

EFFECTIVIDAD DE TRINEXAPAC ETIL 25 EC + BORO 17% (B₂O₃) EN EL INCREMENTO DE AZÚCAR APLICADO COMO MADURANTE EN CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum spp.*)

¹Gerardo Espinoza, ²Fernando Ramos; ³Manuel Corado; ³Rodrigo Flores, ³Juan Veleche; ³Ivan Aguirre; ³Oscar Camey; ⁴Romeo Montepeque, ⁴Luis Sánchez, ⁴Adán Javier, ⁴Abimael López, ⁴Gamaliel Escobar, ⁴Pedro Fajardo; ⁵Rolando Duarte; ⁵Mario Arévalo; ⁵Rudy Santos
¹Especialista en Malezas y Madurantes- CENGICAÑA- ²Técnico en Malezas y Madurantes, CENGICAÑA; ³Ingenio Madre Tierra, ⁴Ingenio Pantaleón, ⁵Ingenio Palo Gordo.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue determinar la eficacia de Trinexapac etil 25 EC en mezcla con Boro 17% (B₂O₃), aplicado como madurante en el cultivo de caña de azúcar para potencializar el incremento de azúcar y biomasa. La principal variable tecnológica medida fue rendimiento de azúcar por tonelada de caña (kg azúcar tc⁻¹) obtenida a través del cálculo de Brix°% jugo, Pol jugo%, rendimiento de caña (TCH) y rendimiento de azúcar por área (TAH), fitotoxicidad sobre el rebrote de caña postcosecha, así como la concentración de B previo a la cosecha y en rebrote. El experimento fue realizado en dos localidades, utilizando las variedades CG02-163 y CP72-2086 ambas en el ciclo de caña soca, en suelo de textura Franco Arenosa, así como se incluye un resumen de otros experimentos en diversas localidades y variedades de caña. Los experimentos fueron establecidos y conducidos en dos localidades (L1 y L2) ubicadas en el estrato medio (100-300 metros sobre el nivel del mar –msnm-), L1 (14°19'05.91" N; 91°04'12.95" O), L2 (14°18'44.74" N; 90°06'06.98" O), en el departamento de Escuintla, Guatemala. Los experimentos fueron conducidos durante el periodo de diciembre 2019 a marzo 2020. Se utilizó el Diseño de Bloques completos al azar con seis tratamientos + 1 testigo sin aplicar y con cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron trinexapac etil 25 EC en dosis de 1.2 L ha⁻¹ de producto comercial -PC-, (trinexapac etil) trinexapac etil 25 EC, 1.2 L + UBYFOL MS-Boro 17por ciento a 0.15 kg, 0.20 kg, 0.25 kg y 0.30 kg ha⁻¹, UBYFOL MS-Boro 17por ciento a 0.3 kg ha⁻¹ y testigo sin aplicación. Los tratamientos se aplicaron a 45 y 55 días antes de la cosecha (DAC). Las aplicaciones se realizaron en diciembre 2019 y marzo 2020 para cosechar en inicio (I tercio) y final del segundo tercio de cosecha. La aplicación se realizó utilizando Dron DJI MS-1 con volumen de 10 L ha⁻¹, utilizando boquillas XR110 02. La cantidad de lluvia registrada durante el manejo del experimento en la L1 fue de 109.2 mm y para L2 65.8 mm. En ambas localidades trinexapac etil 25 EC incremento la concentración de azúcar a 45 y 55 días después de la aplicación (DDA) en 4.7 por ciento y 6.5por ciento con relación al testigo sin aplicar, sin embargo, la mezcla de trinexapac etil 25 EC, 1.2 L + UBYFOL MS-Boro 17por ciento a 0.3 kg ha⁻¹, supero a trinexapac etil 25 EC, 1.2L en 2.17 por ciento y 1.59 por ciento en ambas localidades respectivamente, además ese mismo tratamiento evito el daño al cultivo, evitando reducir el TCH en ambas localidades, utilizando variedades diferentes, no obstante, trinexapac etil 25 EC, 1.2L ha⁻¹ aplicado de forma aislada redujo el TCH en la variedad CG02-163 hasta en 14 por ciento con relación al testigo sin aplicar. Por lo tanto, la aplicación de trinexapac etil 25 EC, 1.2 L + UBYFOL MS-Boro 17 por ciento a 0.3 kg ha⁻¹, incremento la productividad de azúcar (TAH) entre 9.3por ciento a 19.44 por ciento para la variedad CG02-163 (L1) y CP72-2086 (L2) respectivamente. Con relación al efecto fito-tóxico sobre el rebrote a 45 y 30 DDC se redujo o desapareció cuando se adicionó Boro a partir de 0.20 kg ha⁻¹ a trinexapac etil 25 EC, en ambas localidades, trinexapac etil 25 EC 1.2L mostro el mayor daño, principalmente para la variedad CG02-163, se observó visualmente detención de crecimiento de la planta y demora en la brotación, color intenso de follaje del rebrote, así como plantas con hojas anchas, cortas y retorcidas. De manera general la adición de Boro 17% mejoro la concentración de B previo a la cosecha y esta concentración se mantuvo en el rebrote, principalmente con dosis de 0.25 kg y 0.3 kg ha⁻¹, mejorando el crecimiento y desarrollo de cultivo a través de la nutrición. En general la tecnología incremento de 1.1 TAH a 3.2 TAH, generando ingresos entre USD142.00 a 449.00

Por lo tanto, trinexapac etil 25 EC + UBYFOL MS-Boro 17% son una opción tecnológica para maduración de caña de azúcar e incremento de azúcar a través de la regulación del crecimiento del tallo y nutrición fisiológica con diferentes mecanismos de acción sin causar daño al cultivo y rebrote.

Palabras claves: kg azúcar tc⁻¹, micronutrientes, maduración, nutrición, rebrote.

