

**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**



Mayo 2012 - 2018

JUAN CARLOS KOPPER SANDOVAL

Trabajo Final de Graduación presentado a la Escuela de Agronomía
Como requisito parcial para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería en
Agronomía

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
SEDE REGIONAL SAN CARLOS
ESCUELA DE AGRONOMÍA**

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



Mayo 2012 - 2018

JUAN CARLOS KOPPER SANDOVAL

Aprobado por los miembros del Tribunal Evaluador:

Ing. Agr. Parménides Furcal Beriguete, M. Sc.

Asesor Interno

Ing. Agr. Max Villalobos Acuña, Ph.D.

Asesor Externo

Ing. Agr. Sergio Torres Portuguez, M.Sc.

Jurado

Ing. Agr. Carlos Ramírez Vargas, Ph.D.

Coordinador
Trabajos Finales de Graduación

Ing. Agr. Alberto Camero Rey, M.Sc.

Director
Escuela de Agronomía

DEDICATORIA

A Dios, por darme la energía suficiente para cumplir con mis deberes y hacer lo que me gusta.

A mi Padre y mi Hermano, quienes económicamente hicieron posible que llegara a concluir mis estudios.

A las dos mujeres más importantes en mi vida (mi madre y mi abuela), quienes me acompañan y cuidan desde los brazos del Señor.

A aquellos estudiantes que continuamente se esfuerzan por formarse como profesionales y que anhelan ser un instrumento para la mejora de nuestra sociedad.

A aquellos agricultores que se esfuerzan constantemente por sostener a sus fincas y sus familias, a pesar las adversidades. Siendo un vivo ejemplo de honestidad y perseverancia, valores que deben prevalecer en el diario vivir de nuestra humanidad.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme concluir este pequeño, pero no menos importante peldaño de la emocionante escalera de la vida.

Definitivamente, debería redactar un documento que contenga como mínimo el doble de la extensión, la mitad del tamaño de la letra de este documento para agradecer a las personas que me han ayudado a llegar hasta este momento.

A mi papá (Álvaro Kopper) y mi hermano (Diego Kopper) por estar presentes en los momentos más importantes de mi vida.

A mi familia exótica y querida familia Kopper, por ser un motivo de orgullo, de motivación para seguir adelante y sobre todo un apoyo incondicional.

A mí eternamente querida Escuela de Agronomía (Administrativos, Docentes, Amigos y Hermanos), es emocionante pensar en el fuerte lazo que se forma con el pasar del tiempo, generaciones 2005-2014 y otros que se escapan de estas.

A Valent Biosciences Corporation por considerarme y por su apoyo en el desarrollo de este experimento.

A la Gerencia Agrícola y el Departamento de Investigación de la Central Azucarera del Tempisque S.A, por su apoyo desinteresado durante en esta importante etapa, Ing. Agr. Carlos Segura Navarro, Ing. Agr. Jesús Vargas Acosta y Tec. Agr. Eduardo Sequeira Canales.

A los Profesionales pertenecientes al Tribunal Evaluador, Ing. Agr. Parménides Furcal, Ing. Agr. Max Villalobos, Ing. Agr. Sergio Torres, Ing. Agr. Carlos Ramírez, Ing. Agr. Luis Alberto Camero Rey por su apoyo durante el desarrollo de este trabajo.

Y no puede faltar, un agradecimiento especial a mi amiga y profesora, Ing. Agr. Zulay Castro Jiménez, por su apoyo, sus consejos y su sincera amistad desde el inicio de mi carrera.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	vi
LISTA DE FIGURAS	viii
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
1 INTRODUCCIÓN	12
1.1 Objetivo general.....	13
1.2 Objetivos específicos	13
1.3 Hipótesis de investigación.....	13
2 REVISIÓN DE LITERATURA.....	14
2.1 Generalidades del cultivo de caña de azúcar	14
2.2 Morfología de la planta de caña de azúcar	14
2.2.1 Raíz.....	14
2.2.2 Tallo	14
2.2.3 Hoja.....	15
2.2.4 Inflorescencia.....	15
2.3 Descripción de la variedad NA 56-42.....	16
2.3.1 Descriptores morfológicos de la variedad NA 56-42	16
2.3.1.1 Tallo.....	16
2.3.1.2 Entrenudo.....	17
2.3.1.3 Yema	17
2.3.1.4 Follaje.....	17
2.3.2 Características agroindustriales de la variedad NA 56-42	18
2.4 Fenología del cultivo de caña de azúcar.....	18
2.4.1 Fase de brotación	19
2.4.2 Fase de macollaje.....	19
2.4.3 Fase de gran crecimiento.....	19
2.4.4 Fase de maduración	20
2.5 Rendimiento productivo del cultivo de la caña de azúcar	20
2.5.1 Rendimiento agrícola	21
2.5.2 Rendimiento industrial.....	21
2.5.2.1 Indicadores de calidad.....	21

2.5.2.1.1	Brix.....	22
2.5.2.1.2	Pol.....	22
2.5.2.1.3	Pureza.....	22
2.5.2.1.4	Contenido de fibra.....	22
2.6	Regulador de crecimiento	22
2.7	Giberelinas.....	23
2.7.1	Mecanismo de acción de las Giberelinas.....	23
2.7.2	Respuestas fisiológicas de las Giberelinas	24
2.8	Utilización de la fertilización vía foliar.....	25
2.9	Generalidades de las aplicaciones de nutrientes vía foliar	25
2.9.1	Factores que afectan la absorción de nutrientes vía foliar	26
2.9.1.1	Factores asociados a la planta.....	26
2.9.1.2	Factores asociados a las características fisicoquímicas de la solución 27	
2.9.1.3	Factores asociados al medio ambiente	28
2.10	Utilización de fertilizantes foliares en el cultivo de caña de azúcar.....	29
3	MATERIALES Y MÉTODOS.....	31
3.1	Ubicación	31
3.2	Período de estudio.....	32
3.3	Diseño estadístico.....	33
3.4	Modelo estadístico	33
3.5	Descripción de tratamientos.....	33
3.6	Descripción de la unidad de estudio	35
3.7	Número de repeticiones y grados de libertad del error	36
3.8	Preparación de soluciones.....	37
3.9	Procedimiento de mezclado.....	39
3.10	Procedimiento de aplicación	39
3.11	Variables de respuesta y toma de datos	41
3.12	Plan de análisis estadístico.....	45
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	46
4.1	Variables de desarrollo	46
4.1.1	Población	46
4.1.2	Número de entrenudos	48
4.2	Variables de crecimiento.....	50

4.2.1	Altura del tallo	50
4.2.2	Longitud de entrenudos	52
4.2.3	Diámetro de tallo.....	55
4.3	Rendimiento agrícola	57
4.4	Rendimiento industrial.....	59
4.4.1	Brix.....	60
4.4.2	Pol.....	61
4.4.3	Pureza.....	61
4.4.4	Contenido de fibra.....	61
5	CONCLUSIONES	63
6	RECOMENDACIONES	64
7	LITERATURA CONSULTADA	65
8	ANEXOS.....	74

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Título	Página
1.	Descripción de los tratamientos establecidos en estudio del ácido giberélico (ProGibb [®] 40 WG) sobre el rendimiento y calidad de la caña de azúcar (<i>Saccharum</i> spp.) var. NA 56-42 en Liberia, Guanacaste, Costa Rica. 2014-2015.....	34
2.	Fuentes de variación y sus respectivos grados de libertad en estudio del ácido giberélico (ProGibb [®] 40 WG) sobre el rendimiento y calidad de la caña de azúcar (<i>Saccharum</i> spp.) var. NA 56-42 en Liberia, Guanacaste, Costa Rica. 2014-2015.	36
3.	Productos utilizados por tratamiento y por volumen preparado en estudio del ácido giberélico (ProGibb [®] 40 WG) sobre el rendimiento y calidad de la caña de azúcar (<i>Saccharum</i> spp.) var. NA 56-42 en Liberia, Guanacaste. 2014-2015.	38
4.	Descripción de las variables de respuesta establecidas en el estudio sobre efecto del ácido giberélico (ProGibb [®] 40 WG) sobre el rendimiento y calidad de la caña de azúcar (<i>Saccharum</i> spp.) var. NA 56-42 en Liberia, Guanacaste. 2014-2015.	41
5.	Número de tallos de caña de azúcar por tratamiento en cada momento de observación en estudio del ácido giberélico (ProGibb [®] 40 WG) sobre el rendimiento y calidad de la caña de azúcar (<i>Saccharum</i> spp.) var. NA 56-42. Liberia, Guanacaste, Costa Rica. 2014-2015.....	47
6.	Número de entrenudos en tallos de caña de azúcar por tratamiento en cada momento de observación en estudio del ácido giberélico (ProGibb [®] 40 WG) sobre el rendimiento y	

	calidad de la caña de azúcar (<i>Saccharum</i> spp.) var. NA 56-42. Liberia, Guanacaste, Costa Rica. 2014-2015.....	49
7.	Altura de tallos de caña de azúcar por tratamiento en cada momento de observación en estudio del ácido giberélico (ProGibb® 40 WG) sobre el rendimiento y calidad de la caña de azúcar (<i>Saccharum</i> spp.) var. NA 56-42. Liberia, Guanacaste, Costa Rica. 2014-2015.....	51
8.	Diámetro de los tallos de caña de azúcar por tratamiento en cada observación en estudio del ácido giberélico (ProGibb® 40 WG) sobre el rendimiento y calidad de la caña de azúcar (<i>Saccharum</i> spp.) var. NA 56-42. Liberia, Guanacaste, Costa Rica. 2014-2015.....	56
9.	Valores promedio del rendimiento agrícola correspondiente a cada tratamiento en estudio del ácido giberélico (ProGibb® 40 WG) sobre el rendimiento y calidad de la caña de azúcar (<i>Saccharum</i> spp.) var. NA 56-42. Liberia, Guanacaste, Costa Rica. 2014-2015.....	57
10.	Valores promedio de los indicadores de calidad del jugo correspondiente a cada tratamiento en estudio del ácido giberélico (ProGibb® 40 WG) sobre el rendimiento y calidad de la caña de azúcar (<i>Saccharum</i> spp.) var. NA 56-42. Liberia, Guanacaste, Costa Rica. 2014-2015.	60

LISTA DE FIGURAS

Figura	Título	Página
1.	Mapa de ubicación del estudio del ácido giberélico (ProGibb [®] 40 WG) sobre el rendimiento y calidad de la caña de azúcar (<i>Saccharum</i> spp.) var. NA 56-42 en Liberia, Guanacaste, Costa Rica. 2014-2015.....	32
2.	Fotografía de distribución de las unidades experimentales establecidas en un bloque experimental en estudio del ácido giberélico (ProGibb [®] 40 WG) sobre el rendimiento y calidad de la caña de azúcar (<i>Saccharum</i> spp.) var. NA 56-42 en Liberia, Guanacaste, Costa Rica. 2014-2015.	36
3.	Croquis del área experimental de estudio del ácido giberélico (ProGibb [®] 40 WG) sobre el rendimiento y calidad de la caña de azúcar (<i>Saccharum</i> spp.) var. NA 56-42 en Liberia, Guanacaste, Costa Rica. 2014-2015.	37
4.	Equipo utilizado en la medición de productos que conformaron los tratamientos (A. Romana digital para medición de ProGibb [®] 40 WG, B. Romana digital para medición de fertilizantes) en estudio del ácido giberélico (ProGibb [®] 40 WG) sobre el rendimiento y calidad de la caña de azúcar (<i>Saccharum</i> spp.) var. NA 56-42 en Liberia, Guanacaste, Costa Rica. 2014-2015.	39
5.	Representación de los equipos de aspersión (A. Aplicación con Spray boom Carpi acoplado a tractor John Deere 5090E; B. Aplicación con pulverizadora manual Carpi) utilizados en estudio del ácido giberélico (ProGibb [®] 40 WG) sobre el rendimiento y calidad de la caña de azúcar (<i>Saccharum</i> spp.) var. NA 56-42 en Liberia, Guanacaste. 2014-2015.	40
6.	Fotografía durante proceso de determinación de la población en estudio del ácido giberélico (ProGibb [®] 40 WG) sobre el	

	rendimiento y calidad de la caña de azúcar (<i>Saccharum</i> spp.) var. NA 56-42 en Liberia, Guanacaste, Costa Rica. 2014-2015.	43
7.	Fotografía durante proceso de cuantificación del número de entrenudos en estudio del ácido giberélico (ProGibb® 40 WG) sobre el rendimiento y calidad de la caña de azúcar (<i>Saccharum</i> spp.) var. NA 56-42 en Liberia, Guanacaste, Costa Rica. 2014-2015.....	44
8.	Fotografías durante proceso de determinación de variables de crecimiento (A. Altura del tallo, B. Longitud de entrenudos, C. Diámetro del tallo) en estudio del ácido giberélico (ProGibb® 40 WG) sobre el rendimiento y calidad de la caña de azúcar (<i>Saccharum</i> spp.) var. NA 56-42 en Liberia, Guanacaste, Costa Rica. 2014-2015.....	44
9.	Representación de la tendencia de la longitud de tallos de caña de azúcar por tratamiento en estudio del ácido giberélico (ProGibb® 40 WG) sobre el rendimiento y calidad de la caña de azúcar (<i>Saccharum</i> spp.) var. NA 56-42. Liberia, Guanacaste, Costa Rica. 2014-2015.....	52
10.	Representación de la longitud de los entrenudos de caña de azúcar por tratamiento en la observación final en estudio del ácido giberélico (ProGibb® 40 WG) sobre el rendimiento y calidad de la caña de azúcar (<i>Saccharum</i> spp.) var. NA 56-42. Liberia, Guanacaste, Costa Rica. 2014-2015. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0,05$). EN: entrenudo.	53
11.	Representación del rendimiento agrícola en estudio del ácido giberélico (ProGibb® 40 WG) sobre el rendimiento y calidad de la caña de azúcar (<i>Saccharum</i> spp.) var. NA 56-42. Liberia, Guanacaste, Costa Rica. 2014-2015.	58

RESUMEN

La Investigación se realizó en la Central Azucarera del Tempisque S.A (CATSA) en Guardia de Liberia, Costa Rica con el objetivo de evaluar la eficacia del ácido giberélico sobre el mejoramiento de la calidad y el rendimiento productivo del cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum spp.*) var. NA 56-42. Se evaluaron cuatro tratamientos mediante un Diseño de Bloques completos al Azar (DBCA) con cinco repeticiones, de los cuales dos comprendieron dos dosis de ProGibb® 40 WG 10 g PC/ha y ProGibb® 40 WG 20 g PC/ha, uno estuvo constituido por ProGibb® 40 WG en dosis de 10 g PC/ha mezclado con fertilizantes foliares y finalmente un testigo comercial; se realizó dos aplicaciones completas de los tratamientos a los 59 y 144 días posterior a la primera cosecha. Los resultados mostraron que al realizar aplicaciones de los tratamientos con ProGibb® 40 WG en sus respectivas dosis y en mezcla con los fertilizantes foliares en dos frecuencias sobre las plantas de caña de azúcar, no se determinaron respuestas estadísticas en las variables analizadas para el desarrollo, crecimiento, rendimiento agrícola (53,03 t/ha) e indicadores de calidad del jugo de la caña de azúcar.

Palabras clave: Caña de azúcar; variedad NA 56-42, ProGibb® 40 WG, ácido giberélico.

ABSTRACT

Research was conducted at the Central Azucarera Tempisque S.A (CATSA) in Guardia Liberia, Costa Rica, in order to evaluate the effectiveness of gibberellic acid on improving the quality and yield of cultivation of sugarcane (*Saccharum* spp). var. NA 56-42. Four treatments were evaluated using a completely randomized design (RCBD) with five replicates, two of which comprised two increasing doses of ProGibb[®] 40 WG 10 g PC / ha, and ProGibb[®] 40 WG 20 g PC / ha, a third was consisting of ProGibb[®] 40 WG at doses of 10 g PC / ha mixed with foliar fertilizers and finally commercial control; two complete applications for treatment at 59 and 144 days after the first harvest took place. The results showed that applications to perform treatments with ProGibb[®] 40 WG in their respective doses and mixed with foliar fertilizers at two frequencies on sugar cane plants , no statistics responses were determined in the variables analyzed for development, growth, crop yield (53,03 t/ha) and quality indicators from sugar cane juice.

Keywords: Sugarcane, variety NA 56-42; ProGibb[®] 40 WG, gibberellic acid.

1 INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar (*Saccharum* spp.) es una gramínea de gran importancia en el trópico, puesto que de su biomasa extrae una importante fuente energética utilizada en los hogares y en la industria alimentaria.

En Costa Rica existen seis regiones productoras de caña de azúcar (Guanacaste, Puntarenas, San Carlos, Valle Central, Pérez Zeledón y Turrialba) que contemplan una extensión total de 58.979,14 hectáreas, de las que se reporta que durante la molienda 2012-2013 se procesaron 4.340.600 toneladas métricas, de las cuales se obtuvieron 8.867.901 bultos de azúcar de 50 kg; esto constituye un incremento de 10,60% en comparación con la zafra 2011-2012. Con respecto a la producción de miel durante la zafra 2012-2013 se produjeron 197.962.953 kg, lo que correspondió a un incremento del 27,21% respecto a la molienda anterior (Bermúdez y Chávez 2013).

La utilización de los reguladores de crecimiento en la agricultura constituye una alternativa tecnológica que permite mejorar el estado fisiológico de los cultivos y su posterior rendimiento productivo, especialmente al encontrarse en condiciones limitantes para su óptimo desarrollo o crecimiento (Ferrari *et al.* 2008).

El ácido giberélico (AG₃) es un regulador de crecimiento perteneciente al grupo de las Giberelinas, el cual genera que se den estimulaciones fisiológicas al ser aplicado exógenamente en la planta de caña de azúcar, ocasionando la elongación de los entrenudos en los tallos, de manera que se pueden obtener aumentos en el rendimiento agrícola e industrial (Zeiger y Taiz 2006).

Valent Biosciences Corporation (2013), dispone de una amplia lista de reguladores de crecimiento que mejoran aspectos fisiológicos en los cultivos provocando impactos positivos sobre la producción y parámetros de calidad en la producción agrícola. Resultados de investigación con una de sus fuentes de ácido giberélico en otros cultivos, principalmente en piña, además de antecedentes de resultados de investigación positivos de su efecto en caña de azúcar en otras latitudes, justifican el interés de promover la presente investigación con el fin de

documentar su eficacia en diferentes zonas productoras de caña de azúcar en Costa Rica.

Por lo tanto la verificación de la eficacia de esta alternativa para aumentar los rendimientos agroindustriales, así como su posterior adopción serían de alto beneficio para la agroindustria azucarera de Costa Rica.

1.1 Objetivo general

- Evaluar la eficacia del ácido giberélico sobre el mejoramiento de la calidad y el rendimiento productivo del cultivo de la caña de azúcar.

