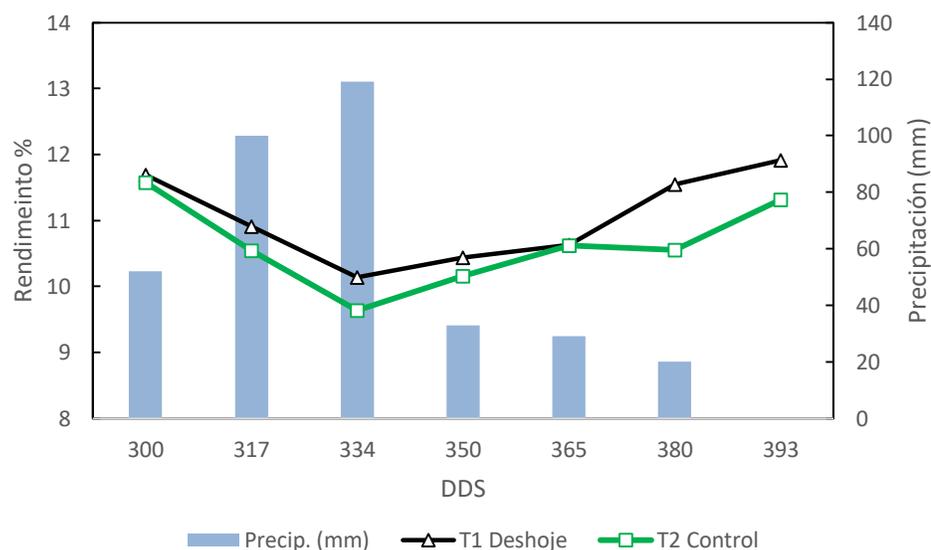


Figura 3- 8 Relación precipitación - rendimiento %

Los datos de rendimiento en los primeros días de la fase de maduración (300 -334 DDS) presentaron una disminución que puede estar encaminada al incremento en la precipitación.

Viloria, (2003) indica que el manejo agronómico del cultivo y condiciones ambientales desde el inicio de desarrollo hasta la maduración, proporcionan el estado más adecuado para favorecer los aumentos en los rendimientos y en la producción de caña en la época de la cosecha. Cuando se presenta un estrés hídrico durante los últimos meses de la etapa de maduración, normalmente se frena el desarrollo de los tallos y aumenta el contenido de sacarosa y los rendimientos; una explicación básica sobre la fluctuación de los datos obtenidos en el porcentaje de rendimiento, durante la época del ensayo.

3.6 Relación radiación solar - rendimiento %

El resultado de la relación radiación solar/rendimiento %, se ajusta consecuentemente, pues a partir de los 334 días después de la siembra (DDS) cuando la radiación empezó a subir, también aumentaron los datos de rendimiento para los dos tratamientos. Figura 3-9.

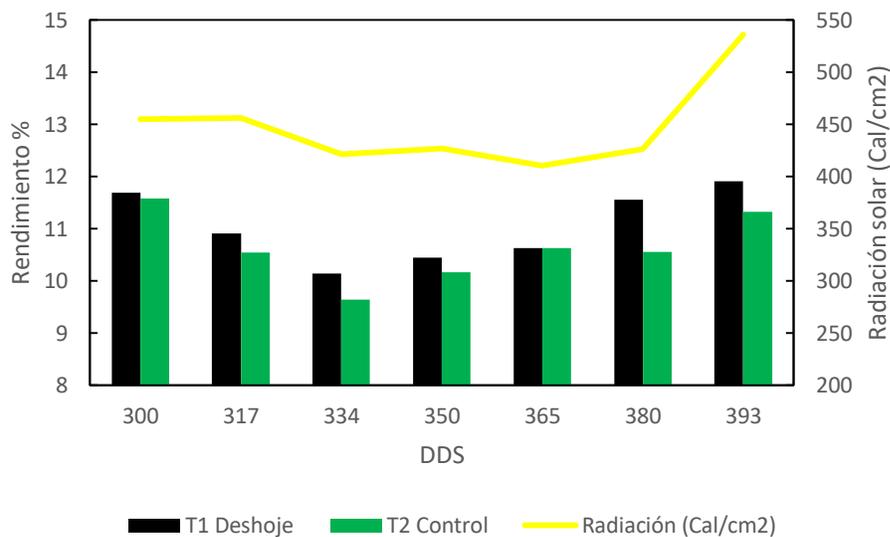


Figura 3- 9 Relación radiación solar – rendimiento %

Un ambiente caluroso prolongado con buena influencia de radiación solar y buena precipitación, son las condiciones adecuadas para una excelente producción de sacarosa y aumento de los rendimientos, conforme a la variedad de estudio. Tabla 3-2