ABSTRACT

The objective of this work was to determine the efficacy of trinexapac ethyl 25 EC in mixture with Boro 17% (B2O3), applied as ripener in the cultivation of sugar cane to potentiate the increase in sugar and biomass. The main technological variable measured was the sugar yield per-ton of cane (kg sugar tc^{-1}) obtained through the calculation of Brix °% juice, Pol Juice%, cane yield (TCH) and sugar yield per area (TAH), phytotoxicity on the post-harvest cane regrowth, as well as the concentration of B before harvest and in regrowth. The experiment was carried out in two locations, using the variety CG02-163 and CP72-2086 embedded in the ratoon plant cycle, in soil with a Franco-Sandy texture, as well as a summary of other experiments in various locations and varieties of reed. The experiments were established and conducted in two locations (L1 and L2) located in the middle stratum (100-300 meters above sea level -msnm-), L1 ($14^{\circ} 19'05.91'' \text{ N}$; $91^{\circ} 04'12.95'' \text{ O}$), L2 ($14^{\circ} 18'44.74'' \text{ N}$; $90^{\circ} 06'06.98'' \text{ W}$), in the Department of Escuintla, Guatemala. The experiments were conducted during the period from december 2019 to march 2020. The complete block design was detected randomly with 6 treatments + 1 control without applying and with 4 repetitions. The treatments were trinexapac ethyl 25 EC in a dose of 1.2 L ha^{-1} of commercial product -PC-, (trinexapac ethyl). Trinexapac ethyl 25 EC, $1.2 \text{ L} + \text{UBYFOL MS-Boro } 17\%$ at 0.15 kg , 0.20 kg , 0.25 kg and 0.30 kg ha^{-1} , UBYFOL MS-Boro 17% to 0.3 kg ha^{-1} and control without application. Treatments are applied 45 and 55 days before harvest (DAC). The applications are located in the month of december 2019 and march 2020 to harvest at the beginning (I third of harvest) and end of the second third of harvest. The application was made using a DJI MS-1 drone with a volume of 10 L ha^{-1} , using XR110 02 nozzles. The amount of rain registered during the handling of the experiment in L1 was 109.2 mm and for L2 65.8 mm . In both locations Trinexapac ethyl 25 EC increased the sugar concentration at 45 and 55 days after application (DDA) by 4.7% and 6.5% in relation to the control without applying, however, the mixture of trinexapac ethyl 25 EC, $1.2 \text{ L} + \text{UBYFOL MS-Boro } 17\%$ at 0.3 kg ha^{-1} , surpassed trinexapac ethyl 25 EC, 1.2 L in 2.17% and 1.59% in both locations respectively, in addition that same treatment avoided damage to the crop, avoiding reducing the TCH in both localities, using different varieties, however, trinexapac ethyl 25 EC, 1.2 L ha^{-1} applied in isolation reduced the TCH in the CG02-163 variety by up to 14% in relation to the non-applied control. Therefore, the application of trinexapac ethyl 25 EC, $1.2 \text{ L} + \text{UBYFOL MS-Boro } 17\%$ to 0.3 kg ha^{-1} , increased sugar productivity (TAH) between 9.3% to 19.44% for the variety CG02-163 (L1) and CP72-2086 (L2) respectively. Regarding the phyto-toxic effect on regrowth at 45 and 30 DDC, it was reduced or disappeared when Boron from 0.20 kg ha^{-1} was added to trinexapac ethyl 25 EC, in both locations, trinexapac ethyl 25 EC 1.2 L showed the highest damage, mainly for the CG02-163 variety, was observed visually arrest of plant growth and delay in sprouting, intense color of the regrowth foliage, as well as plants with broad, short and twisted leaves. In general, the addition of Boron 17% improved the concentration of B before harvest and this concentration was maintained in the regrowth, mainly with doses of 0.25 kg and 0.3 kg ha^{-1} , improving the growth and development of the crop through The nutrition. In general, the technology increased from 1.1 TAH to 3.2 TAH , generating income between $\text{USD}142.00$ to 449.00 ha^{-1}

Therefore, trinexapac ethyl 25 EC + UBYFOL MS-Boro 17% are a technological option for ripening sugar cane and increasing sugar through regulation of stem growth and physiological nutrition with different mechanisms of action without causing harm to the cultivation and regrowth.

Key words: kg sugar tc^{-1} , micronutrients, maturation, nutrition, regrowth.

1. INTRODUCCION

La caña de azúcar (*Saccharum* spp.) es uno de los cultivos más importantes para Guatemala. La agroindustria azucarera guatemalteca representa el 23.82 por ciento del valor total de la producción agrícola guatemalteca y 7.8 por ciento de las exportaciones totales del país. Es el segundo sector económico que más divisas genera. Durante el año 2019, el azúcar y la melaza produjeron un ingreso de US\$1000 millones. Además, genera 280,000 empleos indirectos y 56,000 directos, (ASAZGUA y CENGICAÑA, 2019).

El área cultivada para el año 2017 llegó a las 263 mil hectáreas con un rendimiento promedio de 104 toneladas de caña por hectárea (TCH). El área de cultivo se encuentra concentrada en cuatro departamentos: Escuintla, Retalhuleu, Suchitepéquez, Santa Rosa. El 79.4 por ciento de lo exportado se destina a Canadá, Estados Unidos, Chile, Mauritania, etc. La época de zafra en Guatemala inicia en noviembre y finaliza en mayo del siguiente año (ASAZGUA, 2019).

Es importante incrementar la producción de caña de azúcar a través de la producción de biomasa y fundamentalmente el contenido de azúcar. En las diferentes fases fenológicas de caña de azúcar, la fase de maduración es uno de los procesos fisiológicos más complejos, pero de gran importancia en el cultivo, para Guatemala. En la actualidad diversos productos reguladores vegetales, sean inhibidores como glifosato o reguladores del crecimiento (trinexapac etil, etefón) son utilizados para reducir el crecimiento de la planta de forma total o parcial.

Ante lo anterior, la búsqueda de nuevas tecnologías es imperante, no solo como sustitutos de glifosato, si no, como alternativas de manejo al cultivo para reducir los efectos fisiológicos y biométricos sobre el cultivo que hacen que exista menor acumulación de biomasa y de azúcar, así como efectos negativos en postcosecha (rebrote) y, por ende, secuelas en el siguiente ciclo, principalmente en altura de planta, que muchas veces son poco visibles. Por lo que, con este trabajo se presenta la alternativa del uso de trinexapac etil 25 EC + Boro 17%, como una opción que mejora la eficacia del producto, basado en diversos trabajos científicos indican que el Boro (B) es un elemento deficitario en casi todas las fases fenológicas del cultivo, pero principalmente sus funciones metabólicas en la fase gran crecimiento y de maduración en especies que producen azúcares y alcoholes mejoran la translocación de azúcar, así como en la fase de maduración, donde cumple una función específica, la traslocación y almacenamiento de azúcares (Brown *et al.*, 2000; Siquiera *et al.*, 2013).

El objetivo de este trabajo fue evaluar y determinar el efecto sinérgico de trinexapac etil 25 EC en mezcla con UBYFOL MS-Boro 17% sobre la maduración en caña de azúcar, utilizando diferentes dosis como una alternativa al manejo tradicional de maduración y su impacto en el rendimiento de caña (TCH), productividad de azúcar (TAH), así como el efecto residual sobre el rebrote y su impacto económico (USD)

2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.

Se establecieron dos ensayos experimentales durante el primer y segundo periodo o tercio de cosecha de caña de azúcar (zafra) 2019/2020. El periodo de cosecha en Guatemala se divide en tres tercios, El primer tercio es comprendido del 15 de noviembre a 15 enero, el segundo tercio de cosecha comprende del 15 de enero a 15 marzo y tercer tercio es comprendido del 15 de marzo al final de la zafra que puede oscilar entre final de abril e inicio de mayo, cada uno de esos periodos difieren por varios factores, principalmente por la precipitación y temperatura ambiental.

El ensayo experimental o Localidad 1 y 2 fueron establecidos en el Municipio de Santa Lucia Cotzumalguapa, Escuintla. La Localidad 1 fue ubicada en la latitud 14°19'05.91" N y longitud: 91°04'12.95" O, con elevación de 252 metros sobre el nivel del mar (msnm), con tipo de suelo franco arenoso. Mientras la Localidad 2 fue ubicada en la latitud 14°18'44.74" N y longitud: 91°06'06.9" O, con elevación de 203 metros sobre el nivel del mar (msnm), con tipo de suelo franco arenoso; ambas localidades están clasificadas de acuerdo con la altitud en el estrato altitudinal "medio" que oscila entre 100-300 msnm, estrato que se caracteriza por presentar precipitación media (1500-1900 mm/año) (Villatoro y Pérez, 2012).

