



UNIVERSIDAD  
**NACIONAL**  
DE COLOMBIA

# **Incremento del crecimiento y desarrollo de la semilla de Caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L. var. CC 05-430) como respuesta a la aplicación de ácido giberélico**

**Oscar Iván Patiño Giraldo**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ciencias Agropecuarias  
Palmira, Colombia

2020



# **Incremento del crecimiento y desarrollo de la semilla de Caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L. var. CC 05-430) como respuesta a la aplicación de ácido giberélico**

**Oscar Iván Patiño Giraldo**

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

**Magister en Ciencias Agrarias**

Director:

M.Sc. Alexander Bohórquez Páez

Codirector:

M.Sc. Herney Darío Vásquez

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 Jerónimo “mi torito” porque quiero ser su mayor ejemplo de superación, a mi madre que celebra mis triunfos más que yo mismo y al recuerdo de Daniel y a una de sus últimas frases “Nunca paren, luchen siempre, serán muy grandes”*

## Declaración de obra original

Yo declaro lo siguiente:

He leído el Acuerdo 035 de 2003 del Consejo Académico de la Universidad Nacional. «Reglamento sobre propiedad intelectual» y la Normatividad Nacional relacionada al respeto de los derechos de autor. Esta disertación representa mi trabajo original, excepto donde he reconocido las ideas, las palabras, o materiales de otros autores.

Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en esta disertación, he realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

He obtenido el permiso del autor o editor para incluir cualquier material con derechos de autor (por ejemplo, tablas, figuras, instrumentos de encuesta o grandes porciones de texto).

Por último, he sometido esta disertación a la herramienta de integridad académica, definida por la universidad.



---

Nombre

Oscar Iván Patiño Giraldo

Fecha 04/12/2020

Fecha

## **Agradecimientos**

La clave de la felicidad es la gratitud, por lo tanto, aprovecho esta oportunidad para agradecer a todas las instituciones y personas que hicieron parte de este logro:

A la Universidad Nacional de Colombia, donde me hice profesional y a la que hoy regreso a alcanzar esta meta.

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

A Campofert, que además de sus productos, me brindó su apoyo incondicional en recursos que muchas veces pueden ser intangibles como el tiempo y la motivación.

También quiero agradecer al Ingeniero Agrónomo Alexander Bohórquez, quien estuvo en la planeación y ejecución de la presente tesis como codirector y al director del presente trabajo de grado Héctor Fabio Ramos Rodríguez quien aceptó este reto cuando el tiempo jugaba en nuestra contra.

A Verónica Calderón Amariles, una persona que por su valiosa ayuda y consejos pude tomar las mejores decisiones en la ejecución del presente trabajo.

Y por supuesto a mi pilar fundamental y con quien quiero siempre celebrar mis logros, mi familia, que por lo numerosos no es posible nombrarlos a todos.



## Resumen

### **Incremento del crecimiento y desarrollo de la semilla de Caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L. var. CC 05-430) como respuesta a la aplicación de ácido giberélico**

Dentro de los caracteres de interés de la caña de azúcar en Colombia, se viene trabajando sobre la posibilidad de mejorar la capacidad de producción de semilla para aumentar los cultivos comerciales y hacer efectivo el reemplazo varietal con variedades resistentes o tolerantes a plagas y enfermedades que están afectando actualmente. Dicha producción de semilla está limitada a cubrir un total de 60 toneladas por hectárea; sin embargo, es de suma importancia aumentar esta cantidad de semilla en corto tiempo, por lo que se implementó el uso de ácido giberélico para evaluar dicha producción. El objetivo fue evaluar la respuesta del cultivo para semilla de caña de azúcar en la variedad CC 05-430 ante la aplicación de ácido giberélico. Se determinó el número de entrenudos por tallo, los tallos por metro lineal, la longitud del tallo (cm), longitud del tallo a punto natural de quiebre, el diámetro del tallo (mm), el peso del tallo (gr) y el número de esquejes. El método estadístico fue bloques completos al azar con 6 tratamientos y 3 repeticiones más un análisis de varianza ANOVA con el programa estadístico R. Los resultados obtenidos mostraron que las variables longitud del tallo (cm), diámetro del tallo, peso y número de entrenudos presentaron diferencias significativas entre los tratamientos, lo cual demostró la eficiencia en la aplicación de ácido giberélico. En conclusión, las giberelinas causan un efecto fisiológico sobre los tallos de la caña, lo que permite establecer dosis de aplicación para el cultivo con base en esta información.

**Palabras clave:** Fisiología, producción, crecimiento de tallos, esquejes, reguladores de crecimiento.

## **Abstract**

### **Increased Growth and development of Sugarcane seed (*Saccharum officinarum* L.) var. CC 05-430 in response to application of gibberellic acid**

Among the characteristics of interest for sugarcane in Colombia, work is being done on the possibility of improving the seed production capacity to increase commercial crops and make effective varietal replacement with varieties resistant or tolerant to pests and diseases that are currently affecting. Said seed production is limited to cover a total of 60 tons per hectare; However, it is extremely important to increase this number of seed in a short time, for which the use of gibberellic acid was implemented to evaluate said production. The objective was to evaluate the response of the crop for sugarcane seed in variety CC 05-430 to the application of gibberellic acid. The number of internodes per stem, the stems per linear meter, the stem length (cm), the stem length at the natural breaking point, the stem diameter (mm), the stem weight (gr) and the number were determined. cuttings. The statistical method was randomized complete blocks with 6 treatments and 3 repetitions plus an ANOVA analysis of variance with the R statistical program. The results obtained showed that the variables stem length (cm), stem diameter, weight and number of internodes presented significant differences between treatments, which demonstrated the efficiency in the application of gibberellic acid. In conclusion, gibberellins cause a physiological effect on cane stalks, which allows establishing application rates for the crop based on this information.

**Keywords:** Physiology, Production, stem growth, cuttings, growth regulators

# Contenido

	Pág.
<b>Resumen</b> .....	<b>IXI</b>
<b>Lista de figuras</b> .....	<b>XIII</b>
<b>Lista de tablas</b> .....	<b>XIV</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>1</b>
<b>1. Marco teórico</b> .....	<b>5</b>
1.1 Importancia económica del cultivo de caña de azúcar .....	5
1.2 Generalidades del cultivo de caña de azúcar .....	6
1.3 Etapas fenológicas de la caña de azúcar en el valle del río Cauca .....	7
1.4 Requerimientos del cultivo de caña de azúcar .....	8
1.4.1 Requerimientos nutricionales.....	8
1.4.2 Condiciones climáticas .....	9
1.4.3 Condiciones edáficas.....	9
1.5 El tallo de la caña de azúcar .....	10
1.5.1 Crecimiento y tasa de elongación .....	12
1.6 Semilla de la caña de azúcar .....	13
1.6.1 Semilleros.....	13
1.7 Reguladores de crecimiento .....	14
1.8 Giberelinas (GAs) .....	15
1.8.1 Estructura de las GAs.....	15
1.8.2 Respuestas fisiológicas a la aplicación de las GAs.....	17
1.9 Antecedentes de AG <sub>3</sub> en cultivo de Caña de azúcar .....	18
<b>2. Metodología</b> .....	<b>21</b>
2.1 Localización geográfica del ensayo .....	21
2.2 Variedad de caña.....	21
2.3 Manejo agronómico del cultivo para semilla.....	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.....	24
2.5.1 Análisis estadístico de la información .....	25
<b>3. Resultados y Discusión</b> .....	<b>27</b>
3.1 Numero de entrenudos por tallo.....	27
3.2 Tallos por metro lineal.....	29
3.3 Longitud del tallo (cm).....	31

XII Incremento del crecimiento y desarrollo de la semilla de Caña de azúcar  
(*Saccharum officinarum* L. var. CC 05-430) como respuesta a la aplicación de  
ácido giberélico

---

3.4	Longitud del tallo a punto natural de quiebre (cm) .....	33
3.5	Diámetro del tallo (mm) .....	35
3.6	Peso del tallo (gr) .....	39
3.7	Numero de esquejes .....	40
3.8	Determinación de la respuesta del cultivo a la aplicación de ácido giberélico .....	41
<b>4.</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>43</b>
4.1	Conclusiones.....	43
4.2	Recomendaciones.....	44
<b>A.</b>	<b>Anexo: Fotografías de tratamientos, Planos, estudio de suelos y zona agroecológica.....</b>	<b>45</b>
<b>B.</b>	<b>Anexo: Análisis de varianza.....</b>	<b>49</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>.....</b>	<b>55</b>

## Lista de figuras

	Pág.
<b>Figura 1- 1</b> Etapas fenológicas de la caña de azúcar. Fuente (Aguilar, 2011).....	8
<b>Figura 1- 2</b> Tallo de la caña de azúcar. Fuente (Osorio, 2007) .....	11
<b>Figura 1- 3</b> Nudo y entrenudo del tallo de caña. Fuente (Osorio, 2007).....	12
<b>Figura 1- 4</b> Esqueleto Gibánico y estructura de las giberelinas GA <sub>1</sub> y GA <sub>3</sub> Fuente (Castillo, 2004) .....	16
<b>Figura 2- 1</b> Características de la variedad CC 05-430. Fuente: Informe de gestión Castilla Agrícola (2018).....	22
<b>Figura 2- 2</b> Distribución espacial de los tratamientos, cada 11 surcos .....	24
<b>Figura 3- 1</b> Diagrama de caja y bigote para número de entrenudos.....	27
<b>Figura 3- 2</b> Tendencia entre promedios, número de entrenudos versus la dosis .....	28
<b>Figura 3- 3</b> Diagrama de caja y bigote para la variable tallos por metro lineal.....	30
<b>Figura 3- 4</b> Tendencia de aumento en la variable número de tallos por metro lineal.....	31
<b>Figura 3- 5</b> Diagrama de caja y bigote para longitud total de los tallos .....	32
<b>Figura 3- 6</b> Secuencia de aumento en la altura total de tallos (cm).....	32
<b>Figura 3- 7</b> Tendencia entre promedio altura de tallo al punto de quiebre versus la dosis .....	35
<b>Figura 3- 8</b> Diagrama de caja y bigote para diámetro parte baja (mm) .....	36
<b>Figura 3- 9</b> Efecto de la dosis de aplicación en el diámetro inferior del tallo de caña .....	37
<b>Figura 3- 10</b> Diagrama de caja y bigote para diámetro parte media (mm).....	38
<b>Figura 3- 11</b> Diagrama de caja y bigote para diámetro parte alta (mm).....	38
<b>Figura 3- 12</b> Diagrama de caja y bigote de la variable peso del tallo (gr) .....	39
<b>Figura 3- 13</b> Numero de esquejes por tratamiento aplicado .....	41

## Lista de tablas

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1- 1</b> Principales países productores de caña de azúcar y Colombia .....	5
<b>Tabla 1- 2</b> Absorción de macronutrientes (kg) en el cultivo de caña de azúcar.....	8
<b>Tabla 2- 1</b> Descripción de los tratamientos .....	23
<b>Tabla 3- 1</b> Numero de tallos de caña de azúcar por tratamiento .....	29
<b>Tabla 3- 2</b> Diferencia significativa y coeficiente de variación en la variable Longitud del tallo (cm).....	33
<b>Tabla 3- 3</b> Diferencia significativa y coeficiente de variación para longitud al punto de quiebre natural (cm).....	34
<b>Tabla 3- 4</b> Peso final del tallo y coeficiente variación .....	39
<b>Tabla 3- 5</b> Diferencias estadísticas entre las variables de respuesta conforme a los tratamientos .....	41

# Introducción

La caña de azúcar es un cultivo de gran importancia a nivel mundial; ya que es a partir de esta que se obtiene una de las fuentes energéticas más importantes y más utilizadas en los hogares y en la industria alimentaria, sin tener en cuenta nuevos sectores como la producción de miel, biocombustibles, y papel a partir de bagazo, entre otros (Kooper, 2015). Es sembrado en la zona tropical, ocupa aproximadamente 51 millones de hectáreas generando una producción de 140 millones de toneladas de caña entre 2018/2019 (ASOCAÑA, 2019). En Colombia ocupa el quinto lugar entre los cultivos más sembrados, representa el 3,7% del producto interno bruto (PIB) agrícola y en el Valle del Cauca, el 38,1% (ASOCANA, 2017)

En relación a este sector productivo, Colombia es un país privilegiado ya que cuenta con las condiciones climáticas óptimas para la producción de caña de azúcar, que permiten sembrar y cosechar en cualquier época del año (ASOCAÑA, 2017). El sector azucarero se encuentra ubicado entre los 3 y 5 grados de latitud norte, cubriendo los departamentos de Risaralda, Quindío, Caldas, Cauca y Valle del Cauca, comprendido por unas 430.000 hectáreas planas, a una altura de 1050 metros sobre el nivel del mar aproximadamente. Para el año 2018 se reportó un área total de 243,232 hectáreas en Caña de azúcar, con 207.083 hectáreas cosechadas (ASOCAÑA, 2019).

Colombia cuenta con grandes extensiones para la producción de caña y con condiciones climáticas ideales; se ubica en el primer lugar en cuanto a productividad a nivel mundial (FAO, 2017) Es claro que el sector agroindustrial de la caña se ha focalizado en mejorar la competitividad del país, mediante la búsqueda de alternativas de producción que permitan incrementar los rendimientos del cultivo, sin afectar la relación costo beneficio (ASOCAÑA, 2019). Frente a esta iniciativa aún no se han considerado alternativas como la aplicación de ácido giberélico en la producción que podría constituir una alternativa tecnológica importante a la hora de incrementar dicho rendimiento a un bajo costo.

El grupo agroindustrial Riopaila Castilla, donde fue realizada dicha investigación tiene una trayectoria de 100 años en el mercado nacional e internacional, se encarga de producir y comercializar bienes como azúcar, miel, alcohol, energía y palma, y así contribuye a la seguridad alimentaria y energética del país. Posee aproximadamente 5900 hectáreas del cultivo en Puerto López Meta, con las que genera cerca de 300 mil empleos en toda Colombia.

Con la exigencia del sector productivo, la semilla para la propagación de la caña de azúcar debe ser de alta calidad; es uno de los pasos más importantes que se deben tener en cuenta para mejorar la producción. Por esta importante razón, este proceso debe ser una parte integral en el planeamiento de la plantación e involucrar el manejo agronómico con el fin de obtener la cantidad de semilla necesaria para el lote comercial. Una hectárea de semillero en excelentes condiciones produce alrededor de 60 toneladas de semilla, con la cual se siembran hasta seis hectáreas (Murcia M., 2015).

El ácido giberélico ( $AG_3$ ) es un regulador de crecimiento que hace parte del grupo de las Giberelinas, que al ser aplicado en diferentes cultivos tiene la capacidad de estimular el crecimiento y desarrollo de la planta, produciendo la elongación de los entrenudos en los tallos, lo que posibilita el incremento en el rendimiento agrícola e industrial y por ende la producción de semilla (Azcón, J., & Talón, M, 2013).

Investigaciones realizadas en diferentes cultivos con aplicación de  $GA_3$  evidencian su efecto positivo en el incremento de la producción; antecedentes que justifican promover la presente investigación encaminada a evaluar la respuesta del cultivo para semilla de caña a la aplicación de ácido giberélico; además de la respuesta positiva que ha generado en la capacidad para promover el crecimiento y elongación de tejidos vegetales, mejorando el tamaño de hojas, tallos, granos, frutos y tubérculos, y su efecto en el proceso de floración y germinación de las semillas. En el cultivo de caña se ha utilizado principalmente para estimular el desarrollo del tallo (Azcón, J., & Talón, M, 2013). Esta hormona cumple cierto rol en la modulación de procesos como la ruptura de la latencia y el crecimiento de las yemas vegetativas (Sun, T. and F. gubler, 2004)

Se ha documentado que la aplicación foliar post emergente de  $ÁG_3$  intensifica la actividad meristemática, estimula el crecimiento de los entrenudos y la producción de sacarosa en

el cultivo de la caña (Gonçalves-Martins, M.B. e P.R. de camargo e castro, 1999; Taiz, L. and E. Zeiger. , 2002). En muchos países se ha registrado el uso de reguladores de crecimiento como el ácido giberélico con el fin de favorecer la germinación y el incremento en el rendimiento de la caña de azúcar, así como también generar mejoras en la producción de macollas y número de tallos, además según investigaciones el AG<sub>3</sub> juega un papel muy importante en impartir tolerancia a la salinidad del suelo; ya que mejora la absorción de nutrientes, así como los aspectos morfológicos y fisiológicos de la caña, eliminando la inhibición del crecimiento de las plántulas por el estrés salino (Shomeili, M., Nabipour, M., Meskarbashee, M., & Memari, H. R. , 2011).