1.2 Objetivos específicos

- Determinar la eficacia del ácido giberélico solo y con una mezcla de fertilizantes foliares al ser aplicado en una plantación de caña de azúcar, variedad NA 56-42 sobre el desarrollo del cultivo.
- Determinar la eficacia del ácido giberélico solo y con una mezcla de fertilizantes foliares al ser aplicado en una plantación de caña de azúcar, variedad NA 56-42 sobre el crecimiento del cultivo.
- Determinar la eficacia del ácido giberélico solo y con una mezcla de fertilizantes foliares al ser aplicado en una plantación de caña de azúcar, variedad NA 56-42 sobre el rendimiento agrícola.
- Determinar la eficacia del ácido giberélico solo y con una mezcla de fertilizantes foliares al ser aplicado en una plantación de caña de azúcar, variedad NA 56-42 sobre el rendimiento industrial.

1.3 Hipótesis de investigación

Dos aplicaciones de ácido giberélico con fertilizante foliar incrementa el crecimiento, el rendimiento y la calidad de la caña de azúcar, variedad NA 56-42, comparado con el testigo y el ácido giberélico solo.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Generalidades del cultivo de caña de azúcar

La planta de caña de azúcar es cultivada en las regiones tropicales y subtropicales del mundo, esta monocotiledónea además de presentar un alto crecimiento en condiciones adecuadas, cuenta con la habilidad de acumular altas concentraciones de sacarosa en los entrenudos del tallo. En la actualidad, las explotaciones comerciales están conformadas por diversos híbridos, que han sido sometidos a intensos cruces interespecíficos del género *Saccharum*, principalmente spp. y *Spontaneum* (Cox *et al.* 2000; Lakshmanan *et al.* 2005, mencionados por Bull 2011).

2.2 Morfología de la planta de caña de azúcar

2.2.1 Raíz

El sistema radical de la caña de azúcar se encuentra compuesto por una raíz primaria, la cual se origina del embrión y un conjunto de raíces adventicias, las cuales se originan a partir de la bandas de raíces. Estas últimas se puede clasificar en raíces primordiales, las cuales permanecen en un corto período, debido a que su función es absorber agua y minerales para el desarrollo de la yema; o bien en raíces permanentes; el desarrollo de las mismas se encuentra ligado a generación de tallos nuevos a partir de la fase de macollamiento, asimismo su número aumenta conjuntamente con el desarrollo de la planta (Subirós 1996).

2.2.2 Tallo

A diferencia de muchos otros cultivos agrícolas, el tallo es el órgano que le confiere al cultivo de la caña de azúcar su importancia económica, pues es en este donde se acumula la mayoría de los fotoasimilados, que posterior a la cosecha se extrae la sacarosa y otros subproductos (Bull 2011).

Sánchez (1972), determina el tallo como una serie sucesiva y variable de entrenudos cilíndricos, separados entre sí por nudos. En el nudo se diferencia

diversas secciones como anillo de crecimiento, banda de raíces o zona radical, cicatriz foliar o de la vaina y la yema.

La formación del tallo se da cuando brotan las yemas provenientes de la semilla vegetativa, este primer eje se conoce como tallo primario, compuesto por una serie de nudos y entrenudos. A partir de las yemas del tallo primario se originan nuevos brotes conocidos como tallos secundarios, de las yemas de estos se originan tallos terciarios, este es un proceso continuo que permite la constitución de una aglomeración de tallos, al cual se le conoce como macollamiento (Subirós 1996).

2.2.3 Hoja

Las hojas de la caña de azúcar se originan a partir de los nudos del tallo y se distribuyen alternamente a lo largo del mismo, conforme este se desarrolla. La hoja se conforma por dos secciones, lámina foliar y vaina, cuya unión se denomina lígula, la cual a su vez posee una aurícula. Cada una de estas secciones tiene variaciones de acuerdo al material genético observado, por lo que se han determinado como indicadores para diferenciación de variedades (Cassalett *et al.* 1995).

Estos mismos autores aseguran que el sistema de numeración más común para numerar las hojas fue propuesto por Clements y Ghotb en el año 1969, quienes indican que la primera hoja con lígula se denomina Hoja 1, esta es la última que ha emergido; la numeración continua en forma descendente a lo largo del eje de la del tallo.

2.2.4 Inflorescencia

Subirós (1995), afirma que la aparición de este órgano en las plantaciones se presenta por una serie de condiciones, las cuales pueden ser por edad o por condiciones ambientales como fotoperiodo, temperatura, humedad y nutrición; lo que propicia cambios a nivel del meristemo apical, así como el patrón de

crecimiento vegetativo y reproductivo, siendo el segundo de ellos estimulado ocasionando aparición de la hoja bandera y posteriormente la inflorescencia.

La inflorescencia de la caña de azúcar, tiene una forma de espiga con aspecto sedoso, conformada de espiguillas que se insertan opuestamente sobre por una serie de articulaciones que se encuentran en el eje primario. Las espiguillas poseen flor hermafrodita, que posee a la vez tres anteras, dos estigmas sedosos y un ovario, el cual una vez fertilizado da origen al fruto conocido como cariósido (Cassalett *et al.* 1995).

2.3 Descripción de la variedad NA 56-42

La caña de azúcar variedad NA 56-42 fue seleccionada en el Norte de Argentina en el año 1956 (Comparni 2006). Durán y Oviedo (2012), consideran que este material genético ingresó a Costa Rica en el año 1980, no obstante su siembra se extendió mayormente a partir de la década de los 90's.

La variedad NA 56-42 se caracteriza por presentar una buena adaptabilidad a suelos pesados, por lo que es de las principales variedades utilizadas en suelos del orden Vertisol (Aponte 1994). A continuación se detallan los descriptores morfológicos y las características agroindustriales determinados por varios autores.

2.3.1 Descriptores morfológicos de la variedad NA 56-42

2.3.1.1 Tallo

Álvarez (2009), asegura que cuando el tallo se encuentra expuesto a la radiación solar es de color rojo caoba, de lo contrario presenta una coloración verde amarillo, posee un leve zigzagueo y se considera como una variedad de diámetro de tallo intermedio, Aponte (1994), menciona que este oscila entre 25 y 35 mm.

2.3.1.2 Entrenudo

La forma del entrenudo de la caña de azúcar variedad NA 56-42 es obcónica, es decir en forma de cono, pero con la base en la parte superior (Font Quer 1985). La longitud de esta estructura está caracterizada como corta (menor a 15 cm); respecto a algunas partes que se distinguen dentro del mismo, citados por algunos autores como Sánchez (1972); Fauconnier y Bassereau (1975); Subirós (1995); el entrenudo de esta variedad carece de ranuras y rajaduras, posee alta cantidad de cera. Además, presenta una depresión en la yema con profundidad rasa y de longitud corta; la longitud del anillo de crecimiento es media, varía de dos a tres milímetros. La sección de la región radical que se encuentra contiguo a la yema y la que está opuesta a esta se consideran estrechas, pues su tamaño es menor a 0,8 mm (Aponte 1994; Álvarez 2009).

2.3.1.3 Yema

La yema posee una forma romboide y mediana (Álvarez 2009). La parte superior de esta se localiza al mismo nivel que el anillo de crecimiento y su base se encuentra aproximadamente a un milímetro de la cicatriz foliar (Comparni 2006), el poro germinativo es perceptible con una localización apical (Aponte 1994).

2.3.1.4 Follaje

Durán y Oviedo (2012), clasifican a la caña de azúcar variedad NA 56-42 con un palmito corto, puesto que su longitud es menor de 50 cm, asimismo describen la vaina de la hoja con poca presencia de cera y una regular pubescencia; las dimensiones de la lámina foliar se considera de ocho medio (con una medida que oscila entre 4 y 4,5 mm) y una con una longitud que puede ir desde 130 cm hasta 165 cm, lo que corresponde a la categoría media. La hoja presenta un margen aserrado agresivo, cercano al ápice se forma una curvatura y un afinamiento corto en este (Álvarez 2009).

Aponte (1994), señala que tanto la vaina como la lámina foliar presentan coloración verde amarillo, además la lígula presenta una aurícula de un lado de forma transitoria.

2.3.2 Características agroindustriales de la variedad NA 56-42

La caña de azúcar variedad NA 56-42 se cultiva en Costa Rica principalmente en la región de Guanacaste bajo sistemas de riego, se ha determinado una excelente respuesta en áreas provenientes de rotación arroz-caña de azúcar (Durán y Oviedo 2012).

Aponte (1994) y Álvarez (2009), describen a esta variedad con un hábito de crecimiento erecto con tendencia al vuelco al final del ciclo y con una buena capacidad de macollaje, llegando a producir de catorce a dieciséis tallos molederos por metro lineal, con capacidad para producir de 90 a 115 toneladas de materia prima por hectárea.

Respecto al comportamiento industrial de esta variedad, Durán y Oviedo (2012), la describen como un material genético con un contenido azucarero medio, de maduración media a tardía, con poca incidencia de floración y con respuestas positivas a la aplicación de madurantes. Aponte (1994), señala que puede llegar a producir aproximadamente de 100 a 110 kg de azúcar por cada tonelada.

Presenta resistencia a algunas enfermedades importantes como, al carbón (*Ustilago scitaminea*), Virus del Mosaico, Virus de la Hoja Amarilla, así como tolerancia a la roya café (*Puccinia melanocephala*) y a la escaldadura (*Xanthomonas albilineans*) (Comparni 2006; Álvarez 2009; Durán y Oviedo 2012).

2.4 Fenología del cultivo de caña de azúcar

El ciclo fenológico del cultivo de la caña de azúcar está compuesto por cuatro fases: fase de brotación, fase de macollaje, fase de gran crecimiento y fase de maduración; las cuales se describen a continuación.

2.4.1 Fase de brotación

Durante la fase de brotación se determina la población inicial de la plantación, la cual resulta de la sucesiva emergencia de tallos primarios, los cuales mantienen una altura mínima e incrementan el número de hojas (Romero *et al.* 2009). Es de suma importancia que durante este periodo dicha brotación sea de una amplia magnitud y bien distribuida a lo largo del surco, pues (Ferreira *et al.* 2012) manifiestan que variedades con mayor capacidad de rebrote pueden destacarse como materiales de alta producción de biomasa.

2.4.2 Fase de macollaje

Esta fase se caracteriza por presentar un rápido aumento en la población total de tallos, así como un leve aumento en el crecimiento de los mismos y un aumento en el área foliar, la aparición de este evento cercano al final de la fase de macollamiento provoca el cierre de la plantación (Romero *et al.* 2009). Bakker (1999), afirma que el macollaje se ve influenciado por factores como el espacio entre las plantas, la luminosidad incidente en la plantación, la fertilización recibida y la disponibilidad en el espacio radical. A pesar que esta fase se describe como una etapa de aumento en la densidad poblacional, por efecto de competencia interespecífica ocurre muerte de los tallos a finales de dicha fase (Romero *et al.* 2009).

2.4.3 Fase de gran crecimiento

En el transcurso de la fase de gran crecimiento se presenta el aumento considerable en la altura de los tallos por efecto del alargamiento de los entrenudos, los cuales conforman el volumen disponible para la acumulación de sacarosa (Costa *et al.* 2010). El acúmulo de esta molécula da inicio una vez que se ha desarrollado por completo cada entrenudo, la cual ocurre en forma basípeta a lo largo del tallo; es decir predominan los entrenudos basales que los terminales (Romero *et al.* 2009). Estos mismos autores mencionan que durante esta misma fase se determina la cantidad de tallos molederos, debido a la muerte considerable

de algunos tallos, principalmente aquellos desarrollados a finales de la etapa de macollamiento.

2.4.4 Fase de maduración

En el cultivo de la caña de azúcar la fase maduración corresponde a la continua acumulación de sacarosa por parte de aquellos tallos que han perpetuado su crecimiento posterior a la fuerte competencia que se da en las fases de desarrollo anteriores (Inman-Bamber *et al.*, 2009, mencionado por Costa *et al.* 2010. Además, los mismos autores mencionan que los tallos están compuestos por una sucesión de nudos y entrenudos en diferentes estados fisiológicos, es decir entrenudos maduros, en proceso de maduración e inmaduros; estos últimos se localizan aproximadamente en el tercio superior del tallo; donde se pueden encontrar aún hojas verdes. Los entrenudos inmaduros contienen alta cantidad de hexosa y bajas concentraciones de sacarosa.

2.5 Rendimiento productivo del cultivo de la caña de azúcar

Los rendimientos productivos del cultivo de la caña de azúcar se encuentran estrechamente relacionados con las condiciones climáticas, manejo agronómico y edad de cosecha; este último aspecto es de gran importancia, puesto que en la última fase de desarrollo del cultivo cesa la producción de materia verde y da paso a la acumulación de carbohidratos en forma de sacarosa en las células de parénquima en el tallo (Subirós 1998; Clements 1969, mencionado por Fauconnier y Bassereau 1975).

El sector productor busca un aumento continuo de la productividad de la caña de azúcar, para esto se aplican técnicas de mejoramiento genético para el desarrollo de nuevas variedades que cumplan con mayores potenciales de rendimiento agrícola, no obstante se busca una alta capacidad de concentración de sacarosa por parte del cultivo (Chaves 1999).

2.5.1 Rendimiento agrícola

El rendimiento agrícola se ve determinado por la interacción que ejercen varios elementos ambientales de una región específica como las condiciones climáticas, las condiciones físico-químicas del suelo, la incidencia de plagas y enfermedades; así como la tecnología de producción utilizada, entre los cuales se toman en cuenta el uso de riego y drenaje, el manejo de la nutrición y fertilización del cultivo, la distancia de siembra, el número de cosechas; esto en dependencia de la variedad cultivada.

Fauconnier y Bassereau (1975); Chaves (1999), Ocrospoma (2008) describen que el índice de productividad o rendimiento agrícola, corresponde a la cantidad de materia prima que se produce y se cosecha anualmente por unidad de área.

2.5.2 Rendimiento industrial

El rendimiento industrial se considera como el porcentaje de azúcar extraído durante el proceso de molienda de los tallos del cultivo (Fauconnier y Bassereau 1975). Es decir, el azúcar extraído se relaciona directamente con la calidad del jugo de la caña, puesto que este se encuentra constituido por azúcares (sacarosa), concentraciones decrecientes de fructosa y oligosacáridos; además, sustancias conocidas como no azúcares, entre las cuales se pueden mencionar ácidos orgánicos e inorgánicos carboxílicos, aminoácidos, proteínas, almidón, ceras y grasa y otros compuestos minoritarios, tales como flavonoides y polifenoles (van der Poel *et al.* 1998, mencionado por Zossi *et al.* 2010).

2.5.2.1 Indicadores de calidad

Larrahondo (1995) y Zossi *et al.* (2010), hacen referencia a indicadores para determinar la calidad del jugo de la caña de azúcar, tales como grados Brix, pol%, pureza, la cantidad de materia extraña, el contenido de fibra y la concentración de sólidos solubles diferentes a la sacarosa.

2.5.2.1.1 Brix

Es la concentración de los sólidos solubles en los materiales azucarados, esta concentración representa el peso de los sólidos disueltos en 100 gramos de solución (Domingos 1995 y Alfaro *et al.* 2014).

2.5.2.1.2 Pol

La obtención del indicador pol se hace posible debido a la actividad óptica de la molécula de la sacarosa, se realiza mediante la técnica de la polarimetría, y su resultado se interpreta como el contenido de sacarosa en 100 gramos de una solución. (Domingos 1995 y Alfaro *et al.* 2014).

2.5.2.1.3 Pureza

Se define como la relación porcentual entre el pol y el Brix de una solución azucarada, conociéndosele también como pureza polarimétrica, pureza aparente o pureza (Alfaro *et al.* 2014).

2.5.2.1.4 Contenido de fibra

La determinación del contenido de fibra en los análisis de calidad del jugo caña de azúcar es importante pues sí su contenido es muy alto afectará la extracción del jugo a nivel de industria, además, afectará de forma negativa el cálculo del contenido de sacarosa (Subirós 1998).

2.6 Regulador de crecimiento

Se conoce como regulador de crecimiento a aquella sustancia que ha sido sintetizada químicamente para la aplicación exógena a las plantas en la agricultura. Esta definición ha llegado a tener cierta controversia con respecto al concepto de hormona vegetal o fitohormona vegetal, no obstante este se utiliza para especificar a un grupo determinado de sustancias sintetizadas endógenamente por la planta, interviniendo en procesos fisiológicos específicos (Villalobos 2001). El mismo autor afirma que dentro de esta clasificación de

sustancias químicas se pueden identificar grupos tales como: auxinas, citoquininas, giberelinas, etileno y ácido abscísico.

2.7 Giberelinas

Este grupo de reguladores de crecimiento fue descubierto por científicos japoneses en los años 50 al realizar extracciones de tejidos de una enfermedad que estimulaba la elongación del entrenudo en el cultivo de arroz; estos descubrieron la existencia de una gran diversidad de giberelinas, por lo que a partir de la giberelina A original aislaron tres variantes, las cuales las denominaron giberelina A₁, giberelina A₂, y giberelina A₃, esta última resultó ser la misma molécula del ácido giberélico, el cual fue identificado en estudios posteriores y que ha tenido una importante explotación comercial en los últimos años (Taiz y Zeiger 2006).

2.7.1 Mecanismo de acción de las Giberelinas

Debido a la diversidad de efectos que ejercen las Giberelinas sobre las plantas, se sugiere que estas poseen diversos puntos de acción. No obstante, para un efecto específico como es la elongación del tallo en plantas se relacionan al menos tres eventos que pueden estar involucrados en dicho proceso. En primera instancia se estimula la división celular en sección apical de este órgano principalmente en las células meristemáticas más basales, de las que se originan células de médula y corticales (Taiz y Zeiger 2006; Sachs 1965, mencionado por Salisbury y Ross 2000). Además, estos autores mencionan que en estudios realizados por Liu y Loy (1976), se determinó que las giberelinas estimulan a las células presentes en la fase de crecimiento a entrar en la fase de síntesis, la cual a su vez se ve acortada.

En segundo lugar, las giberelinas promueven el crecimiento celular, mediante el incremento de la hidrólisis del almidón, fructanos y sacarosa originando moléculas de fructosa y glucosa, las cuales suministran energía mediante la respiración, lo cual contribuye a la formación de la pared celular y a la vez disminuye momentáneamente el potencial hídrico de las células, lo que ocasiona

la penetración de agua a estas y su posterior elongación. Glasziou (1969), mencionado por Salisbury y Ross (2000), indica que para el caso específico de la caña de azúcar, el crecimiento debido a la acción de la giberelinas se debe al aumento de la síntesis de invertasas que hidrolizan la sacarosa formando glucosa y fructosa.

Finalmente, las giberelinas poseen la capacidad de aumentar la elasticidad de la pared celular, este proceso se lleva a cabo siempre que esté presente la sacarosa y algunas sales minerales, las cuales suministran energía e impiden la dilución excesiva del contenido celular (Salisbury y Ross 2000; Taiz y Zeiger 2006). Además, autores mencionan que a diferencia de las auxinas, que poseen la capacidad de acidificar la pared celular; las giberelinas no parecen ejercer este mecanismo al provocar la elasticidad de la pared celular.