El experimento para la Localidad 1 se estableció en caña soca, utilizando la variedad de caña de azúcar CG02-163 variedad de caña representada en 18 por ciento del área cultivada (plantía y soca), para la zafra 2019/2020 y el 22.7 por ciento del área tota en caña plantía (Orozco y Buc, 2019). Mientras en la Localidad 2 se utilizó la variedad CP72-2086, ciclo caña soca, variedad que ocupa el 28.3 por ciento (Orozco y Buc, 2019). Se realizó la aplicación de los tratamientos o productos madurantes de acuerdo con el periodo entre aplicación y cosecha (ventana de maduración), eso significo realizar la aplicación a 45-55 días antes de la cosecha (DAC). En la Localidad 1, La aplicación de madurante se realizó el 16 de diciembre 2019 y cosecha se realizó el 30 de enero 2020, mientras que en la Localidad 2, la aplicación se realizó el 16 de enero 2020 y cosecha el 11 de marzo 2020. Además, se incluye un resumen de varios ensayos comerciales ejecutados en diferentes ingenios como soporte al trabajo.

Los tratamientos o productos madurantes utilizados fueron: Trinexapac etil 25 EC, aplicado a 1.2 L ha⁻¹ o 300 g de ingrediente activo (g i.a) y Trinexapac etil 1.2 L ha⁻¹ en mezcla con UBYFOL MS-BORO 17%, en cuatro dosis (0.15 kg, 0.200 kg, 0.250 kg y 0.300 kg ha⁻¹), UBYFOL MS-BORO 17% a 0.300 kg ha⁻¹ y testigo sin aplicación, siendo en total siete tratamientos (Cuadro 1). El método de aplicación fue aéreo, utilizando Dron DJI-M1 con barra de aplicación de 5 m de longitud con 4 boquillas XR 110 02, separadas a 25 cm, utilizando sistema antigoteo y anti deriva, con tanque de capacidad de 10 L, para la aplicación se utilizó volumen de agua de 10 L ha⁻¹. Además, se contó con equipo necesario como probetas, cubetas, medidor de pH para el agua a utilizar en las mezclas. La aplicación de cada tratamiento se realizó por la mañana, iniciando a las 7:00 am y finalizando a las 9:30 am. Las condiciones climáticas durante la aplicación cumplieron con los parámetros ideales de: Temperatura de 20-25°C, >75% de humedad relativa, velocidad del viento <5 km hr⁻¹

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos o productos, dosis e ingrediente activo de Trinexapac etil 25 EC evaluado en la variedad CG02-163 y CP72-2086.

Trat	Producto	Composición	g i.a ha ⁻¹	Dosis L o kg ha ⁻¹
T1	Trinexapac etil 25 EC	Trinexapac etil 250 EC	300	1.2
T2	Trinexapac etil 25 EC + UBYFOL MS-Boro	Trinexapac etil 250 EC + Boro 17%	300+25.5	1.20+0.15
T3	Trinexapac etil 25 EC + UBYFOL MS-Boro	Trinexapac etil 250 EC + Boro 17%	300+34.0	1.20+0.20
T4	Trinexapac etil 25 EC + UBYFOL MS-Boro	Trinexapac etil 250 EC + Boro 17%	250+42.5	1.20+0.25
T5	Trinexapac etil 25 EC + UBYFOL MS-Boro	Trinexapac etil 250 EC + Boro 17%	300+51	1.20+0.30
T6	UBYFOL MS-Boro	Boro 17%	51	0.30
T7	Testigo Absoluto	-----	-----	-----

A los tratamientos se les agrego el coadyuvante Disperse Ultra a razón de 1 cc/L de agua. Las dosis se aplicaron en función de la estimación del rendimiento de tallos o TCH, para Localidad 1, 120 TCH y Localidad 2, 125 TCH

Durante el experimento se determinaron las siguientes variables: Análisis foliar previo a la cosecha, parámetros tecnológicos: Brix jugo %, Pol jugo %, Pol caña %, pureza (%), las cuales se utilizaron para el cálculo final de la variable más importante: Rendimiento de azúcar por tonelada de caña (kg azúcar tc⁻¹), toneladas de caña por hectárea (TCH), toneladas de azúcar por hectárea (TAH), efecto en el rebrote, utilizando 1=sin daño o daño leve, 2=Daño moderado o severo y 3 =Daño muy severo o total o muerte de

rebrote, considerando aspectos de altura, color de follaje, epinastia y población de tallos (CENGICAÑA, 2010) análisis foliar a rebrote y análisis de suelo a 30 días después del corte (DDC).

Para determinar los parámetros o variables tecnológicas se recolectaron muestras precosechas de seis tallos primarios (tallos maduros fisiológicamente) obtenidos en un metro lineal o de forma secuencial o continua en dos puntos georreferenciados de cada parcela, los cuales fueron deshojados hasta el punto de quiebre y enseguida transportados al laboratorio respectivo para su posterior análisis de jugos. Los muestreos en la Localidad 1 se realizaron previo a la aplicación, 30 y 45 DDA, mientras en la Localidad 2 se realizaron los muestreos antes de la aplicación (0 DDA), 20 DDA, 40 DDA y 55 DDA. Para determinar el peso de tallos de cada parcela, se cosechó toda la parcela con excepción de los surcos de borde de cada extremo de la parcela, con el fin de evitar el efecto de bordadura. En cada uno de los puntos de muestreo precosecha se obtuvieron 30 hojas +1 o TVD para análisis boro: Una vez recolectadas las hojas se procedió a retirar la nervadura central, tomando como muestra la parte central de cada hoja, luego se colocaron en bolsas de papel y se colocaron al horno a 70°C por dos días hasta alcanzar un peso constante, seguidamente fueron molidas para el análisis respectivo. Para el análisis se utilizó la metodología de agua caliente en el laboratorio correspondiente. Los muestreos se realizaron a la cosecha y a 30 o 45 DDC. El producto de kg de azúcar tc^{-1} y TCH se obtuvo el rendimiento de azúcar por área (TAH) en cada uno de los tratamientos. La evaluación del efecto residual sobre el rebrote se evaluó a 45 y 30 días después de la cosecha (DDC), en la cual se utilizó la escala de vigor (CENGICAÑA, 2010), evaluando aspectos visuales de uniformidad de crecimiento (altura), epinastia, población y clorosis foliar, al momento de la evaluación se realizó el muestreo de rebrote obteniendo el área foliar de al menos 10 plantas de forma aleatoria para análisis de Boro, así como se muestreo el área experimental para análisis de suelo.

Se determino el beneficio económico ($USD ha^{-1}$) de los tratamientos, utilizando la siguiente formula: Ganancia diferencial (USD)= costo de TAH ($USD 250.00$) – (Costo de productos + Costo de aeronave USD) + (costo del Corte, Alce y Transporte-CAT- del incremento de TCH respecto a testigo comercial o testigo sin aplicar con valor de $USD10.00$ por TCH).

Se elaboró un clima-diagrama para cada localidad de evaluación registrando el comportamiento de las variables climáticas como precipitación (mm) y temperatura máxima, media y mínima, registrando datos cinco días antes de la aplicación hasta los 60 DDA, para la cual se utilizó la estación climática tipo A: CENGICAÑA (<https://redmet.icc.org.gt/>) situada a 0.5 km de la Localidad 1 y a 5 km de la Localidad 2.

Se utilizó el diseño experimental Bloques Completos al Azar, utilizando siete tratamientos con cuatro repeticiones. Cada unidad experimental consistió en 10 surcos simples con distanciamiento de 1.5 m entre surcos o hileras para un ancho de 15 m y una longitud de 50 m respectivamente, el tamaño de cada unidad experimental fue de 0.075 ha para un total de 0.3 ha por tratamiento.