Actualmente en Colombia no se han realizado investigaciones encaminadas a determinar el efecto de la aplicación de GA<sub>3</sub> sobre el cultivo de caña de azúcar, siendo una práctica de mínima implementación por parte de los productores y con esto pudiendo lograr incrementos en sus producciones ya que sus efectos en la elongación celular permiten alcanzar una mayor cantidad de toneladas de caña por hectárea y kilogramos de azúcar por tonelada de caña cosechada. Además de que la información relacionada con el uso de esta hormona en el tratamiento de semilla es escasa. En este sentido, la presente investigación plantea la aplicación de ácido giberélico como alternativa sustentable para los productores de caña; contemplando la posibilidad de incrementar la producción de semilla a un bajo costo de implementación, estableciendo la dosis adecuada a aplicar, lo cual puede contribuir con el desarrollo de este sector productivo. Los resultados que se presenten podrían ser interesantes desde el punto de vista empresarial y se podría traducir en un aumento en la producción de semilla de caña para uso comercial.

El objetivo general del presente estudio fue evaluar la respuesta del cultivo para semilla de caña de azúcar en la variedad CC 05-430 ante la aplicación de ácido giberélico y específicamente estudiar el efecto de diferentes dosis de ácido giberélico en el comportamiento agronómico del cultivo (crecimiento del tallo en altura y diámetro, número de entrenudos y población), Evaluar la producción de esquejes a partir de las diferentes dosis de ácido giberélico y determinar la viabilidad de la aplicación de ácido giberélico con Drone.



# 1. Marco teórico

## 1.1 Importancia económica del cultivo de caña de azúcar

El cultivo de caña de azúcar representa una de las actividades agroindustriales de mayor importancia económica y social a nivel mundial. Actualmente se siembra en alrededor de 110 países, en aproximadamente 25 millones de hectáreas a nivel mundial, y con una producción cercana a los 1.800 millones de toneladas de caña (FAO, 2017). Su principal uso es la producción de azúcar, siendo la caña de azúcar la encargada de proveer cerca de dos tercios de la producción mundial (FAO, 2017). Los principales productores de caña de azúcar son Brasil y la India; en conjunto aportan alrededor del 59 % de la producción a nivel mundial (FAO, 2017). En Colombia se producen aproximadamente 34,6 millones de toneladas de caña de azúcar (Tabla 1-1) (FAO, 2017). La producción de caña de azúcar se encuentra distribuida en 6 departamentos de Colombia, siendo el departamento del Valle del Cauca el principal productor a nivel nacional con 21 millones de toneladas (Agronet, 2018).

**Tabla 1- 1** Principales países productores de caña de azúcar y Colombia

<b>País</b>	<b>Producción (t)</b>
Brasil	758.548.292
India	306.069.000
China	104.404.000
Tailandia	102.946.001
Pakistán	73.401.199
México	56.954.993
Australia	36.561.497
<b>Colombia</b>	<b>34.638.019</b>
Guatemala	33.758.389
Estados Unidos	30.153.010

Fuente: (FAO, 2017)

## 6 Incremento del crecimiento y desarrollo de la semilla de Caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L. var. CC 05-430) como respuesta a la aplicación de ácido giberélico

---

La producción de caña de azúcar constituye una de las cadenas productivas más importante en Colombia, ya que aporta el 3,7% del PIB agrícola, el 2,8% del PIB industrial y el 0,7% del PIB total (ASOCAÑA, 2019). De igual manera la producción de caña ha generado un crecimiento económico importante, ha mejorado la calidad de vida y el nivel educativo de la población perteneciente al área de influencia de este cultivo (Arbeláez, M., Estacio, A., & Olivera, M., 2010).

En la actualidad la mayor producción del cultivo de caña se concentra en el valle geográfico del río Cauca, que cuenta con 429 mil hectáreas planas de origen aluvial; región que representa una de las zonas de producción de caña más relevantes a nivel mundial; debido a que posee óptimas características agroecológicas y climáticas para el crecimiento y desarrollo del cultivo, además es considerada una de las pocas regiones en el mundo en donde se puede cosechar caña durante todo el año (Núñez, J., Ruiz, M., Parra, J., & Ortiz, M., 2019) lo cual puede potencializar a Colombia como productor de caña de azúcar en el mundo.

### 1.2 Generalidades del cultivo de caña de azúcar

El origen de la caña de azúcar es altamente debatido, aun así se reconoce de manera general su procedencia de la Isla de Nueva Guinea y a *Saccharum robustum* como especie inicial, que posteriormente se extendió a Java, a Sumatra y después a la India; aunque fueron los chinos los primeros en cultivarla (Gomez, C., & Palma, S., 2013). Actualmente se cultiva en zonas como los trópicos y sub-trópicos, en diferentes condiciones edafoclimáticas; pero se desarrolla mejor en los trópicos donde su característico clima cálido, sus condiciones de humedad y su alta disposición de luz solar, favorecen la producción del cultivo (Iglesias, H., Aguilar, I., & Delgado, I., 2015).

La caña de azúcar en relación a la fotosíntesis hace parte de las plantas con metabolismo C4 y además es una planta hidroestable o isohídrica; ventajas que contribuyen a una eficiencia fotosintética y a un uso eficiente del agua en el cultivo, sobre todo en condiciones de clima cálido o árido (Azcón, J., & Talón, M., 2013). La caña de azúcar hace parte de las gramíneas, es una planta perenne que posee tallos gruesos, con buen contenido de fibra,

en los cuales se acumula sacarosa, la cual se procesa para la producción de azúcar (Ramírez, 2008).

La acumulación de sacarosa en los tallos es la razón por la que se considera al cultivo de caña de azúcar como uno de los cultivos agroindustriales más importantes en el mundo; ya que es materia prima de diferentes compuestos, entre los que se encuentra el azúcar, panela, miel, alcohol y biocombustibles como el etanol, adicionalmente en el proceso de extracción se obtiene como subproductos fibra, papel, fertilizantes orgánicos y piensos (ASOCAÑA, 2019).

### **1.3 Etapas fenológicas de la caña de azúcar en el valle del río Cauca**

La caña de azúcar cuenta con una elevada eficiencia fotosintética, lo que le proporciona unas altas tasas de crecimiento. En los primeros meses del cultivo, predominan los azúcares reductores glucosa y fructosa que son usados por la planta para generar tallos en la etapa de macollamiento en la que el crecimiento varía entre 1.5 y 2 cm por semana. A partir del cuarto mes y hasta los 10 meses de edad del cultivo, la sacarosa se incrementa en forma gradual y se reduce la tasa de crecimiento de los tallos, la cual puede estar entre los siete y 10 cm por semana dependiendo de la variedad, el clima, el suelo y el manejo agronómico. A partir del mes diez, donde empieza la fase de maduración, el crecimiento se reduce de forma natural a 6 cm por semana, lo que conlleva a aumentar la síntesis de sacarosa a partir de los azúcares reductores y al almacenamiento de las misma en los tallos. Figura 1-1. (Villegas, F.D. y Torres, J.S. , 1993).

- 8 Incremento del crecimiento y desarrollo de la semilla de Caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L. var. CC 05-430) como respuesta a la aplicación de ácido giberélico

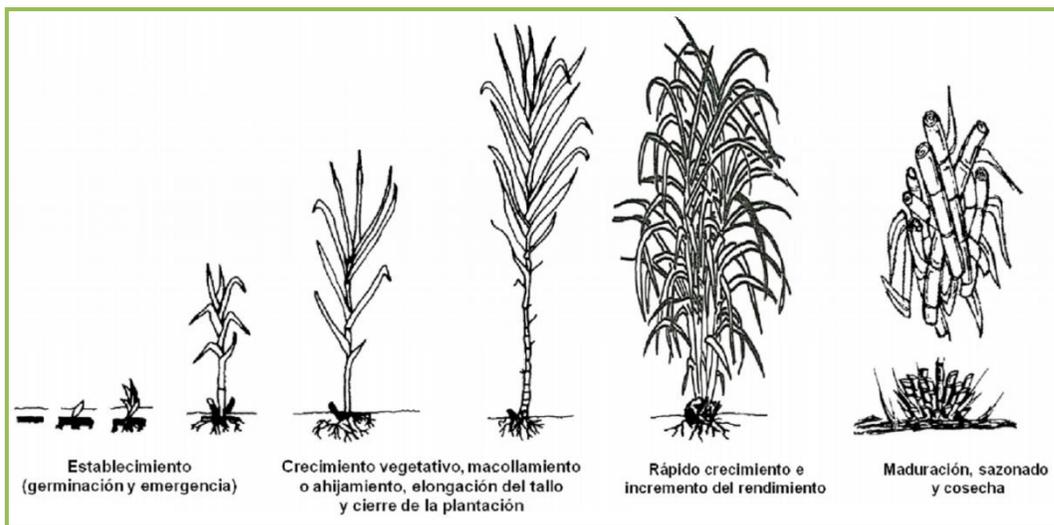


Figura 1- 1 Etapas fenológicas de la caña de azúcar. Fuente (Aguilar, 2011)

## 1.4 Requerimientos del cultivo de caña de azúcar

### 1.4.1 Requerimientos nutricionales

El cultivo de caña de azúcar requiere grandes cantidades de nutrientes para lograr alcanzar un óptimo crecimiento y producción, por lo general el plan nutricional se distribuye en dos aplicaciones, la primera a los dos o tres meses y la segunda a los cinco meses después de la germinación (Ruiz, J., Medina, G., González, I., Ramírez, G., Martínez, R., 2013). La extracción de nutrientes realizada por el cultivo difiere de acuerdo a la variedad sembrada, a las condiciones edafoclimáticas y al manejo del cultivo (Davila, 2014). Los requerimientos de macronutrientes en el cultivo de caña de azúcar se referencian en la Tabla 1-2.

Tabla 1- 2 Absorción de macronutrientes (kg) en el cultivo de caña de azúcar.

Cultivo/Rendimiento	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Mg	S
Caña de azúcar (124 t ha <sup>-1</sup> )	235	112	370	31	28
Caña de azúcar (1 t ha <sup>-1</sup> )	1,9	0,9	3	0,25	0,22

Fuente: (Ochoa, M., Reyes, M., & Manríquez, J., 2010)

## 1.4.2 Condiciones climáticas

La caña de azúcar es un cultivo de clima cálido, que se cultiva en los trópicos y subtrópicos, en zonas húmedas, subhúmedas o semiáridas; donde los principales factores climáticos que influyen sobre el crecimiento, rendimiento y calidad del cultivo de la caña son la temperatura, la luz y la humedad (Duarte, O., & González, J., 2019)

**Temperatura:** El cultivo de caña requiere de altas temperaturas la mayor parte de su ciclo vegetativo, las temperaturas ideales en cada etapa se referencian a continuación:

- **Germinación:** Son ideales temperaturas entre los 26°C a 33°C, por debajo de 20°C la germinación y desarrollo radicular se ven afectados (Davila, 2014).
- **Crecimiento:** La temperatura óptima para el crecimiento de la caña de azúcar es de 30°C a 34°C, temperaturas que superen los 38°C o inferiores a 15°C detienen el crecimiento (Duarte, O., & González, J., 2019).
- **Maduración:** Temperaturas bajas en la noche de 18°C y altas en el día de 30°C, favorecen la producción y concentración de sacarosa (Aguilar, 2011).

**Luz:** El cultivo de caña tiene es muy eficiente en la utilización de energía solar, incrementando la tasa fotosintética; por lo cual una mayor radiación solar se refleja en mayores rendimientos (Duarte, O., & González, J., 2019). Cuando se cuenta con 10 a 14 horas de luz, el crecimiento del tallo se incrementa, la seis hojas superiores captan el 70% de la radiación, por lo que se recomienda un índice de área foliar de 3 a 3.5 (Duarte, O., & González, J., 2019).

**Precipitación:** La caña de azúcar necesita un promedio anual de precipitación éntrelos 1.000 a 1.250 mm, distribuidos de manera uniforme durante todo el ciclo vegetativo del cultivo (Ruiz et al., 2013)

## 1.4.3 Condiciones edáficas

Las condiciones edáficas más propicias para la producción del cultivo de la caña de azúcar son:

10 Incremento del crecimiento y desarrollo de la semilla de Caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L. var. CC 05-430) como respuesta a la aplicación de ácido giberélico

---

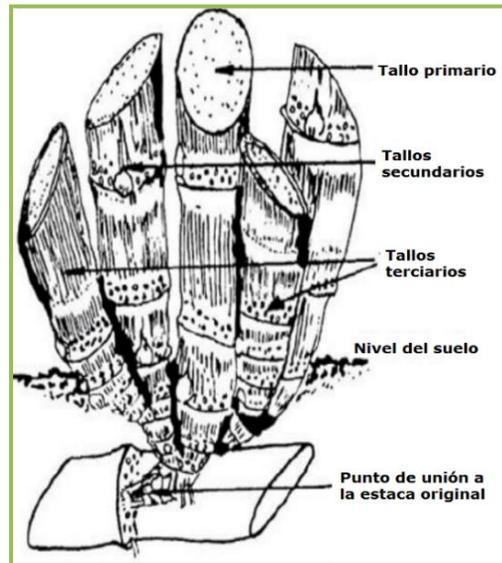
- **Profundidad de suelo:** es ideal contar con profundidades por encima de los 80 cm; ya que en menores profundidades el suministro de agua es bajo (Ruiz et al., 2013).
- **Drenaje:** son ideales suelos moderadamente drenados a bien drenados, suelos mal drenados generan retrasos en la maduración de la caña y baja concentración de azúcares en la cosecha (Ruiz et al., 2013).
- **Textura:** se adapta a diferentes condiciones de textura del suelo; generalmente se cultiva y produce adecuadamente tanto en suelos arcillosos muy pesados, como en suelos arenosos (Ruiz et al., 2013).
- **Estructura:** es ideal con suelos de estructura granular, para facilitar su manejo, mejorar la infiltración y la capacidad de almacenar agua (Duarte & González, 2019).
- **Acidez:** la caña de azúcar se desarrolla adecuadamente en un rango de pH entre 5.5 a 8, A pH menores la acidez del suelo afecta la producción por la presencia aluminio intercambiable, y posible toxicidad por hierro y manganeso (Duarte & González, 2019).
- **Salinidad:** la caña de azúcar es un cultivo medianamente tolerante a la salinidad, la reducción del rendimiento es la siguiente: a una conductividad eléctrica de 1.7 dS m<sup>-1</sup> se reduce el 0%, para 3.4 dS m<sup>-1</sup> el 10%, para 5.9 dS m<sup>-1</sup> el 25%, para 10 dS m<sup>-1</sup> el 50% y a 19 dS m<sup>-1</sup> el 100% (Ruiz et al., 2013).

## 1.5 El tallo de la caña de azúcar

Dentro del sistema productivo de caña de azúcar el objetivo principal se centra en la producción de tallos, ya que es en este órgano donde se almacena la sacarosa (Osorio, 2007). Factores como la cantidad de tallos producidos, el diámetro que presentan, su coloración y el hábito de crecimiento, están relacionados con el tipo de variedad sembrada; por el contrario la longitud del tallo está más relacionado con las condiciones agroecológicas de la zona y con el manejo agronómico del cultivo (Lopez, 2015). El tallo

se clasifica en primarios, secundarios o terciarios (Figura 1-2), y está formado por nudos y entrenudos (Figura 1-3).

El tallo no presenta ramificaciones, su sección transversal es de forma circular, diferenciado por segmentos. Los nudos son relativamente espaciados, entre 15 a 25 cm, siendo mayor el espacio en la parte superior, donde se produce la elongación y, más próximos entre sí, en la base de la planta (Osorio, 2007)



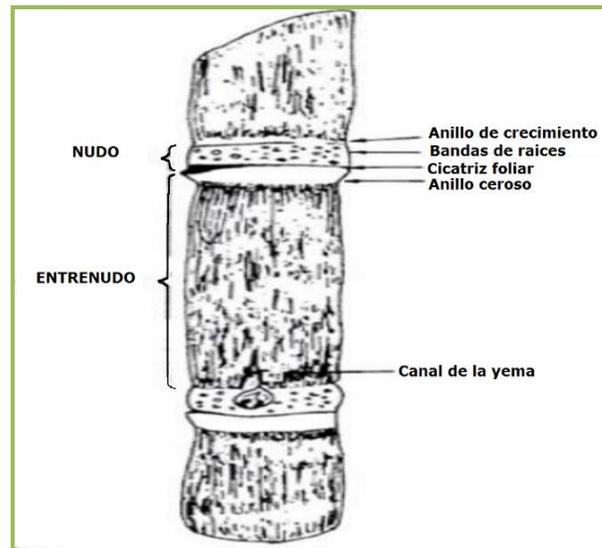
**Figura 1- 2** Tallo de la caña de azúcar. Fuente (Osorio, 2007)

**Nudo:** Es el segmento más duro y fibroso del tallo, está compuesto por “el anillo de crecimiento, la banda de raíces, la cicatriz foliar, el nudo propiamente dicho, la yema y el anillo ceroso” (Osorio, 2007). La yema y su pubescencia son empleadas para la identificación de variedades, debido a que se diferencian entre una variedad y otra (Lopez, 2015).