Villalobos (2001), asegura que las respuestas respecto a la elongación del tallo al realizarse la aplicación de giberelinas exógenas se relacionan directamente con la edad de la planta y dichas respuestas aumentan al realizarse en etapas tempranas.

2.7.2 Respuestas fisiológicas de las Giberelinas

Mediante la investigación sobre el uso de este regulador de crecimiento en la agricultura se ha logrado demostrar múltiples respuestas fisiológicas, sin embargo estas dependen específicamente del tipo de giberelina utilizada (Salisbury y Ross 2000). Entre las respuestas más comunes, estos autores mencionan:

- Aumento de la longitud de los entrenudos del tallo.
- Estímulo de la germinación de semillas latentes.
- Estímulo de la conversión de moléculas como polisacáridos, grasas y proteínas, para su posible translocación desde las células de almacenamiento.
- Promoción del desarrollo de frutos partenocárpicos (sin semilla), lo cual indica que posee importancia en el crecimiento de los frutos.
- Retardo de la senescencia de hojas y frutos.

2.8 Utilización de la fertilización vía foliar

La adopción de métodos de fertilización en los cultivos tiene entre tantas, la finalidad de suplir rápidamente aquellos nutrimentos que muestran deficiencias en suelos debido a la explotación de actividades agrícolas, o bien, aportar aquellos nutrimentos que no se encuentran disponibles en suelos con características de fertilidad natural específicas (Gopalasundaram *et al.* 2012), además, González *et al.* (1998), describen la utilización de la fertilización foliar como una técnica practicada en múltiples sistemas productivos obteniendo beneficios como el aumento del rendimiento de las cosechas, la recuperación de los cultivos ante periodos de estrés, mejoramiento de la calidad de los productos, prevención del ataque de enfermedades, provocación de un efecto estimulante en la fisiología de la planta y una alternativa para disminuir la contaminación de suelos y aguas. Sin embargo, estos autores añaden, que a pesar de los beneficios que se podría generar al realizar esta práctica, se ha identificado poca contundencia en la efectividad de esta; por tanto proponen que previo al establecimiento de un programa de fertilización a nivel práctico, se debe demostrarse la viabilidad técnica y económica.

2.9 Generalidades de las aplicaciones de nutrientes vía foliar

Franke (1976), mencionado por Mengel y Kirkby (1987), consideran que la absorción de nutrientes presentes en disoluciones acuosas se ve limitada por la cutícula, la cual es una serie de capas de cera, pectinas, hemicelulosa y celulosa, lo que le confiere propiedades de permeabilidad parcial ante el agua y los solutos disueltos.

Además, la entrada de los nutrientes a la estructura interna de las hojas es posible debido al paso de estos por los ectodesmos (Guardiola y Amparo 1991), estructuras que atraviesan las paredes celulares y a ciertos intervalos internos que comunican con el exterior de las células (Santamarina *et al.* 1997). Por tanto, el paso mediante el proceso de difusión de la solución aplicada sobre la superficie de

la hoja, a través de la cutícula y la pared celular hacia el citoplasma, es evento biológico que controla la tasa de absorción de nutrientes (Mengel y Kirkby 1987).

La absorción de nutrientes puede llegar a ser más eficaz si la solución aplicada se mantiene sobre la superficie de la lámina foliar en forma de una fina película por un período de tiempo; por tanto, con la finalidad de lograr la permanencia de los nutrientes sobre las hojas o aumentar la superficie de contacto se agregan sustancias llamadas técnicamente coadyuvantes (Mengel y Kirkby 1987).

2.9.1 Factores que afectan la absorción de nutrientes vía foliar

La eficacia con la que se absorben los nutrientes que son aplicados vía foliar se ve afectada por diversos factores, estos pueden estar relacionados directamente con la planta, las características fisicoquímicas de la solución a aplicar o bien con las condiciones ambientales presentes al momento de la realización de esta práctica.

2.9.1.1 Factores asociados a la planta

Los tejidos cuticulares, los cuales se encuentran recubriendo las células epidérmicas impiden de una manera muy efectiva pérdida de agua, solutos y gases al medio ambiente; sin embargo, este tejido de igual manera impide la entrada de estos a la planta. A pesar de esto, se ha considerado que la presencia de grietas cuticulares o la aparición de estructuras epidérmicas modificadas pueden contribuir significativamente a la tasa de absorción foliar de nutrientes (Fernández *et al.* 2013).

En las capas internas de la cutícula la presencia de grupos carboxilo e hidroxilo crean un creciente gradiente electronegativo hacia el interior de la planta, lo cual promueve el movimiento de iones a lo largo de esta gradiente, lo cual promueve la eficacia de la absorción foliar y las pérdidas de nutrientes por el lavado de la solución aplicada sobre la parte aérea de la planta (Salas 2002; Jeffrey 2006, mencionado por Fernández *et al.* 2013).

Estudios realizados por Eichert y Goldbach 2008, y Kannan 2010, mencionados por Fernández *et al.* (2013), han demostrado que la tasa de absorción de nutrientes aplicados vía foliar aumenta cuando se realiza la aplicación sobre la superficie abaxial al compararse con aplicaciones realizadas en la sección adaxial de la hoja, especialmente cuando las condiciones ambientales favorecen la apertura estomática. De manera que, se han generado diversas hipótesis respecto a la real contribución de la presencia de los estomas en la absorción foliar, como por ejemplo se atribuye estas altas penetraciones al aumento en la permeabilidad de la cutícula peristomática y de las células guardia. Asimismo, en otras investigaciones se ha considerado que la penetración de soluciones acuosas se realiza mediante su difusión a lo largo de las paredes de los poros estomáticos.

Un factor importante que se debe considerar en cuanto a la eficacia con la que se absorbe foliarmente los nutrientes es la edad de la hoja, teniendo en cuenta que este órgano posee tres fases de desarrollo, siendo según Shibles y Villalobos (2001), una fase ascendente, una de capacidad límite o máxima y una fase descendente; en esta última se disminuye la actividad metabólica, se incrementa la permeabilidad de la membrana y se ve aumentado el espesor de la cutícula; por tanto en esta última, la capacidad de absorción se ve disminuido (Salas 2002).

Para el caso del cultivo caña de azúcar, se considera como una planta con un tipo de hoja clasificada como anfistomática, es decir que posee estomas por ambas secciones de la hoja y en estudios realizados por (Ferreira *et al.* 2007), se han demostrado que la densidad estomática es mayor en el lado abaxial y además varía según sea el material genético.

2.9.1.2 Factores asociados a las características fisicoquímicas de la solución

La concentración a la que se encuentran los elementos en una solución a aplicar vía foliar generalmente es mayor que la concentración de estos dentro de

los órganos de las plantas, esto ocasiona un gradiente de concentración el cual será equilibrado cuando la solución que se encuentra sobre la superficie foliar logre penetrar a través de la superficie Fernández *et al.* (2013). Además, se han generado hipótesis sobre la tasas de penetración de algunos nutrientes debido a posible saturación de los sitios de absorción, como es el caso del potasio. De igual manera se han identificado que sales y quelatos de hierro pueden causar una deshidratación de los poros en la cutícula, lo cual disminuye las vías de absorción de los nutrientes a la planta (Fernández *et al.* 2013).

Antes de la aplicación de fertilizantes foliares, es de suma importancia que estos hayan sido disueltos o suspendidos correctamente, el grado en que estos logren ser disueltos dependerá de la temperatura y de las propiedades físicas del disolvente, es importante tener en cuenta la concentración de a la que se llegará al punto de saturación a la cual no se logrará aumentar la cantidad de solutos disueltos aunque se continúe adicionando más cantidad del producto a la mezcla. Esto toma valor desde el punto de vista agrícola, debido a que los nutrientes aplicados foliarmente solamente lograrán penetrar la superficie de la planta al estar disueltos en un medio acuoso (Fernández *et al.* 2013).

Debido a la presencia de grupos funcionales como carboxilo en las cutículas de las plantas y a la presencia de iones en esta se crea un gradiente interno de protones, teniendo efecto en los cambios de pH dentro de esta estructura, (Murillo *et al.* 2013) afirman que estos valores oscilan entre 5 y 8, siendo los de la parte interna los más altos, por consiguiente, este orden le confieren cierta capacidad de intercambio iónico con la solución a aplicar, lo cual puede afectar directamente el movimiento de solutos hacia el interior de la planta.

2.9.1.3 Factores asociados al medio ambiente

Los factores que se asocian con el ambiente y que son de mayor importancia que influyen en la absorción de sustancias acuosas son la temperatura y la humedad relativa (Fernández y Eichert 2009).

De manera que la temperatura puede cambiar la viscosidad de las ceras de la cutícula, la tasa de difusión y finalmente con relacionada de forma directa con la humedad ambiental, variar la hidratación de la cutícula. Estudios realizados revelan que el movimiento de las sustancias a través de la superficie de la hoja hacia su interior se incrementa al aumentarse la temperatura, sin embargo la absorción disminuye a la vez que esta excede ciertos límites (Ramsay 2003); esto se puede atribuir al aumento del movimientos de solutos entre a cutícula (Segura 2002).

Por su parte la humedad relativa, en conjunto con la temperatura posee una influencia directa sobre la evaporación del agua presente en el ambiente, por tanto en condiciones con altos porcentajes de humedad relativa la superficie foliar se encontrará hidratada por periodos más prolongados, lo que favorecería a la absorción de nutrientes a través de este órgano (Trinidad y Aguilar 2000).

2.10 Utilización de fertilizantes foliares en el cultivo de caña de azúcar

Gopaldasundaram *et al.* (2012), afirman que la aplicación de fertilizantes nitrogenados vía foliar en el cultivo de la caña de azúcar, específicamente urea, se reconoce como un técnica eficiente en cuanto a la utilización del nitrógeno así como para aumento en el rendimiento agrícola y la calidad del jugo. Además, estos mismos autores agregan que la implementación de esta técnica es factible cuando se presentan condiciones adversas en la humedad del suelo, como en situaciones de anegamiento o el suministro limitado de agua. Estos mismos autores reportan que la aplicación combinada de nitrógeno y potasio vía foliar durante la fase de crecimiento ha resultado benéfica en términos de rendimiento agrícola de hasta 18,6% respecto al control.

Mathew *et al.* (2004), mencionados por Gopaldasundaram *et al.* (2012); reportan que la aplicación de potasio fraccionada en una relación de 75% al suelo y 25% vía foliar a los 90 días posterior a la siembra ha sido benéfica en condiciones en las cuales este elemento es escaso.

Pese a que la cantidad en que los micronutrientes son absorbidos por las plantas es poca, la importancia de su consideración en los programas de nutrición es esencial, debido a la relación que estos poseen en procesos de crecimiento celular, enzimáticos, oxidación-reducción y transporte de carbohidratos (Navarro y Navarro 2003).

Específicamente en el cultivo de la caña de azúcar, CENICAÑA ha realizado estudios en su aplicación directa al suelo, sin embargo, recomiendan su utilización vía foliar en aquellas condiciones de suelo fertilidad natural no permite su disponibilidad; como es el caso del hierro, el cual en condiciones de niveles altos de pH en el suelo, se realiza su aplicación vía foliar de sulfatos o quelatos (Quintero 2014).

Jamro *et al.* (2002); Oad *et al.* (2002) han identificado respuestas positivas en algunos parámetros de crecimiento del cultivo de la caña de azúcar mediante la aplicación de algunos micronutrientes como cobre, zinc, boro y manganeso a niveles de dosis adecuadas, asimismo rescatan que dichas respuestas son más evidentes cuando los elementos mencionados se encuentran en condiciones deficientes en el suelo. También indican dentro de los parámetros que se han observado con respuestas positivas son el macollamiento, longitud, diámetro y peso de los tallos; número y longitud de entrenudos, además de parámetros productivos como la cantidad de caña molinera.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación

La presente investigación se realizó en la comunidad de Guardia del cantón de Liberia, perteneciente a la provincia de Guanacaste, específicamente en la empresa Central Azucarera del Tempisque S.A (CATSA) (Figura 1); esta entidad se dedica a la producción y procesamiento de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) para la obtención de azúcar y alcohol.

El ensayo experimental se ubicó a una altitud de 21 msnm, en una longitud de 83°33'27,17"O y latitud de 10°31'30,57 N. Durante el desarrollo del ciclo agrícola del cultivo, la temperatura media anual fue de 28,20 °C, con una temperatura mínima anual de 22,80°C y máxima media anual de 33,59 °C (Anexo 42). La precipitación media anual fue de aproximadamente 1.310 mm, el periodo lluviosos tuvo inicio 29 de abril del 2014, sin embargo posterior al 6 de junio tuvo una interrupción durante los 57 días, esta información se detalla en el Anexo 41. El suelo donde se estableció el área experimental es del orden Vertisol, localizada dentro de la plantación de producción comercial de la empresa.



Figura 1. Mapa de ubicación de la finca donde se realizó el experimento del ácido giberélico (ProGibb[®] 40 WG) sobre el rendimiento y calidad de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.) var. NA 56-42 en Liberia, Guanacaste, Costa Rica. 2014-2015.

3.2 Período de estudio

El trabajo de investigación se llevó a cabo desde febrero del 2014 hasta enero del 2015; este periodo permitió la cobertura del ciclo productivo del cultivo. El ensayo inició en el estadio de plantación de primera soca con dos meses de edad y finalizó con la cosecha de la totalidad de la plantación, transcurridos trece meses de edad después de la primera cosecha; posterior a esta labor se procedió a obtener los indicadores de rendimiento y de calidad previos al proceso de industrialización de la materia prima.

3.3 Diseño estadístico

Se utilizó el Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), con un arreglo de tratamientos tipo cuantitativo de cuatro niveles y cinco repeticiones por tratamiento, para un total de 20 parcelas experimentales.

3.4 Modelo estadístico

El modelo estadístico que se estableció es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} : respuesta observada en la unidad experimental j -ésima que recibió el tratamiento i -ésimo.

μ : media general.

τ_i : es el efecto del i -ésimo tratamiento.

β_j : es el efecto del j -ésimo bloque.

ε_{ij} : es el término de error correspondiente a la observación del i -ésimo tratamiento en el bloque j -ésimo.

3.5 Descripción de tratamientos

El material experimental utilizado estuvo constituido por una plantación comercial de caña de azúcar variedad NA 56-42 de segundo corte, con 59 días de desarrollo.

Los tratamientos que se evaluaron corresponden: 1) Testigo, 2) ProGibb[®] 40WG en una dosis de 10 g PC/ha, 3) ProGibb[®] 40WG en una dosis de 10 g PC/ha mezclado con un fertilizantes foliares, 4) ProGibb[®] 40WG a una dosis de 20 g PC/ha. Para el caso del tratamiento Testigo, se realizó la aplicación de agua; en el Cuadro 1 se detalla la información respectiva de los tratamientos. Asimismo, se utilizó Silwet 100 L-77[®] como coadyuvante a una concentración de 0,03% para mejorar las características físicas de las soluciones de los tratamientos aplicados.

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos establecidos en estudio del ácido giberélico (ProGibb[®] 40 WG) sobre el rendimiento y calidad de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.) var. NA 56-42 en Liberia, Guanacaste, Costa Rica. 2014-2015.

Descripción					
Trat.	Producto	Dosis		Frecuencia	Etapa de aplicación
		g PC/ha	g i.a/ha		
1	Ninguno	---	---	---	---
2	ProGibb [®] 40 WG	10	4	Dos veces	Primera soca 59; 144 ddc ₁ *
3	ProGibb [®] 40 WG +	10 +	4 +	Dos veces	Primera soca 59; 144 ddc ₁ *
	Cosmo Quel Mg [®]	1.000	90		
	Cosmo Quel Fe [®]	1.000	120		
	Cosmo Quel Zn [®]	1.000	120		
	Cosmo Quel B [®]	1.000	205		
	Cosmo Quel Cu [®]	500	120		
	Cosmo Quel Mn [®]	500	120		
	Urea	10.000	4.600		
	K(NO) ₃ (13-0-44)	2.000	1.320		
4	ProGibb [®] 40 WG	20	8	Dos veces	Primera soca 59; 144 ddc ₁ *

ddc₁*: Días después de la primera cosecha.

Trat: Tratamiento

Los tratamientos fueron aplicados en dos ocasiones, la primera aplicación transcurridos 59 días después de cosecha y la segunda 144 días después de la primera cosecha.

3.6 Descripción de la unidad de estudio

El estudio fue de tipo experimental; los datos se analizaron mediante pruebas paramétricas, asumiendo que las muestras fueron obtenidas al azar en los bloques propuestos.

El área experimental se conformó por una plantación de 9,072 ha; ubicada en un bloque comercial del cultivo, específicamente en la sección Playitas, comprendiendo el lote 20 y el lote 21 (Figura 2), el cultivo fue sembrado bajo el sistema de siembra tipo Louisiana, el cual consiste en depositar la semilla en la parte superior del lomillo, con el fin de eliminar el exceso de agua cerca de la caña para favorecer su brotación y enraizamiento (Subirós 1995).

Cada unidad experimental comprendió 10,5 m de ancho, producto de la disposición de siete lomillos distanciados un metro y medio entre sí. Además, el lote 20 comprendió una longitud de 225 m, mientras que el lote 21 abarcó 207 m de longitud; la sumatoria de ambas longitudes fue de 432 m; para un total de 0,454 ha. El área correspondiente para cada tratamiento fue de 2,268 ha. En las Figuras 2 y 3, se muestra la distribución de las unidades experimentales.