Tabla 3- 1 Valores de los factores ambientales presentes durante la etapa de maduración del cultivo

Factores ambientales			
Tmax °C	Tmin °C	Radiacion (Cal/cm2)	Precipitacion (mm)
29,8	19,0	454,6	52
29,6	18,9	456,1	100
29,3	19,6	421,3	119
29,8	19,6	426,8	33
29,4	19,5	410,3	29
30,6	20,1	426,1	20
31,7	18,7	535,8	0

La caña de azúcar es dependiente de la fotosíntesis para la acumulación de sacarosa y aumento de los rendimientos. FIRA, (2010) determinó que la temperatura optima en las hojas es de 34°C aproximadamente, pero como la radiación solar se intercepta directamente, dicho valor es mucho mayor a la registrada como temperatura del aire. Es por esto que la temperatura se fija entre 26 y 30°C.

Por los resultados obtenidos se puede deducir que el proceso fotosintético siempre será mayor mientras haya más luminosidad en toda la planta y así mismo corresponde la producción de sacarosa dentro de los tallos. FIRA, (2010), puesto que es muy importante tener en cuenta que la tasa fotosintética de la caña aumenta en partes donde hay mayor concentración de CO₂ atmosférico, indica que algunas veces el efecto de este se altera por la velocidad del viento y la conductancia estomática que también depende de la intensidad de la luz y la relación agua-suelo-planta-atmosfera.

Tanto la masa seca total del cultivo como la concentración de sacarosa y los rendimientos son fruto de los procesos de fotosíntesis y respiración, captura de radiación solar, nutrientes y manejo agronómico, por lo que los resultados obtenidos en esta investigación se correlacionan evidentemente con dichos procesos presentados a lo largo del ciclo del cultivo.

3.7 TCH y TAH

La variedad CC 01-1940, expresa su mayor potencial de producción en zonas húmedas; en investigaciones realizadas en campo se demuestra como una variedad de alto índice de población, altas tasas de crecimiento y buena producción en términos de TCH (Viveros, 2018).

En el ensayo realizado, la producción de caña en términos de TCH fue mejor para el tratamiento 1 (deshoje) que para el tratamiento 2, al igual que en las toneladas de azúcar por hectárea. En general, los valores obtenidos por el tratamiento 1 (deshoje) fueron mayores que los del tratamiento control Tabla 3-1.

Tabla 3- 2 Producción en términos de TCH, TAH y Rendimiento teórico

Tratamientos	TCH	TAH	Rto Tco %	Volcamiento
Con deshoje	70.5	9	12.78	2
Sin deshoje (control)	65.1	7.7	11.81	3.75

Volcamiento: en escala de 1-5, donde 1 = erecto, 5 = completamente volcado

El manejo agronómico y las condiciones agroclimáticas presentadas para el cultivo desde el inicio de desarrollo hasta la maduración, generaron las bases para el crecimiento y desarrollo en ambos tratamientos, siendo impactado en menor proporción el deshoje.

Orgeron, (2012) propuso que la producción de azúcar es dependiente del volumen de la producción de caña. De igual forma se generó la acumulación de sacarosa determinada en la producción de azúcar (TAH), por lo que no se logró evidenciar la acción del deshoje en la producción.

Los datos de producción obtenidos fueron relativamente bajos teniendo en cuenta la zona agroecológica y la variedad; pues los valores registrados por Cenicaña para la variedad CC 01-1940 en la zona agroecológica 11H1 son de 118 toneladas de caña por hectárea y 12 toneladas de azúcar por hectárea en promedio (Viveros, 2018). Las respuestas en temas de producción en esta investigación, determinan características específicas del manejo agronómico y el ambiente que limitaron el desarrollo del cultivo.