Para el análisis de cada una de las variables medidas se utilizó análisis de varianza (ANDEVA), utilizando el paquete estadístico InfoStat (2008). *InfoStat versión 2008*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. De encontrarse significancia entre los tratamientos se realizaron pruebas de medias utilizando la prueba LSD al 10 por ciento. Los gráficos fueron generados utilizando Sigma Plot, Versión 12.5 (Systat software, Inc., Point Richmond, CA).

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1 Localidad 1

3.1.1 Variables climáticas

El comportamiento de las variables climáticas: Precipitación (mm) y temperatura media, mínima y máxima (°C), así como la radiación (Watts/m²) en la localidad de evaluación se observan en la Figura 1. En el área experimental, la cantidad de lluvia acumulada registrada durante la maduración fue de 55 mm, no obstante, previo a la aplicación hubo un acumulado de 53.6 mm, el cual en total es de 109.2 mm. Para el caso de la variable temperatura, es importante resaltar que la temperatura mínima promedio fue 20°C, temperatura que se considera en límite superior por el cual la maduración no alcanza su potencial de acumulación. En cuanto la temperatura media y máxima fue de 25.0 y 32.5°C respectivamente, Por otro lado, la radiación promedio fue de 207 Watts/m², siendo mayor durante enero, esto significa mayor capacidad de la síntesis de fotosintatos a translocar de las hojas a el tallo, esta variable coincide con días donde la temperatura mínima disminuyo o estuvo por debajo de 20°C, en síntesis estas variables son conducente de una maduración natural eficiente, en interacción con la aplicación de madurante la para síntesis y translocación de sacarosa, ya que condiciones más extremas según Espinoza, 2012, indica que las condiciones climáticas: temperatura y lluvia afectan el proceso de maduración en el inicio de la zafra, debido a la alta humedad del suelo y alta precipitación, factores que limitan a la planta el ingreso a la fase fenológica de maduración, por lo tanto, la planta continua vegetando, y con ello afectando el rendimiento de azúcar aun en variedades tempranas, así mismo Castro y Gil, 2010, también indican que temperatura debajo de 18°C por 30-45 días incrementan naturalmente el contenido de azúcar.

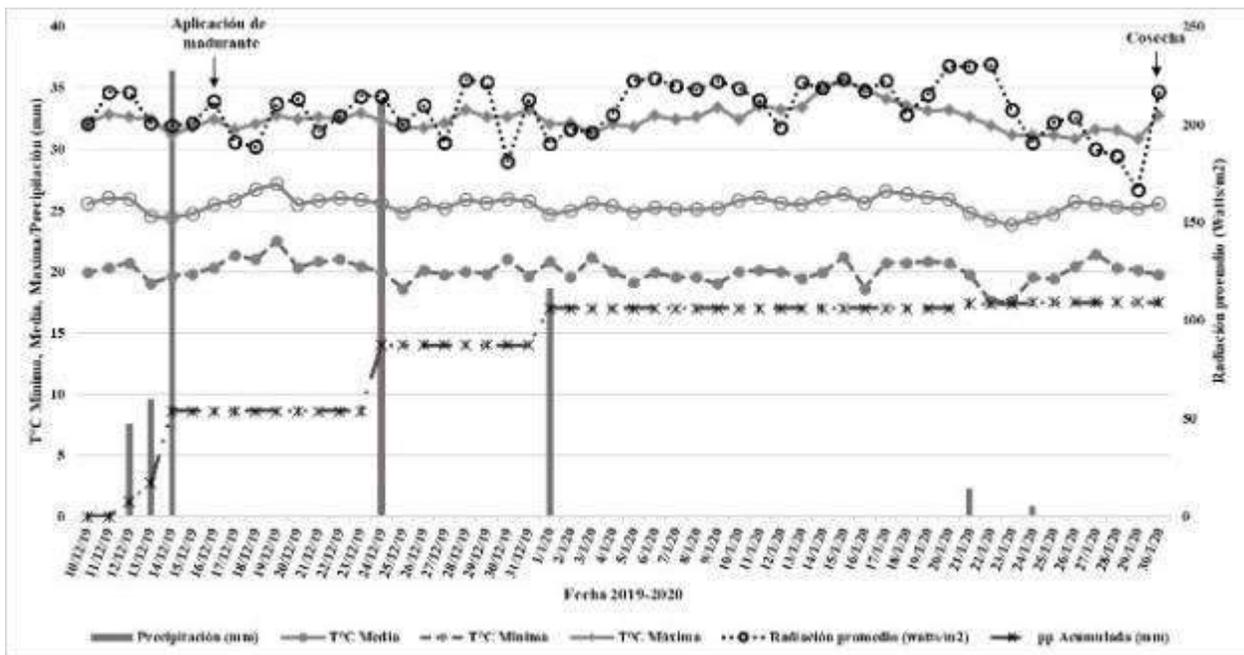


Figura 1. Clima-diagrama del área experimental. Precipitación diaria y acumulada (mm), temperatura media, mínima y máxima (°C) y radiación promedio diaria (watts/m²) durante el período de evaluación de Trinexapac etil 25 EC + Boro 17%, en la localidad 1, Escuintla, 2019/2020.

3.1.2 Variable tecnológica

-Rendimiento de azúcar (kg azúcar tc⁻¹)

Para la variable rendimiento de azúcar (kg azúcar/TC) los resultados se observan en el Cuadro 2. Previo a la aplicación (0 DDA), en general los valores oscilaron entre 97.78 a 105.92 kg azúcar/TC en promedio general, el rendimiento de azúcar fue de 100.02 kg azúcar/TC, con significancia entre los tratamientos ($p=0.0957$), estas diferencias entre los tratamientos son posible debido a la variabilidad del área experimental, siendo el valor mayor para el tratamiento de Trinexapac etil 25 EC, 1.2 L ha⁻¹. Es importante mencionar que en esta fecha de muestreo la cantidad de lluvia registrada previo al muestreo fue 53 mm, siendo este un factor importante en la incidencia del bajo rendimiento de azúcar y por ende un indicador de la importancia de la aplicación de madurante, dado que la planta aún se encuentra en el estado vegetativo de elongación y entrando a la fase fenológica de maduración.

Para los 30 DDA, ya el nivel de humedad de suelo fue reducida debido a la frecuencia de la lluvia (Figura 1), en general los valores oscilaron entre 116.68 kg azúcar/TC para el testigo y de 120.48 kg azúcar/TC para Trinexapac etil 25 EC 1.2 L + UBYFOL MS-Boro 0.25 kg ha⁻¹. En promedio general se incrementó a 119.45 kg de azúcar/TC en 30 días de maduración. No se evidencio significancia entre los tratamientos ($p=0.87$), sin embargo, numéricamente todos los tratamientos superaron al testigo sin aplicación entre 2.25 kg azúcar/TC a 3.8 kg azúcar/TC, donde los tratamientos de Trinexapac etil 25 EC 1.2 L + UBYFOL MS-Boro en la dosis de 0.2 kg y 0.25 kg fueron los de mayor acumulación de azúcar. Para este muestreo la frecuencia de lluvia fue mayor y la incidencia de la temperatura mínima (<20°C) para una mejor maduración natural fue evidente, es importante resaltar que factores como la temperatura mínima y humedad del suelo son conductores de la maduración (Espinoza *et al.*, 2019; Cardozo y Senthellas, 2013; Castro y Gil, 2010).