**Entrenudo:** Se localiza en medio de dos nudos, su diámetro, coloración, forma y la longitud difieren de una variedad a otra. (López, 2015).

12 Incremento del crecimiento y desarrollo de la semilla de Caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L. var. CC 05-430) como respuesta a la aplicación de ácido giberélico

---



**Figura 1- 3** Nudo y entrenudo del tallo de caña. Fuente (Osorio, 2007)

### 1.5.1 Crecimiento y tasa de elongación

El crecimiento de los tallos se puede medir a través del cambio en la distancia entre el cuello de la hoja TVD (Última hoja con el cuello visible) hasta otro punto fijo en el tallo. Esta medida se realiza en la hoja TVD debido a que su crecimiento ha finalizado y por esto, cualquier movimiento hacia arriba del cuello se toma como resultado en el aumento en la longitud del tallo (Van Dillewijn, 1952).

Las medidas de crecimiento que se toman en épocas distintas, pueden crear desproporción en el proceso de comparación de crecimiento. Por esto, es importante realizar las observaciones de crecimiento durante un periodo estándar determinado y aquí es donde se puede involucrar la variable tasa de elongación diaria.

(Hartt, 1965) observó que la translocación de los fotosintatos desde las hojas hacia el pseudotallo y las hojas jóvenes es bastante rápida ( $Q_{10}=3,9 - 16,2$ ). Esto debido a que se involucra los procesos enzimáticos en el metabolismo del crecimiento celular y por ende la translocación hacia la parte basal de los tallos es menor, ya que existe una influencia mayor de los procesos físicos y físico – químicos de la planta.

El consumo de sacarosa en los tallos envuelve su degradación in situ; en la que se utiliza para formar otras sustancias, lo que explica las cantidades altas de azúcares reductores en los puntos de crecimiento (Melo., et al, 1995). El crecimiento del ápice es una fuente vertedero de carbohidratos que es cambiante dependiendo de la demanda de las regiones meristemáticas, por lo que tiene un efecto marcado en los procesos de partición, conversión y removilización de la sacarosa en el tallo (Alexander, 1973) Aunque es importante considerar que la velocidad de elongación de la caña es mucho más alta en las noches debido a la respiración que durante el día, pero puede ser influenciado por la precipitación (Van Dillewijn, 1952).

## 1.6 Semilla de la caña de azúcar

La semilla la constituye un trozo de tallo de 60 cm de longitud con tres o cuatro yemas funcionales; su calidad se estima debido a la ausencia de enfermedades, la pureza varietal y su capacidad de germinación. Esta semilla debe provenir de caña joven, con 7 a 9 meses de edad y del primer o segundo corte máximo y seguidamente se deja para caña comercial. Importante no dejar transcurrir más de 5 días después del corte de la semilla para su siembra; pues se disminuye la germinación (Victoria, J.I.; Calderon, H., 1995).

### 1.6.1 Semilleros

Un semillero es un área exclusiva del área de caña, a partir del cual se genera la semilla; estos deben planearse con tiempo de antelación a la siembra, pues es necesario programar la cantidad de semilla necesaria para la plantación comercial. Un área de 10.000 metros cuadrados ( $1 \text{ ha}^{-1}$ ) en excelentes condiciones puede producir hasta 60 toneladas de semilla, con la que se puede abastecer un máximo de 6 hectáreas de caña comercial (Victoria, J.I.; Calderon, H., 1995). Existen varios tipos de semilleros:

- **Semillero básico:** se forma a partir de semilla proveniente de Cenicaña o de lotes comerciales y debe contar con pureza genética de la variedad inicial y un buen manejo agronómico. Este semillero debe manejarse con tratamiento térmico, para eliminar presencia de patógenos (Victoria, J.I.; Calderon, H., 1995).

- 14 Incremento del crecimiento y desarrollo de la semilla de Caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L. var. CC 05-430) como respuesta a la aplicación de ácido giberélico
- 

- **Semillero semicomercial:** se da a partir del semillero básico o con material proveniente de la soca de otro semillero semicomercial ya tratado de forma térmica. El área de este campo es 10 veces mayor que el semillero básico.
- **Semillero comercial:** a partir de la plantilla o primera soca de un semillero semicomercial; con un área mayor que la del semillero comercial. En este semillero no existe necesidad de realizar tratamiento térmico.

La producción total de la semilla es dependiente del tipo de variedad sembrada y del manejo agronómico establecido; ya que el número de tallos y su longitud son inherentes a ello.

## 1.7 Reguladores de crecimiento

Las hormonas reguladores de crecimiento se encuentran presentes en todas las plantas terrestres y acuáticas, son compuestos químicos simples que se encargan de regular algunos procesos de crecimiento y desarrollo (Jordán & Casaretto, 2006). Se caracterizan por ser compuestos orgánicos con la capacidad de actuar en lugares distantes al punto de origen, aun en bajas concentraciones, e intervienen en procesos fisiológicos de la planta como el desarrollo de tejidos, la división y diferenciación celular, la elongación del tallo, en la inducción de la floración, en el desarrollo de frutos, en el tropismo, en latencia y germinación de semillas, en la caída de hojas (Celis & Gallardo, 2008). En la producción de cultivos algunos reguladores de crecimiento como las auxinas, citoquininas, giberelinas, etileno y ácido abcísico; se sintetizan químicamente y son aplicados a las plantas con la finalidad de intervenir en algunos de los procesos fisiológicos de la planta a favor de la productividad del cultivo (Kooper, 2015).

(Azcón, J., & Talón, M) en el 2002 recalcaron el desarrollo normal de una planta como dependiente de la interacción de factores externos (ambientales) e internos de la planta como las hormonas. Las hormonas son definidas como compuestos naturales que tienen la capacidad de regular procesos fisiológicos en concentraciones muy bajas, generando procesos de correlación que, al recibir un estímulo en un órgano, lo transfieren a distintas partes de la planta para su mayor beneficio. Estas hormonas trabajan por distintos

mecanismos como sinergismo, antagonismo y balance cuantitativo. Las plantas que son sometidas a la aplicación de ácido giberélico, pueden estar ligadas a lograr una mayor estimulación en su crecimiento (Taiz, L; Zeiger, E. , 2006). Larcher en el (2006), indicó que la acción de este tipo de hormonas vegetales es dependiente de la etapa de desarrollo y la actividad de las plantas, así como de estímulos externos, del órgano que está recibiendo el estímulo y el tiempo de este efecto.

## 1.8 Giberelinas (GAs)

Las giberelinas (GAs) son un grupo de hormonas que regulan procesos de crecimiento y desarrollo en las plantas. En 1809 fueron descubiertas en Japón, tras el estudio de los efectos de la enfermedad causada por el hongo *Gibberella fujikuroi* en el cultivo de arroz; más tarde en el año 1955, lograron aislar de este hongo, el compuesto llamado ácido giberélico que genera un elevado crecimiento en el tallo de la planta (Celis, L., & Gallardo, I., 2008). Aunque el número de (GAs) encontrado en plantas supera las 100, solo algunas de ellas interfieren en procesos fisiológicos (Jordán & Casaretto, 2006), la mayoría son precursores o productos inactivados laterales o finales, o hacen parte de reservas en la ruta de síntesis de las GAs activas (Celis & Gallardo, 2008). Su traslado se realiza a través de floema y xilema, no es polar como en el caso de las auxinas.

Las hormonas de crecimiento producen una división celular al reducir la interfase del ciclo celular y generar las células en fase G1 a sintetizar ADN. Estas promueven la elongación celular al incrementar la plasticidad de la pared y el contenido de azúcares reductores como la glucosa y fructosa, genera también la disminución del potencial de agua, lo que induce al ingreso de agua en la célula y a producir su expansión; generan la deposición transversal de microtúbulos y participan en el transporte de calcio. También pueden proceder a nivel génico para provocar algunos de sus efectos fisiológicos (Bonnett, 2014)

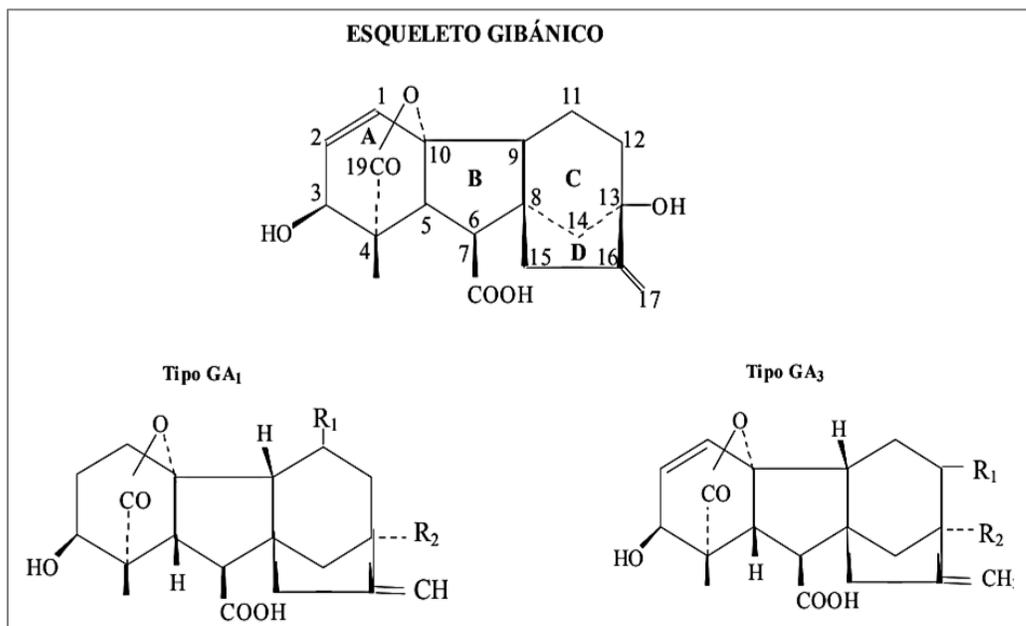
### 1.8.1 Estructura de las GAs

Las GAs son ácidos diterpenoides con un sistema de anillos tetracíclicos conocidos como “esqueleto ent-giberelano o gibánico”, conformado por un grupo carboxilo en el anillo B y un enlace lactónico en el A; en el cual, las principales diferencias radican en la ausencia o presencia de la insaturación de este anillo, en la ubicación del grupo hidroxilo y carboxilo, además de la presencia o no del anillo lactónico (Castillo, 2004). Sin embargo, a nivel

16 Incremento del crecimiento y desarrollo de la semilla de Caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L. var. CC 05-430) como respuesta a la aplicación de ácido giberélico

fisiológico, en este grupo de fitohormonas solo se pueden distinguir unos pocos miembros con una capacidad intrínseca para influir en el crecimiento de los vegetales (giberelinas activas). Las giberelinas se dividen en GAs C<sub>20</sub> (20 átomos de carbono) y las GAs C<sub>19</sub> (19 átomos de carbono), en este último se encuentran las GAs A<sub>1</sub>, A<sub>3</sub>, A<sub>4</sub> y A<sub>7</sub> que realizan la mayor actividad biológica, siendo la más representativa la GA<sub>3</sub> también conocida como ácido giberélico Figura 1-4.

Las GAs C<sub>20</sub> cumplen su metabolismo por medio de oxidaciones continuas del C-20 hasta terminar en carboxílico (COOH); poseen un grupo carboxilo en la posición C-7 y la inserción de grupos hidroxilos en las posiciones C-3 y C-2. Estas determinan la actividad biológica del GAs. Casis todas las giberelinas no poseen capacidad “per se” para apoderarse del desarrollo de las plantas. Además, la mayoría de las fitohormonas del grupo de giberelinas son precursoras, laterales o finales, de las rutas que sintetizan GAs activas.



**Figura 1- 4** Esqueleto Gibánico y estructura de las giberelinas GA<sub>1</sub> y GA<sub>3</sub> Fuente (Castillo, 2004)

El ácido giberélico es la más importante GAs, “su fórmula es C<sub>19</sub>H<sub>22</sub>O<sub>6</sub>, presenta un peso molecular de 346 g/mol, es un compuesto sólido cristalino, que se funde a temperaturas

entre 233°C a 235°C, es ligeramente soluble en agua y éter, moderadamente soluble en acetato de etilo y soluble en acetona, metanol y álcalis diluidos” (Castillo, 2004).

### 1.8.2 Respuestas fisiológicas a la aplicación de las GAs

- **Elongación del tallo:** Estimulación de división celular en el área apical del tallo, en las células meristemáticas (Kopper, 2015), Interviene en la actividad de la enzima xiloglucano endotransglicosilasa, la cual hidroliza xiloglucanos que contribuyen a la expansión de la pared celular (Jan, et al, 2004).
- **Estimulan la germinación de semillas:** Producción de  $\alpha$ -amilasas y enzimas hidrolíticas, que degradan el endospermo, el almidón se desdobla en azúcares, y se movilizan las reservas de energía hasta el embrión lo que favorece su crecimiento inicial (Jordán & Casaretto, 2006).
- **Promueven el desarrollo súbito de inflorescencias y la floración:** Las GAs promueven la expresión de genes florales homeóticos, al antagonizar los efectos de las proteínas DELLA, lo que permite el desarrollo continuo de las flores. Reemplaza demandas específicas para florecer en plantas de día largo. Afecta los genes que regulan la formación de sépalos, pétalos, estambres y carpelos; modificando la estructura floral y su direccionamiento a la producción de flores femeninas o masculinas (Yu et al., 2004).
- **Transición de fase juvenil a adulta:** Influye en la planta, permitiendo el paso de estado juvenil a adulta y viceversa, por lo general se emplea para acelerar la floración en etapas tempranas (Jordán, M., & Casaretto, J., 2006)
- **Desarrollo del fruto:** Promueve el desarrollo del fruto después de la polinización, además retrasa su senescencia manteniendo los frutos más tiempo en el árbol o extendiendo su calidad en pos cosecha (Jordán & Casaretto, 2006).

18 Incremento del crecimiento y desarrollo de la semilla de Caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L. var. CC 05-430) como respuesta a la aplicación de ácido giberélico

---

- **Partenocarpia:** Formación de fruto sin semilla, mediante la aplicación de GA<sub>3</sub> a las flores no polinizadas, reduciendo la concentración a medida que se desarrolla el fruto (Azcón & Talón, 2013).
- **Bioteología:** Regeneración de plantas in vitro, con el objeto de eliminar patógenos presentes en las plantas madre. La GAs favorecen el crecimiento de los tejidos meristemáticos extraídos y aplicación previa a plantas madres para favorecer la extracción de ápices (Jordán & Casaretto, 2006).

## 1.9 Antecedentes de AG<sub>3</sub> en cultivo de Caña de azúcar

La aplicación de ácido giberélico (AG<sub>3</sub>) estimula la elongación del tallo e incrementa la altura de planta, en caña de azúcar se implementa con el objetivo de incrementar el rendimiento del cultivo (Jordán & Casaretto, 2006). En India, segundo país productor de caña a nivel mundial, estudios realizados evidencian que la aplicación de GA<sub>3</sub> en el cultivo de caña de azúcar produjo incrementos en la longitud, diámetro y peso de cada tallo; pero no se presentaron diferencias en cuanto al número de tallos triturables, en sólidos solubles totales, en porcentaje Pol y porcentaje de sacarosa en jugo (Sujatha et al., 2018). Igualmente, (Patel, D., & Chaudhary, M., 2018) observaron en caña de azúcar incremento en la germinación en un 18,54%, incremento en rendimiento, en índice de área foliar, número de caña triturables, longitud de caña y rendimiento de azúcar; por el contrario no se observaron diferencias significativas en los parámetros de calidad del jugo (Patel & Chaudhary, 2018). Praharaj, et al. 2017 encontraron que la aplicación de GA<sub>3</sub> mejora la producción de la macolla, el número de tallos triturables y el rendimiento del cultivo.

En Vietnam, estudios realizados encontraron incrementos del rendimiento en un 19,94% en caña de azúcar por aplicación de GA<sub>3</sub>, además la acumulación de sacarosa aumentó en 2.21%, generando mayores ingresos en comparación con el testigo (Nguyen et al., 2019).

En países como Irán, encontraron que la aplicación foliar de GA<sub>3</sub>, juega un papel importante en impartir tolerancia a la salinidad; ya que mejorar la absorción de nutrientes,

así como los aspectos morfológicos y fisiológicos de la caña, eliminando la inhibición del crecimiento de las plántulas de caña de azúcar por el estrés salino (Shomeili, M., Nabipour, M., Meskarbashee, M., & Memari, H. R. , 2011).