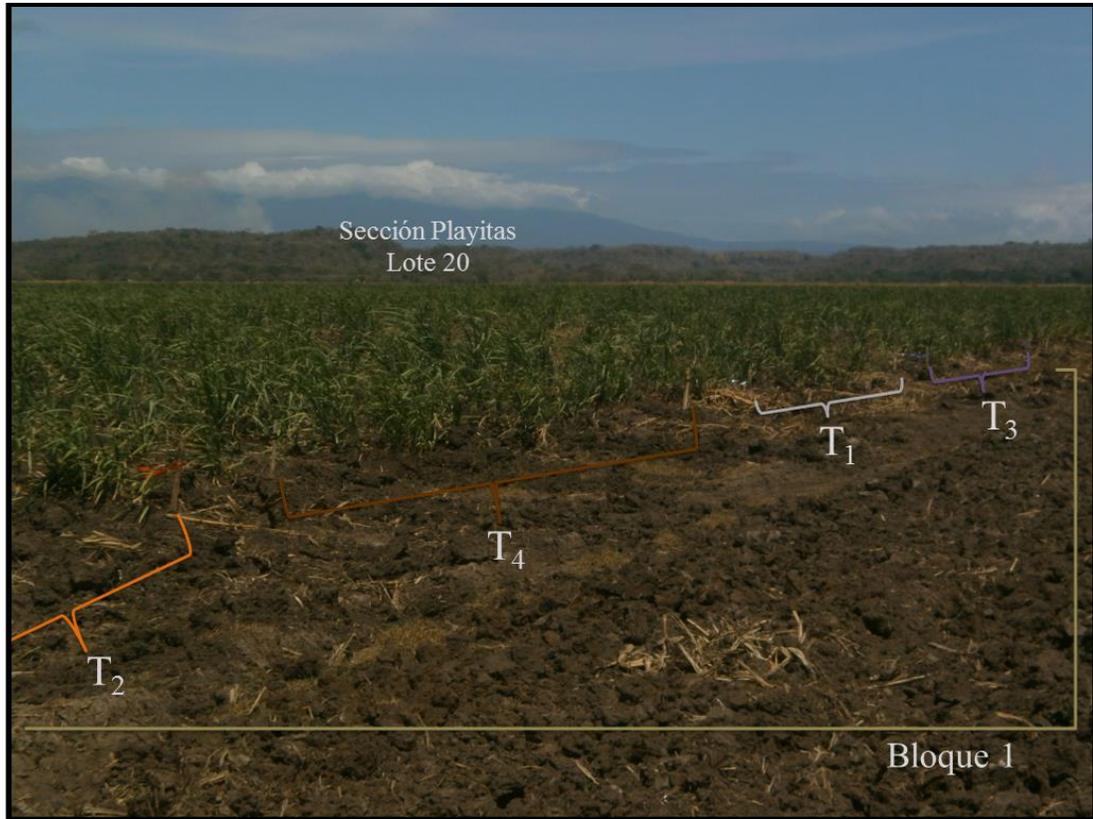


Figura 2. Fotografía de distribución de las unidades experimentales establecidas en un bloque experimental en estudio del ácido giberélico (ProGibb® 40 WG) sobre el rendimiento y calidad de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.) var. NA 56-42 en Liberia, Guanacaste, Costa Rica. 2014-2015.

3.7 Número de repeticiones y grados de libertad del error

De acuerdo al número de bloques y de tratamientos utilizados en este estudio se derivan los grados de libertad y se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Fuentes de variación y sus respectivos grados de libertad en estudio del ácido giberélico (ProGibb® 40 WG) sobre el rendimiento y calidad de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.) var. NA 56-42 en Liberia, Guanacaste, Costa Rica. 2014-2015.

Fuente de variación	Grados de libertad
Bloque	4
Tratamiento	3
Error	12
Total	19

La ubicación de este experimento en la Sección seleccionada y la distribución de las parcelas experimentales dentro del área comercial son presentadas mediante la Figura 3.

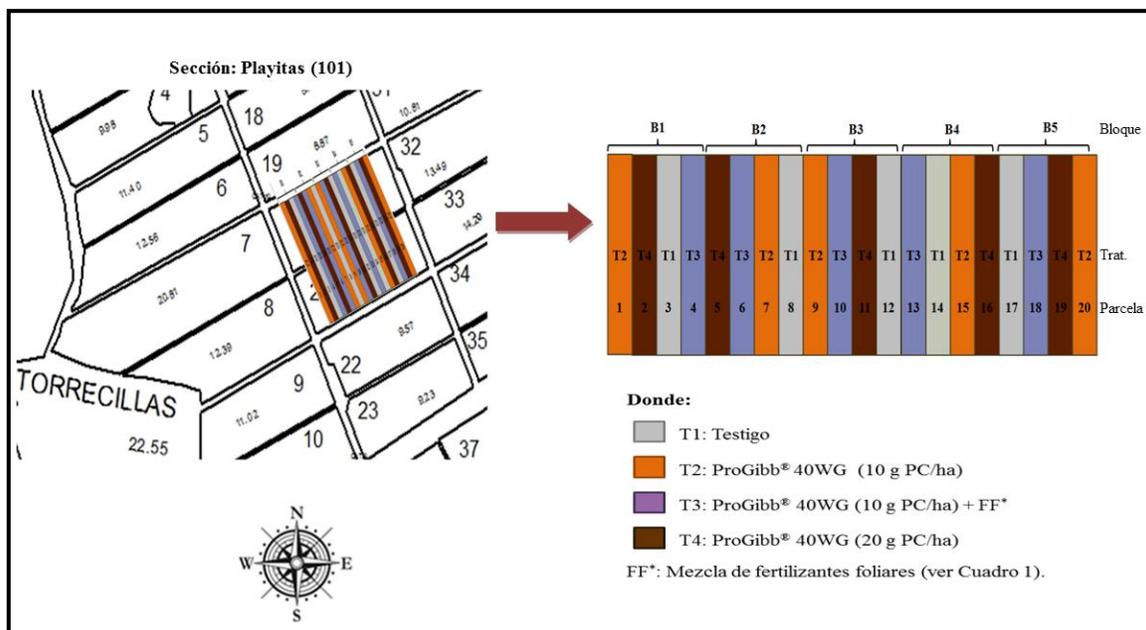


Figura 3. Croquis del área experimental de estudio del ácido giberélico (ProGibb® 40 WG) sobre el rendimiento y calidad de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.) var. NA 56-42 en Liberia, Guanacaste, Costa Rica. 2014-2015.

3.8 Preparación de soluciones

La dosificación de los productos correspondiente a los tratamientos se realizó tomando como base tres hectáreas, con la finalidad de lograr una película uniforme de aplicación en la totalidad del área requerida para cada una de las parcelas experimentales. Debido a que en algunos casos en los que se dispone de un volumen ajustado al área a tratar se puede generar aplicaciones discontinuas en las últimas parcelas debido a la entrada de aire en el sistema. Para esto se extrapoló las dosis de los productos a cada uno de los tratamientos como se muestra en el Cuadro 3.

El área correspondiente a cada unidad experimental fue de 0,454 ha, la cual comprendió al lote 20 y lote 21; los tratamientos fueron replicados cinco veces, por lo tanto el área aplicada en cada tratamiento fue de 2,268 ha.

Cuadro 3. Productos utilizados por tratamiento y por volumen preparado en estudio del ácido giberélico (ProGibb[®] 40 WG) sobre el rendimiento y calidad de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.) var. NA 56-42 en Liberia, Guanacaste. 2014-2015.

Trat.	Producto	Dosis g PC/ha	Dosis g PC/Tratamiento	Dosis g PC/3 ha
1	Ninguno	---	---	---
2	ProGibb [®] 40 WG	10	22,68	30
	ProGibb [®] 40 WG	10	22,68	30
	Cosmo Quel Mg [®]	1.000	2.270	3.000
	Cosmo Quel Fe [®]	1.000	2.270	3.000
	Cosmo Quel Zn [®]	1.000	2.270	3.000
3	Cosmo Quel B [®]	1.000	2.270	3.000
	Cosmo Quel Cu [®]	500	1.130	1.500
	Cosmo Quel Mn [®]	500	1.130	1.500
	Urea	10.000	22.680	30.000
	K(NO) ₃	2.000	4.540	6.000
4	ProGibb [®] 40 WG	20	45,36	60

La cantidad de los productos requeridos fue medida mediante romanas digitales; para el caso del ProGibb[®] 40 WG se utilizó una romana con capacidad máxima de 120 g (Figura 4.A) y para los diversos fertilizantes se utilizó una romana digital con una capacidad de 30 kg (Figura 4.B), esto permitió la utilización adecuada de cada uno de los productos que conformaron los tratamientos.

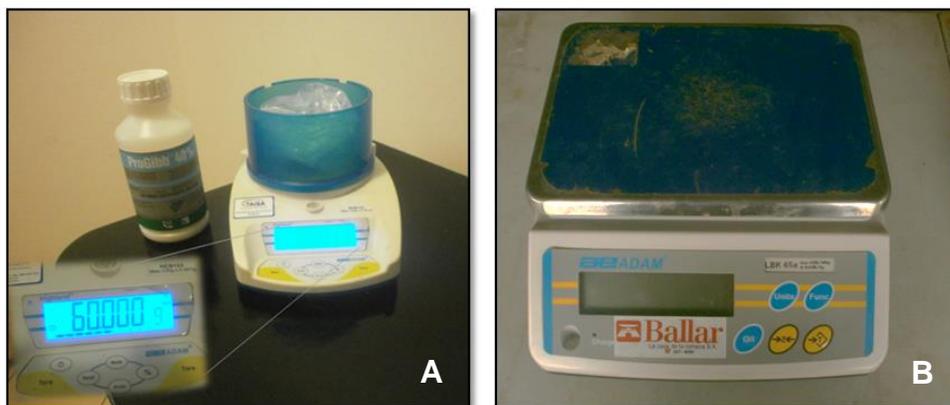


Figura 4. Equipo utilizado en la medición de productos que conformaron los tratamientos (A. Romana digital para medición de ProGibb[®] 40 WG, B. Romana digital para medición de fertilizantes) en estudio del ácido giberélico (ProGibb[®] 40 WG) sobre el rendimiento y calidad de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.) var. NA 56-42 en Liberia, Guanacaste, Costa Rica. 2014-2015.

3.9 Procedimiento de mezclado

El volumen de aplicación fue de 200 litros por hectárea, por lo que se llenó el tanque del equipo aspersor (*Spray boom*) con 300 l, es decir un 50% de su capacidad, posteriormente se agregó la dosis correspondiente de ProGibb[®] 40 WG. Para el caso del tratamiento con de fertilizantes foliares, estos se mezclaron en orden de mayor a menor solubilidad, es decir primeramente las cantidades correspondientes de los fertilizantes quelatados, posteriormente la urea, seguido el nitrato de potasio y finalmente el ProGibb[®] 40 WG.

Finalmente, se aforó el tanque del equipo aspersor y se agregó Silwet 100 L-77[®] como coadyuvante a una concentración de 0,03%, para mejorar la condición física de la solución final.

3.10 Procedimiento de aplicación

La aplicación de los tratamientos fue realizada en dos ocasiones por vía terrestre en toda el área experimental. La primera aplicación se efectuó con un equipo aspersor (*spray-boom*), con capacidad de 600 litros acoplado a un tractor John Deere modelo 5090E y con potencia de 90 HP. La longitud del aguilón del

equipo aspersor es de doce metros, sin embargo el ancho de labor fue de 10,5 m; lo que corresponde al ancho de cada una de las parcelas experimentales.

El aguilón se fijó a una altura sobre el suelo de 90 cm, la presión de trabajo fue de 2,5 bares, su constancia fue determinada mediante el sistema regulador de presión de trabajo, lo cual aseguró uniformidad en la aplicación (Figura 5. A).

Previo a la segunda aplicación la incidencia de precipitación en la sección de la empresa donde se ubicó el área experimental, generó una condición de exceso humedad en el suelo, lo que obligó a realizar la segunda aplicación manualmente mediante la utilización de pulverizadoras manuales marca Carpi (Figura 5. B).

En este caso se procedió a distribuir el volumen solución requerido en cada parcela experimental en los siete surcos que la conformaban, de manera que se aplicó 12,96 litros en cada uno de los surcos que conformaron las cinco parcelas experimentales correspondientes a cada tratamiento.

En ambas ocasiones se utilizó una boquilla marca Turbo Fleet 2.5, un volumen de aplicación de 200 litros por hectárea y antes de aplicación de los tratamientos se determinó los niveles de pH de las soluciones, estos oscilaron entre 7,39 y 7,78.

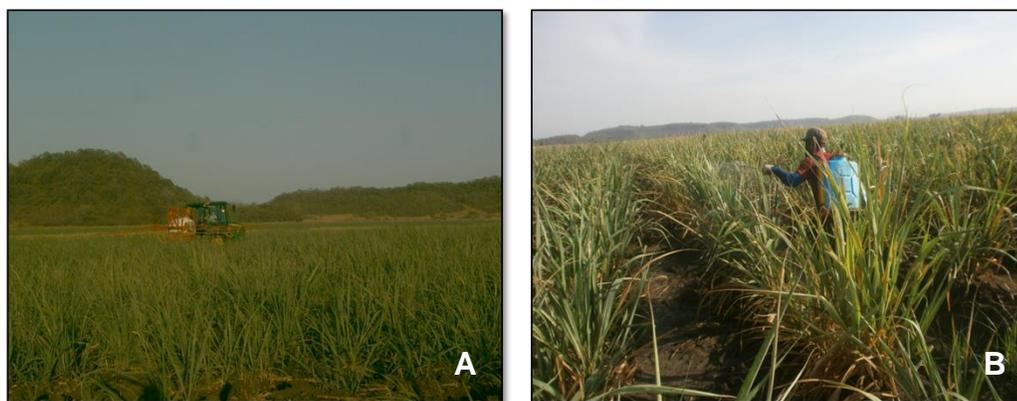


Figura 5. Representación de los equipos de aspersión (A. Aplicación con Spray boom Carpi acoplado a tractor John Deere 5090E; B. Aplicación con pulverizadora manual Carpi) utilizados en estudio del ácido giberélico (ProGibb[®] 40 WG) sobre el rendimiento y calidad de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.) var. NA 56-42 en Liberia, Guanacaste. 2014-2015.

3.11 Variables de respuesta y toma de datos

Se ejecutaron cuatro observaciones de las variables representativas del estado de la plantación durante el desarrollo del ciclo del cultivo, respecto a su población, desarrollo y crecimiento de entrenudos y los tallos, así como el engrosamiento de los tallos. Finalmente, al momento de la cosecha se obtuvo el rendimiento agrícola y las variables de calidad para cada una de las parcelas experimentales.

En el Cuadro 4, se describen las variables de respuesta que se evaluaron durante el periodo de estudio, de las cuales una contempla el desarrollo de la población utilizado como indicador de la tendencia del número de tallos activos durante el ciclo del cultivo (Figura 6), desarrollo de entrenudos del tallo (número de entrenudos por tallo) (Figura 7); cuatro corresponden al crecimiento (altura del tallo (Figura 8. A), longitud de los entrenudos (Figura 8. B), diámetro del tallo (Figura 8. C), una corresponde a rendimiento (rendimiento agrícola). Mientras que cinco variables corresponden a indicadores de calidad de la materia prima (Brix°, Pol%, pureza, contenido de fibra, cantidad de materia extraña.

Cuadro 4. Descripción de las variables de respuesta establecidas en el estudio sobre efecto del ácido giberélico (ProGibb® 40 WG) sobre el rendimiento y calidad de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.) var. NA 56-42 en Liberia, Guanacaste. 2014-2015.

Tipo variable	Variable específica	Procedimiento o método de obtención	Frecuencia	Periodo e Intervalo
Desarrollo	Población	Conteo total de tallos en un metro lineal en seis unidades experimentales.	Cuatro veces	0 mda ₁ ^{**} 4 mda ₁ ^{**} -1 mda ₂ ^{***} 6 mda ₁ ^{**} -1 mda ₂ ^{***} 9 mda ₁ ^{**} -1 mda ₂ ^{***}
	Número entrenudos por tallo	Conteo del total de entrenudos hasta el punto de quiebre natural, en cm.	Cuatro veces	0 mda ₁ 4 mda ₁ ^{**} -1 mda ₂ ^{***} 6 mda ₁ ^{**} -1 mda ₂ ^{***} 9 mda ₁ ^{**} -1 mda ₂ ^{***}

		En cinco tallos seleccionados al azar en cada una de unidades experimentales.		
Crecimiento	Longitud de tallo	Medición desde la base de cada tallo hasta la primera lígula visible; en cm. En los cinco tallos seleccionados al azar en las unidades experimentales	Cuatro veces	0 mda ₁ ^{**} 4 mda ₁ ^{**} -1 mda ₂ ^{***} 6 mda ₁ ^{**} -1 mda ₂ ^{***} 9 mda ₁ ^{**} -1 mda ₂ ^{***}
	Longitud del entrenudo	Medición de todos los entrenudos con cinta métrica; en cm. En los cinco tallos seleccionados al azar en las unidades experimentales	Cuatro veces	0 mda ₁ ^{**} 4 mda ₁ ^{**} -1 mda ₂ ^{***} 6 mda ₁ ^{**} -1 mda ₂ ^{***} 9 mda ₁ ^{**} -1 mda ₂ ^{***}
	Diámetro de tallo	Medición entrenudo cinco de la base del suelo con Vernier graduado en mm. En los cinco tallos seleccionados al azar en las unidades experimentales.	Cuatro veces	0 mda ₁ ^{**} 4 mda ₁ ^{**} -1 mda ₂ ^{***} 6 mda ₁ ^{**} -1 mda ₂ ^{***} 9 mda ₁ ^{**} -1 mda ₂ ^{***}
Rendimiento	Rendimiento agrícola	Pesaje de cada parcela experimental cosechada. Mediante	Una vez	A cosecha

		romana electrónica expresado en toneladas.		
Calidad	Brix°, Pol%, Pureza	Método de la prensa hidráulica propuesto por LAICA. Extracción de la muestra de los tres surcos centrales de la parcela experimental.	Una vez	A cosecha
	Contenido de fibra	Método de la prensa hidráulica propuesto por LAICA. Extracción de la muestra de los tres surcos centrales de la parcela experimental.	Una vez	A cosecha

mda₁^{***}: Meses después de la primera aplicación.

mda₂^{****}: Meses después de la segunda aplicación.



Figura 6. Fotografía durante proceso de determinación de la población en estudio del ácido giberélico (ProGibb® 40 WG) sobre el rendimiento y calidad de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.) var. NA 56-42 en Liberia, Guanacaste, Costa Rica. 2014-2015.



Figura 7. Fotografía durante proceso de cuantificación del número de entrenudos en estudio del ácido giberélico (ProGibb[®] 40 WG) sobre el rendimiento y calidad de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.) var. NA 56-42 en Liberia, Guanacaste, Costa Rica. 2014-2015.



Figura 8. Fotografías durante proceso de determinación de variables de crecimiento (A. Altura del tallo, B. Longitud de entrenudos, C. Diámetro del tallo) en estudio del ácido giberélico (ProGibb[®] 40 WG) sobre el rendimiento y calidad de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.) var. NA 56-42 en Liberia, Guanacaste, Costa Rica. 2014-2015.

3.12 Plan de análisis estadístico

Los datos obtenidos de las observaciones realizadas fueron analizados mediante el paquete estadístico *InfoStat*[®], se aplicó pruebas *a priori*, para determinar el cumplimiento de los supuestos; específicamente Normalidad (mediante la prueba de Shapiro-Wilks) y Homocedasticidad (mediante a prueba de Levenne).

Se ejecutó un Análisis de Varianza en cada momento de observación para cada una de las variables estudiadas (ANDEVA) y se aplicó pruebas de comparación de medias de Tukey para datos; con un nivel de confianza del 95%.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados que se obtuvieron de la investigación para determinar la eficacia del ácido giberélico (ProGibb[®] 40 WG) sobre el rendimiento y calidad de la caña de azúcar (*Saccharum spp.*) var. NA 56-42 en la zona de Liberia, Guanacaste, Costa Rica durante los años 2014 y 2015, se detallan a continuación.