3.8 Determinación de la respuesta del cultivo al deshoje artificial

En el análisis de varianza, los resultados muestran que hay diferencias significativas entre tratamientos, así como se presentan diferencias significativas a lo largo del tiempo (DDS).

3.8.1 Conforme a los tratamientos

Considerando los muestreos realizados en el ensayo, el análisis de varianza al 0.05% difirió en su comportamiento estadístico presentando diferencias significativas en todas las variables evaluadas Tabla 3-3.

Tabla 3- 3 Diferencias estadísticas entre las variables de respuesta conforme a los tratamientos.

	Rendimiento %	Sacarosa %	Brix %	Pureza %
T1 (Deshoje)	11.04 a	16.53 a	17.88 a	90.30 a
T2 (Control)	10.63 b	15.99 b	17.16 b	89.40 b
Promedio	10,83	16,26	17,52	89,85
C.V. (%)	0,52	0,28	0,38	0,56
R²	0,99	0,99	0,99	0,94

Datos seguidos por la misma letra dentro de una misma columna, no son significativamente diferentes al nivel 0.05% según la prueba de rango múltiple de Duncan.

Tanto el rendimiento como la sacarosa, el brix y la pureza muestran una diferencia significativa entre tratamientos de aproximadamente un punto porcentual; esto posiblemente generado por la efectividad del deshoje en la época de rápido crecimiento en la que se encontraba el cultivo, ya que según literatura es de vital importancia que la luminosidad llegue a la base de los tallos para así promover la acumulación de sacarosa.

Los resultados obtenidos concuerdan con lo reportado por Gomez, (1987) que indica que la defoliación medida en la fase de rápido crecimiento del cultivo no genera efectos sobre la producción de caña (TCH) pero si en la concentración de sacarosa, mientras que la defoliación completa puede reducir ambas variables debido a la falta de fotosíntesis.

3.8.2 A lo largo del tiempo (DDS)

Las variables evaluadas respecto al tiempo de muestreo en días después de la siembra (DDS) registraron diferencias significativas al 0.05% para todas. El análisis se realizó en base a el mejor valor dentro del grupo, al cual se le asignó la letra **a**.

Con excepción de la pureza %, las demás variables reportaron su mejor valor a los 300 días después de la siembra (DDS); es decir, en el primer muestreo realizado, y siguieron una tendencia de disminución en los muestreos siguientes (317 y 334 DDS) que pudo estar influenciada por las condiciones climáticas presentadas. A partir del muestreo realizado a los 350 DDS se observa una respuesta favorable en las variables Tabla 3-4.

Tabla 3- 4 Respuesta estadística de las variables a lo largo del tiempo

	Rendimiento %	Sacarosa %	°Brix	Pureza %
300 DDS	11.63 <i>a</i>	17.43 <i>a</i>	19.32 <i>a</i>	90.27 <i>b</i>
317 DDS	10.72 <i>d</i>	16.19 <i>d</i>	14.22 <i>g</i>	88.87 <i>efg</i>
334 DDS	9.89 <i>g</i>	14.92 <i>g</i>	16.76 <i>f</i>	88.98 <i>g</i>
350 DDS	10.30 <i>f</i>	15.54 <i>f</i>	17.48 <i>e</i>	88.93 <i>ef</i>
365 DDS	10.62 <i>e</i>	15.92 <i>e</i>	17.66 <i>d</i>	90.12 <i>bcd</i>
380 DDS	11.05 <i>c</i>	16.55 <i>c</i>	18.34 <i>c</i>	90.22 <i>bc</i>
393 DDS	11.62 <i>ab</i>	17.28 <i>b</i>	18.86 <i>b</i>	91.57 <i>a</i>

Datos seguidos por la misma letra dentro de una misma columna, no son significativamente diferentes al nivel 0.05% según la prueba de rango múltiple de Duncan.

Arceneaux, et al. (1980) encontraron que, a lo largo del tiempo la respuesta del cultivo ante la defoliación parcial con respecto a rendimiento y producción de sacarosa se incrementa; esto debido a que en la etapa de maduración de la caña las hojas inferiores se encuentran

inactivas (senescentes) y captan las reservas que pueden ser utilizadas para el aumento en la producción de sacarosa y el rendimiento.