Para los 45 DDA, el rendimiento promedio general fue de 121 kg azúcar/TC, con una tasa de incremento de 20.98 kg desde la aplicación (0 DDA). Los valores de kg azúcar/TC oscilaron entre 116.60 kg azúcar/TC (testigo sin aplicar) a 124.77 kg azúcar/TC. Entre los tratamientos se encontró significancia ($p=0.0165$), todos los tratamientos superaron al testigo sin aplicar entre 0.92 a 8.17 kg azúcar/TC, donde la aplicación de Trinexapac etil 25 EC 1.2 L + UBYFOL MS-Boro 0.3 kg ha⁻¹ mostro incremento de 8.17 kg azúcar/TC (+7%), sin embargo, este tratamiento no fue diferente estadísticamente de Trinexapac etil 25 EC, 1.2 L + UBYFOL MS-Boro a 0.20 kg (T3), 0.25 kg (T4) y con Trinexapac etil 25 EC, 1.2 L ha⁻¹ (T1) respectivamente, es importante observar que a 45 DDA el incremento promedio del muestreo de azúcar para la fecha solamente fue de 1.55 kg, siendo esto un claro indicador de la ventana ideal o recomendada de maduración, según Espinoza *et al.* (2011) indican que la ventana de maduración con Trinexapac etil debe oscilar entre 42 y 50 días, dependiendo de la dosis y tipo de suelo para evitar reducción de rendimiento de caña y daño al rebrote (Morales y Espinoza, 2014).

3.1.3 Variables agronómicas

Rendimiento de caña (TCH) y productividad de azúcar área (TAH)

Los resultados del rendimiento de caña por hectárea (TCH) obtenidos se observan en el Cuadro 2, de acuerdo con el análisis de varianza (ANDEVA), donde se encontraron diferencias significativas ($p=0.0002$), En promedio general del área experimental se obtuvo 93.5 TCH. Los valores oscilaron entre 75.6 TCH y 104.9 TCH. Los tratamientos Trinexapac etil 25 EC + UBYFOL MS-Boro 1.20 L + 0.25 kg ha⁻¹ (T4) fue el de mayor TCH con 104.9, sin significancia con los tratamientos Trinexapac etil 25 EC + UBYFOL MS- Boro 1.20 L + 0.30 kg ha⁻¹ (T5) con 102.5 TCH, Testigo sin aplicación (T7) con 101.3 TCH y UBYFOL MS-Boro, 0.30 kg ha⁻¹ con 100.7 TCH. Por otro lado, la aplicación de Trinexapac etil 25 EC, 1.2 L ha⁻¹ (T1) produjo reducción del 14 por ciento en la producción de caña, este efecto ha sido reportado por diversos autores (Faria *et al.*,

2015), no obstante esa reducción ocurre por diversos factores, principalmente por la susceptibilidad de la variedad y dosis aplicada, además la combinación de Trinexapac etil 25 EC, 1.2 L con Boro a 0.15 (T2) y 0.2 kg ha⁻¹ (T3) no fue suficiente para reducir el efecto en la reducción de TCH, siendo esta variedad más sensible a la aplicación debido a la concentración de trinexapac etil aplicado vía dron, ya que la sensibilidad a trinexapac etil es una respuesta dependiente al genotipo o variedad debido al doble mecanismo de acción, en la reducción de los entrenudos y área foliar (Heerden *et al.*, 2015; Ferreira *et al.*, 2019).

En relación con la variable de productividad de azúcar (TAH), los resultados mostraron significancia entre los tratamientos ($p=0.002$). Los tratamientos Trinexapac etil 25 EC + UBYFOL MS-Boro 1.20 L + 0.25 kg ha⁻¹ (T4), Trinexapac etil 25 EC, 1.20 L + UBYFOL MS-Boro, 0.30 kg ha⁻¹ (T5), UBYFOL MS-Boro, 0.3 kg fueron los de mayor productividad de azúcar con valores de 12.9, 12.8 y 12.2 TAH respectivamente, es importante mencionar que el tratamiento UBYFOL MS-Boro 0.3 kg no es un madurante con tal, sin embargo mostró este comportamiento debido a la producción de TCH, si se compara con Trinexapac etil 25 EC a 1.2 L quien fue superior en kg azúcar/TC pero con reducción de TCH, esto explica que la combinación de Trinexapac etil 25 EC con Boro incrementa su eficacia sin reducir el efecto en el TCH (Siqueira, *et al.*, 2013), la adición de Boro de 0.25 a 0.3 kg ha⁻¹ a Trinexapac etil 25 EC 1.2 L incremento el rendimiento de azúcar sin reducir el TCH dando lugar a una ganancia de hasta 1.1 TAH sobre el testigo sin aplicar, es importante notar que mantener la biomasa con una buena acumulación dependerá de la dosificación y crecimiento vegetativo de la variedad a aplicar, haciendo notar la productividad de solo la aplicación de Trinexapac etil 1.2 L ha⁻¹ en relación al testigo sin aplicar.

-Efecto Residual (Rebrote)

La aplicación de los tratamientos con Trinexapac etil 25 EC, 1.2 L ha⁻¹ solo o en combinación con Boro a 0.15 kg y 0.20 kg de Boro mostraron algunas sintomatologías visuales de efecto negativo como detención del crecimiento (vigor), área foliar reducida, color verde intenso a 45 DDC, y como efecto positivo se observa mayor población de tallos, esto se debe a que existe una reducción de AG (giberelina) e incremento de citoquinas, confirmando el efecto de otros trabajos (Da Silva *et al.*, 2017) siendo el tratamiento de Trinexapac etil 25 EC, 1.20 L ha⁻¹ quien produjo mayor intensidad de efecto (Cuadro 2: Figura 3), esto es un indicador de la susceptibilidad de la variedad a la aplicación de Trinexapac etil, así como posible dosis alta para la variedad, el efecto residual se explica a través del efecto a la producción de TCH.

Cuadro 2. Rendimiento de azúcar (kg azúcar tc⁻¹), toneladas de caña y azúcar y efecto en rebrote por la aplicación de Trinexapac etil en mezcla con Boro como madurante.

Tratamiento	15/12/19	16/01/20	30/01/20		Rebote Escala 1-3	
	0 DDA	30 DDA	45 DDA	TCH		TAH
	kg azúcar/TC					
T1 Trinexapac etil 1.20 L	105.92a	119.95	122.12a	87.1b	10.7bc	2.00
T2 Trinexapac etil + UBYFOL MS-Boro 1.20 L + 0.15 kg	100.17bc	119.03	117.52bc	82.1bc	9.6cd	1.75
T3 Trinexapac etil + UBYFOL MS-Boro 1.20 L + 0.20 kg	99.85bc	120.47	121.70a	75.6c	9.2d	1.25
T4 Trinexapac etil + UBYFOL MS-Boro 1.20 L + 0.25 kg	101.75abc	120.48	122.85a	104.9a	12.9a	1.00
T5 Trinexapac etil + UBYFOL MS-Boro 1.20 L + 0.30 kg	97.78c	119.52	124.77a	102.5a	12.8a	1.00
T6 UBYFOL MS-Boro 0.300 kg	102.64ab	120.02	121.45ab	100.7a	12.2a	1.00
T7 Testigo Absoluto	97.90bc	116.68	116.60c	101.3a	11.8ab	1.00
Promedio	100.02	119.45	121.00	93.5	11.3	
CV%	3.87	4.27	3.33	12.09	12.66	
LSD Fisher 10%	0.0957	0.87	0.0165	0.0002	0.0002	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.10$), DAC= días antes de la cosecha, CV%=Coeficiente de variación. Escala 1= sin daño o daño leve, 3= Daño total o muerte de plantas.