En Costa Rica, en estudios realizados por Kopper evidencian incrementos en el rendimiento, aunque no se encontraron diferencias estadísticas significativas en el análisis de indicadores de calidad del jugo de la caña de azúcar (Kopper, 2015).

En Brasil principal productor de caña de azúcar a nivel mundial, Simão et al., (2019) encontraron que la aplicación de GA<sub>3</sub> al comienzo del desarrollo del cultivo proporcionó efectos beneficiosos; ya que esta hormona induce división y alargamiento de las células del parénquima, incrementando la altura de la planta y el diámetro del tallo, lo que crea más espacio para la acumulación de sacarosa, siempre y cuando ningún otro factor de producción sea limitan.

(Rosato, M., Zuculo, L., & Bolonhezi, A., 2013) Encontraron que la aplicación de GA<sub>3</sub> promovió un aumento en el número de macollas y en el diámetro del tallo; por lo tanto, genero un aumento en el rendimiento. Siqueira encontró que la aplicación de GA<sub>3</sub> generalmente influencia los parámetros tecnológicos, incrementando los azúcares totales, el número de macollas y la altura de planta (Siqueira, 2010).

(Brandão, 2010) encontró que la aplicación de GA<sub>3</sub> en el cultivo de caña de azúcar, influye en la acumulación de carbohidratos (AST, AR y sacarosa), además altera los aspectos morfológicos de las plántulas, favoreciendo el alargamiento celular y la expansión radial de las células, respectivamente; altera igualmente el nivel de transcripción de varios genes que pertenecen a diferentes rutas metabólicas, tales como: genes relacionados con la biosíntesis y la ruta de transducción de señales de hormonas (DELLA, AUX, ácido jasmónico, etileno y ABA), pared celular (XTH, expansinas, PAL, celulosa sintasa), genes relacionados con la fotosíntesis (PEPC, anhidrasa carbónica, aconitasa, triosa fosfato isomerasa, PSI), metabolismo de carbohidratos (quinasas, beta-glucosidasa, trehalosa), estrés osmótico (aquaporinas, deshidrina, PS450), ciclo celular (nucleasa I e histonas), y también actúan sobre la expresión de algunos factores de transcripción (NAM y HLH).

20 Incremento del crecimiento y desarrollo de la semilla de Caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L. var. CC 05-430) como respuesta a la aplicación de ácido giberélico

---

Actualmente en Colombia no se han realizado investigaciones encaminadas a determinar el efecto de la aplicación de GA<sub>3</sub> sobre el cultivo de caña de azúcar en el Valle del Cauca, siendo una práctica de mínima implementación por parte de los productores y con esto pudiendo lograr incrementos en sus producciones ya que sus efectos en la elongación celular permiten alcanzar una mayor cantidad de toneladas de caña por hectárea y kilogramos de azúcar por tonelada de caña cosechada.

(Stowe, B. B and Yamaki, T. J., 1959); Encontraron que el resultado más llamativo de bañar las plantas con giberelinas es la estimulación de su crecimiento. Los tallos de las plantas se vuelven básicamente mucho más largos de lo normal. Siendo más importante el efecto en plantas jóvenes.

## **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 (3°25'41.58" N, 76°14'26.89 W") a una altura de 1055 m.s.n.m. zona agroecológica 11H2 (semiseco), presenta una precipitación que varía entre 900 y 2200 mm/año, una temperatura promedio de 24°C y humedad relativa promedio de 76%.

### **2.2 Variedad de caña**

Se escogió la variedad CC 05-430, ya que presenta una combinación de alto contenido de TCH y sacarosa, además de resistencia a enfermedades y tolerancia a *Diatraea sp.* Es una de las opciones varietales de mayor productividad para ambiente semiseco; caracterizada por ser de porte alto, sus tallos erectos de color morado llamativo con recubrimiento ceroso y entrenudos largos, bajo porcentaje de volcamiento, ideal para cosecha mecanizada. Hojas anchas pendulosas de color verde intenso, yaguas de color morado con presencia de pelusa Figura 2-1 (Viveros, 2018).

Se deshoja con facilidad y respecto al tema sanitario, esta variedad se caracteriza por ser resistente a roya café, roya naranja y a salvazo, importante para la condición actual de alta presencia de esta plaga en el Valle del cauca. Presenta excelente macollamiento y cierre rápido. Presenta un porcentaje de germinación del 90% aproximadamente.

- 22 Incremento del crecimiento y desarrollo de la semilla de Caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L. var. CC 05-430) como respuesta a la aplicación de ácido giberélico



CARACTERÍSTICA	RESULTADO
Poder germinativo primer mes	<u>18 a 20</u> Tallos / m lineal
Poder germinativo segundo y cuarto mes	<u>35 a 40</u> Tallos / m lineal
Tallos molinables /m	<u>12.81</u> Tallos / m lineal
Longitud de entrenudos	<u>18,63</u> cm
Yema	Semiprominente
Longitud de tallo (m)	<u>2,91</u>
Diametro (cm)	<u>3,13</u>
Porte de la hoja	<u>pendulosa</u>
Yagua	Con presencia leve de pelusa
Color	Blanca expuesta al sol y con tonalidad vino tinto una vez esta en sombra

Figura 2- 1 (Agroriocas, 2018).

## 2.3 Manejo agronómico del cultivo para semilla

El ensayo se estableció en un semillero comercial con zona agroecológica 11H2 (semiseco), se realizó manejo agronómico adecuado, nutrición a los 45 días después de la siembra, que requirió un proceso especial en el campo usando 140 unidades de nitrógeno (N) vía urea, 60 unidades de potasio (K) vía KCL granulado y 23 unidades de fosforo (P) vía MAP a partir del análisis de suelos realizado. Se realizó control de malezas manual, dos riegos durante todo el ciclo del cultivo de acuerdo con el balance hídrico, mantenimiento manual de los canales de drenaje, sanidad vegetal y corte manual debido a la finalidad del cultivo.

## 2.4 Diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar (BCA) con dos (6) tratamientos y tres (3) repeticiones.

### 2.4.1 Descripción de los tratamientos

El factor a considerar en la investigación fue el impacto de la aplicación de ácido giberélico sobre el cultivo de caña de azúcar para semilla en la variedad CC 05-430, empleando 6

tratamientos, incluido testigo absoluto sin aplicación. Estas aplicaciones se realizaron con base en las dosis recomendadas en investigaciones realizadas por Kopper, quien establece la dosis óptima de ácido giberélico para el cultivo de caña en  $20 \text{ g ha}^{-1}$  (Kopper, 2015) conformando un tratamiento (AG Medio); a partir de esta dosis los demás tratamientos se establecen así: AG Medio + 25 %, AG Medio + 50 %, AG Medio – 25 % y AG Medio - 50 %, (Tabla 2-1) Como fuente se empleara Solugybb®, un producto a base de ácido giberélico a una concentración de  $40 \text{ g L}^{-1}$ . Se efectuará una sola aplicación a los 120 días después de siembra.

**Tabla 2- 1** Descripción de los tratamientos

Tratamiento	Ácido giberélico (g ha-1)	Dosis Solugybb® (L ha-1)
1	30	0,750
2	25	0,625
3	20	0,500
4	15	0,375
5	10	0,250
6	0	0,000

### 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 11 surcos para un área de  $653 \text{ m}^2$ . Figura 2-1.

La aplicación se hizo con Drone DJI Agras MG-1 en una mezcla total de  $10 \text{ L ha}^{-1}$  y se utilizó el coadyuvante Trionex a una dosis de  $1 \text{ cm}^3 \text{ L}^{-1}$ , obteniendo un pH final entre 5,5 a 6,5 y la dureza por debajo de 150 ppm.

Las respectivas evaluaciones de campo se realizaron en la época de corte de semilla; es decir, a los 8,3 meses de edad del cultivo.

- 24 Incremento del crecimiento y desarrollo de la semilla de Caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L. var. CC 05-430) como respuesta a la aplicación de ácido giberélico
- 

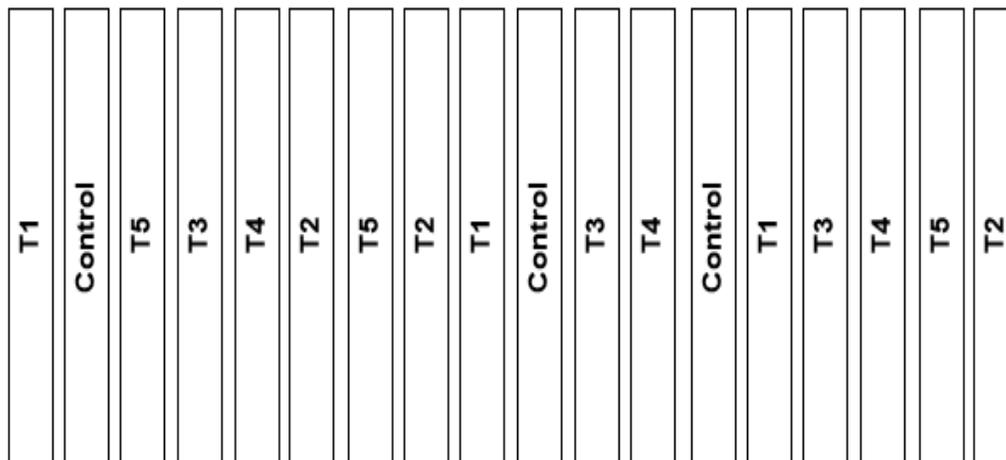


Figura 2- 2 Distribución espacial de los tratamientos, cada 11 surcos

## 2.5 Variables evaluadas

Se evaluó de forma pertinente cada unidad experimental, teniendo en cuenta las siguientes variables:

- **Número de entrenudos por tallo:** Conteo del total de entrenudos hasta el punto de quiebre natural, en trece tallos seleccionados al azar en cada unidad experimental.
- **Tallos por metro lineal (#):** conteo de tallos para semilla en 13 m seleccionados al azar de cada unidad experimental.
- **Longitud de tallo (cm):** Medición desde la base del tallo hasta la primera lígula visible, en trece tallos seleccionados al azar en cada unidad experimental.
- **Longitud del tallo a punto natural de quiebre (cm):** Medición desde la base hasta el punto natural de quiebre donde se encuentran las yemas (semillas), en trece tallos seleccionados al azar en cada unidad experimental.
- **Diámetro de tallo (mm):** Medición del entrenudo en tres puntos (parte baja, parte media y parte alta) desde la base del suelo con pie de rey, en trece tallos seleccionados al azar en cada unidad experimental.

- **Peso de tallo (gr):** Medición del peso de tallo con una balanza a 13 tallos seleccionados al azar de cada unidad experimental.
- **Numero de esquejes (#):** conteo del número de semillas de 60 cm de largo obtenidas en 13 tallos seleccionados al azar de cada unidad experimental.

### 2.5.1 Análisis estadístico de la información

Los datos obtenidos en las diferentes variables se analizaron estadísticamente a través de un análisis de varianza (ANOVA) y se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey, con un nivel de confianza del 95%. Los datos fueron analizados en el software estadístico R (R Core Team 2019).

A continuación, se presenta el modelo estadístico utilizado:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}; \quad \varepsilon \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2)$$

$\mu$ : La media poblacional

$\tau_i$ : El efecto de la i-esima dosis

$\beta_j$ : El efecto del j-esimo bloque

$Y_{ij}$ : Es el contenido en la i-esima dosis para el j-esimo bloque-replica

$\varepsilon_{ij}$ : Componente de error aleatorio no observable



### 3.Resultados y Discusión

Los resultados que se obtuvieron de las variables evaluadas en la investigación para determinar la respuesta del cultivo para semilla de caña de azúcar a la aplicación de ácido giberélico en la variedad CC 05-430 se exponen a continuación.

#### 3.1 Numero de entrenudos por tallo

En la variable de desarrollo número de entrenudos por tallo se observó un buen control experimental dada las condiciones presentadas por el coeficiente de variación. Ver anexo B Se pudo observar un aumento en el número de entrenudos por tallo conforme a cada tratamiento aplicado (dosis en g ha<sup>-1</sup>), es decir a mayor dosificación, mayor número de entrenudos. Figura 3-1. Además, se puede indicar que para pequeñas dosis de AG3 (0 y 10) en la segunda repetición se presentó mucha variabilidad comparado con las demás. En el caso de las dosis de 20, 25 y 30 g ha<sup>-1</sup> las observaciones son más estables.

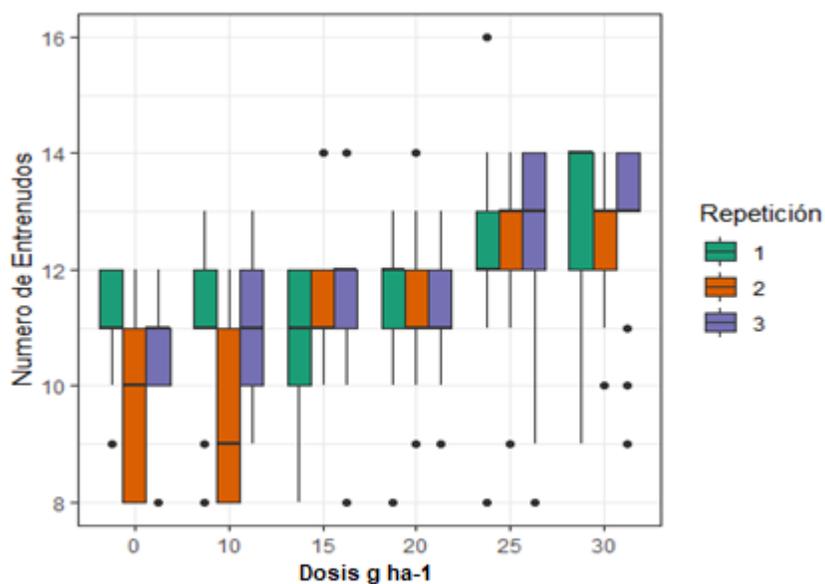


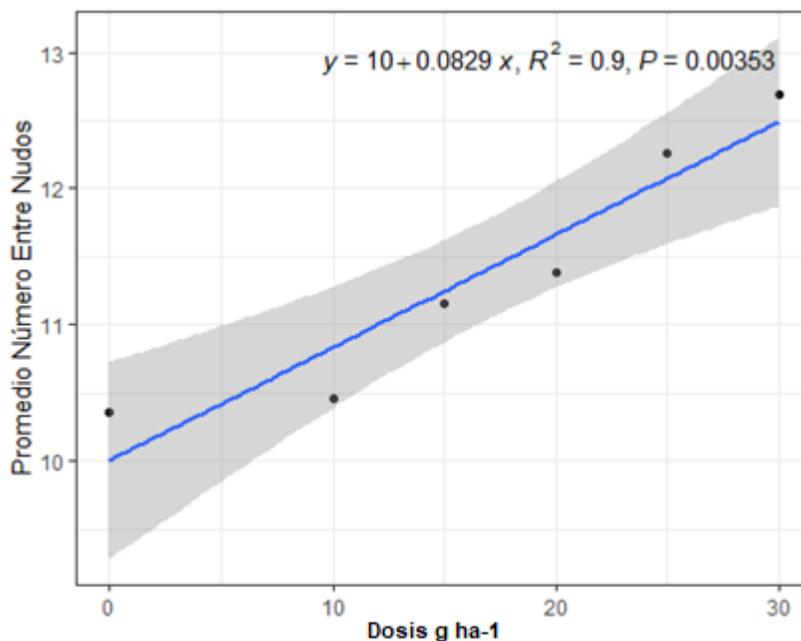
Figura 3- 1 Diagrama de caja y bigote para número de entrenudos

28 Incremento del crecimiento y desarrollo de la semilla de Caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L. var. CC 05-430) como respuesta a la aplicación de ácido giberélico

---

La observación realizada al momento del corte de la semilla (8,3 meses) mostró diferencia estadística entre tratamientos. El tratamiento control sin dosis de aplicación (T6) presentó la menor cantidad de entrenudos, mientras que los tratamientos 1 y 2 con mayor dosis de aplicación (30 y 25 g ha<sup>-1</sup> respectivamente) desarrollaron mayor cantidad de entrenudos. Estudios realizados por (Moore, 1980), indicaron un efecto sobre el desarrollo de entrenudos de caña de azúcar al realizar aplicación de ácido giberélico.