4.1 Variables de desarrollo

Se considera como desarrollo a la diferenciación de células, adquiriendo propiedades metabólicas, estructurales y funcionales particulares (Taiz y Zeiger 2006), de manera que generan nuevos órganos y así se determinará la arquitectura de las plantas (Guevara y Rodríguez 2001). En este caso en particular, se observó el desarrollo de tallos y de entrenudos de los tallos durante el ciclo productivo de la caña de azúcar, el resumen de estas observaciones se muestran a continuación.

4.1.1 Población

Durante el ciclo productivo del cultivo, el cual comprendió de aproximadamente trece meses, se cuantificaron desde 45 tallos al inicio del experimento hasta 22 tallos por metro lineal a los 11 meses de edad (Cuadro 5). La cantidad de tallos fue muy similar (p -valor $> 0,05$) en toda el área experimental, independientemente del tratamiento aplicado.

Cuadro 5. Número de tallos de caña de azúcar por tratamiento en cada momento de observación en estudio del ácido giberélico (ProGibb® 40 WG) sobre el rendimiento y calidad de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.) var. NA 56-42. Liberia, Guanacaste, Costa Rica. 2014-2015.

Trat.	Descripción	Dosis (g PC/ha)	Periodo post aplicación (mda ₁ ^{**} - mda ₂ ^{***}) y meses de edad del cultivo (meses)			
			0 mda ₁ 2 meses (p=0,8532)	4 mda ₁ -1 mda ₂ 6 meses (p=0,4354)	6 mda ₁ -3 mda ₂ 8 meses (p=2656)	9 mda ₁ -6 mda ₂ 11 meses (p=0,7023)
1	No tratado	0	43,95a	29,90a	23,47a	21,83a
2	ProGibb® 40WG	10	44,75a	29,63a	21,73a	21,09a
3	ProGibb® 40WG	10 + FF*	43,15a	31,03a	23,73a	22,60a
4	ProGibb® 40WG	20	47,30a	31,37a	23,67a	22,87a
Media general		---	44,79	30,48	23,15	22,34

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0,05).

mda₁^{**}: Meses después de la primera aplicación.

mda₂^{***}: Meses después de la segunda aplicación.

Fuente: ANEXOS (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8).

Al inicio del periodo de muestreo (0 mda₁), se procuró seleccionar unidades experimentales homogéneas y representativas. Las diferencias entre los tratamientos, según Tukey 5%, no fueron significativas entre las parcelas tratadas y las no tratadas con ProGibb® 40WG (T1); sin embargo aquellas que estuvieron bajo la influencia del ácido giberélico (ProGibb® 40 WG) 20 g PC/ha (T4) presentaron mayor número de tallos que las observadas en los demás tratamientos (Cuadro 5).

La tendencia a disminuir con el tiempo la cantidad de tallos dentro de la plantación, es un fenómeno que se presenta a partir de la finalización de la etapa de macollamiento, debido a la competencia que se genera entre los tallos por factores como luz, agua, y nutrientes, viéndose afectados mayormente aquellos tallos recién desarrollados. La reducción porcentual general de la cantidad de tallos en la plantación fue de 49,34%, valores similares han sido reportados por Costa *et al.* (2010), quienes aseguran que en el cultivo de caña de azúcar la

población puede disminuir aproximadamente un 50% de la que se desarrolló durante toda la etapa de macollamiento.

Transcurridos cuatro meses después de la primera aplicación, o bien, un mes posterior a la segunda aplicación (4 mda₁-1 mda₂); las diferencias entre las medias de los tratamientos no fueron significativas.

Al finalizar el ciclo de evaluaciones, cuando el cultivo presentó once meses de edad, no se determinaron diferencias entre los tratamientos (Cuadro 5).

El monitoreo continuo de la cantidad de tallos por metro lineal durante el ciclo productivo del cultivo permitió observar la influencia o no del ácido giberélico (ProGibb® 40 WG) y su mezcla fertilizantes foliares evaluados, como es el caso del elemento nitrógeno (Rengel *et al.* 2011a) y el magnesio, asociado con un aumento en la producción de tallos en la etapa de macollamiento (Rengel *et al.* 2011b) en proceso productivo del cultivo de la caña de azúcar (Costa *et al.* 2010), y por consiguiente, en el rendimiento agrícola (Aponte 1994 y Álvarez 2009) y; sin embargo ninguno de los tratamientos tuvo influencia en el número de tallos.

4.1.2 Número de entrenudos

Al iniciar las observaciones, antes de realizar la aplicación de los tratamientos correspondientes, no se observó entrenudos desarrollados, debido a la edad del cultivo, mientras que en la última observación se detectó alrededor de 19 entrenudos desarrollados por tallo, esta variable no fue afectada por los tratamientos en ninguna de las observaciones realizadas (p-valor>0,05), a excepción de la tercera observación, cuando el cultivo tenía 8 meses de edad (Cuadro 6).

Cuadro 6. Número de entrenudos en tallos de caña de azúcar por tratamiento en cada momento de observación en estudio del ácido giberélico (ProGibb® 40 WG) sobre el rendimiento y calidad de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.) var. NA 56-42. Liberia, Guanacaste, Costa Rica. 2014-2015.

Trat.	Descripción	Dosis (g PC/ha)	Periodo post aplicación (mda ₁ ^{**} - mda ₂ ^{***}) y meses de edad del cultivo (meses)			
			0 mda ₁	4 mda ₁ -1 mda ₂	6 mda ₁ -3 mda ₂	9 mda ₁ -6 mda ₂
			2 meses	6 meses (p=0,2661)	8 meses (p=0,0352)	11 meses (p=0,7581)
1	No tratado	0	0	6,01a	9,56a	19,84a
2	ProGibb® 40WG	10	0	6,45a	10,41ab	17,90a
3	ProGibb® 40WG	10 + FF*	0	6,47a	10,63b	19,93a
4	ProGibb® 40WG	20	0	6,29a	10,39ab	19,72a
Media general		---	0	6,31	10,25	19,35

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0,05).

mda₁^{***}: Meses después de la primera aplicación.

mda₂^{***}: Meses después de la segunda aplicación.

Fuente: ANEXOS (9, 10, 11, 12, 13 y 14).

La observación realizada cuatro meses después de la primera aplicación y un mes después de la segunda aplicación (4 mda₁-1 mda₂), no mostró diferencia estadística entre las medias de los tratamientos (p-valor=0,2661). A pesar de lo anterior, las plantas que no fueron tratadas (T1), presentaron la menor cantidad de entrenudos, mientras que en los tallos que fueron tratados con ProGibb® 40WG 10 g PC/ha y la mezcla de fertilizantes foliares (T3), desarrollaron mayor cantidad de entrenudos. Resultados similares se presentaron en experimentos realizados por Moore (1980), quien no observó un efecto sobre el desarrollo de entrenudos al realizar varias aplicaciones de ácido giberélico en siete cultivares de caña de azúcar a dosis de 0,5 y 1,0 mg por tallo con intervalos de aplicación de quince a 30 días.

Sin embargo, durante la tercera observación (6 mda₁-3 mda₂), se obtuvo diferencias estadísticas entre los tratamientos siendo las plantas que fueron tratadas con ProGibb® 40WG 10 g PC/ha y la mezcla de fertilizantes foliares (T3)

las que presentaron medias mayores, este resultado se puede atribuir al efecto positivo sobre el número de entrenudos mencionado por Gopaldasundaram *et al.* (2012), cuando se realiza la aplicación de fertilizantes foliares para suplir nutrimentos cuando las condiciones son adversas para la absorción de nutrientes mediante las raíces, ya que durante este experimento y específicamente en este periodo se acumuló 59 días continuos sin precipitaciones registradas. Además, este resultado puede estar asociado a las sugerencias realizadas por Oad *et al.* (2002), quienes afirman que existe una relación positiva en desarrollo de entrenudos al suministrar vía foliar elementos como cobre, hierro, zinc y manganeso.

4.2 Variables de crecimiento

Rodríguez y Leihner (2001), Taiz y Zeiger (2006), definen el crecimiento vegetal como el incremento en el tamaño de los órganos considerado como irreversible. Es importante tener en cuenta que el crecimiento se puede obtener mediante la medición de distintos órganos de la planta o bien, se puede obtener al pesar estructuras de interés (ya sea en peso fresco o seco) en tiempos determinados. A continuación se presenta el crecimiento de los tallos (altura y diámetro) durante el periodo y de los entrenudos desarrollados al final del periodo de estudio.

4.2.1 Altura del tallo

La media general al inicio del experimento fue de 18,51 centímetros hasta 186,67 centímetros cuando culminó el ciclo de las evaluaciones. La altura de los tallos fue muy similar en toda el área de estudio, independientemente del tratamiento aplicado, como se observa en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Altura de tallos de caña de azúcar por tratamiento en cada momento de observación en estudio del ácido giberélico (ProGibb® 40 WG) sobre el rendimiento y calidad de la caña de azúcar (*Saccharum spp.*) var. NA 56-42. Liberia, Guanacaste, Costa Rica. 2014-2015.

Trat.	Descripción	Dosis (g PC/ha)	Periodo post aplicación (mda ₁ ^{**} - mda ₂ ^{***}) y meses de edad del cultivo (meses)			
			0 mda ₁	4 mda ₁ -1 mda ₂	6 mda ₁ -3 mda ₂	9 mda ₁ -6 mda ₂
			2 meses (p=0,3909)	6 meses (p=0,0868)	8 meses (p=0,1155)	11 meses (p=0,5537)
1	No tratado	0	17,82a	91,38a	116,55a	181,63a
2	ProGibb® 40WG	10	19,23a	101,98a	128,54a	191,08a
3	ProGibb® 40WG	10 + FF*	18,01a	105,54a	125,90a	188,70a
4	ProGibb® 40WG	20	18,98a	97,73a	123,50a	185,27a
	Media general	---	18,51	99,16	123,62	186,67

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0,05).

mda₁^{***}: Meses después de la primera aplicación.

mda₂^{***}: Meses después de la segunda aplicación.

Fuente: ANEXOS (15, 16, 17, 18, 19, 20, 21 y 22).

De acuerdo con el Análisis de Varianza, no se encontró un efecto por parte del tratamiento para la variable de respuesta altura de tallos en cada una de las observaciones realizadas (0 mda₁, 4 mda₁-1 mda₂, 6 mda₁-3 mda₂, 9 mda₁-6 mda₂) (Cuadro 7).

Las plantas que no fueron tratadas (T1) presentaron medias inferiores a las plantas tratadas con ProGibb® 40WG a diferentes dosis (T2 y T4) y ProGibb® 40WG y con la mezcla de fertilizantes foliares (T3), en la Figura 9, se muestra mejor dicho comportamiento y el momento en que se aplica el madurante tipo herbicida al cultivo.

Kaufman *et al.* (1981), aseguran que la aplicación exógena de ácido giberélico promueve la elongación de los tallos al ser evaluados en tres cultivares de caña de azúcar, en dicho estudio se presentó un aumento en la altura de los tallos al aumentar la dosis de ácido giberélico, lo cual difiere de los resultados encontrados en el presente experimento, puesto que las tres últimas

observaciones se encontró mayor elongación en los tallos tratados con ProGibb® 40WG en dosis de 10 g PC/ha (T2), mientras que aquellos que se trataron con ProGibb® 40WG en dosis de 20 g PC/ha (T4), presentaron tallos con altura similar a los que no fueron tratados (T1).

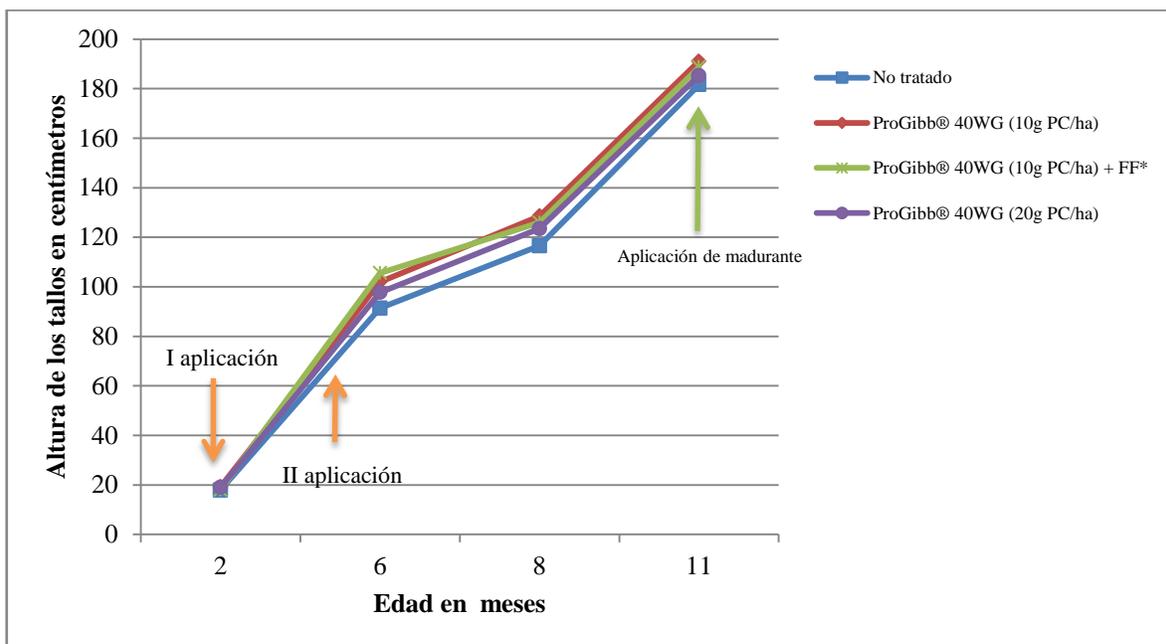


Figura 9. Representación de la tendencia de la longitud de tallos de caña de azúcar por tratamiento en estudio del ácido giberélico (ProGibb® 40 WG) sobre el rendimiento y calidad de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.) var. NA 56-42. Liberia, Guanacaste, Costa Rica. 2014-2015.

El uso de herbicida como madurante toma importancia en este experimento puesto que su uso tiende a detener el crecimiento del cultivo y promover la concentración de sacarosa, principalmente en el tercer tercio del tallo (sección próxima al palmito) (Domingos 1995).

4.2.2 Longitud de entrenudos

La obtención de la longitud de los entrenudos de los tallos se realizó durante cada una de las evaluaciones. La Figura 10, representa la longitud de cada entrenudo, desde el entrenudo 1 (EN_1) hasta el entrenudo 19 (EN_19), identificados desde la base del suelo hacia el ápice del tallo para cada uno de los tratamientos. Esta representación gráfica corresponde a las medias obtenidas

durante la última observación (9 mda₁-6 mda₂). Cabe tener en consideración que esta medición se efectuó sobre aquellos entrenudos que estaban completamente desarrollados en cada momento de observación (0 mda₁, 4 mda₁-1 mda₂, 6 mda₁-3 mda₂ y 9 mda₁-6 mda₂).

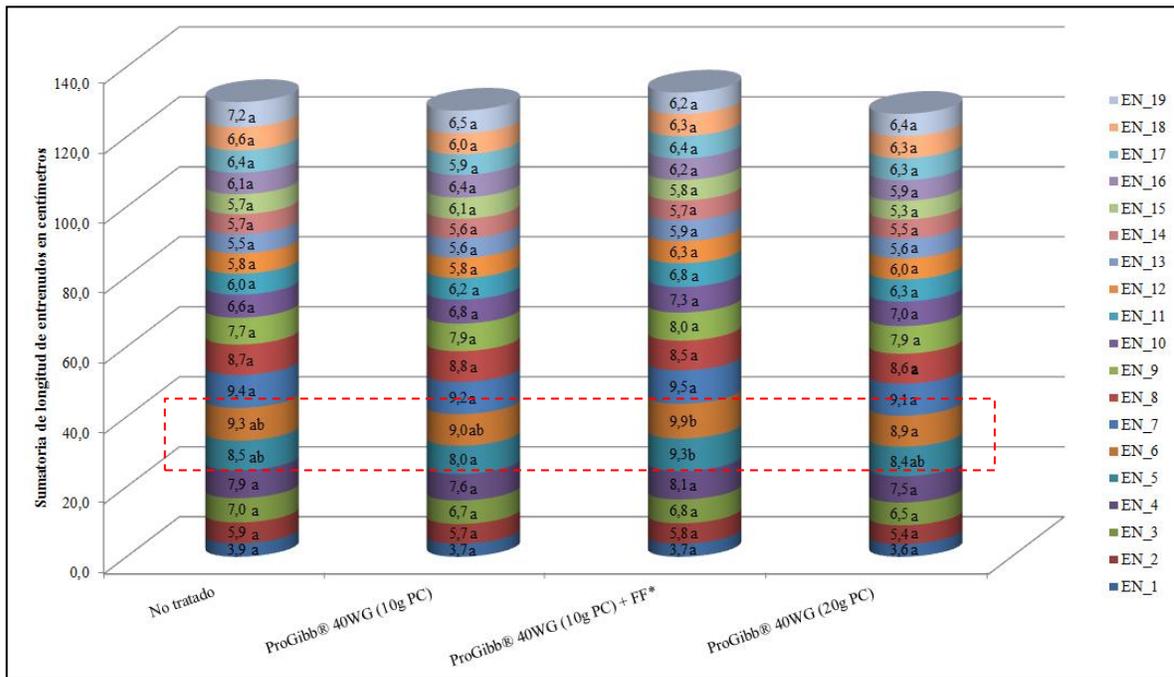


Figura 10. Representación de la longitud de los entrenudos de caña de azúcar por tratamiento en la observación final en estudio del ácido giberélico (ProGibb® 40 WG) sobre el rendimiento y calidad de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.) var. NA 56-42. Liberia, Guanacaste, Costa Rica. 2014-2015. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). EN: entrenudo.

Considerando lo mencionado por Aponte (1994) y Álvarez (2010), la longitud de los entrenudos del tallo se mantuvo bajo los valores reportados por la literatura para la variedad NA 56-42, es decir una longitud menor a 15 cm

Durante la segunda observación se obtuvo como promedio general 6,31 entrenudos desarrollados (Cuadro 6), cuya longitud aumentó conforme se alejaban de la base del suelo, además los valores obtenidos durante esta evaluación representan el periodo post aplicación de los tratamientos a los 4 mda₁-1 mda₂, donde se observó que la media de la longitud en los entrenudos 5 y 6 (EN_5 y

EN_6) para las plantas que fueron tratadas con ProGibb® 40WG 10 g PC/ha y la mezcla de fertilizantes foliares (T3) fue mayor que los demás tratamientos, esta tendencia coincide con los hallazgos de Singh y Sareen (1976), quienes observaron una rápida elongación de los entrenudos de los tallos hasta un mes posterior a la aplicación de distintas dosis de ácido giberélico, sin embargo, esta tendencia no se mantuvo en edades posteriores del cultivo además en mejora del tratamiento es este experimento incluye el ácido giberélico y la adición de fertilizantes foliares.