Para el caso del rendimiento, inició y terminó el ciclo de evaluación con un dato sin diferencia estadística significativa (11.63% y 11.62%) respectivamente; esto se explica por la disminución en la temperatura y radiación solar que tuvo lugar a mediados del ciclo y que afectó de manera significativa la fase de maduración del cultivo (concentración de sacarosa y aumentos en los rendimientos).

A pesar de las interacciones entre las condiciones climáticas, el manejo agronómico y el cultivo, se sostuvo un buen rendimiento (producción de sacarosa) a lo largo del tiempo, aunque no se obtuvo respuesta en la variable de producción en términos de TCH y TAH.

3.9 Análisis de correlaciones

El análisis de los coeficientes de correlación (r) se realizó entre las 6 variables evaluadas, con mayor interés en el rendimiento%, sacarosa%, °Brix y pureza del jugo%; teniendo en cuenta todos los tiempos de muestreo. En base a la tabla de correlaciones de Pearson (Anexo B), se organizó un resumen. Tabla 3-5.

Tabla 3- 5 Tabla de correlaciones de Pearson $p < 0.05$

	Rendimiento	Brix	Sacarosa	Pureza	Nsaca	Coeglu
Rendimiento	1	0.339 NS	0.994 *	0.660 *	-0.351 NS	-0.939 *
Brix		1	0.345 NS	0.163 NS	-0.045 NS	-0.449 *
Sacarosa			1	0.575 *	-0.247 NS	-0.932 *
Pureza				1	-0.933 *	-0.633 *
Nsaca					1	0.342 NS
Coeglu						1

NS = No significativo

* = significativo a $p < 0.05$

Nsaca= No sacarosa

Coeglu= Coeficiente Glucosico

La variable rendimiento, por ser la que mejor se correlaciona con las demás podría llegar a utilizarse como evaluadora de la calidad de cultivo en términos de sacarosa y pureza de los jugos.

Nelson y Ham, (2000) apropian la sacarosa y la pureza de los jugos al rendimiento a través de la etapa de maduración y al momento de la cosecha. Sin embargo, han sido pocos los estudios que han permitido caracterizar y cuantificar dicha relación y la variación en el rendimiento. Contrario a lo que reportó la correlación entre el brix, la pureza y la sacarosa presentándose como no significativa.

La correlación de Pearson entre el rendimiento y la sacarosa resulta ser positiva en gran medida, lo que indica que a medida que el rendimiento aumenta, la sacarosa también lo hace; como la correlación entre el rendimiento, el brix y la pureza, pues, aunque tienen relación, es moderada entre las variables.

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusiones

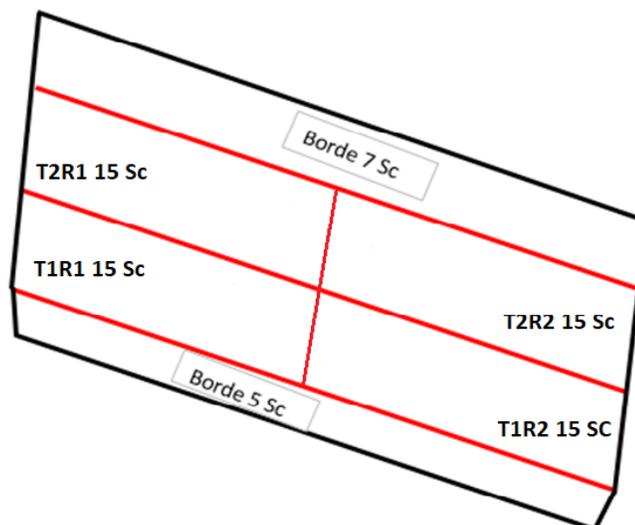
- La respuesta del cultivo de caña de azúcar al deshoje manual fue positiva en variables como rendimiento, sacarosa % caña, pureza y °Brix, lo que contribuye a la aceptación de la labor en el sector azucarero
- La labor de deshoje manual, se puede utilizar en zonas de restricción, donde es imposible aplicar reguladores de crecimiento para aumentar los rendimientos y sacarosa.
- Esta investigación es un avance inicial para establecer un protocolo de trabajo usando maquinaria tecnológica empleada para el deshoje.