Existe una tendencia de aumento entre la variable número de entrenudos versus la dosis aplicada. Es importante destacar que la pendiente de la recta asociada a dicha tendencia es significativa estadísticamente, es decir el efecto de aplicar la dosis genera un aumento del número entrenudos con un coeficiente de correlación de 90%. Figura 3-2



**Figura 3- 2** Tendencia entre promedios, número de entrenudos versus la dosis

Este resultado se puede comparar con lo mencionado por (Coleman, et al,1959) en donde determinó que al realizar aplicaciones foliares de ácido giberélico se estimula el alargamiento de los tallos y el número de entrenudos.

(Jamro, et al, 2002) por su parte identifico respuestas positivas en el aumento del número de entrenudos con la aplicación de ácido giberelico de manera que se puede determinar la arquitectura final de la planta. Como la toma de datos se realizó en la fase de gran crecimiento del cultivo, se logró observar el desarrollo de los tallos completos y los entrenudos de cada tallo.

### 3.2 Tallos por metro lineal

Durante el ciclo del cultivo que comprendió hasta los 8,3 meses de edad, se pudo denotar que no hubo diferencia estadística significativa, puesto que en promedio y por tratamiento resultaron alrededor de 13 tallos por metro lineal. Es decir que la cantidad de tallos fue muy similar en todos los tratamientos aplicados. Tabla 3-1.

**Tabla 3- 1** Numero de tallos de caña de azúcar por tratamiento

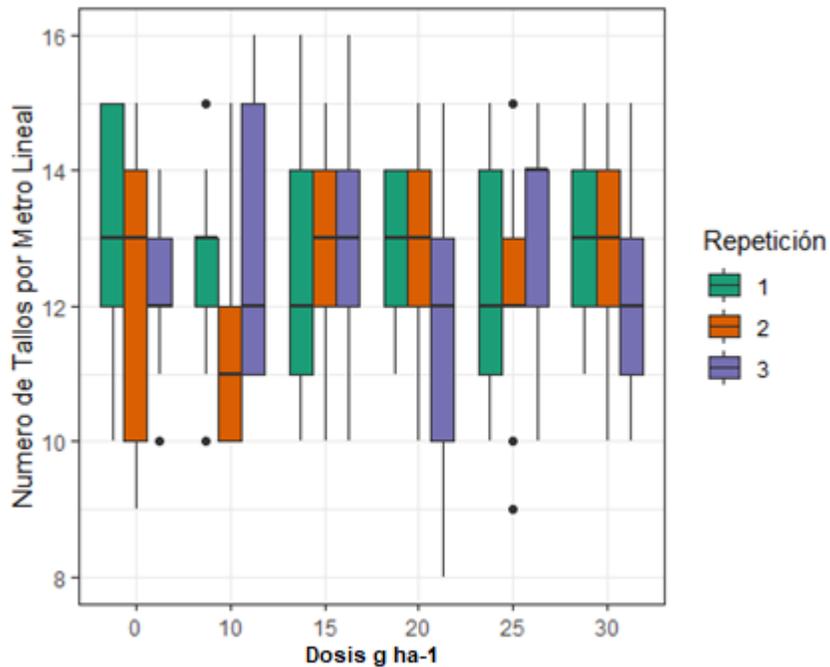
Tratamiento	Dosis de aplicación (g ha <sup>-1</sup> )	Promedio de tallos por metro lineal	Coef. Var.
1	30	12,5a	0.1176976
2	25	12,7a	0.1287576
3	20	12,4a	0.1288645
4	15	12,7a	0.1337165
5	10	12,1a	0.1406716
6	0	12,5a	0.1330104

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes al 0,05%

En la figura 3-3 se puede observar que no hay suficientes puntos atípicos dentro de los datos recogidos en la variable tallos por metro lineal y que tanto entre tratamientos como entre repeticiones no existe diferencia significativa; lo que sugiere que la aplicación de ácido giberelico para el aumento en la producción de tallos no genera respuesta positiva, justo con las dosificaciones empleadas y el método usado.

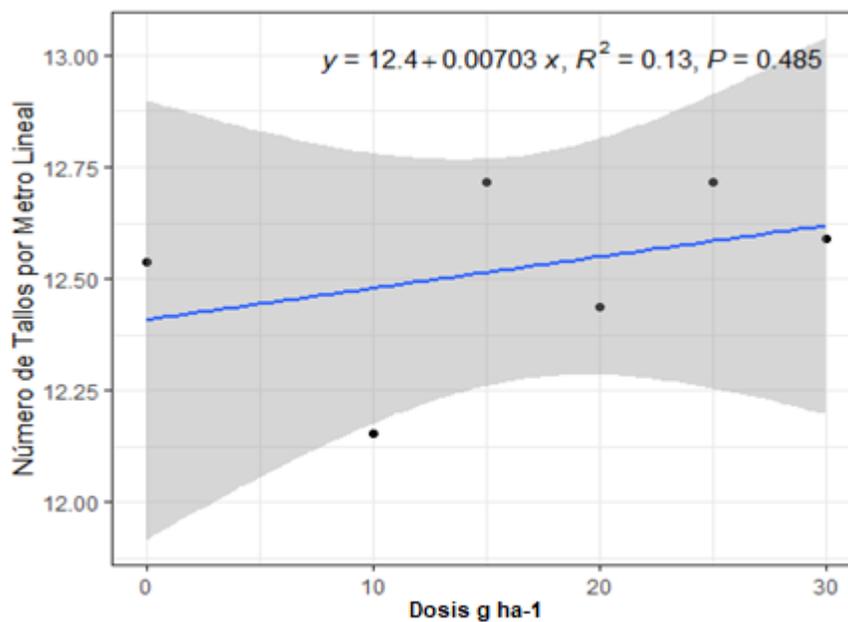
Estos resultados concuerdan con lo establecido por muchos investigadores, donde se relaciona la influencia del ácido giberélico con el porcentaje de germinación, el incremento en altura y diámetro de los tallos y el aumento en los rendimientos (Stowe, B. B and Yamaki, T. J., 1959).

30 Incremento del crecimiento y desarrollo de la semilla de Caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L. var. CC 05-430) como respuesta a la aplicación de ácido giberélico



**Figura 3- 3** Diagrama de caja y bigote para la variable tallos por metro lineal

La tendencia de aumento de los tallos por metro lineal durante la evaluación en campo por tratamiento no fue visible. Figura 3-4.



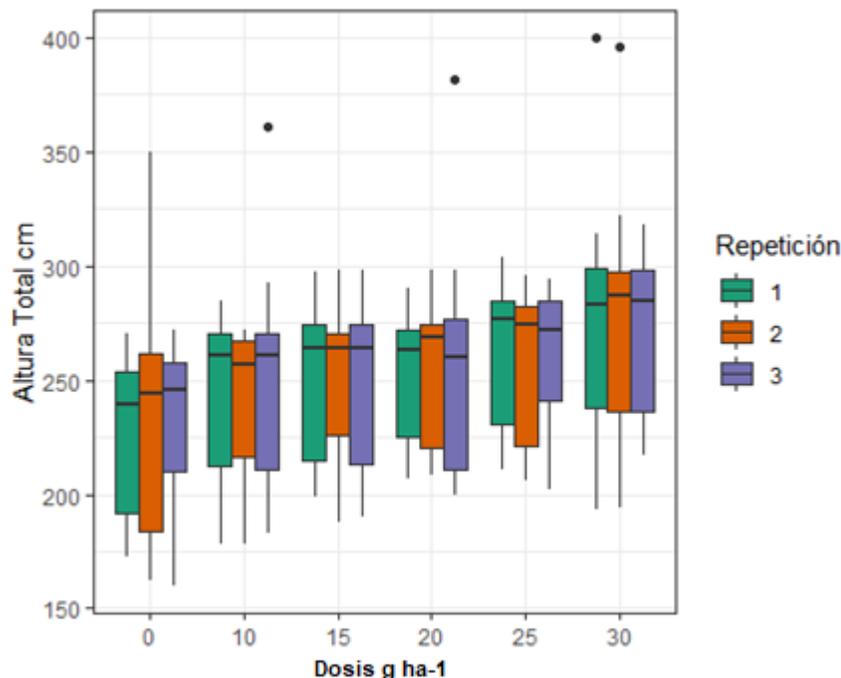
**Figura 3- 4** Tendencia de aumento en la variable número de tallos por metro lineal

Se expresa que el efecto de las giberelinas se apropia principalmente del incremento de la región meristemática subapical, donde se da la división celular para la producción de células que contribuyen a la elongación de los tallos (Nemhauser, J., Hong, F. y Chory, J., 2006). Además, la máxima acumulación de esta fitohormona se da en los tejidos jóvenes y es allí donde se produce la mayor biosíntesis, lo que explica un crecimiento acelerado de los tallos y no un aumento en la cantidad de los mismos.

### 3.3 Longitud del tallo (cm)

Dentro de las variables de crecimiento se estudió la longitud del tallo desde la base hasta la primera lígula visible; El crecimiento de los tallos de caña este definido como un incremento en su longitud de forma irreversible (Rodríguez, W; Leihner, D. , 2001)

Los resultados que se obtuvieron mostraron diferencias significativas entre tratamientos, generando mejores resultados en el tratamiento 1 (30 g ha<sup>-1</sup>) seguido por el tratamiento 2 (25 g ha<sup>-1</sup>). El tratamiento 6 sin aplicación mostró el resultado más bajo con relación a la longitud del tallo. Figura 3-5. Los puntos atípicos se muestran distantes entre tratamientos



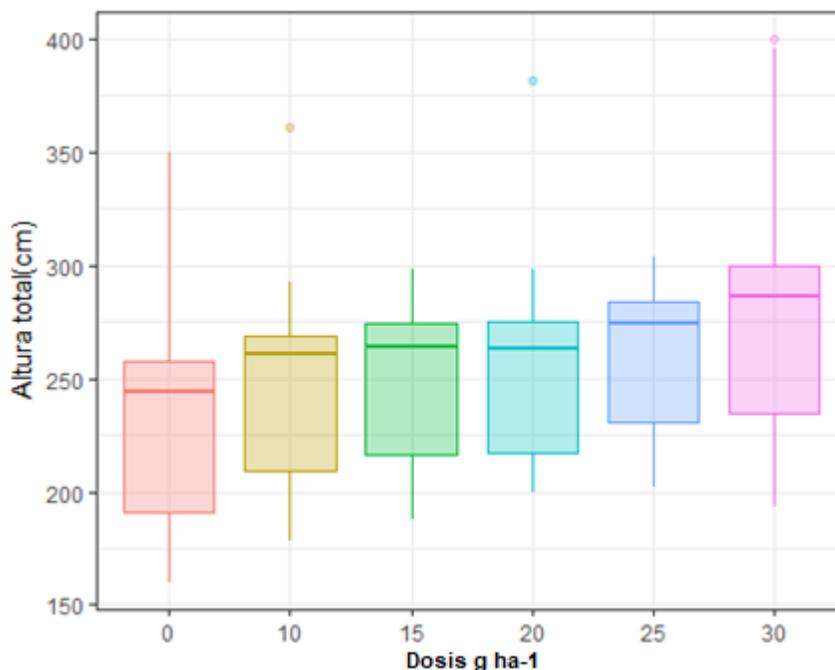
32 Incremento del crecimiento y desarrollo de la semilla de Caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L. var. CC 05-430) como respuesta a la aplicación de ácido giberélico

---

**Figura 3- 5** Diagrama de caja y bigote para longitud total de los tallos

Experimentos realizados por Kaufman et al. (1981) indican que al realizar aplicaciones exógenas de ácido giberélico se induce la elongación de los tallos; en este estudio se reveló que, al aumentar las dosificaciones, también se aumentaba la longitud de los tallos, lo cual concuerda con lo encontrado en el presente experimento.

Cabe anotar que a medida que se aumentan las dosis en cada tratamiento, así mismo aumenta la longitud del tallo. Figura 3-6. Y consigo la longitud de los entrenudos; pues según lo reportado por Cenicaña en el 2018, la longitud del tallo para la variedad CC 05-430 es de aproximadamente 2,91 metros a cosecha y el tratamiento 1 (30 g ha<sup>-1</sup>) reporto una altura máxima de 3,05 metros en promedio en la edad de toma de datos (8,3 meses) Tabla 3-2. Por lo que considerando lo estudiado por (Álvarez, 2009) la longitud de los entrenudos del tallo también aumentó bajo los valores reportados por la literatura de 18,6 cm.



**Figura 3- 6** Secuencia de aumento en la altura total de tallos (cm)

Coleman et al. (1959) por su parte, encontró que al aplicar ácido giberélico foliarmente, se estimula el alargamiento de los tallos conforme se aumenta la concentración del producto. Este efecto fue observado principalmente en la parte superior de los tallos.

**Tabla 3- 2** Diferencia significativa y coeficiente de variación en la variable Longitud del tallo (cm)

Tratamiento	Dosis de aplicación (g ha <sup>-1</sup> )	Prom. Altura total (cm)	Coef. Var.
1	30	300a	0.1543
2	25	280,8b	0.1169
3	20	274,7c	0.1347
4	15	270,7c	0.1308
5	10	268,1c	0.1533
6	0	254,2d	0.1716

Medias con distinta letra son significativamente diferentes al 0,05%

Al trabajar con giberelinas en otros cultivos, se ha destacado que dosis intermedias (25 g ha<sup>-1</sup>) son las más apropiadas para inducir el crecimiento de las plantas, mientras que dosis bajas ayudan a la acumulación de biomasa (González, 2007) A lo que se refiere, (Radamacher, 2000), que la estimulación del crecimiento de las plantas por parte del ácido giberélico es un resultado en el cambio del crecimiento de la célula, además de que se promueve su ampliación, aflojando la pared celular y cambiando la presión del turgor dentro de la misma. Por ello se espera que la longitud de los entrenudos sea también mayor en los tratamientos en los que se aplicó mayor dosis de AG3.

### 3.4 Longitud del tallo a punto natural de quiebre (cm)

Una de las principales características de interés agronómico en el tallo de la caña para semilla es la altura al punto de quiebre natural; sitio donde se realiza el descogolle de la caña. En esta variable se encontró una alta diferencia estadística significativa y el valor máximo lo presentó el tratamiento 1 con dosis de aplicación de AG3 de 30 g ha<sup>-1</sup>, cubriendo un dato de 241 cm de longitud a la altura del punto de quiebre, comparado con el tratamiento 4 (15 g ha<sup>-1</sup>) con 220 cm de altura y el tratamiento 1, sin aplicación con 199 cm de altura. Tabla 3-3.

Al comparar la longitud total del tallo con la longitud al punto de quiebre natural, podemos concluir que la mayor elongación se da en la parte superior de la planta, pues en el

34 Incremento del crecimiento y desarrollo de la semilla de Caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L. var. CC 05-430) como respuesta a la aplicación de ácido giberélico

---

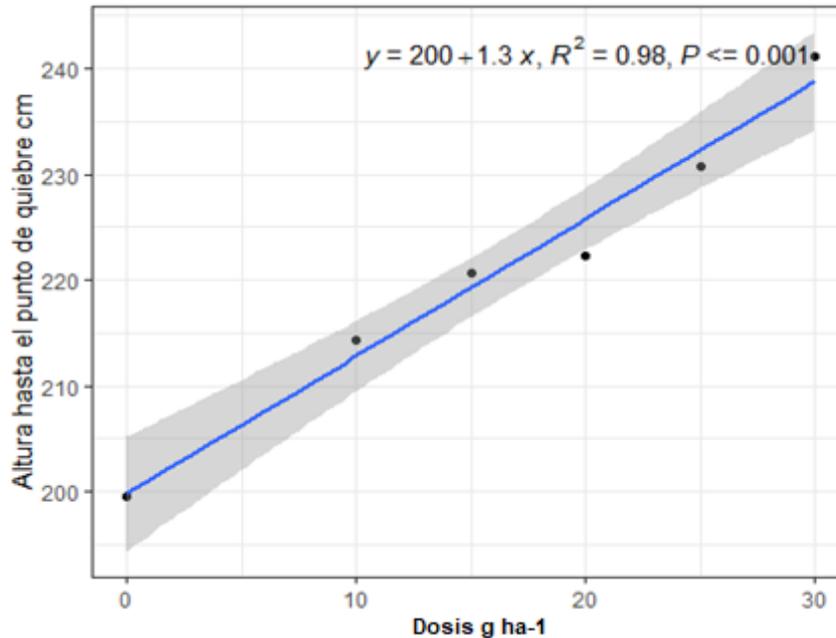
tratamiento 1 (30 g ha<sup>-1</sup>) el crecimiento del cogollo a la última lígula visible fue de aproximadamente 60 cm.