Durán (2008), menciona que los entrenudos inferiores del tallo tienden a ser más cortos que los medios y los superiores, a la vez estos presentan longitud similar entre ellos, sin embargo, se puede observar en la Figura 10, que los entrenudos medios y superiores presentan longitudes cortas, este fenómeno se encontró generalizado en todos los tallos, independientemente del tratamiento aplicado.

Por otra parte Coleman *et al.* (1959), encontraron que al realizar aplicaciones foliares de ácido giberélico, se estimuló el alargamiento de los entrenudos conforme se aumentaba su concentración, este efecto fue observado en los entrenudos superiores del tallo, debido a que en el momento de la aplicación los entrenudos inferiores se encontraban completamente desarrollados, sin embargo, estos resultados difieren con lo expuesto en la Figura 10, puesto que la longitud no aumentó conforme la dosis de ProGibb® 40WG; además, la aplicación de dicho producto no reflejó el aumento de los entrenudos ubicados en la sección media y superior del tallo.

Quintero (1995, 2004) menciona que la deficiencia de elementos como magnesio, boro y zinc provoca el acortamiento de la longitud de los entrenudos, además Durán (2008), asegura que factores estresantes como, la baja radiación, la competencia entre los tallos y el déficit hídrico dificulta que se alarguen los entrenudos de los tallos de la caña de azúcar, de manera que tomando en cuenta lo expuesto por Gutiérrez (2015), quien afirma que conforme disminuye el potencial hídrico en el suelo se afectan procesos fisiológicos, uno de los procesos

que muestra más sensibilidad a este estrés es el crecimiento celular Hsiao (1973). Lo anterior puede suponerse mediante el Anexo 41, que muestra el comportamiento acumulado de la precipitación mensual y su distribución durante el ciclo productivo del cultivo, donde la distribución de la precipitación a lo largo del año sobre el área experimental, crearon una condición hídrica estresante especialmente durante la fase inicial de gran crecimiento del cultivo.

La baja o nula respuesta de la elongación de los entrenudos de los tallos de la caña de azúcar, bajo la condición de estrés por déficit hídrico puede explicarse si se toma en cuenta la investigación realizada por Hameed (1980), quien asegura que el incremento en el estrés hídrico en la caña de azúcar reduce la actividad del ácido giberélico en el crecimiento del tallo, mientras que el incremento de la turgencia de la planta promovía su actividad

4.2.3 Diámetro de tallo

Durante las evaluaciones ejecutadas al diámetro de los tallos se obtuvo una variación general desde 12,10 mm cuando estas iniciaron hasta llegar a 24,03 mm, en la etapa final, es decir en la última medición. El comportamiento de las medias respecto al engrosamiento de los tallos evaluados fue similar en cada momento de observación y en toda el área experimental; lo que indica que no se presentó un efecto por parte de los tratamientos, en las cuatro observaciones realizadas (0 mda₁, 4 mda₁-1 mda₂, 6 mda₁-3 mda₂, 9 mda₁-6 mda₂) (Cuadro 8).

Cuadro 8. Diámetro de los tallos de caña de azúcar por tratamiento en cada observación en estudio del ácido giberélico (ProGibb® 40 WG) sobre el rendimiento y calidad de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.) var. NA 56-42. Liberia, Guanacaste, Costa Rica. 2014-2015.

Trat.	Descripción	Dosis (g PC/ha)	Periodo post aplicación (mda ₁ ^{**} - mda ₂ ^{***}) y meses de edad del cultivo (meses)			
			0 mda ₁	4 mda ₁ -1 mda ₂	6 mda ₁ -3 mda ₂	9 mda ₁ -6 mda ₂
			2 meses (p=0,3009)	6 meses (p=0,3284)	8 meses (p=0,1092)	11 meses (p=0,0103)
1	No tratado	0	12,02a	23,63a	23,78a	24,31ab
2	ProGibb® 40WG	10	13,00a	24,89a	25,43a	24,78b
3	ProGibb® 40WG	10 + FF*	11,35a	23,77a	23,86a	23,05a
4	ProGibb® 40WG	20	12,03a	23,90a	24,16a	23,99ab
Media general		---	12,10	24,05	24,31	24,03

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0,05).

FF*: Mezcla de fertilizantes foliares, ver Cuadro 1.

mda₁^{***}: Meses después de la primera aplicación.

mda₂^{***}: Meses después de la segunda aplicación.

Fuente: ANEXOS (23, 24, 25, 26, 27, 28, 29 y 30).

Al inicio de las evaluaciones (0 mda₁), pese a que se procuró seleccionar tallos homogéneos, surgieron algunas diferencias entre medias, siendo los tallos que iban a ser tratados con ProGibb® 40WG 10 g PC/ha (T2) los que presentaron la media mayor. A pesar de lo anterior no fueron estadísticamente significativas.

Al finalizar el ciclo de las evaluaciones, se observó que tallos que habían sido tratados con ProGibb® 40WG 10 g PC/ha (T2) mantuvieron un diámetro mayor a los demás tratamientos. De acuerdo con Tukey 5%, este tratamiento tuvo diferencias estadísticas con las plantas tratadas con ProGibb® 40WG 10 g PC/ha y la mezcla de fertilizantes foliares (T3), lo que no sucedió con los otros tratamientos.

Los descensos en las medias del diámetro del tallo, observadas entre la tercera y cuarta evaluación (6 mda₁-3 mda₂ y 9 mda₁-6 mda₂), pueden deberse a errores generados al momento de la medición como la variación en el lugar del

entrenado donde se realizó la evaluación, puesto que la forma del entrenado de esta variedad es obcónica (Aponte 1994 y Álvarez 2010) o bien a errores generados al momento de la medición

4.3 Rendimiento agrícola

La obtención del rendimiento agrícola se realizó al finalizar el ciclo agrícola del cultivo, el cual comprendió de aproximadamente 13 meses y posterior a la labor cosecha de cada una de las unidades experimentales. Esto permitió realizar estimaciones a toneladas de caña por hectárea.

El rendimiento agrícola general del área experimental osciló en 55,03 toneladas por hectárea, siendo muy homogénea entre los tratamientos evaluados (Cuadro 9). Mediante el Análisis de Varianza (ANDEVA), no se determinó un efecto atribuible a los tratamientos sobre la variable de rendimiento agrícola ($p=0,8227$).

Cuadro 9. Valores promedio del rendimiento agrícola correspondiente a cada tratamiento en estudio del ácido giberélico (ProGibb[®] 40 WG) sobre el rendimiento y calidad de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.) var. NA 56-42. Liberia, Guanacaste, Costa Rica. 2014-2015.

Tratamiento	Descripción	Dosis (g PC/ha)	Rendimiento (ton/ha) ($p=0,8227$)
1	No tratado	0	55,39a
2	ProGibb [®] 40WG	10	54,22a
3	ProGibb [®] 40WG	10 + FF*	55,24a
4	ProGibb [®] 40WG	20	55,25a
Media general			55,03

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0,05$).

FF*: Mezcla de fertilizantes foliares, ver Cuadro 1.

Fuente: ANEXOS 31 y 32.

Las plantas no tratadas (T1) mostraron la mayor media en la variable de rendimiento agrícola, mientras que el valor menor de la media de rendimiento agrícola lo presentó las plantas tratadas con ProGibb[®] 40WG 10 g PC/ha (T2), la diferencia entre ambas medias fue de 1,17 toneladas por hectárea. Desde el punto de vista agronómico, esta diferencia en el rendimiento agrícola puede ser

atribuida a la variabilidad propia del cultivo, las cuales son fáciles de observar en estos experimentos de tipo semicomercial. Vargas (2015), asegura que de manera general en el cultivo de caña de azúcar se puede encontrar diferencias entre las medias de distintos tratamientos cercanas a doce toneladas por hectárea, sin que estos sean detectadas como significativas y que factores de manejo del cultivo, o bien, efectos acumulados de sobre dosis de madurante herbicida pueden alterar rendimiento en plantaciones de ciclo soca.

Por otra parte, las plantas que fueron tratadas con ProGibb® 40WG 10 g PC/ha mezclado con fertilizantes foliares (T3) y las plantas tratadas ProGibb® 40WG 20 g PC/ha (T4) se comportaron como medias de valores intermedios entre los tratamientos anteriormente mencionados, pero sin diferencia estadística, este comportamiento se presenta en la Figura 11.

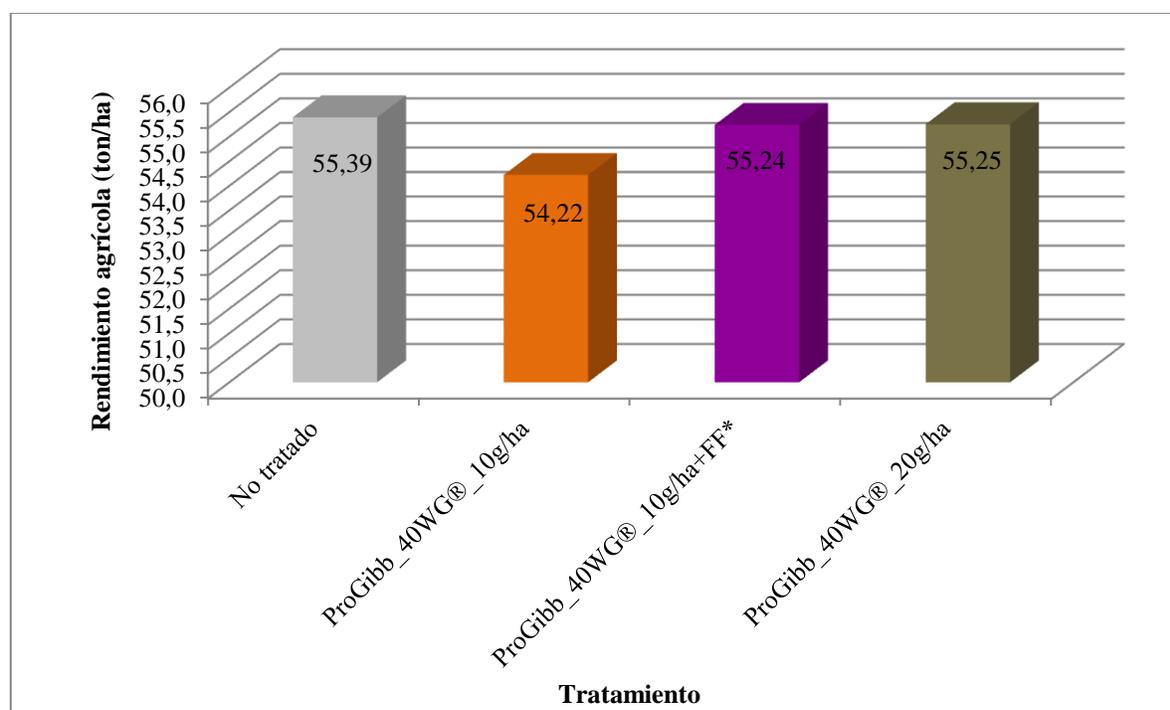


Figura 11. Representación del rendimiento agrícola en estudio de ProGibb® 40WG sobre el rendimiento y calidad de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.) var. NA 56-42. Liberia, Guanacaste, Costa Rica. 2014-2015.

Estudios realizados por Moore (1982); mencionado por Botha *et al.* (2014), revelan que existe una respuesta positiva en el rendimiento agrícola al realizar

aplicaciones exógenas de ácido giberélico mientras el cultivo de caña de azúcar se encontraba en condiciones de temperatura deficientes para su adecuado desempeño productivo.

Las condiciones de temperatura bajo las que se desarrolló este experimento no coinciden con las expuestas anteriormente, puesto que la temperatura media anual fue de 28,20 °C (Anexo 42), tomando en cuenta lo expuesto por algunos autores como Subirós (1995), Das (1933), Karno (2007), Lingle (1999), Smit y Singels (2007); mencionados por Bonnet (2014), la temperatura óptima para el desarrollo de diversos materiales genéticos durante distintas fases fenológicas oscila entre 23 °C y 33 °C, además, (Romero *et al.* 2009), reporta que el cultivo puede tolerar temperaturas de 40°C a 50°C, observándose descensos en el crecimiento vegetativo. En este caso en particular, este es un rango (23-33 °C) contempla el valor obtenido durante el estudio, por tanto, la temperatura registrada no aparentó tener un efecto adverso para el rendimiento final del cultivo.

El bajo rendimiento agrícola que presentó la variedad NA 56-42 en el área experimental, puede atribuirse al déficit hídrico que estuvo expuesta la plantación, Romero *et al.* (2009), consideran trascendental la disponibilidad hídrica durante la fase de macollamiento y la fase de gran crecimiento, ya que es en estas etapas el requerimiento hídrico del cultivo es mayor (Costa *et al.* 2010). En este experimento, durante el desarrollo ciclo agrícola del cultivo, aproximadamente el 50% de la precipitación se concentró durante los meses de setiembre y octubre (Anexo 41), lo que coincide con la segunda mitad de la fase de gran crecimiento además, estos mismos autores aseguran que la restricción hídrica tiende a afectar significativamente el rendimiento agrícola cuando esta se focaliza durante los cuatro a ocho meses de edad del cultivo.

4.4 Rendimiento industrial

El rendimiento industrial (kg azúcar/tm) del cultivo de caña de azúcar, se obtiene a partir de la estimación de indicadores de calidad del jugo, y el ajuste

matemático de Winter y Carp (LAICA 1998), para este estudio se determinó el brix, el pol, la pureza y la fibra de la caña de azúcar.

En el Cuadro 10, se presentan los indicadores de calidad obtenidos de la calidad del jugo de la caña de azúcar. Los valores promedio de estos indicadores de calidad se mostraron muy similares entre los distintos tratamientos considerados en este experimento, reflejando que no hubo diferencias estadísticas (p -valor $>0,05$) entre los mismos en ninguna de los indicadores del rendimiento industrial.

Cuadro 10. Valores promedio de los indicadores de calidad del jugo correspondiente a cada tratamiento en estudio de ProGibb® 40WG sobre el rendimiento y calidad de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.) var. NA 56-42. Liberia, Guanacaste, Costa Rica. 2014-2015.

Trat.	Descripción	Dosis (g PC/ha)	Indicador de calidad			
			Brix ($p=0,7781$)	Pol ($p=0,4758$)	Pureza ($p=0,1146$)	Fibra ($p=0,6167$)
1	No tratado	0	19,60a	16,51a	84,22a	13,27a
2	ProGibb® 40WG	10	19,77a	17,24a	87,17a	12,77a
3	ProGibb® 40WG	10 + FF*	19,54a	16,65a	85,05a	12,40a
4	ProGibb® 40WG	20	19,19a	16,16a	84,13a	12,58a
Media general		---	19,52	16,64	85,14	12,76

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0,05$).

FF*: Mezcla de fertilizantes foliares, ver Cuadro 1.

Fuente: ANEXOS brix (34, 35), pol (36, 37), pureza (38, 39) y fibra (40, 41).

4.4.1 Brix

El contenido de sólidos solubles totales del jugo de caña de azúcar, según el comparativo de medias Tukey 5%, no presentó significancia estadística entre los distintos tratamientos evaluados, presentándose pequeñas variaciones en dichas medias, el valor mínimo fue de 19,60 y el valor máximo de 19,19, pertenecientes según corresponde a las plantas que no fueron tratados (T1) y a las plantas que se trataron con ProGibb® 40WG 20 g PC/ha (T4). Subirós (1998), reporta resultados provenientes de análisis de la calidad del jugo para la variedad NA

56-42, los cuales fueron brix ($19,27 \pm 0,38$), los cuales coinciden con los obtenidos con los obtenidos en este experimento.

4.4.2 Pol

El contenido de sacarosa en una solución, se puede determinar directamente mediante polarimetría (Alfaro *et al.* 2014), esto permite diferenciar la sacarosa de aquellos otros sólidos inmersos en el jugo como azúcares reductores y sustancias no azúcares. No se obtuvo diferencias en el contenido de sacarosa en los jugos obtenidos de los diversos tratamientos (Tukey 5%), cuando el cultivo tenía una edad de trece meses posterior a la primera cosecha y 55 días posteriores de la aplicación del madurante. Intervalo de tiempo teórico permisible entre la maduración artificial y la cosecha del cultivo (Domingos 1995) (Vargas 2015). Da Silva *et al.* (2014), afirman valores pol mayores a 14 aseguran una adecuada eficiencia en el proceso industrial de la caña de azúcar.

4.4.3 Pureza

Respecto al indicador pureza, al ejecutarse el comparativo de medias Tukey con un nivel de error admisible de 5%, no se obtuvo significancia estadística entre las medias de los tratamientos evaluados, es importante tener en cuenta que este indicador es una relación porcentual entre el pol y el brix, lo que implica que su valor se verá influenciado por los indicadores mencionados con anterioridad. Valores cercanos a 100, permiten visualizar altas concentraciones de sacarosa en los tallos de caña de azúcar, para este caso en particular se obtuvo como media general 85,14% de pureza, este resultado se encuentra cercano al óptimo de acuerdo con Da Silva *et al.* (2014), quienes aseguran que el valor mínimo de pureza aceptable para el jugo de la caña de azúcar es de 85%.

4.4.4 Contenido de fibra

El valor promedio de fibra por tratamiento presentado en el Cuadro 13, coincide con valores presentados por (Subirós 1998), quien además afirma que el contenido de fibra es un factor asociado a la variedad y que varía según la edad

del cultivo. Sin embargo, la fibra que constituye a los tallos de la caña de azúcar, toma importancia durante la industrialización de la materia prima, pues un alto contenido de fibra puede significar una deficiente extracción de sacarosa (Zossi *et al.* 2010). Subirós (1998), reporta resultados provenientes de análisis de la calidad del jugo para la variedad NA 56-42, fibra ($13,22 \pm 0,37$); estos resultados coinciden con los obtenidos con los obtenidos en este estudio.

Además, es importante tener en consideración que estos valores se comportan de distinta manera y en función de factores como la variedad, la edad (Gutiérrez 2015) (Vargas 2015).

5 CONCLUSIONES

De acuerdo con las condiciones bajo las que se realizó el este experimento, se concluye que:

1. La influencia de factores ambientales estresantes como el déficit hídrico durante fases fenológicas de importancia para el crecimiento del cultivo de la caña de azúcar no permitió esclarecer la eficacia de las distintas dosis sugeridas de ProGibb® 40WG.
2. Aplicaciones de ProGibb® 40WG en dosis de 10 g PC/ha, 20 g PC/ha, así como la mezcla de 10 g PC/ha con fertilizantes foliares a los 59 y 144 días posterior a la primera cosecha, no mostraron respuestas significativas en las variables de desarrollo (población y número de entrenudos) en cada una de las observaciones realizadas durante el ciclo productivo del cultivo.
3. Aplicaciones de ProGibb® 40WG en dosis de 10 g PC/ha, 20 g PC/ha, así como la mezcla de 10 g PC/ha con fertilizantes foliares a los 59 y 144 días posterior a la primera cosecha no produjeron diferencias significativas relevantes en las variables de crecimiento (altura de tallo, longitud de entrenudos y diámetro de tallo).
4. Aplicaciones de ProGibb® 40WG en dosis de 10 g PC/ha, 20 g PC/ha, así como la mezcla de 10 g PC/ha con fertilizantes foliares a los 59 y 144 días posterior a la primera cosecha no produjeron diferencias estadísticas sobre las variables de rendimiento agrícola e indicadores de calidad (brix, pol, pureza, fibra) evaluados posterior a la cosecha.