Los resultados de análisis de suelos realizados después de la cosecha (datos no mostrados). Donde la materia Orgánica (M.O) fue de 5.68 por ciento considerada alta para el estrato medio, con textura Franca arenosa, siendo un suelo Andisol, ya que según Pérez (2012) indica que para el estrato medio, los suelos del área cañera presentan M.O mayor a 5 por ciento, para este tipo de suelo la cantidad de fósforo fue alta (78.07 ppm), mientras que el contenido de K fue de 1.2 meq/100 g suelo, considerándose bajo, así como también el nivel de arcilla (111.98 por ciento). Para el caso específico de B (0.15 ppm) es menor al valor crítico (0.2 ppm) de acuerdo con Pérez *et al.*, 2015, siendo similar con los valores críticos utilizados en Brasil y otros países para caña de azúcar (Raij *et al.*, 1996).

Los resultados de la concentración de B (ppm) obtenidos en los muestreos en cada uno de los tratamientos se verifican en el Cuadro 3. A los 45 días después de la aplicación de madurante (DDAM) o al momento de la cosecha (12 meses) las concentraciones de B foliar mostraron que cuando se agregó B a la mezcla de Trinexapac etil 25 EC, 1.2L hubo incremento entre 5.8 a 12.83 por ciento en relación al testigo sin aplicar, los tratamientos de Trinexapac etil25 EC con Boro a 0.2 kg, 0.25 kg y 0.3 kg mostraron valores de 28.05 ppm, 28.6 ppm y 29.9 ppm respectivamente, es importante mencionar que la aplicación de solo Trinexapac etil 25 EC, 12. L ha⁻¹, redujo un 8 por ciento de B en relación al testigo sin aplicar, mientras esto es un indicador del efecto de Boro sobre la fisiología de acumulación de azúcar en el tallo y la redistribución de nutrientes principalmente de B, existen referencias indicando que la aplicación de Trinexapac etil puede tener impacto en la redistribución de nutrientes (McCullough *et al.*, 2004), debido a la inhibición de giberelina (AG), lo cual se puede ver en los resultados obtenidos a 30 DDC, donde el efecto residual de Trinexapac etil 25 EC 1,2L ha⁻¹, redujo en 9.81% la concentración de B en relación al testigo sin aplicar posiblemente por la reducción de AG y por ende la translocación de algunos nutrientes, mientras los tratamientos de Trinexapac etil 25 EC 1.2 L ha⁻¹ en mezcla con Boro a 0.2, kg, 0.25 kg, 0.3 kg y solo la aplicaron de B mostraron mantener concentraciones superiores en relación al testigo sin aplicación y sobre Trinexapac etil 25 EC, 1.2 L ha⁻¹, con valores de 18.6 ppm, 19.5 ppm, 25.2 ppm y 22.8 ppm respectivamente.

Cuadro 3. Análisis foliar para la determinación de B (ppm) antes de la cosecha y a 45 DDC.

Tratamiento	Boro foliar (ppm)	
	45 DDAM	45 DDC
T1 Trinexapac etil 1.20 L	24.3d	14.25d
T2 Trinexapac etil + UBYFOL MS-Boro 1.20 L + 0.150 kg	25.7c	15.9c
T3 Trinexapac etil + UBYFOL MS-Boro 1.20 L + 0.200 kg	28.05ab	18.6bc
T4 Trinexapac etil + UBYFOL MS-Boro 1.20 L + 0.250 kg	28.6ab	19.5abc
T5 Trinexapac etil + UBYFOL MS-Boro 1.20 L + 0.300 kg	29.9a	25.2a
T6 UBYFOL MS-Boro 0.300 kg	27.5b	22.8ab
T7 Testigo Absoluto	26.5bc	15.8c
Promedio	27.22	18.86
CV%	2.5	3.1
LSD Fisher 10%	0.001	0.002

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.10$), DDAM=Días después de la aplicación de madurante, DDC= Días después del corte; ppm= partes por millón., CV%=Coeficiente de variación

3. 2 Localidad 2

3.2.1 Variables Climáticas

El comportamiento de las variables climáticas: Precipitación (mm) y temperatura media, mínima y máxima (°C), así como la radiación (Watts/m²) en la localidad 2 de evaluación se observan en la Figura 2. En el área experimental, la cantidad de lluvia acumulada registrada durante la maduración fue de 65.8 mm, para el caso de la variable temperatura, es importante resaltar que la temperatura mínima promedio fue 20.03°C, temperatura que se considera en límite superior por el cual la maduración no alcanza su potencial de acumulación. En cuanto la temperatura media y máxima fue de 25.85 y 33.38°C respectivamente, Por otro lado, la radiación promedio fue de 218 Watts/m², siendo mayor a partir del 13 de febrero, 2020, esto significa mayor capacidad de la síntesis de fotosintatos a translocar de las hojas a el tallo, sin embargo esta variable coincide con 10 días donde la temperatura mínima fue inferior a los 20°C (20/02/2020) pero en un periodo corto, en síntesis estas variables son conducente de una maduración natural eficiente, en interacción con la aplicación de madurante para síntesis y translocación de sacarosa, ya que condiciones más extremas según Espinoza, 2012, indica que las condiciones climáticas: temperatura y lluvia afectan el proceso de maduración en el inicio de la zafra, debido a la alta humedad del suelo y alta precipitación. La temperatura máxima en promedio fue de 33.38°C, no obstante, es importante observar que durante el periodo de maduración se registraron máximas de hasta 36.1°C esto es un factor de deterioro de la maduración incidiendo sobre el peso del tallo, debido al proceso de deshidratación, este comportamiento tiende a ser normal para esta época de la zafra.

En términos generales, las condiciones climáticas fueron más extremas para la maduración en la Localidad 2 en comparación de la Localidad 1, las condiciones de humedad en el suelo fueron mucho más bajas en la Localidad 2 y la temperatura mayor respectivamente.