4.2 Recomendaciones

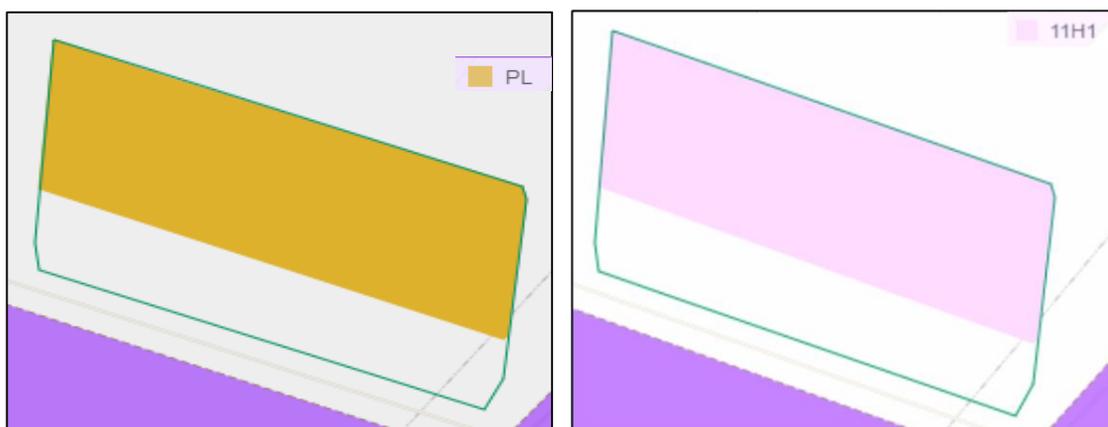
- Normalmente se manejan productos maduradores o reguladores de crecimiento para aumentar los contenidos de sacarosa del cultivo y los rendimientos. No obstante, en todos los sitios no es permitido realizar este tipo de aplicaciones y es posible usar la labor de deshoje como alternativas con la que se puede incrementar dichos valores.

A. Anexo: Planos, estudio de suelos, zona agroecológica y fotografía de cada tratamiento

Plano de campo



Estudio de suelos y zona agroecológica



Fotografías de cada tratamiento



B. Anexo: Análisis de varianza y correlaciones de Pearson

Variable dependiente: Rendimiento

Origen	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Modelo	14	11.96163571	0.85440255	264.08	<.0001
Error	13	0.04206071	0.00323544		
Total, corregido	27	12.00369643			

Media = 10.83 C V= 0.52 R² = 0.99

Origen	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Repet	1	0.00028929	0.00028929	0.09	0.7697
Días	6	10.13477143	1.68912857	522.07	<.0001
Trata	1	1.17260357	1.17260357	362.42	<.0001
días*Trata	6	0.65397143	0.10899524	33.69	<.0001

Variable dependiente: Sacarosa

Origen	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Modelo	14	22.86620000	1.63330000	735.07	<.0001
Error	13	0.02888571	0.00222198		
Total, corregido	27	22.89508571			

Media = 16.26 C V= 0.28 R² = 0.99

Origen	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Repet	1	0.00321429	0.00321429	1.45	0.2505
Días	6	19.65758571	3.27626429	1474.48	<.0001
Trata	1	2.03041429	2.03041429	913.79	<.0001
días*Trata	6	1.17498571	0.19583095	88.13	<.0001

Variable dependiente: Pureza

Origen	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Modelo	14	53.28455000	3.80603929	15.02	<.0001
Error	13	3.29491786	0.25345522		
Total, corregido	27	56.57946786			

Media = 89.85 C V= 0.56 R² = 0.94

Origen	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Repet	1	0.14143214	0.14143214	0.56	0.4684
días	6	23.64954286	3.94159048	15.55	<.0001
Trata	1	5.67900357	5.67900357	22.41	0.0004
días*Trata	6	23.81457143	3.96909524	15.66	<.0001

Variable dependiente: Brix

Origen	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Modelo	14	134.0876929	9.5776923	2104.10	<.0001
Error	13	0.0591750	0.0045519		
Total, corregido	27	134.1468679			