6 RECOMENDACIONES

Realizar repeticiones de esta investigación bajo condiciones libres de estrés hídrico podrían favorecer a determinar la eficacia de ProGibb® 40WG en el cultivo de caña de azúcar para la variedad NA 56-42, asimismo ejecutar experimentos ajustados a otras zonas productoras del país con condiciones climáticas diferentes a las del lugar donde se realizó el experimento.

7 LITERATURA CONSULTADA

- Alfaro, J; Velásquez, E; Monterroso, L; Espinosa, R. 2014. El proceso de fabricación de azúcar. In. Melgar, M; Meneses, A; Orozco, H; Pérez, O; Espinosa, R; El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala, CENGICAÑA. Librerías Artemis Edinter. Guatemala. 512 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. Tesis Lic. San Carlos, Costa Rica. ITCR. 68 p.
- Aponte, F. 1994. Caracterización morfológica de quince variedades de Caña de Azúcar de importancia económica en Costa Rica. Tesis Bach. San Carlos, Costa Rica. ITCR. 45 p.
- Bakker, H. 1999. Sugar Cane Cultivation and Management (en línea). Springer Science & Business Media. Consultado 16 setiembre 2014. Disponible en http://books.google.co.cr/books?id=XvOcvhBpc1oC&dq=sugar+cane+tillerin&source=gbs_navlinks_s
- Bermúdez, L; Chávez, M. 2013. Resultados agroindustriales finales de la zafra 2012-2013. San José, Costa Rica. LAICA. 17 p.
- Bonnett, G. 2014. Developmental stages (Phenology). In. Moore, P y Botha; F. Sugar physiology, biochemistry & functional biology. New Delhi, India. Editorial Wiley. 765 p.
- 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.

- Bull, T. 2011. The biology of the *Saccharum* spp. (Sugarcane). Australia. Department of Health and Ageing Office of the Gene Technology Regulator. 64 p.
- Cassalet, C; Torres, J; Isaacs, C. 1995. El cultivo de caña en la zona azucarera de Colombia. Cali, Colombia. CENICAÑA. 394 p.
- Comparni, S. 2006. Evaluación de variedades de Caña de Azúcar (*Saccharum* spp.) en el Ingenio La Unión, Santa Lucia Cotzumalguapa (en línea). Consultado 25 setiembre 2014. Disponible en http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2285.pdf
- Chaves, M. 1999. Evolución de los rendimientos agrícolas de la caña de azúcar en Costa Rica, durante el período 1969-1998. San José, Costa Rica. LAICA. 1 p.
- Coleman, R; Todd, E; Stokes, I, Coleman O. 1959. The effects of gibberellic acid on Sugarcane. In.. Congress 10th, Hawaii, 1960 Proceedings of the International Society of Sugarcane Technologists. Eds International Society of Sugar Cane Technologists. 588-602 p.
- Costa, C; Almeida, M; Rossetto, R; Peres, R. 2010. Tópicos em ecofisiologia da cana-de-açúcar. Botucatu, Brasil. Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais. 111 p.
- Domingos, J. 1995. Fisiologia da cana-de-açúcar. Botucatu, Brasil. Universidade Estadual Paulista. 99 p.
- Da Silva, H; Abackerli, F; Tasso, L; Omir, M. 2014. Porcentagem de sacarose aparente e potencial produtivo de açúcar em cultivares de cana (en línea). Scientia Agropecuaria. Consultado 1 agosto 2015. Disponible en <http://www.scielo.org.pe/pdf/agro/v5n1/a06v5n1.pdf>

- Durán, A. 2008. Determinación de curvas de absorción de nutrientes para la variedad Mex 79-431 de caña de azúcar en la Compañía Azucarera Tres Valles, Cantarranas, Honduras. Tesis Lic. Francisco Morazán, Honduras. Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano
- Durán, J; Oviedo, M. 2012. Catálogo de variedades de caña de azúcar cultivadas en algunas regiones cañeras de Costa Rica. Grecia, Costa Rica. Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar. 48 p.
- Fauconnier, R; Bassereau, D. 1975. La caña de azúcar. Trad Bota, E. Barcelona, España. CERSA. 433 p.
- Fernández, V; Eichert, T. 2009. Uptake of hydrophilic solutes through plant leaves: current state of knowledge and perspectives of foliar fertilization (en línea). Consultado 15 noviembre 2014. Disponible en http://digital.csic.es/bitstream/10261/12470/1/FernandezV_CritRevPlantSci_2009.pdf
- Fernández, V; Sotiropoulos, T; Brown, P. 2013. Foliar Fertilization: Scientific Principles and Field Practices. Paris, Francia. International Fertilizer Industry Association. 144 p.
- Ferrari, S; Júnior, E; Ferrar, J; Santos, M; Aires, D. 2008. Desenvolvimento e produtividade do algodoeiro em função de espaçamentos e aplicação de regulador de crescimento. (en línea). Acta Scientiarum. 30 (3): 365-371. Consultado 9 setiembre 2013. Disponible en <http://www.periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/view/3546/2490>
- Ferreira, E; Ventrella, M; Santos, J; Barbosa, M; Silva, A; Procópio, S; Silva, E. 2007. Leaf blade quantitative anatomy of sugarcane cultivars and clones (en línea). Planta daninha. 25 (1) 25-34. Consultado 27 octubre 2014. Disponible en http://www.scielo.br/scielo.php?pid=s0100-83582007000100003&script=sci_arttext

- Ferreira, R; Souza, J; Lyra, G; Ledo, T; Dos Santos, M; Porfirio, A. 2012. Crecimiento e fotosíntese de cana-de-açúcar em função de variáveis biométricas e meteorológicas (en línea). Revista brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. 16 (11) 1229-1236. Consultado el 11 setiembre 2014. Disponible en <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v16n11/v16n11a12.pdf>
- Font Quer, P. 1985. Diccionario botánico. Barcelona, España. Editorial Labor. 1244 p.
- González, C; Ramírez, F; Bertsch, F. 1998. Absorción foliar de fertilizantes en Helecho hoja de cuero (*Rumohra adiantiformis*) (en línea). Agronomía Costarricense 22 (2) 243-250. Consultado el 29 de setiembre 2014. Disponible en http://www.mag.go.cr/rev_agr/v22n02_243.pdf
- Gopalasundaram, P;. Bhaskaran A; Rakkiyappan, P. 2012. Integrated nutrient management in sugarcane (en línea). Sugar Tech 14 (1):3-20. Consultado 10 diciembre 2013. Disponible en <http://link.springer.com/article/10.1007/s12355-011-0097-x#page-1>
- Guardiola, L; Amparo. 1991. Fisiología vegetal I: Nutrición y transporte. Editorial Síntesis. Madrid, España. 440 p.
- Guevara, E; Rodríguez, W. 2001. Arquitectura vegetal e intercepción de la luz. In. Villalobos, E. ed. Fisiología de la producción de cultivos tropicales. Editorial Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 77 p.
- Gutiérrez, M. 2015. Relaciones hídricas el flujo de savia y el uso del agua. In. La fisiología de la caña de azúcar. Curso de fisiología del cultivo de caña de azúcar. 2015. Alajuela, Costa Rica.
- Hameed, A. 1980. Studies on the relationship between plant stress and growth regulators in sugarcane plant. pakistan journal agricultural research 1 (2): 108-112

- Hsiao, T. 1973. Plant responses to wáter stress (en línea). Annual Reveiw Plant Physiology. 24 (519): 520-570. Consultado el 16 julio 2015. Disponible en <http://www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev.pp.24.060173.002511>
- 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) (en línea). Asian Journal of Plant Sciences 1 (4):462-463. Consultado el 18 diciembre 2013. Disponible en <http://docsdrive.com/pdfs/ansinet/ajps/2002/462-463.pdf>
- 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. Consultado el 3 julio 2015. Disponible en <http://www.plantphysiol.org/content/68/2/314.full.pdf+html>
- Larrahondo, J. 1995. Calidad de la caña de azúcar (en línea). CENICAÑA. Consultado 02 octubre 2013. Disponible en http://www.cenicana.org/pdf/documentos_no_seriados/libro_el_cultivo_cana/libro_p337-354.pdf
- Larrahondo, J. 2014. Sacarosa: conceptos fundamentales en la industria azucarera y sucroquímica. Memoria IX Congreso de ATALAC. San José, Costa Rica. 549 p.
- Liga Agrícola de Caña de Azúcar. 1998. Decreto N° 28665-MAG Reglamento ejecutivo de la Ley orgánica de la agricultura e industria de caña de azúcar. San José, Costa Rica. 125 p.
- Mathew, T; Kurain, T; Sosamma, J; Kuriakose, M; ;Sreekumar, K; Jayakumar, G. 2004. Effect of time and mode of application of potassium on the growth, yield and quality of sugarcane ratoon (en línea). Sugar Tech 6 (12): 81-83. Consultado 12 diciembre 2013. Disponible en <http://link.springer.com/article/10.1007%2FBF02942624>

- Mengel, K; Kirkby, E. 1987. Principles of plant nutrition. 4to Ed. International Potash Institute, Bern, Suiza. 687 p
- Moore, P. 1980. Additive and nonadditive effects of serial applications of gibberellic acid on sugarcane internode growth. *Physiologia Plantarum*. (49): 271-276
- Murillo, R; Piedra, G; León, R. 2013. Absorción de nutrientes a través de la hoja (en línea). *Revista UNICIENCIA*. 1 (27) 232-244. Consultado el 30 octubre 2014. Disponible en <http://revistas.una.ac.cr/index.php/uniciencia/article/view/4952>
- Navarro, S; Navarro, G. 2003. Química agrícola. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 489 p.
- Oad, F; Jmaro, G; Lakh, A; Chandio, G. 2002. Correlation of growth traits and yield of sugarcane with micronutrients (en línea). *Pakistan Journal of Applied Sciences* 2 (7): 735-738. Consultado el 20 diciembre 2013. Disponible en <http://docsdrive.com/pdfs/ansinet/jas/2002/735-738.pdf>
- Ocrospoma, D. 2008. Situación y perspectivas de los biocombustibles en el Perú. (en línea). Lima, Perú. IICA. Consultado el 10 setiembre 2013. Disponible en http://books.google.co.cr/books?id=DojaADLeflcC&printsec=frontcover&source=gbg_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Quintero, R. 1995. Fertilización y nutrición. In. Cassalet, D; Torres, A; Isaacs, C. eds. El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar en Colombia. Cali, Colombia. 394 p.
- Quintero, R. 2004. Efectos de la aplicación de elementos menores en caña de azúcar en suelos del valle del Río Cauca (en línea). Centro de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Colombia. Consultado el 15 noviembre 2014. Disponible en http://www.cenicana.org/pdf/no_clasificacion/5921.pdf

- Ramsay, R. 2003. Effect of humidity on the absorption and efficacy of glufosinate ammonium in will oat (*Avena fatua* L.). Tesis Ph.D. Ontario, Canada. The University of Guelph. 113 p.
- 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.
- Rengel, M; Gil, F; Montaña, J. 2011. Crecimiento y dinámica de acumulación de nutrientes en caña de azúcar. I. Macronutrientes. (en línea) Bioagro 21 (3):43-50. Consultado el 6 mayo 2015. Disponible en <http://www.scielo.org.ve/pdf/ba/v23n1/art06.pdf>
- Rengel, M; Gil, F; Montaña, J. 2011. Crecimiento y dinámica de acumulación de nutrientes en caña de azúcar. II. Micronutrientes. (en línea) Bioagro 21 (3):43-50. Consultado el 6 mayo 2015. Disponible en <http://www.scielo.org.ve/pdf/ba/v23n2/art09.pdf>
- Romero, E; Scandaliaris, J; Digonzelli, P; Leggio, M; Giardina, J; Ullivarri, J, Casen, S; Tonatto, M; Alonso, L. 2009. Manual del cañero. Tucumán, Argentina. Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres. 232 p.
- Salas, R. 2002. Herramientas de diagnóstico para definir recomendaciones de fertilización foliar. In. Meléndez, G; Molina, E. eds. Fertilización foliar: principios y aplicaciones. Centro de Investigaciones Agronómicas/Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 142 p.
- Salisbury, F; Ross, C. 2000. Fisiología de las plantas. Grupo Editorial Iberoamérica. S.A. de C.V. México. Versión en español. 759 p.
- Sánchez, F. 1972. Materia prima: caña de azúcar. Librería de Porrúa Hnos. México D.F, México. 583 p.
- Santamarina, P; García, F; Roselló, J. 1997. Biología y botánica. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España. 362 p.

- Segura, A. 2002. Principios y aplicaciones de fertilización foliar. In. Meléndez, G; Molina, E. eds. Fertilización foliar: principios y aplicaciones. Centro de Investigaciones Agronómicas/Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 142 p.
- Shibles, R; Villalobos, E. 2001. Fotosíntesis. In. Villalobos, E. ed. Fisiología de la producción de cultivos tropicales. Editorial Unversidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 235 p.
- Singh, G; Sareen, K. 1976. Effect of growth regulators on growth, juice quality and yield of sugarcane in Co.J.64. India. Indian Sugar. 911-915 p.
- Subirós, F. 1998. Calidad del jugo y contenido de fibra de tres variedades de caña de azúcar en un ciclo de crecimiento en Guanacaste, Costa Rica (en línea). Agronomía Costarricense 22(2): 173-184. Consultado 01 octubre 2013. Disponible en http://www.mag.go.cr/rev_agr/v22n02_173.pdf
- Taiz, L; Zeiger, E. 2006. Fisiología vegetal. 3 ed. Castellón, España. Universitat Jaume I. 2 vols. 650 p.
- Trinidad, A, Aguilar, D. 2000. Fertilización foliar, un respaldo importante en el rendimiento de los cultivos (en línea). Revista Terra 17 (3): 247-255. Consultado 17 noviembre 2014. Disponible en <http://www.chapingo.mx/terra/contenido/17/3/art247-255.pdf>
- Valent Biosciences Corporation. 2013. Plant growth regulators (en línea). Consultado el 16 diciembre 2013. Disponible en <http://pgr.valentbiosciences.com/>
- Vargas, J. 2015. Resultados programa de madurantes zafra 2014-2015. Liberia, Guanacaste. Presentación Power Point. Central Azucarera del Tempisque S.A

- Vargas, J. 2015. Variabilidad del rendimiento agrícola en la caña de azúcar (comunicación personal). Liberia, Guanacaste. Central Azucarera del Tempisque S.A
- Villalobos, E. 2001. Fisiología de la producción de los cultivos tropicales: Procesos fisiológicos básicos. San José, Costa Rica. Editorial Universidad de Costa Rica. 231 p.
- Zossi, B; Cárdenas, G; Sorol, N; Sastre, M. 2010. Influencia de compuestos azúcares y no azúcares en la calidad industrial de caña de azúcar en Tucumán (R. Argentina) Parte 1: caña limpia y despuntada (en línea). Revista industrial y agrícola de Tucumán. 87(1): 15-27. Consultado 01 octubre 2013. Disponible en <http://www.scielo.org.ar/pdf/riat/v87n1/v87n1a03.pdf>

8 ANEXOS

Anexo 1. Análisis de Varianza (ANDEVA) para la variable población a 0 mda₁.

Población

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Población	20	0,18	0,00	17,62

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	167,53	7	23,93	0,38	0,8943
Bloque	119,05	4	29,76	0,48	0,7516
Tratamiento	48,48	3	16,16	0,26	0,8532
Error	747,38	12	62,28		
Total	914,91	19			

Anexo 2. Prueba de medias Tukey 5% para la variable población a 0 mda₁.

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=14,81850

Error: 62,2813 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.
ProGibb® 40WG (10g PC) + FF*	43,15	5	3,53 A
Testigo	43,95	5	3,53 A
ProGibb® 40WG (10g PC)	44,75	5	3,53 A
ProGibb® 40WG (20g PC)	47,30	5	3,53 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 3. Análisis de Varianza (ANDEVA) para la variable población a 4 mda₁-1 mda₂.

Población

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Población	20	0,61	0,38	6,28

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	68,03	7	9,72	2,65	0,0661
Bloque	57,28	4	14,32	3,91	0,0295
Tratamiento	10,75	3	3,58	0,98	0,4354
Error	43,97	12	3,66		
Total	112,00	19			

Anexo 4. Prueba de medias Tukey 5% para la variable población a 4 mda₁-1 mda₂.

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=3,59411

Error: 3,6638 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.
ProGibb® 40WG (10g PC)	29,63	5	0,86 A
Testigo	29,90	5	0,86 A
ProGibb® 40WG (10g PC) + FF*	31,03	5	0,86 A
ProGibb® 40WG (20g PC)	31,37	5	0,86 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 5. Análisis de Varianza (ANDEVA) para la variable población a 6 mda₁-3 mda₂.

Población

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Población	20	0,45	0,14	7,51

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	30,28	7	4,33	1,43	0,2792
Bloque	16,71	4	4,18	1,38	0,2978
Tratamiento	13,57	3	4,52	1,50	0,2656
Error	36,28	12	3,02		
Total	66,56	19			

Anexo 6. Prueba de medias Tukey 5% para la variable población a 6 mda₁-3 mda₂.

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=3,26489

Error: 3,0233 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.
ProGibb® 40WG (10g PC)	21,73	5	0,78 A
Testigo	23,47	5	0,78 A
ProGibb® 40WG (20g PC)	23,67	5	0,78 A
ProGibb® 40WG (10g PC) + FF*	23,73	5	0,78 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 7. Análisis de Varianza (ANDEVA) para la variable población a 9 mda₁-6 mda₂.

Población

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Población	20	0,27	0,00	11,69

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	30,26	7	4,32	0,65	0,7107
Bloque	20,65	4	5,16	0,77	0,5632
Tratamiento	9,61	3	3,20	0,48	0,7023
Error	80,12	12	6,68		
Total	110,39	19			

Anexo 8. Prueba de medias Tukey 5% para la variable población a 9 mda₁-6 mda₂.

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=4,85190

Error: 6,6769 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.
-------------	--------	---	------

ProGibb® 40WG (10g PC)	21,09	5	1,16	A
Testigo	21,83	5	1,16	A
ProGibb® 40WG (10gPC) + FF*	22,60	5	1,16	A
ProGibb® 40WG (20g PC)	22,87	5	1,16	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Anexo 9. Análisis de Varianza (ANDEVA) para la variable número de entrenudos a 4 mda₁-1 mda₂.