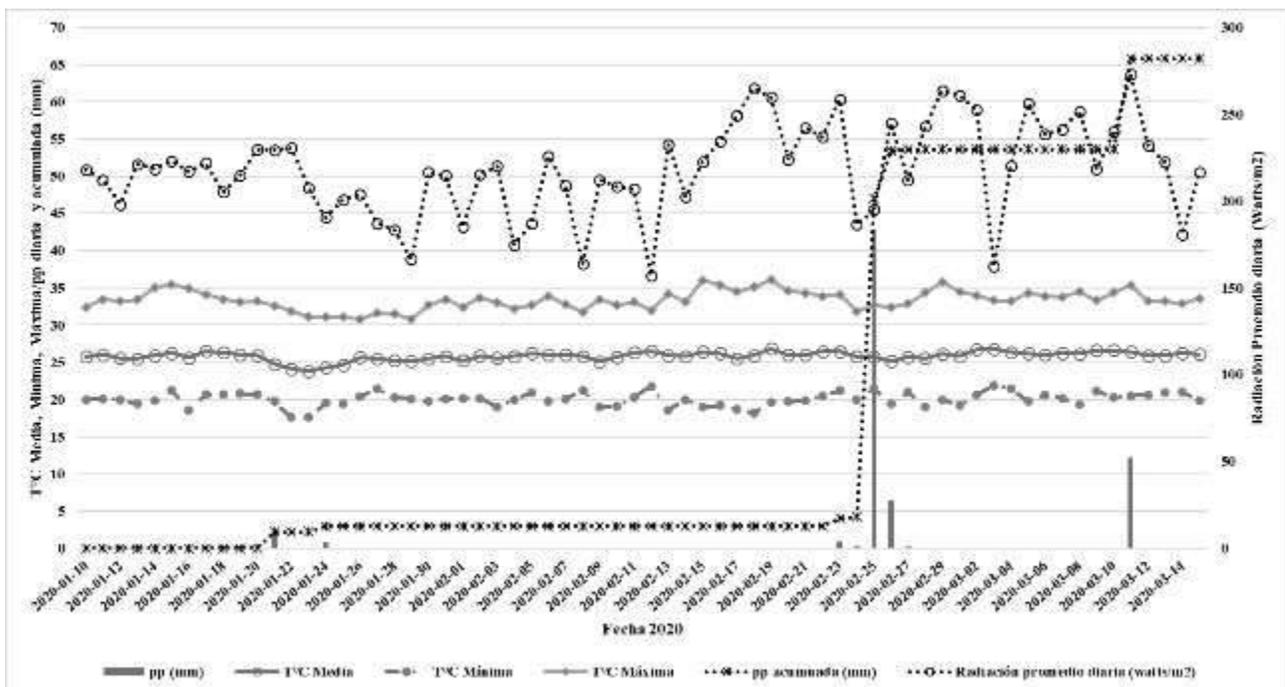


Figura 2. Clima-diagrama del área experimental. Precipitación diaria y acumulada (mm), temperatura media, mínima y máxima (°C) y Radiación promedio diaria (Watts/m²) durante el período de evaluación de Trinexapac etil 25 EC + Boro 17%, Localidad 2. Escuintla, 2020.

3.2.2 Variable tecnológica

-Rendimiento de azúcar (kg azúcar/TC)

Para la variable rendimiento de azúcar (kg azúcar/TC) los resultados se observan en el Cuadro 4. Previo a la aplicación (0 DDA), en general los valores oscilaron entre 102.68 a 112.91 kg azúcar/TC en promedio general, el rendimiento de azúcar fue de 107.91 kg azúcar/TC, sin significancia entre los tratamientos ($p=0.1592$). para los 20 DDA, los valores oscilaron entre 111.05 kg hasta 116.95 kg. En promedio general de la fecha de muestreo se registró 113.95 kg, esto indica un incremento del primer a segundo muestreo de 5.6 por ciento de concentración de azúcar (113.95 kg). Entre los tratamientos se encontraron diferencias estadísticas ($p=0.0853$), siendo el testigo sin aplicar y la aplicación de Boro (T6), quienes registraron un mayor incremento. Para los 40 DDA los valores oscilaron entre 120.17 kg (Testigo sin aplicar) hasta 122.39 kg (trinexapac etil 1.2 L: T1), en promedio general de la fecha de muestreo incrementó a 120.98 kg de azúcar/TC, siendo esta fecha la de mayor incremento (40 DDA), con 6.2 por ciento en relación al segundo muestreo (20 DDA), no se registró diferencias estadísticas ($p=0.5749$) entre los tratamientos, sin embargo numéricamente todos los tratamientos aplicados superaron al testigo sin aplicar entre 0.46 kg de azúcar/TC a 2.22 kg azúcar/TC.

Para el muestreo a 55 DDA, en promedio general se obtuvo 120.26 kg de azúcar/TC, claramente se observa en términos generales la estabilización del incremento de azúcar de 40 para 55 DDA. Los valores oscilaron entre 114.67 kg a 124.11 kg de azúcar/TC, con significancia entre los tratamientos ($P=0.0013$), donde el tratamiento T5 (Trinexapac etil 25 EC, 12.L + UBYFOL MS-Boro 0.3kg ha⁻¹) registro la mejor acumulación de azúcar (124.11 kg), seguido del T2 y de T1 (Trinexapac etil 25 EC, 1.2L ha⁻¹) con valores de 123.21 kg y 122.17 kg respectivamente. Es importante mencionar que la aplicación de B de forma aislada incremento el contenido de azúcar, confirmando los resultados de varios estudios, principalmente en Brasil (Siqueira *et al.*, 2013)

Cuadro 4. Rendimiento de azúcar (kg azúcar tc⁻¹), toneladas de caña (TCH) y azúcar (TAH) y efecto en rebrote por la aplicación de Trinexapac etil 25 EC en mezcla con UBYFOL MS-Boro como madurante en la variedad CP72-2086.

Tratamiento	16/01/20	05/02/20	25/02/20	11/03/20	REBROTE		
	0 DDA	20 DDA	40 DDA	55 DDA	TCH	TAH	Escala 1-3
	kg azúcar/TC						
T1 Trinexapac etil 25 EC 1.2 L	107.90	111.05b	122.39	122.17abc	107.33	13.11b	2.25
T2 Trinexapac etil 25 EC + UBYFOL MS-Boro 1.2 L + 0.15 kg	109.37	112.3b	120.85	123.21ab	108.77	13.40b	1.25
T3 Trinexapac etil 25 EC + UBYFOL MS-Boro 1.2 L + 0.20 kg	102.68	113.06b	120.62	119.34cd	114.33	13.64b	1.0
T4 Trinexapac etil 25 EC + UBYFOL MS-Boro 1.2 L + 0.25 kg	105.79	113.53ab	120.28	120.31bcd	108.23	13.02b	1.0
T5 Trinexapac etil 25 EC + UBYFOL MS-Boro 1.2 L + 0.30 kg	107.56	116.95a	121.39	124.11a	113.65	14.11a	1.0
T6 UBYFOL MS-Boro 0.30 kg	112.91	113.74ab	121.14	117.99de	116.47	13.74ab	1.0
T7 Testigo Absoluto	109.14	116.99a	120.17	114.67e	103.64	11.88c	1.0
Promedio	107.91	113.95	120.98	120.26	110.35	13.27	
CV%	4.41	3.93	1.99	3.63	13.73	11.9	
LSD fisher 10%	0.1592	0.0853	0.5749	0.0013	0.8923	<0.0001	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.10$), Escala 1= sin daño o daño leve, 3= Daño total o muerte de plantas. CV%=Coeficiente de variación

3.2.3 Variable Agronómicas

-Rendimiento de caña (TCH) y Productividad de azúcar por área (TAH)

Los resultados del rendimiento de caña por hectárea (TCH) obtenidos se observan en el Cuadro 5, de acuerdo con el análisis de varianza (ANDEVA), no se encontraron diferencias significativas ($p=0.8923$), En promedio general del área experimental se obtuvo 110.35 TCH. Los valores oscilaron entre 103.64 TCH y 114.33 TCH. Todos los tratamientos superaron al testigo sin aplicación, este comportamiento se explica por las condiciones climáticas extremas (Figura 2) del área experimental y época de aplicación (tercer tercio) y se evidencia a través de la baja de la concentración de azúcar donde el testigo sin aplicación se redujo en 5.5 kg azúcar del muestreo a 40 DDA para los 55 DDA, esto indica que en el tercer tercio de cosecha la aplicación de reguladores de crecimiento como Trinexapac etil 25 EC son fundamentales en la fisiología y metabolismo del cultivo para detener el deterioro de la concentración de azúcar.