Media = 17.52 C V= 0.38 R² = 0.99

Origen	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Repet	1	0.02117500	0.02117500	4.65	0.0503
días	6	68.76389286	11.46064881	2517.76	<.0001
Trata	1	3.62160357	3.62160357	795.62	<.0001
días*Trata	6	61.68102143	10.28017024	2258.42	<.0001

Datos de las variables utilizadas en correlación de Pearson

Sistema SAS

Procedimiento CORR

6 Variables: Rend Brix Saca Pureza Nsaca Coeglu

Estadísticos simples

Variable	N	Media	Desv std	Suma	Mínimo	Máximo
Rend	28	10.83536	0.66677	303.39000	9.64000	11.92000
Brix	28	17.52393	2.22899	490.67000	10.28000	19.97000
Saca	28	16.26429	0.92085	455.40000	14.59000	17.74000
Pureza	28	89.85607	1.44760	2516	87.38000	92.25000
Nsaca	28	1.83071	0.25247	51.26000	1.45000	2.30000
Coeglu	28	3.90214	0.94507	109.26000	2.71000	5.76000

Bibliografía

- Alexander, A. (1973). *Sugarcane Physiology*. Elsevier. Amsterdam, M.S.
- Amaya, A., Cock, J. H., Hernández, a D. P., & Irvine, J. E. (1995). El cultivo de la caña de la zona azucarera de Colombia. Biología. In *El cultivo de la caña en la zona azucarera de colombia*.
- Arceneaux, G. F. (1980). Effect of defoliation on sugarcane yield. . *Sugar J.* 42, 11-14p.
- ASOCANA. (2017). Anexo estadístico informe anual 2016-2017.
- ASOCAÑA. (2016). *Aspectos Generales del Sector Azucarero Colombiano 2015-2016. Informe Anual*. <https://doi.org/10.1186/s12864-016-2829-5>
- ASOCAÑA. (2018). Anexo estadístico. Informe anual.
- Azevedo, H. (1981). Fisiología de cana de açúcar. *Araras: Programa Nacional de Melhoramiento de Cana de Açúcar.*, 108p.
- Bakker, H. (1999). Sugarcane cultivation and management. *Springer Science + Business Media New York*, 679p.
- 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," Ed.). Piracicaba, Brazil.
- Benvenuti, F. A. (2005). Relacao de indices espectrais de vegetacao com a produtividade da cana de acucar e atributos edaficos dissertacao. *Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agricola*, 120p.
- Braganti, E., Jadoski, C., Julianetti, A., Hulshof, T., Orika, E., & Domingues, J. (2010). Physiology aspects of sugarcane production. *Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia v3 N3 Set.-Dez., ISSN 1983-*.
- Brown, A. H., J.I, D., & Il., L. B. (1969). *Correlation Analysis of Continuous Characters in Relation to Hybrid Sugarcane Breeding*. (Theoretica).