Número entrenudos

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Número entrenudos	20	0,90	0,84	6,14

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	15,61	7	2,23	14,87	<0,0001
Bloque	14,94	4	3,74	24,90	<0,0001
Tratamiento	0,67	3	0,22	1,49	0,2661
Error	1,80	12	0,15		
Total	17,41	19			

Anexo 10. Prueba de medias Tukey 5% para la variable número de entrenudos a 4 mda₁-1 mda₂.

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,72719

Error: 0,1500 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.
Testigo	6,01	5	0,17 A
ProGibb® 40WG (20g PC)	6,29	5	0,17 A
ProGibb® 40WG (10g PC)	6,45	5	0,17 A
ProGibb® 40WG (10g PC) + FF*	6,47	5	0,17 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Anexo 11. Análisis de Varianza (ANDEVA) para la variable número de entrenudos a 6 mda₁-3 mda₂.

Número entrenudos

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Número entrenudos	20	0,71	0,54	4,95

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	7,54	7	1,08	4,17	0,0150
Bloque	4,46	4	1,11	4,31	0,0217
Tratamiento	3,08	3	1,03	3,97	0,0352
Error	3,10	12	0,26		
Total	10,64	19			

Anexo 12. Prueba de medias Tukey 5% para la variable número de entrenudos a 6 mda₁-3 mda₂.

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,95473

Error: 0,2585 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
Testigo	9,61	5	0,23	A
ProGibb® 40WG (10g PC)	10,41	5	0,23	A B
ProGibb® 40WG (20g PC)	10,42	5	0,23	A B
ProGibb® 40WG (10g PC) + FF*	10,65	5	0,23	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 13. Análisis de Varianza (ANDEVA) para la variable número de entrenudos a 9 mda₁-6 mda₂.

Número entrenudos

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Número entrenudos	20	0,31	0,00	13,61

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	39,53	7	5,65	0,79	0,6111
Bloque	31,00	4	7,75	1,08	0,4087
Tratamiento	8,53	3	2,84	0,40	0,7581
Error	86,06	12	7,17		
Total	125,59	19			

Anexo 14. Prueba de medias Tukey 5% para la variable número de entrenudos a 9 mda₁-6 mda₂.

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=5,02845

Error: 7,1716 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
ProGibb® 40WG (10g PC)	18,57	5	1,20	A
Testigo	19,84	5	1,20	A
ProGibb® 40WG (10g PC) + FF*	20,05	5	1,20	A
ProGibb® 40WG (20g PC)	20,23	5	1,20	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 15. Análisis de Varianza (ANDEVA) para la variable altura de tallo a 0 mda₁.

Altura tallo (cm)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Altura tallo	20	0,42	0,08	8,07

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	19,48	7	2,78	1,25	0,3512
Bloque	12,19	4	3,05	1,37	0,3031
Tratamiento	7,30	3	2,43	1,09	0,3909
Error	26,78	12	2,23		
Total	46,27	19			

Anexo 16. Prueba de medias Tukey 5% para la variable altura de tallo a 0 mda₁.**Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=2,80526**

Error: 2,2320 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.
Testigo	17,83	5	0,67 A
ProGibb® 40WG (10g PC) + FF*	18,01	5	0,67 A
ProGibb® 40WG (20g PC)	18,98	5	0,67 A
ProGibb® 40WG (10g PC)	19,23	5	0,67 A

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)***Anexo 17. Análisis de Varianza (ANDEVA) para la variable altura de tallo a 4 mda₁ – 1 mda₂.****Altura tallo (cm)**

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Altura tallo	20	0,56	0,30	8,24

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	999,81	7	142,83	2,14	0,1178
Bloque	443,87	4	110,97	1,66	0,2225
Tratamiento	555,94	3	185,31	2,78	0,0868
Error	800,35	12	66,70		
Total	1800,15	19			

Anexo 18. Prueba de medias Tukey 5% para la variable altura de tallo a 4 mda₁ – 1 mda₂.**Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=15,33468**

Error: 66,6957 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.
Testigo	91,38	5	3,65 A
ProGibb® 40WG (20g PC)	97,73	5	3,65 A
ProGibb® 40WG (10g PC)	101,98	5	3,65 A
ProGibb® 40WG (10g PC) + FF*	105,54	5	3,65 A

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)***Anexo 19. Análisis de Varianza (ANDEVA) para la variable altura de tallo a 6 mda₁ – 3 mda₂.**

Altura tallo (cm)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Altura tallo	20	0,47	0,16	6,02

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	590,53	7	84,36	1,53	0,2482
Bloque	186,88	4	46,72	0,84	0,5232
Tratamiento	403,65	3	134,55	2,43	0,1155
Error	663,64	12	55,30		
Total	1254,17	19			

Anexo 20. Prueba de medias Tukey 5% para la variable altura de tallo a 6 mda₁ – 3 mda₂.

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=13,96371

Error: 55,3032 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.
Testigo	116,42	5	3,33 A
ProGibb® 40WG (20g PC)	123,49	5	3,33 A
ProGibb® 40WG (10g PC) + FF*	126,00	5	3,33 A
ProGibb® 40WG (10g PC)	128,44	5	3,33 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 21. Análisis de Varianza (ANDEVA) para la variable altura de tallo a 9 mda₁ – 6 mda₂.

Altura tallo (cm)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Altura tallo	20	0,41	0,07	5,03

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	740,97	7	105,85	1,20	0,3702
Bloque	548,58	4	137,14	1,56	0,2473
Tratamiento	192,39	3	64,13	0,73	0,5537
Error	1054,36	12	87,86		
Total	1795,33	19			

Anexo 22. Prueba de medias Tukey 5% para la variable altura de tallo a 9 mda₁ – 6 mda₂.

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=17,60067

Error: 87,8632 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.
Testigo	181,64	5	4,19 A
ProGibb® 40WG (20g PC)	185,27	5	4,19 A
ProGibb® 40WG (10g PC) + FF*	188,70	5	4,19 A
ProGibb® 40WG (10g PC)	189,45	5	4,19 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 23. Análisis de Varianza (ANDEVA) para la variable diámetro de tallo a 0 mda₁.

Diámetro tallo (mm)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Diámetro tallo	20	0,28	0,00	10,80

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	8,06	7	1,15	0,67	0,6913
Bloque	1,19	4	0,30	0,17	0,9476
Tratamiento	6,87	3	2,29	1,34	0,3072
Error	20,49	12	1,71		
Total	28,55	19			

Anexo 24. Prueba de medias Tukey 5% para la variable diámetro de tallo a 0 mda₁.

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=2,45370

Error: 1,7076 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.
ProGibb® 40WG (10g PC) + FF*	11,35	5	0,58 A
Testigo	12,02	5	0,58 A
ProGibb® 40WG (20g PC)	12,03	5	0,58 A
ProGibb® 40WG (10g PC)	13,00	5	0,58 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 25. Análisis de Varianza (ANDEVA) para la variable diámetro de tallo a 4 mda₁- 1 mda₂.

Diámetro tallo (mm)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Diámetro tallo	20	0,57	0,33	4,72

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	20,81	7	2,97	2,31	0,0968
Bloque	15,90	4	3,98	3,09	0,0578
Tratamiento	4,91	3	1,64	1,27	0,3284
Error	15,44	12	1,29		
Total	36,24	19			

Anexo 26. Prueba de medias Tukey 5% para la variable diámetro de tallo a 4 mda₁- 1 mda₂.

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=2,12959

Error: 1,2863 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.
Testigo	23,63	5	0,51 A
ProGibb® 40WG (10g PC) + FF*	23,77	5	0,51 A
ProGibb® 40WG (20g PC)	23,90	5	0,51 A
ProGibb® 40WG (10g PC)	24,89	5	0,51 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 27. Análisis de Varianza (ANDEVA) para la variable diámetro de tallo a 6 mda₁- 3 mda₂.

Diámetro tallo (mm)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Diámetro tallo	20	0,53	0,26	4,51

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	16,31	7	2,33	1,95	0,1483
Bloque	7,34	4	1,83	1,53	0,2547
Tratamiento	8,98	3	2,99	2,50	0,1092
Error	14,36	12	1,20		
Total	30,68	19			

Anexo 28. Prueba de medias Tukey 5% para la variable diámetro de tallo a 6 mda₁- 3 mda₂.

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=2,05439

Error: 1,1971 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.
Testigo	23,69	5	0,49 A
ProGibb® 40WG (10g PC) + FF*	23,88	5	0,49 A
ProGibb® 40WG (20g PC)	24,16	5	0,49 A
ProGibb® 40WG (10g PC)	25,41	5	0,49 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 29. Análisis de Varianza (ANDEVA) para la variable diámetro de tallo a 9 mda₁- 6 mda₂.

Diámetro tallo (mm)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Diámetro tallo	20	0,62	0,40	2,82

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	8,94	7	1,28	2,78	0,0576
Bloque	0,81	4	0,20	0,44	0,7754
Tratamiento	8,12	3	2,71	5,89	0,0103
Error	5,51	12	0,46		
Total	14,45	19			

Anexo 30. Prueba de medias Tukey 5% para la variable diámetro de tallo a 9 mda₁- 6 mda₂.

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1,27267

Error: 0,4594 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
ProGibb® 40WG (10g PC) + FF*	23,05	5	0,30	A
ProGibb® 40WG (20g PC)	23,99	5	0,30	A B
Testigo	24,31	5	0,30	A B
ProGibb® 40WG (10g PC)	24,80	5	0,30	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 31. Análisis de Varianza (ANDEVA) para la variable rendimiento agrícola.

Rendimiento (ton/ha)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rendimiento (ton/ha)	20	0,38	0,02	4,00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	35,73	7	5,10	1,05	0,4454
Bloque	31,33	4	7,83	1,62	0,2330
Tratamiento	4,40	3	1,47	0,30	0,8227
Error	58,07	12	4,84		
Total	93,80	19			

Anexo 32. Prueba de medias Tukey 5% para la variable rendimiento agrícola.

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=4,13047

Error: 4,8389 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
ProGibb_40WG®_10g/ha	54,22	5	0,98	A
ProGibb_40WG®_10g/ha+FF*	55,24	5	0,98	A
ProGibb_40WG®_20g/ha	55,25	5	0,98	A
Testigo	55,39	5	0,98	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 33. Análisis de Varianza (ANDEVA) para el indicador de calidad del jugo brix.

Brix

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Brix	20	0,30	0,00	4,62

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	4,14	7	0,59	0,73	0,6526
Bloque	3,25	4	0,81	1,00	0,4455
Tratamiento	0,90	3	0,30	0,37	0,7781
Error	9,76	12	0,81		
Total	13,90	19			

Anexo 34. Prueba de medias Tukey 5% para el indicador de calidad del jugo brix.

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1,69313

Error: 0,8131 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.
ProGibb_40WG®_20g/ha	19,19	5	0,40 A
ProGibb_40WG®_10g/ha+FF	19,54	5	0,40 A
Testigo	19,60	5	0,40 A
ProGibb 40WG® 10g/ha	19,77	5	0,40 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 35. Análisis de Varianza (ANDEVA) para el indicador de calidad del jugo pol.

Pol

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Pol	20	0,52	0,24	6,42

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	14,99	7	2,14	1,87	0,1618
Bloque	11,95	4	2,99	2,62	0,0882
Tratamiento	3,04	3	1,01	0,89	0,4758
Error	13,71	12	1,14		
Total	28,70	19			

Anexo 36. Prueba de medias Tukey 5% para el indicador de calidad del jugo pol.

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=2,00690

Error: 1,1424 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.
ProGibb_40WG®_20g/ha	16,16	5	0,48 A
Testigo	16,51	5	0,48 A
ProGibb_40WG®_10g/ha+FF	16,65	5	0,48 A
ProGibb 40WG® 10g/ha	17,24	5	0,48 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 37. Análisis de Varianza (ANDEVA) para el indicador de calidad del jugo pureza.

Pureza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Pureza	20	0,76	0,62	2,37

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	152,73	7	21,82	5,36	0,0056
Bloque	122,93	4	30,73	7,55	0,0028
Tratamiento	29,80	3	9,93	2,44	0,1146
Error	48,82	12	4,07		

Total 201,55 19

Anexo 38. Prueba de medias Tukey 5% para el indicador de calidad del jugo pureza.

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=3,78742

Error: 4,0685 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.
ProGibb_40WG®_20g/ha	84,13	5	0,90 A
Testigo	84,20	5	0,90 A
ProGibb_40WG®_10g/ha+FF	85,05	5	0,90 A
ProGibb_40WG®_10g/ha	87,15	5	0,90 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 39. Análisis de Varianza (ANDEVA) para el indicador de calidad del jugo fibra.

Fibra

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Fibra	20	0,57	0,32	8,35

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	17,95	7	2,56	2,26	0,1029
Bloque	15,84	4	3,96	3,49	0,0413
Tratamiento	2,10	3	0,70	0,62	0,6167
Error	13,62	12	1,14		
Total	31,57	19			

Anexo 40. Prueba de medias Tukey 5% para el indicador de calidad del jugo fibra.

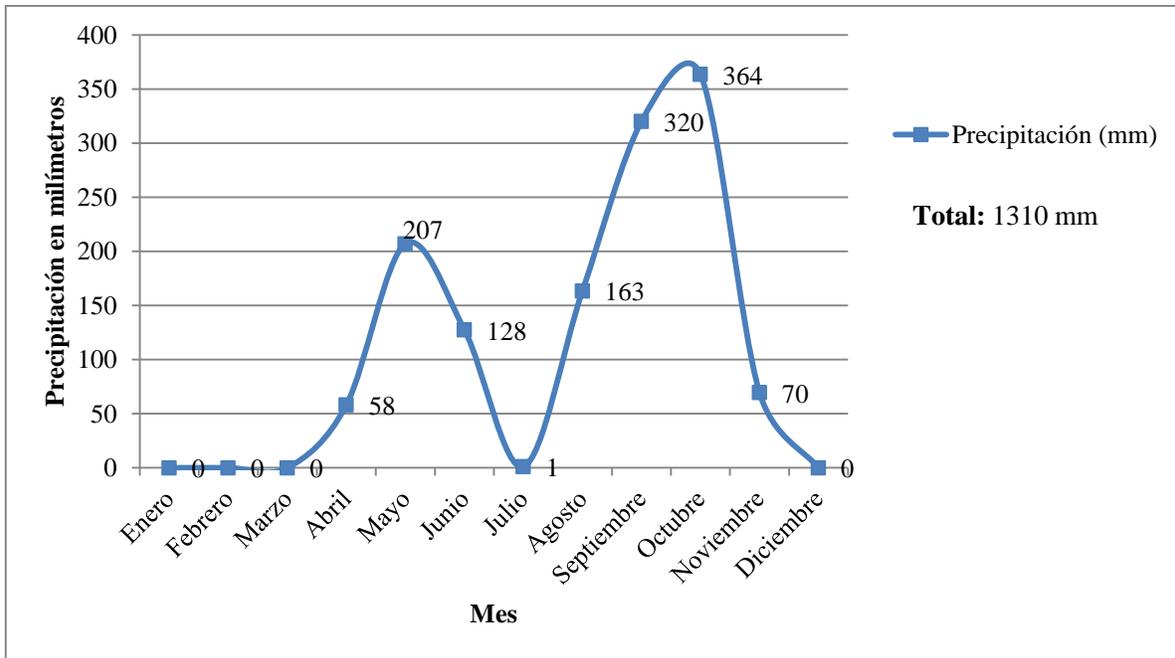
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=2,00069

Error: 1,1353 gl: 12

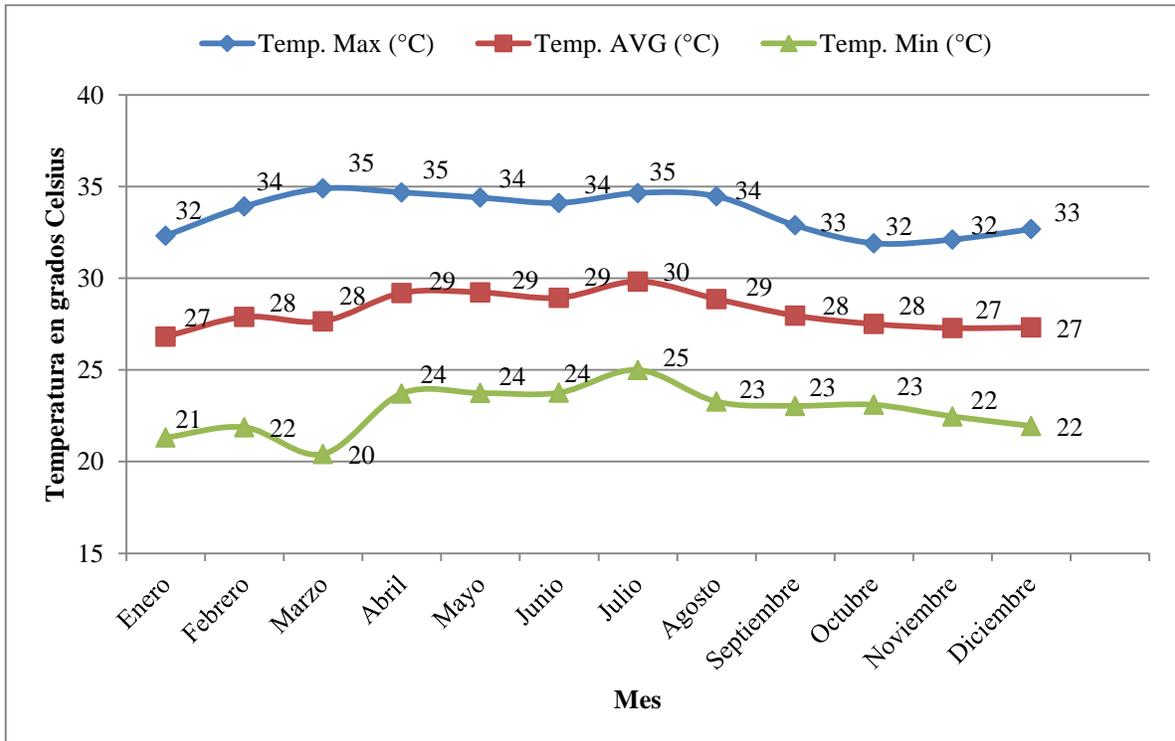
Tratamiento	Medias	n	E.E.
ProGibb_40WG®_10g/ha+FF	12,40	5	0,48 A
ProGibb_40WG®_20g/ha	12,58	5	0,48 A
ProGibb_40WG®_10g/ha	12,77	5	0,48 A
Testigo	13,27	5	0,48 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 41. Distribución de la precipitación promedio durante el ciclo productivo del cultivo de caña de azúcar.



Anexo 42. Tendencia de la temperatura promedio mensual durante el ciclo productivo del cultivo de caña de azúcar.



Anexo 43. Tendencia de la humedad relativa mensual durante el ciclo productivo del cultivo de caña de azúcar.