**Tabla 3- 3** Diferencia significativa y coeficiente de variación para longitud al punto de quiebre natural (cm)

Tratamiento	Dosis de aplicación (g ha <sup>-1</sup> )	Prom. Altura al punto de quiebre (cm)	Coef. Var.
1	30	241,1a	0.02738327
2	25	230,7b	0.03821736
3	20	222,3c	0.03431759
4	15	220,6c	0.03466717
5	10	214,3d	0.02370018
6	0	199,4e	0.04212731

Medias con distinta letra son significativamente diferentes al 0,05%

Esta medida es significativa al punto de interés de caña para semilla. Autores como Kooper (2015) y Jan et al., (2004) indican que el ácido giberélico estimula la división celular en el área apical del tallo, en las células meristemáticas e interviene en la actividad de algunas enzimas, que hidrolizan xiloglucanos que contribuyen a la expansión de la pared celular. En la figura 3-7 podemos ver la tendencia que existe entre la variable aumento de la altura al punto de quiebre natural y la dosis de aplicada de ácido giberélico, en esta se puede percibir con exactitud la diferencia significativa estadísticamente y el efecto de aplicar mayores dosis del producto con un coeficiente de correlación del 90%



**Figura 3- 7** Tendencia entre promedio altura de tallo al punto de quiebre versus la dosis

### 3.5 Diámetro del tallo (mm)

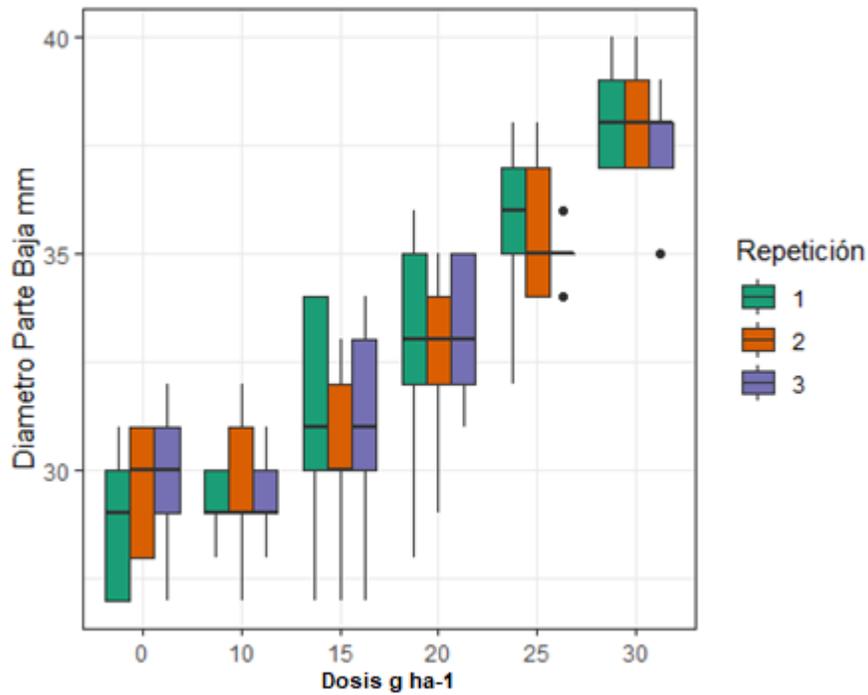
En las evaluaciones realizadas de diámetro, se tomó en cuenta tres mediciones (parte alta, parte media y parte baja) del tallo de la caña. Los resultados de estas evaluaciones mostraron diferencias estadísticas significativas en cada una. El comportamiento de las medias respecto al engrosamiento de los tallos en cada una de los tratamientos difirió.

El diámetro en la parte baja de los tallos mostró diferencia estadística significativa entre tratamientos, siendo mayor el dato del tratamiento 1 con dosis de aplicación de 30 g ha-1 (38 mm) comparado con el tratamiento 6, sin aplicación que terminó en 29,3 mm.

Figura 3-8.

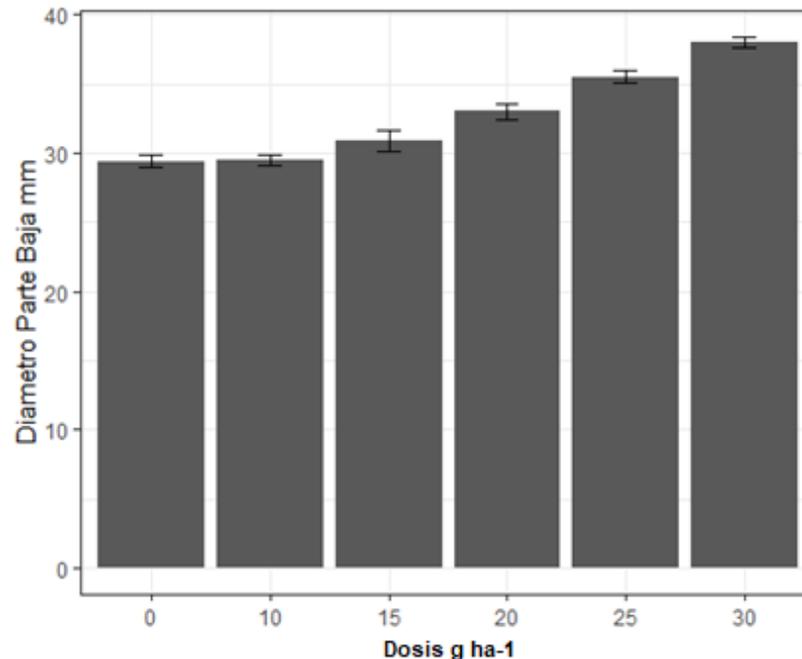
36 Incremento del crecimiento y desarrollo de la semilla de Caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L. var. CC 05-430) como respuesta a la aplicación de ácido giberélico

---



**Figura 3- 8** Diagrama de caja y bigote para diámetro parte baja (mm)

En el gráfico de barras, se puede observar el efecto causal de las dosis en el diámetro parte inferior de los tallos, pues en los tratamientos 6 y 5 (0 y 10 g ha-1 respectivamente) no hubo diferencia estadística significativa, manteniendo el diámetro en 29 mm aproximadamente, a partir de la dosis de 15 g ha-1 se empieza a observar el efecto esperado por el producto aplicado. Figura 3-9.



**Figura 3- 9** Efecto de la dosis de aplicación en el diámetro inferior del tallo de caña

En el diámetro parte media del tallo. Figura 3.10, se observó la misma tendencia de aumento respecto a la dosis de aplicación de ácido giberélico, con diferencia estadística significativa entre los cuatro últimos tratamientos, al igual que en el diámetro obtenido en la parte alta de los tallos, pues la tendencia que se observa es de incremento en la medida del diámetro en tanto aumenta la dosificación del producto aplicado. Figura 3-11.

También se puede observar que los datos obtenidos en las tres medidas de diámetro tomadas (parte baja, media y alta) para cada tratamiento son semejantes; lo que indica que el efecto del ácido giberelico en el diámetro del tallo no difiere en los tres tercios del tallo.

Estudios realizados por (Sujatha, 2018). Indicaron que la aplicación de AG3 puede incrementar el tamaño de los tallos de caña en diámetro y altura, al igual que (Simão, 2019) que determinó que  $GA_3$  al comienzo del desarrollo del cultivo proporciona efectos beneficiosos; ya que induce división y alargamiento de las células del parénquima, incrementando la altura de la planta y el diámetro del tallo, lo que crea más espacio para la acumulación de sacarosa.

38 Incremento del crecimiento y desarrollo de la semilla de Caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L. var. CC 05-430) como respuesta a la aplicación de ácido giberélico

---

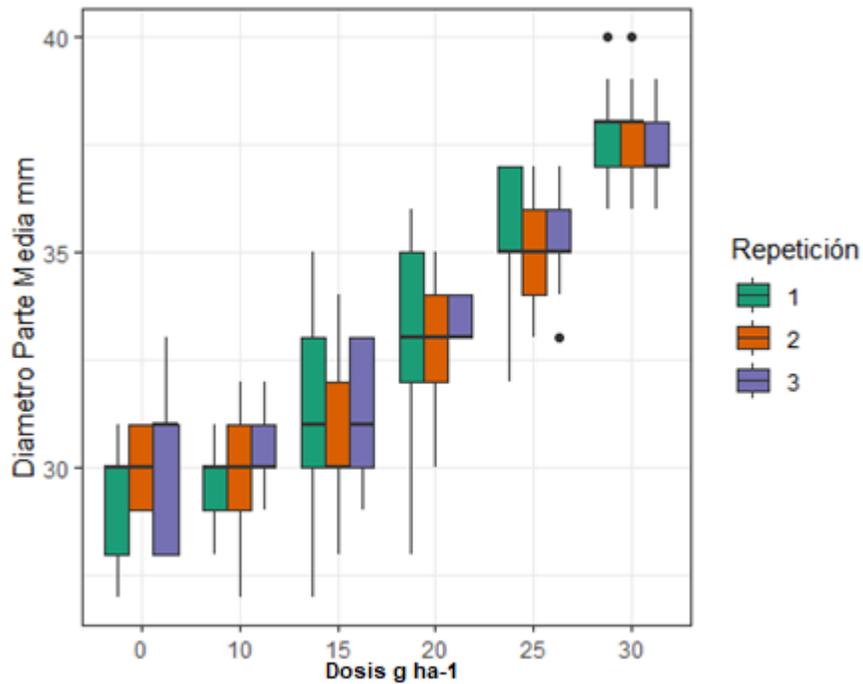


Figura 3- 10 Diagrama de caja y bigote para diámetro parte media (mm)

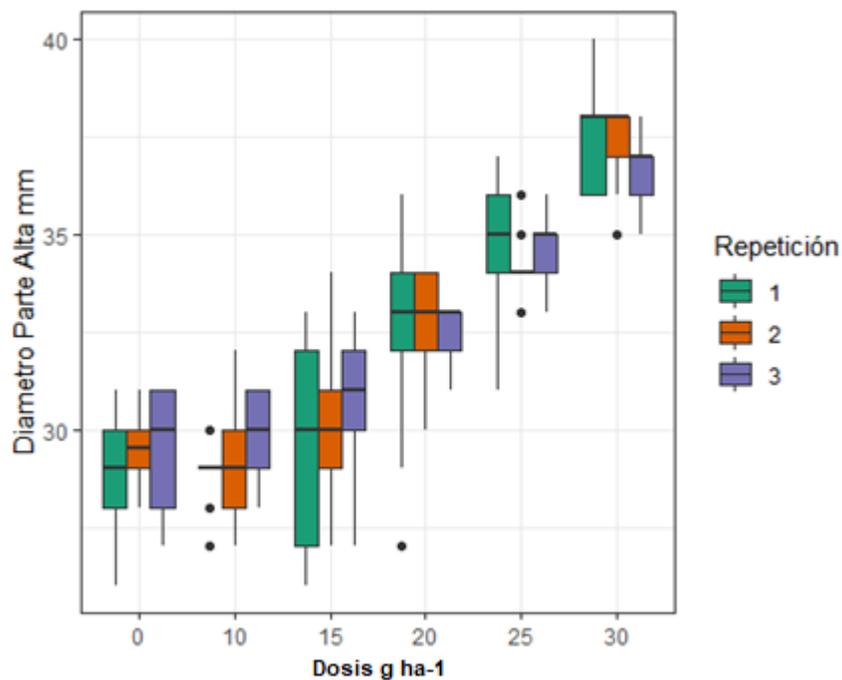


Figura 3- 11 Diagrama de caja y bigote para diámetro parte alta (mm)

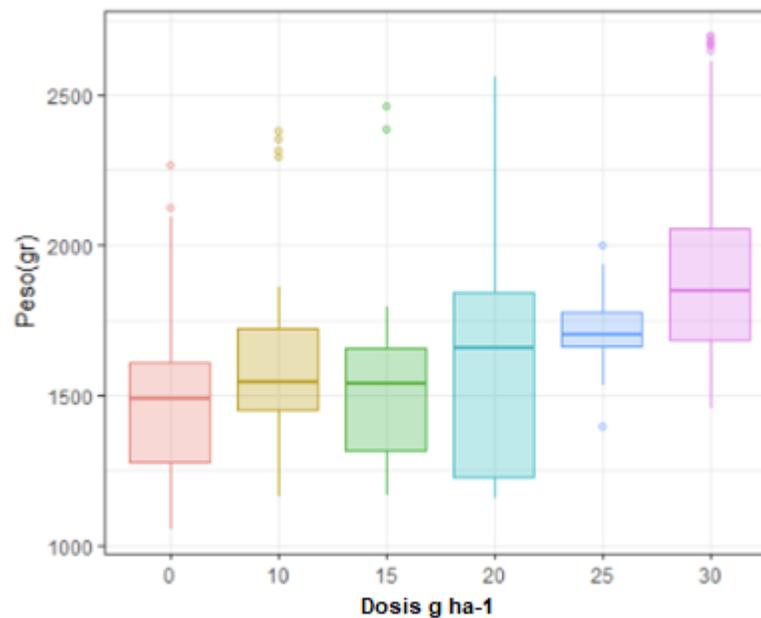
### 3.6 Peso del tallo (gr)

La obtención del peso de los tallos se realizó cortando 13 tallos al azar de cada unidad experimental, a los 8,3 meses de edad. El corte se realizó justo en el punto de quiebre natural. Esto permitió realizar estimaciones de número de esquejes para semilla por tratamiento. Los datos obtenidos en esta variable presentaron diferencia estadística significativa entre tratamientos, mostrando mejores resultados el tratamiento 1 (30 g ha<sup>-1</sup>) que genero un peso total de tallo de 1975 gr en promedio. Tabla 3-4.

**Tabla 3- 4** Peso final del tallo y coeficiente variación

Tratamiento	Dosis de aplicación (g ha <sup>-1</sup> )	Peso final del tallo (gr)	Coef. Var.
1	30	1974,9a	0,2067
2	25	1723,4b	0,0689
3	20	1682,8bc	0,2926
4	15	1531,6bc	0,1824
5	10	1620,6bc	0,1863
6	0	1478,3e	0,1966

Medias con distinta letra son significativamente diferentes al 0,05%



**Figura 3- 12** Diagrama de caja y bigote de la variable peso del tallo (gr)

#### 40 Incremento del crecimiento y desarrollo de la semilla de Caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L. var. CC 05-430) como respuesta a la aplicación de ácido giberélico

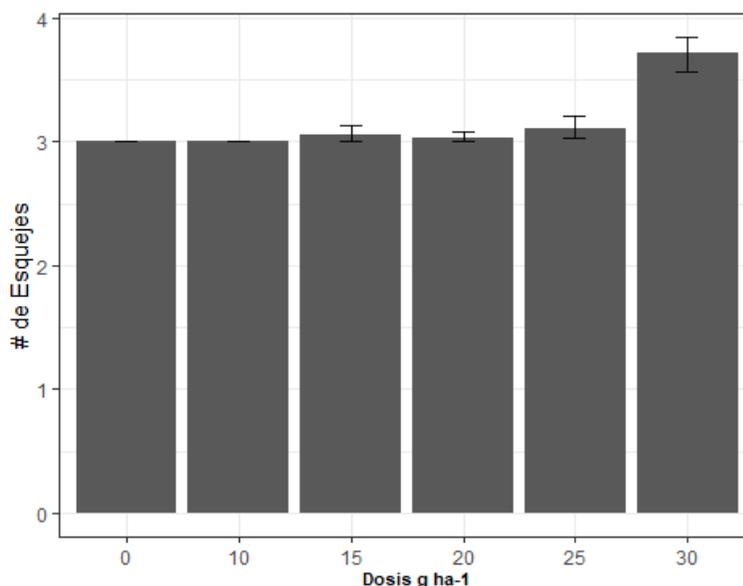
---

En la figura 3-12 podemos observar que existe variabilidad entre los tratamientos y datos atípicos importantes de evaluar; esto puede deberse al tipo de suelo y zona agroecológica variante en el área de ensayo. Esta variabilidad nos indica que los datos obtenidos son poco uniformes y aunque existe diferencia significativa ente tratamientos es de suma importancia discutir sobre el manejo agronómico, el tipo de suelo del área en estudio y demás factores que pudieron influir en dicha variabilidad, tal como lo indica (Patel, 2018)

(Vargas, 2015) dice que, de manera general en la caña de azúcar, se pueden encontrar diferencias en los datos de peso fresco en distintos tratamientos aplicados de ácido giberélico, sin que estos sean tomados como significativos, además que factores como el manejo del cultivo o efectos de acumulación de dosis de fertilizantes pueden alterar el peso de la caña.

### 3.7 Numero de esquejes

El resultado de la variable número de esquejes por tallo, se correlaciona directamente con lo obtenido en la variable longitud del tallo al punto de quiebre natural; pues en el tratamiento 1 con dosis de 30 g ha<sup>-1</sup> fue en el que se obtuvo el mejor resultado comparado con los demás tratamientos, que mantuvieron una media similar Figura 3-13.