- Carbonell, G.J., Quintero, D.R., Torres, A. J., Osorio, M.C., Isaacs, E. c., & Victoria, K. j. (2011). *Zonificación agroecológica para el cultivo de caña de azúcar en el valle del río cauca*. (Cuarta apr). Cali, Cenicaña.
- Carbonell, J.; Amaya, A.; Ortiz, B.V.; Torres, J.S.; Quintero, R.; Isaac, C.H. (2001). *Zonificación agroecológica para el cultivo de caña de azúcar en el valle del río Cauca*. Cali. CENTRO DE INVESTIGACION DE LA CAÑA DE AZUCAR, COLOMBIA: Tercera aproximación.
- Cardozo, N. P. (2012). *Modelagem da maturacao da cana de açúcar em funcao de variaveis meteorologicas*. (E. S. de A. "Luiz de Q. Teses de Maestria. Universidad de Sao Paulo, Ed.) (20,5:). Piracicaba, Brazil.
- Cassalett, C. y Amaya, A. (1984). *Estabilidad fenotípica de variedades de caña de azúcar en el Valle del Cauca, Colombia*. (XYZ, Ed.) (Primer Con). Buenaventura.
- Chaves, S. M. A. (1982). La maduración su control y la cosecha de la caña de azúcar. *Seminario de Tecnología Moderna de La Caña de Azúcar*, 28–40p.
- Cock, J.H., Luna, C.A., Palma, A. (1993). El clima y el rendimiento de la caña de azúcar. En Foro: Avances técnicos en el Sector Azucarero Colombiano. *Centro de Investigación de La Caña de Azúcar (CENICAÑA) Colombia., Seri techni*, 61–64p.
- Cuellar, C.J.; Castro, J.C.; Arana D., C. H. (1997). Bioestimulantes de biomasa y rendimiento aplicados en la época de maduración de la caña con y sin glifosato. *Cuarto Congreso de La Sociedad Colombiana de Técnicos de La Caña de Azúcar*, 24–26p.
- Davila, C. C. (1995). *El cultivo de caña de azúcar en la zona azucarera de Colombia*. Cali.
- De Lira, V., Barbosa da Silva, B., Dantes Neto, J., Sobral de Farias, M.S., Candido Bezerra, M. V., & Soares Franco, E. (2009). Análise espectral de índice de vegetação em área irrigada com cana de açúcar. *Engenharia Ambiental*, 6(1), 113–120p.
- Degaspari, N. M. (1980). *Efeito do defolhamento na produção de cana de açúcar. Brasil Acucareiro* 96,.
- Diez, O., Zossi, S., & Cardenas., E. c. (2000). Calidad industrial de las variedades de caña de azúcar de maduración temprana. En LCO 85-384 y LCP 85-376, *Tucumán* 77, 39–48p.
- Dillewijn, C. V. (1978). *Botánica de la caña de azúcar*. La Habana.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (2006). Evapotranspiración del cultivo. Retrieved from fao.org/3/a-x0490s.pdf
- Fernandez, A. (2003). Cálculos na agroindustria da cana de açúcar. *Piracicaba: STAB* 2003, 240p.

- FIRA. (2010). Produccion sostenible de caña de azúcar. *Boletín Informativo, Nueva Epoca*, 11.
- Gomez, L. a. (1987). Evaluacion del daño ocasionado por comedores de follaje en caña de azúcar mediante defoliacion simulada. *Documento de trabajo N° 17 Cenicaña, Colombia*, 15pp.
- Gutierrez-Miceli, F.A., C. Arias-Castro, L. Dendooven, R. Mendez-Salas, M. A. (2002). Enzymatic regulation in the saccharose accumulation in sugarcane (*saccharum spp*) plants. *Arociencia*, 36, 411–419p.
- Hartt, C. E. (1965). The effect of temperature upon Translocation of C14 in Sugarcane. *Plant Physiology.*, 40:, 74–81p.
- Hawker, J.S., C.R. Jenner, and C. M. N. (1991). Sugar metabolism and compartmentation. *Aust.J. Plant Physiology.*, 18, 227–237p.
- Hawker, J.S., and M. D. H. (1965). Mechanism of sugar storage by mature stem tissue of sugarcane. *Plant Physiology.*, 18, 444–453p.
- Humbert, R. p. (1974). *El cultivo de la caña de azúcar*. Mexico D.F.
- Irvine, J.E; y Benda, T. A. (1989). Sugarcane anatomy, morphology and physiology. *Major Diseases. Elsevier*, 1–20p.
- J.H. Cock, A. Amaya, C. Bohorquez, B. M. (1997). Simulation of production potential of self-defoliating sugarcane cultivars. *Field Crop Science Research.*, 54(1, ISSN 0378–4290,,), 1–8p. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(96\)01019-2](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(96)01019-2)
- JCS, P. N. y A. (2002). Efectos de los tratamientos que influyen potencialmente en el suministro de asimilación en caña de azúcar. *Journal Exoperimental Botany*, 123–129p.
- Larrahondo, E., & Villegas, F. (1995). Control y Características de Maduración. In *El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia-CENICAÑA*.
- Larrahondo, J. E. (1995). *Calidad de la Caña de Azúcar. El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia*. <https://doi.org/10.1149/06201.0045ecst>
- Leite, G.H; Cruscioll, C.A; Silva, M; Filho, W.G; Surianol, A. (2009). Qualidade tecnológica, produtividade e margem de contribuição agrícola da cana-de-açúcar em função da aplicação de reguladores vegetais no início da safra. *Ciência Rural, Santa Maria*, 39, 726–732p.
- Lingle, S. (1999). Sugar metabolism during growth and development in sugarcane internodes. *Crop Science, Madison*, v.39, 480–486.
- Liu, D.L. y Heylar, K. R. (2003). Simulation of seasonal stalk water content and fresh weigh yield of sugarcane. *Field Crop Science Research.*, 82, 59–73p.

- Lopez, M. A. (2014). Ecofisiología de la caña de azúcar. *Cenicaña*, 3–5p.
- Martin, F.A., B.L. Legendre, G. M. Bill, G.J. Dimarco, and R. J. S. (1981). Chemical ripening of Louisiana sugarcane. *Sugar J.*, 43, 20–22p.
- Moore, P. y Maretzki, A. (1996). Sugarcane. Photoassimilate Distribution in Plant and Crops. *Marcel Dekker Inc.*, (New York-Basel-Hong Kong.), 643–669p.
- Murillo, P. O. (2010). Monitoring sugarcane crops in the Cauca. Proceedings of the International Society of Sugarcane, 27, 1–5p.
- Nelson, P. y. (2000). Exploring the response of sugar cane to sodic and saline conditions through natural variation in the field . *Field Crops Research* , 245-255p.
- Orgeron, A. J. (2012). Sugarcane growth, sucrose content, and yield response to the ripeners glyphosate and trinexapac-ethyl. *The School of Plant, Environmental, and Soil Sciences, Louisiana State University*, 38p.
- Pammenter N.W. and J.C.S.Allison. (2002). Effects of treatments potentially influencing the supply of assimilate on its partitioning in sugarcane. *J. Exp. Plant Physiology.*, 123–129p.
- Pereira. (2006). Variabilidade espacial das propriedades físicas e químicas do solo em áreas intensamente cultivadas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 294–395p.
- Resende, P. . S. J. (1999). Effect of Moddus on sugar cane. São Paulo, Brazil. (*Report WCO Brazil 01/99*),.
- Saenz, S. J. (2004). *Experiencias en la optimización de la maduración inducida en el cultivo de caña de azúcar (Saccharum officinarum L.)*. Guatemala. USAC:
- Su, L. Y., A. De la Cruz, P.H. Moore, and A. M. (1992). The relationship of glyphosate treatment to sugar metabolism in sugarcane. *New Physiological Insights. J. Plant Physiol.*, 16, 168–173p.
- Taiz, L. y Zeiger, E. (2004). *Fisiología vegetal 3ra (ed)*. (Artmed., Ed.). Porto Alegre, Brazil.
- Van Dillewijn, C. (1952). *Botany of sugarcane*. (The Chroni). Waltham.
- Villegas, Fernando; Arcila, J. (1995). Uso de Madurantes. *El Cultivo de La Caña En La Zona Azucarera de Colombia*. <https://doi.org/10.1002/cssc.200900220>
- Villegas, T. F.; Torres, J. S. (1993). El madurador y la producción. *Centro de Investigacion de La Caña de Azúcar (CENICAÑA) Colombia.*, Serie *divu*, 4p.
- Villegas T., F. (2010). Maduración y crecimiento de la caña de azúcar. Cali., Cenicaña. *Carta Trimestral*, V.32 nos 1, 47–54p.

- Viloria, J. (2003). Aptitud de la tierra para caña de azúcar y banano en el sistema de riego. Retrieved from http://www.ceniap.gov.ve/pbd/RevistasCientificas/Agronomia_tropical/at5302/arti/viloria_j.htm
- Viveros, C. A. (2018). *Características agronomicas y de productividad de la variedad Cenciaña Colombia (CC) 01-1940*. Cali, Cenicaña.
- Watson DJ, Motomatsu T, Loach K, M. G. (1972). Effects of shading and of seasonal differences in weather on the growth, sugar content and sugar yield of sugar-beet crops. *Annals of Applied Biology*, 71, 159–185p.
- Wendler, R., R. Veith, J. Dancer, M. Stitt, and E. K. (1990). Sucrose storage in cell suspension cultures of *Saccharum* sp. (sugarcane) is regulated by a cycle of synthesis and degradation. *Plant Physiology.*, 183, 31–39p.