### Figura 3- 13 Numero de esquejes por tratamiento aplicado

Estos resultados indican que aplicando una dosis de 30 g ha<sup>-1</sup> de ácido giberélico en la caña de azúcar, se puede conseguir un esqueje de semilla más por tallo, que al ser comparado con datos de corte en la variedad CC 05-430 genera una mayor producción de semilla para siembra y así poder mantener los campos y lograr el reemplazo de otras variedades en corto tiempo.

Es importante destacar que no solo es el crecimiento de los tallos de caña de azúcar lo que induce la aplicación del ácido giberélico, sino también la producción de más yemas viables por tallo que son necesarias para una óptima producción de semilla. Estudios realizados por (Moore, 1980) y retomados por Botha et al, (2014) indican que existe una respuesta positiva en el incremento de los nudos por tallo al realizar aplicaciones foliares de ácido giberélico en su etapa de macollamiento, siempre y cuando se cuente con las condiciones ideales de humedad y temperatura.

## 3.8 Determinación de la respuesta del cultivo a la aplicación de ácido giberélico

En el análisis de varianza (ANOVA) al 0,05% y considerando los muestreos realizados en el ensayo, se presentaron diferencias significativas en algunas de las variables evaluadas. Tabla 3-5.

**Tabla 3- 5** Diferencias estadísticas entre las variables de respuesta conforme a los tratamientos

Trat.	Dosis (g ha <sup>-1</sup> )	Variables evaluadas						
		N° entrenudos por tallo	Tallos por metro lineal	Longitud del tallo (cm)	Longitud al punto de quiebre natural	Diametro del tallo (mm)	Peso del tallo (gr)	N° de esquejes
1	30	12,69a	12,5a	300a	241,1a	3,76a	1974,9a	3,71a
2	25	12,25ab	12,7a	280,8b	230,7b	3,52b	1723,4b	3,10b
3	20	11,38bc	12,4a	274,7c	222,3c	3,31c	1682,8bc	3,02b
4	15	11,15cd	12,7a	270,7c	220,6c	3,10d	1531,6bc	3,05b
5	10	10,46cd	12,1a	268,1c	214,3d	2,99e	1620,6bc	3,00b
6	0	10,35e	12,5a	254,2d	199,4e	2,98e	1478,3e	3,00b
<b>Promedio</b>		11,38	12,5	253,1	221,4	3,27	1668,2	3,14
<b>C.V %</b>		0,11	0,11	0,15	0,02	0,41	0,22	0,11

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

42 Incremento del crecimiento y desarrollo de la semilla de Caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L. var. CC 05-430) como respuesta a la aplicación de ácido giberélico

---

La variable tallos por metro lineal no muestra diferencias significativas entre tratamientos; esto posiblemente se relaciona con la información reportada por varios autores que determinan que el efecto del ácido giberélico se da específicamente sobre el tallo, mejorando su altura, diámetro y el rendimiento del cultivo.

(Chaves, 2017) destaca que las respuestas del crecimiento en la caña de azúcar representan cambios fisiológicos secuenciales en la planta, siguiendo la aplicación de ácido giberélico; además se ha encontrado que dichas aplicaciones son útiles para mejorar limitaciones de crecimiento de los tallos, mejorar la productividad y rapidez en la germinación (Li et al 2003, (Jan, et al, 2004).

## 4. Conclusiones y recomendaciones

### 4.1 Conclusiones

- La aplicación de ácido giberélico en dosis de 30 g ha<sup>-1</sup> mostro diferencias significativas en la variable de desarrollo número de entrenudos por tallo, pero no dio respuesta positiva en la variable tallos por metro lineal.
- Las variables de crecimiento longitud del tallo, longitud al punto natural de quiebre y diámetro tuvo respuesta positiva ante la aplicación de ácido giberélico; la variable diámetro no tuvo diferencias dentro de los tres tercios medidos.
- La variable número de esquejes por tallo solo actuó de manera positiva ante la aplicación de la dosis de 30 g ha<sup>-1</sup>, las demás permanecieron similares al tratamiento control.
- La respuesta del cultivo de caña de azúcar para semilla fue positiva en términos generales, pues se logró el resultado esperado de aumento en el crecimiento de los tallos y mayor producción de esquejes.

## 4.2 Recomendaciones

- Es importante evaluar mayores dosis de ácido giberélico en caña de azúcar, pues es posible generar mejores resultados en las variables de crecimiento y producción de esquejes.
- Realizar experimentos de aplicaciones de ácido giberélico en otras variedades y otras zonas productoras podrían determinar mayor eficacia del producto en el cultivo de caña de azúcar.

## A. Anexo: Fotografías de tratamientos, Planos, estudio de suelos y zona agroecológica

Fotografía de tratamientos



**Trat 3 (20 g ha<sup>-1</sup>)**



**Trat 4 (15 g ha<sup>-1</sup>)**



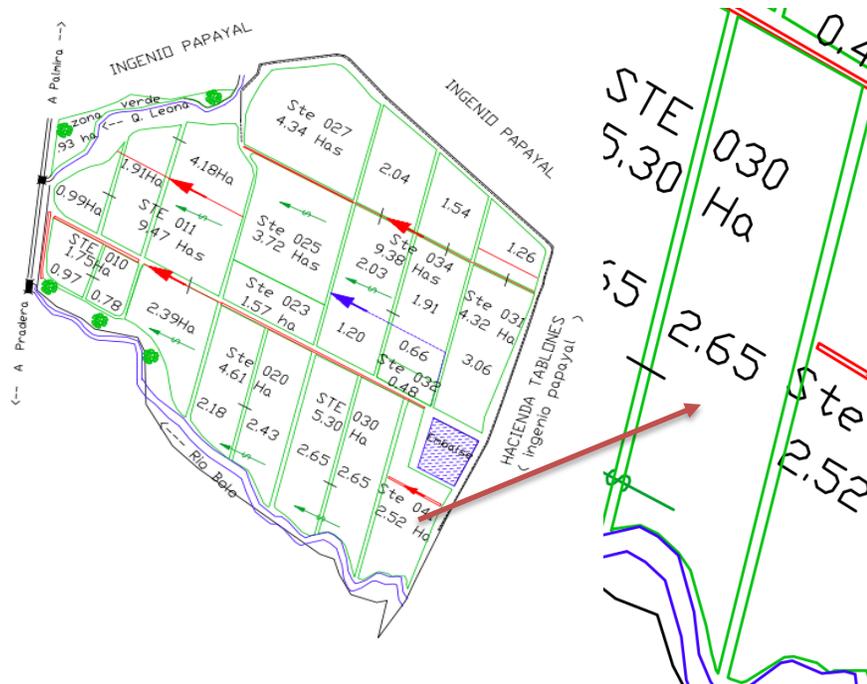
**Trat 5 (10 g ha<sup>-1</sup>)**



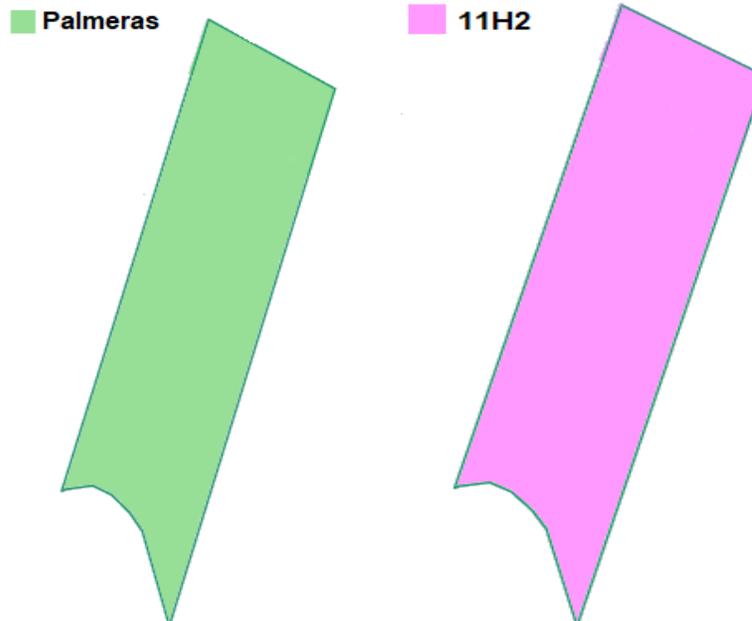
**Trat 6 (testigo sin aplicación)**



### Plano de campo



### Estudio de suelos y zona agroecológica





## B.Anexo: Análisis de varianza

**Variable dependiente: Numero de entrenudos**

Origen	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Dosis_ppm	5	172.666667	34.533333	16.734114	4.661824e-14
Repetición	2	6.333333	3.166667	1.534499	2.178010e-01
Residuals	226	466.384615	2.063649	NA	NA

MSerror	Df	Mean	CV	MSD
2.063649	226	11.38462	12.61826	0.9350564

**Comparación a pares**

contrast	estimate	SE	df	t.ratio	p.value
0 - 10	-0.1025641	0.3253124	226	-0.3152788	9.995808e-01
0 - 15	-0.7948718	0.3253124	226	-2.4434109	1.459863e-01
0 - 20	-1.0256410	0.3253124	226	-3.1527882	2.236135e-02
0 - 25	-1.8974359	0.3253124	226	-5.8326582	2.794671e-07
0 - 30	-2.3333333	0.3253124	226	-7.1725932	1.560546e-10
10 - 15	-0.6923077	0.3253124	226	-2.1281321	2.766103e-01
10 - 20	-0.9230769	0.3253124	226	-2.8375094	5.525980e-02
10 - 25	-1.7948718	0.3253124	226	-5.5173794	1.395558e-06
10 - 30	-2.2307692	0.3253124	226	-6.8573144	9.931450e-10
15 - 20	-0.2307692	0.3253124	226	-0.7093774	9.806791e-01
15 - 25	-1.1025641	0.3253124	226	-3.3892474	1.058881e-02
15 - 30	-1.5384615	0.3253124	226	-4.7291824	5.788702e-05
20 - 25	-0.8717949	0.3253124	226	-2.6798700	8.332037e-02
20 - 30	-1.3076923	0.3253124	226	-4.0198050	1.107453e-03
25 - 30	-0.4358974	0.3253124	226	-1.3399350	7.624112e-01

50 Respuesta del cultivo para semilla de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L. var. CC 05-430) a la aplicación de ácido giberélico

**Variable dependiente: Tallos por metro lineal**

x	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Dosis_ppm	5	8.756410	1.751282	0.6548085	0.6581239
Repetición	2	5.153846	2.576923	0.9635176	0.3831101
Residuals	226	604.435897	2.674495	NA	NA

MSerror	Df	Mean	CV	MSD
2.674495	226	12.52564	13.05632	1.064488

contrast	estimate	SE	df	t.ratio	p.value
0 - 10	3.846154e-01	0.3703425	226	1.038540e+00	0.9044257
0 - 15	-1.794872e-01	0.3703425	226	-4.846518e-01	0.9966649
0 - 20	1.025641e-01	0.3703425	226	2.769439e-01	0.9997779
0 - 25	-1.794872e-01	0.3703425	226	-4.846518e-01	0.9966649
0 - 30	-5.128205e-02	0.3703425	226	-1.384719e-01	0.9999928
10 - 15	-5.641026e-01	0.3703425	226	-1.523191e+00	0.6496951
10 - 20	-2.820513e-01	0.3703425	226	-7.615957e-01	0.9735698
10 - 25	-5.641026e-01	0.3703425	226	-1.523191e+00	0.6496951
10 - 30	-4.358974e-01	0.3703425	226	-1.177012e+00	0.8474337
15 - 20	2.820513e-01	0.3703425	226	7.615957e-01	0.9735698
15 - 25	8.049117e-16	0.3703425	226	2.173425e-15	1.0000000
15 - 30	1.282051e-01	0.3703425	226	3.461799e-01	0.9993386
20 - 25	-2.820513e-01	0.3703425	226	-7.615957e-01	0.9735698
20 - 30	-1.538462e-01	0.3703425	226	-4.154158e-01	0.9984023
25 - 30	1.282051e-01	0.3703425	226	3.461799e-01	0.9993386

**Variable dependiente: Longitud del tallo a punto natural de quiebre**

x	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Dosis_ppm	5	39405.26496	7881.052991	140.2906401	3.113884e-67
Repetición	2	19.11111	9.555556	0.1700985	8.436896e-01
Residuals	226	12695.91453	56.176613	NA	NA

MSerror	Df	Mean	CV	MSD
56.17661	226	221.4701	3.384252	4.878628

contrast	estimate	SE	df	t.ratio	p.value
0 - 10	-14.820513	1.697307	226	-8.7317795	6.228351e-14
0 - 15	-21.205128	1.697307	226	-12.4933939	0.000000e+00
0 - 20	-22.897436	1.697307	226	-13.4904483	0.000000e+00
0 - 25	-31.307692	1.697307	226	-18.4455066	0.000000e+00
0 - 30	-41.666667	1.697307	226	-24.5486881	0.000000e+00
10 - 15	-6.384615	1.697307	226	-3.7616144	2.918132e-03
10 - 20	-8.076923	1.697307	226	-4.7586688	5.076507e-05
10 - 25	-16.487179	1.697307	226	-9.7137271	5.229150e-14
10 - 30	-26.846154	1.697307	226	-15.8169086	0.000000e+00
15 - 20	-1.692308	1.697307	226	-0.9970544	9.185254e-01
15 - 25	-10.102564	1.697307	226	-5.9521127	1.494763e-07
15 - 30	-20.461538	1.697307	226	-12.0552942	8.881784e-16
20 - 25	-8.410256	1.697307	226	-4.9550583	2.082737e-05
20 - 30	-18.769231	1.697307	226	-11.0582398	2.908784e-14
25 - 30	-10.358974	1.697307	226	-6.1031815	6.690461e-08

52 Respuesta del cultivo para semilla de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L. var. CC 05-430) a la aplicación de ácido giberélico

**Variable dependiente: Diámetro del tallo**

x	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Dosis_ppm	5	1920.992521	384.198504	197.54362	2.183557e-80
Repetición	2	4.162393	2.081197	1.07009	3.447088e-01
Residuals	226	439.542735	1.944879	NA	NA

MSerror	Df	Mean	CV	MSD
1.944879	226	32.79274	4.252739	0.90775

contrast	estimate	SE	df	t.ratio	p.value
0 - 10	-0.1538462	0.3158123	226	-0.4871443	9.965829e-01
0 - 15	-1.2435897	0.3158123	226	-3.9377497	1.516495e-03
0 - 20	-3.2948718	0.3158123	226	-10.4330069	5.040413e-14
0 - 25	-5.3974359	0.3158123	226	-17.0906455	0.000000e+00
0 - 30	-7.8205128	0.3158123	226	-24.7631680	0.000000e+00
10 - 15	-1.0897436	0.3158123	226	-3.4506054	8.641793e-03
10 - 20	-3.1410256	0.3158123	226	-9.9458626	5.218048e-14
10 - 25	-5.2435897	0.3158123	226	-16.6035012	0.000000e+00
10 - 30	-7.6666667	0.3158123	226	-24.2760237	0.000000e+00
15 - 20	-2.0512821	0.3158123	226	-6.4952572	7.800095e-09
15 - 25	-4.1538462	0.3158123	226	-13.1528958	0.000000e+00
15 - 30	-6.5769231	0.3158123	226	-20.8254184	0.000000e+00
20 - 25	-2.1025641	0.3158123	226	-6.6576386	3.122260e-09
20 - 30	-4.5256410	0.3158123	226	-14.3301612	0.000000e+00
25 - 30	-2.4230769	0.3158123	226	-7.6725226	7.551626e-12

**Variable dependiente: Peso del tallo**

x	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Dosis_ppm	5	6017756.4	1203551.28	10.6295606	3.480738e-09
Repetición	2	144446.9	72223.47	0.6378654	5.293678e-01
Residuals	226	25589259.9	113226.81	NA	NA

MSerror	Df	Mean	CV	MSD
113226.8	226	1668.65	20.16552	219.0254

contrast	estimate	SE	df	t.ratio	p.value
0 - 10	-142.33333	76.20042	226	-1.8678813	4.247108e-01
0 - 15	-53.35897	76.20042	226	-0.7002452	9.817632e-01
0 - 20	-204.48718	76.20042	226	-2.6835442	8.255381e-02
0 - 25	-245.10256	76.20042	226	-3.2165516	1.838263e-02
0 - 30	-496.61538	76.20042	226	-6.5172268	6.897191e-09
10 - 15	88.97436	76.20042	226	1.1676361	8.517630e-01
10 - 20	-62.15385	76.20042	226	-0.8156628	9.644375e-01
10 - 25	-102.76923	76.20042	226	-1.3486702	7.573831e-01
10 - 30	-354.28205	76.20042	226	-4.6493454	8.232241e-05
15 - 20	-151.12821	76.20042	226	-1.9832990	3.551519e-01
15 - 25	-191.74359	76.20042	226	-2.5163064	1.236999e-01
15 - 30	-443.25641	76.20042	226	-5.8169816	3.031858e-07
20 - 25	-40.61538	76.20042	226	-0.5330074	9.947793e-01
20 - 30	-292.12821	76.20042	226	-3.8336826	2.240061e-03
25 - 30	-251.51282	76.20042	226	-3.3006752	1.410440e-02

54 Respuesta del cultivo para semilla de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L. var. CC 05-430) a la aplicación de ácido giberélico

**Variable dependiente: Numero de esquejes**

x	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Dosis_ppm	5	15.40598291	3.08119658	48.6115752	5.079716e-34
Repetición	2	0.03418803	0.01709402	0.2696897	7.638618e-01
Residuals	226	14.32478632	0.06338401	NA	NA

MSerror	Df	Mean	CV	MSD
0.06338401	226	3.149573	7.993523	0.1638739

contrast	estimate	SE	df	t.ratio	p.value
0 - 10	3.599150e-15	0.05701282	226	6.312877e-14	1.000000e+00
0 - 15	-5.128205e-02	0.05701282	226	-8.994827e-01	9.463061e-01
0 - 20	-2.564103e-02	0.05701282	226	-4.497414e-01	9.976629e-01
0 - 25	-1.025641e-01	0.05701282	226	-1.798965e+00	4.684861e-01
0 - 30	-7.179487e-01	0.05701282	226	-1.259276e+01	0.000000e+00
10 - 15	-5.128205e-02	0.05701282	226	-8.994827e-01	9.463061e-01
10 - 20	-2.564103e-02	0.05701282	226	-4.497414e-01	9.976629e-01
10 - 25	-1.025641e-01	0.05701282	226	-1.798965e+00	4.684861e-01
10 - 30	-7.179487e-01	0.05701282	226	-1.259276e+01	0.000000e+00
15 - 20	2.564103e-02	0.05701282	226	4.497414e-01	9.976629e-01
15 - 25	-5.128205e-02	0.05701282	226	-8.994827e-01	9.463061e-01
15 - 30	-6.666667e-01	0.05701282	226	-1.169328e+01	5.995204e-15
20 - 25	-7.692308e-02	0.05701282	226	-1.349224e+00	7.570629e-01
20 - 30	-6.923077e-01	0.05701282	226	-1.214302e+01	1.110223e-16
25 - 30	-6.153846e-01	0.05701282	226	-1.079379e+01	4.074519e-14

## Bibliografía

Agronet. (2018). *Red de información y comunicación del sector Agropecuario Colombiano - Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural*. . Retrieved November 2, 2019, : from [www.agronet.gov.co](http://www.agronet.gov.co).

Agroriocas. (2018). *Informe de gestión Castilla Agrícola* .

Aguilar, N. (2011). *Competitividad de la agroindustria azucarera de La Huasteca México*. . Universidad Autónoma de San Luis Potosí. : Retrieved from <http://ninive.uaslp.mx/xmlui/handle/i/3560>.

Alexander, A. (1973). *Sugarcane physiology: a comprehensive study of the Saccharum source to sink* . Amsterdam: Elsevier 752 p.

Álvarez, J. (2009). *Evaluación de material propagativo de variedades de caña de azúcar "Saccharum spp." (CP72-2086 y NA 56-42), para el establecimiento de semilleros en el ingenio CATSA, Guanacaste*. . Costa Rica: Tesis Lic. San Carlos, ITCR. 68 p.

Arbeláez, M., Estacio, A., & Olivera, M. (2010). *Impacto socioeconómico del sector azucarero Colombiano en la economía nacional y regional*. Bogota: (Fedesarrollo, Ed.).Centro de Investigación Económica y Social.

Asocaña. (2017). Informe estadístico. Informe anual.

Asocaña. (2018). Anexo estadístico. Informe anual.

ASOCAÑA. (2019). *Aspectos generales del sector agroindustrial de la caña 2018 - 2019*. . Cali: Retrieved from <https://www.asocana.org/modules/documentos/15331.aspx>.

Azcón, J., & Talón, M. (2013). *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. (McGRAW-HILL, Ed.) (2° Edición). . Madrid: UNIVERSITAT DE BARCELONA.

Bonnett, G. (2014). *Developmental stages (Phenology)*. In. Moore, P y Botha; F.

Botha, F., Lakshmanan, P., O'Connell, & Moore, P. (2014). *Hormones and growth regulators*. In. Moore, P y Botha; F *Sugar physiology, biochemistry & functional biology*. New Delhi, India.: Editorial Wiley. 765 p.

- Brandão, A. (2010). *Efeito da Giberelina e do paclobutrazol no metabolismo de carboidratos e expressão genica da cana-de-acúcar (Saccharum sp.)*. Universidade Estadual de Campinas. . Retrieved from <http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/315318>.
- Castillo, G. (2004). *Desarrollo de métodos cromatográficos para la determinación de giberelinas y auxinas en caldos de fermentación*. . Universidad de La Habana. : Retrieved from [http://karin.fq.uh.cu/acc/2016/CIENCIAS\\_TECNICAS/032/New/Documentación/Parte III/](http://karin.fq.uh.cu/acc/2016/CIENCIAS_TECNICAS/032/New/Documentación/Parte III/).
- Celis, L., & Gallardo, I. (2008). *Estandarización de métodos de detección para promotores de crecimiento vegetal (ácido indol acético y giberelinas) en cultivos microbianos*. . Pontificia Universidad Javeriana. : Retrieved from <https://javeriana.edu.co/biblos/>.
- Chaves, M. (2017). *Floración en la caña de azúcar*. . Costa Rica: Retrieved from <https://servicios.laica.co.cr/laica-cv-biblioteca/index.php/Library/download/wrKNhuNAYhgjnJUA mWaPcfIghItHZEKP>.
- Coleman, R; Todd, E; Stokes, I, Coleman O. . (1959). *The effects of gibberellic acid on Sugarcane*. In.. *Congress 10th, 1960 Proceedings of the*. Hawaii: Congress 10th, 1960 Proceedings of the International Society of Sugarcane Technologists. Eds International Society of Sugar Cane Technologists. 588-602 p.
- Davila, N. (2014). *Evaluación de dos sistemas de siembra en caña de azúcar (Saccharum officinarum L.) para la obtención de semilla en la provincia del Cañar*. cantón La Troncal. Universidad de Cuenca.: Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123>.
- Duarte, O., & González, J. (2019). *Guía Técnica Cultivo de Caña de Azúcar*. . (Facultad de Ciencias Agrarias, Ed.). San Lorenzo: Universidad Nacional de Asunción. : Retrieved from [https://www.jica.go.jp/paraguay/espanol/office/others/c8h0vm0000ad5gke-att/gt\\_01](https://www.jica.go.jp/paraguay/espanol/office/others/c8h0vm0000ad5gke-att/gt_01).
- FAO. (2017). *FAOSTAT - Datos sobre la alimentación y la agricultura de más de 245 países y territorios*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. . from [www.fao.org/faostat/en/#data](http://www.fao.org/faostat/en/#data).
- Gomez, C., & Palma, S. (2013). *El libro blanco del azúcar*. (Editores Médicos S.A., Ed.), UOC Nutrició. . Madrid: Instituto de Estudios Documentales del Azúcar y la Remolacha-: Retrieved from <http://www.madrid.org/cs/Satellite?blobcol=urldata&blobheader>.

- Gonçalves-Martins, M.B. e P.R. de camargo e castro. (1999). *Efeitos de giberelina e ethephon na anatomia de plantas de cana-de-açúcar. pesq. Agropec. . Bras.* 34(10):1855-1863. .
- González, M. C. (2007). *Efecto de la aplicacion del acido giberelico sobre el crecimiento del coliflor . Agronomia Colombiana*, 25(1): 54-61.
- Hartt, C. (1965). *The effect of temperature upon translocation of C14 in sugarcane.* Plant Physiology 40: 74-81.
- Iglesias, H., Aguilar, I., & Delgado, I. (2015). *Manejo sostenible de tierras en la producción de caña de azúcar Tomo I. (UTMACH, Ed.) (2° Edición).* . Machala: Universidad Tecnica de Machala. : Retrieved from <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/6>.
- Jamro, G; Kazi, B; Oad,F; Jamali, M; Sindh, L. (2002). Effect of foliar application of micro nutrients on the growth traits of sugarcane variety Cp-65/357 (ratoon crop). *Asian Journal of Plant Sciences* 1 (4):462-463.
- Jan, A., Yang, G., Nakamura, H., Ichikawa, H., Kitano, H., Matsuoka, M., ... Komatsu, S. . (2004). *Characterization of a xyloglucan endotransglucosylase gene that is up-regulated by gibberellin in rice.* . Plant Physiology, 136(3), 3670–3681. <https://doi.org/10.>
- Jordán, M., & Casaretto, J. (2006). *Hormonas y Reguladores del Crecimiento: Auxinas, Giberelinas y Citocininas. In Francisco A. Squeo & Liliana Cardemil (Ed.), Fisiología Vegetal (Primera ed, pp. 165–193).* . Chile: Retrieved from <http://www.biouls.cl/librof>.
- Kaufman, P; Ghosheh, N; Lee, M; Carlson, T; Jones, J; Rigot, W; Bigelow, W; Kraus, S. (1981). *Effect of Gibberellic Acid on Silica Content and Distribution in sugarcane. .* Plant. Physiol 68 (2) 314-317. .
- Kooper, J. (2015). *Determinación de la eficacia del ácido giberélico (PROGIBB® 40 WG) sobre el rendimiento y la calidad de la caña de azúcar (Saccharum spp.) var. NA 56-42 en Liberia, Guanacaste, Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica.* Retrieved from <http://hdl.han>. Liberia, Guanacaste, Costa Rica. : Instituto Tecnológico de Costa Rica. Retrieved from <http://hdl.han>.
- Lopez, J. (2015). *La caña de azúcar (Saccharum officinarum) para la producción de panela. caso: nordeste del departamento de Antioquia. Universidad Nacional Abierta y a Distancia.* : Retrieved from <http://www.panelamonitor.org/media/docrepo/document/files/la>.
- Moore, P. (1980). *Additive and nonadditive effects of serial applications of gibberellic.*

- Murcia M., R. J. (2015). *Producción y manejo de semilla de caña panelera*. Bogotá, Colombia: CORPOICA. Bogotá, Colombia: CORPOICA.
- Nemhauser, J., Hong, F. y Chory, J. (2006). *Different Plant Hormones Regulate Similar Processes through Largely Nonoverlapping Transcriptional Responses*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cell.2006.05.050>.
- Nguyen, C., Le Hang, Dinh Nguyen, Kim Tran, Bach Giang, & Ngoc Tran. (2019). *Effect of GA3 and Gly Plant Growth Regulators on Productivity and Sugar Content of Sugarcane*. *Agriculture*, 9(7), 136. . <https://doi.org/10.3390/agriculture9070136>.
- Núñez, J., Ruiz, M., Parra, J., & Ortiz, M. (2019). *Estudio sobre el impacto socioeconómico del sector agroindustrial de la caña en Colombia*. (Fedesarrollo, Ed.). Bogotá: Centro de Investigación Económica y Social. Retrieved from <http://hdl.handle.net/114>.
- Ochoa, M., Reyes, M., & Manríquez, J. (2010). *Producción Sostenible de Caña de Azúcar en México*. Mexico.
- Osorio, G. (2007). *Buenas prácticas agrícolas (BPA) y buenas prácticas de manufactura (BPM) en la producción de caña y panela*. (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria . CORPOICA, Ed.) (1° Edición). Medellín: Organización de las Naciones Unidas.
- Patel, D. &. (2018). *Influence of plant growth regulators on growth, yield and quality of sugarcane under south Gujarat*. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, (1), 95–97. Retrieved from <http://www.phytojournal.com/archives/2018/vol7is>.
- Patel, D., & Chaudhary, M. (2018). *Influence of plant growth regulators on growth, yield and quality of sugarcane under south Gujarat*. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, (1), 95–97. . Retrieved from <http://www.phytojournal.com/archives/2018/vol7is>.
- Praharaj, S., Singh, D., Guru, S. K., & Meena, B. R. (2017). *Effect of Plant Growth Regulators on Tiller Dynamics and Yield of Sugarcane (Saccharum officinarum L.)*. . *International Journal of Bio-Resource and Stress Management*, 8(1), 75–78. <https://doi.org/>.
- Radmacher, W. (2000). *Growth retardants: effects on gibberellin biosynthesis and other metabolic pathways*. . *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 51: 501–531.s.eu/.
- Ramírez, M. Á. (2008). *Cultivos para la producción sostenible de biocombustibles: Una alternativa para la generación de empleos e ingresos*. . Honduras: Retrieved from <http://www.asocam.org/node/50806>.

- Rodríguez, W; Leihner, D. . (2001). *Análisis del crecimiento vegetal*. In. Villalobos, E. ed. *Fisiología de la producción de cultivos tropicales*. . Editorial Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 37 p.
- Rosato, M., Zuculo, L., & Bolonhezi, A. (2013). . *Reguladores vegetais aplicados no sulco de plantio em cultivares de cana -de-açúcar*. *Scientia Agraria*, 14(2), 59–64. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5380/rsa.v14i2.40891>.
- Ruiz, J., Medina, G., González, I., Ramírez, G., Martínez, R. (2013). *Requerimientos agroecológicos de cultivos*. Jalisco: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pec: (Prometo Editores S. A., Ed.) (2° Edición).
- Shiimão, R., Clemente, J., Rocha, A., Rios, A., Santos, T., & Machado, M. (2019). *Interferência do hormônio giberelina no desenvolvimento inicial da cultura da cana-de-açúcar*. *Humanidades & Tecnologia*, 17(1), 17–23. Retrieved from <http://revistas.icesp.br/in>.
- Shomeili, M., Nabipour, M., Meskarbashee, M., & Memari, H. R. . (2011). *Effects of gibberellic acid on sugarcane plants exposed to salinity under a hydroponic system*. . *African Journal of Plant Science*, 5(10), 609–616.
- Shomeili, M., Nabipour, M., Meskarbashee, M., & Memari, H. R. . (2011). *Effects of gibberellic acid on sugarcane plants exposed to salinity under a hydroponic system*. . *African Journal of Plant Science*, 5(10), 609–616.
- Simão, R. C. (2019). *Interferência do hormônio giberelina no desenvolvimento inicial da cultura da cana-de-açúcar*. . *Humanidades & Tecnologia*, 17(1), 17–23. Retrieved from <http://revistas.icesp.br/i>.
- Siqueira, L. (2010). *Efeitos de ethephon e giberelina no desenvolvimento inicial e em alguns parâmetros tecnológicos da cana-de-açúcar*. *Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"*. "Luiz de Queiroz.": Retrieved from <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/1114>.
- Stowe, B. B and Yamaki, T. J. (1959). *Gibberellins. Stimulants of growth*. *Science N°*.
- Sujatha, P. K. (2018). *Plant growth promoters effect on cane , quality and yield parameters in sugarcane (Saccharum officinarum L.)*. . *International Journal of Chemical Studies*, 6(3), 737-t43. .
- Sujatha, P., Kumar, R., Naidu, N., Charumathi, M., Beby, P., & Jayachandra, K. (2018). *Plant growth promoters effect on cane , quality and yield parameters in sugarcane (Saccharum officinarum L.)*. . *International Journal of Chemical Studies*, 6(3), 737-t43. .
- Sun, T. and F. gubler. (2004). *Molecular mechanism of gibberellin signaling in plants*. . *Ann. Rev. plant Biol.* 55:197-223.

- Taiz, L. and E. Zeiger. . (2002). *plant physiology*. 3rd ed. Sinauer Associates Inc. Sunderland, MA. U.S.A. 881-942 pp.
- Taiz, L; Zeiger, E. . (2006). *Fisiología vegetal*. 3 ed. Castellón, España. Universitat.
- Van Dillewijn, C. (1952). *Botany of sugarcane. (The Chroni)*. Waltham.
- Vargas, J. (2015). *Variabilidad del rendimiento agrícola en la caña de azúcar (comunicación personal)*. Liberia, Guanacaste. . Central Azucarera del Tempisque S.A.
- Victoria, J.I.; Calderon, H. (1995). *Establecimiento de semilleros y multiplicacion de variedades*. Cali, Colombia: Cenicaña, El cultivo de la caña en la zona azucrera de Colombia.
- Villegas, F.D. y Torres, J.S. . (1993). *El madurante y la produccion* . Cali, Colombia: (Serie divulgativa 2) CENICAÑA.
- Viveros, C. A. (2018). *Características agronomicas y de productividad de la variedad Cenciaña Colombia (CC) 01-1940*. Cali, Cenicaña.