Los tratamientos aplicados con Boro mostraron en promedio mayor TCH en relación con testigo sin aplicar y con aplicación de Trinexapac etil 25 EC, 1.2 L, superando a ambos entre 1.44 TCH a 12.83 TCH. En términos generales la dosificación para esta variedad (CP72-2086) fue más acertada de acuerdo con su nivel productivo, haciéndola por ende más tolerante a la aplicación de Tronnupac 25 EC 1.2 L. Para este experimento los tratamientos UBYFOL MS-Boro, Trinexapac etil 1.2 L + UBYFOL MS-Boro, 0.2 y 0.3 kg de boro fueron superiores numéricamente en relación con el resto de los tratamientos. En el caso de solamente la aplicación de Trinexapac etil 25 EC 1.2 L no redujo la productividad en relación con el testigo sin aplicar, si fue inferior al resto de tratamientos, indicando que la aplicación de Boro en la mezcla de alguna forma redujo ese nivel fitotóxico en la variedad a pesar de haberse dado más días de maduración.

Con relación a la variable de productividad de azúcar (TAH), los resultados mostraron significancia entre los tratamientos ($p= 0.002$), donde todos los tratamientos superaron al testigo sin aplicar. Los valores oscilaron entre 11.88 TAH a 14.11 TAH. La mejor respuesta en la productividad de azúcar fue para el tratamiento trinexapac etil 25 EC, 1.2 L + UBYFOL MS-Boro 0.3 kg ha⁻¹ y UBYFOL Ms- Boro 0.3 kg ha⁻¹, superando en 2.23 al testigo sin aplicar y en 1 TAH al testigo trinexapac etil 25 EC, 1.2 L ha⁻¹. Los resultados son un indicar que la sinergia entre trinexapac etil 25 EC y Boro potencializan la concentración de azúcar sin producir algún deterioro sobre el crecimiento del cultivo.

-Efecto residual (Rebrote)

La evaluación visual del efecto residual de trinexapac etil sobre rebrote de caña a 30 DDC, se observan en el Cuadro 5, donde se evidencia que para los tratamientos con Trinexapac etil etil 1.2 L y Trinexapac etil etil 1.2 L +UBYFOL MS-Boro 0.15 kg ha⁻¹, mostraron efectos en la detención del crecimiento, hojas acortadas o área foliar reducida, color verde intenso, variables comunes en la fitotoxicidad al cultivo, siendo los valores de 2 y 1.25 de acuerdo a la escala. El resto de los tratamientos no mostraron sintomatologías a las descritas anteriormente, lo que confirma que el uso de B en la mezcla ayuda a evitar su deficiencia o disponibilidad y translocación en la planta (Cuadro 4; Figura 3).

Los resultados de análisis de suelos realizados después de la cosecha (datos no mostrados) indicaron que la Materia Orgánica (M.O) fue de 6.23 por ciento considerada alta para el estrato medio, con textura Franca arenosa, siendo un suelo Andisol, ya que según Pérez (2012) indica que para el estrato medio, los suelos del área cañera presentan M.O mayor a 5 por ciento, para este tipo de suelo la cantidad de fosforo fue alta (58.71 ppm), mientras que el contenido de K fue de 1.6 meq/100 g suelo, considerándose adecuado, así como también el nivel de arcilla (17.1%). Para el caso específico de B (0.25 ppm) este valor está considerado como bajo, sin embargo, levemente superior al valor crítico (0.2 ppm) de acuerdo con Pérez *et al.* 2015, siendo similar con los valores críticos utilizados en Brasil y otros países para caña de azúcar (Raij *et al.*, 1996).

Los resultados de la concentración de B (ppm) obtenidos en los muestreos en cada uno de los tratamientos se verifican en el Cuadro 5. A los 55 días después de la aplicación de madurante (DDAM) o al momento de la cosecha (11.8 meses) las concentraciones de B foliar mostraron que cuando se agregó B a la mezcla de Trinexapac etil 25 EC, 1.2L a partir de 0.25 kg ha⁻¹, hubo incremento entre 7.8 a 24.3 por ciento en relación al testigo sin aplicar, los tratamientos de Trinexapac etil 25 EC con Boro a 0.15 kg, 0.2 kg mostraron valores iguales o inferior al testigo sin aplicar, es importante mencionar que la aplicación de solo Trinexapac etil 25 EC, 1.2 L ha⁻¹, redujo 15 por ciento de B en relación al testigo sin aplicar. Los resultados obtenidos a 30 DDC, donde el efecto residual de Trinexapac etil 25 EC 1,2L ha⁻¹, redujo en 11.2 por ciento la concentración de B en relación al testigo sin aplicar posiblemente por la reducción de AG y por ende la translocación de algunos nutrientes, mientras los tratamientos de Trinexapac etil 1.2 L ha⁻¹ en mezcla con Boro y solo la aplicaron de B mostraron mantener concentraciones superiores en relación al testigo sin aplicación y sobre Trinexapac etil 25 EC, 1.2 L ha⁻¹ como se observan en el Cuadro 5 y en ambas fechas de muestreo se encontraron significancia entre los tratamientos (p=0.058; 0.0006).

Cuadro 5. Análisis foliar para la determinación de B (ppm) antes de la cosecha y 30 DDC.

Tratamiento	Boro foliar (ppm)	
	55 DDAM	30 DDC
T1 Trinexapac etil 1.20 L	17.4d	11.25d
T2 Trinexapac etil + UBYFOL MS-Boro 1.20 L + 0.15 kg	19.1c	17.2bc
T3 Trinexapac etil + UBYFOL MS-Boro 1.20 L + 0.20 kg	20.01b	17.6bc
T4 Trinexapac etil + UBYFOL Ms-Boro 1.20 L + 0.25 kg	22.1 ab	18.5abc
T5 Trinexapac etil + UBYFOL MS-Boro 1.20 L + 0.30 kg	24.9a	23.2a
T6 UBYFOL Ms Boro 0.30 kg	25.5a	20.8ab
T7 Testigo Absoluto	20.5b	13.8c
Promedio	18.22	16.05
CV%	4.6	6.4
LSD Fisher 10%	0.058	0.006

DDAM=Días después de la aplicación de madurante, DDC= Días después del corte; ppm= partes por millón.



Figura 3. Efecto sobre el rebrote por la aplicación de los diferentes tratamientos de trinexapac etil 25 EC, aplicado como madurante en el cultivo de caña de azúcar.

Curva de dosis Respuesta

En la Figura 4 se observa la curva de uso de Boro en mezcla con trinexapac etil 25 EC, de acuerdo con los resultados de kg azúcar tc^{-1} y dosis de Boro 17% indica que la dosis de mayor respuesta en mezcla con el trinexapac etil fue de 0.3 kg de UBYFOL MS-Boro 17%, donde se obtuvo hasta 7 kg de azúcar con relación al tratamiento testigo (sin Boro y sin trinexapac etil), mientras que cuando se compara con trinexapac etil 25 EC, a 1.2 L, el incremento llegó a 2.3 kg azúcar tc^{-1} , el resultado anterior se explica debido al proceso regulatorio del crecimiento de la planta por parte de trinexapac etil cuando se aplicó sin Boro, al agregar Boro a trinexapac etil, aun con la misma dosis el proceso regulatorio del crecimiento de la planta se ve reducido, regulando el nivel el azúcar pero incrementando el rendimiento de caña (TCH), debido a las funciones metabólicas y fisiológicas de Boro dentro de la planta según Brown *et al.* (2002), mejora la estructura de la pared celular, metabolismo de la planta (fotosíntesis, defensa de la planta y en la estructura de la membrana célula).

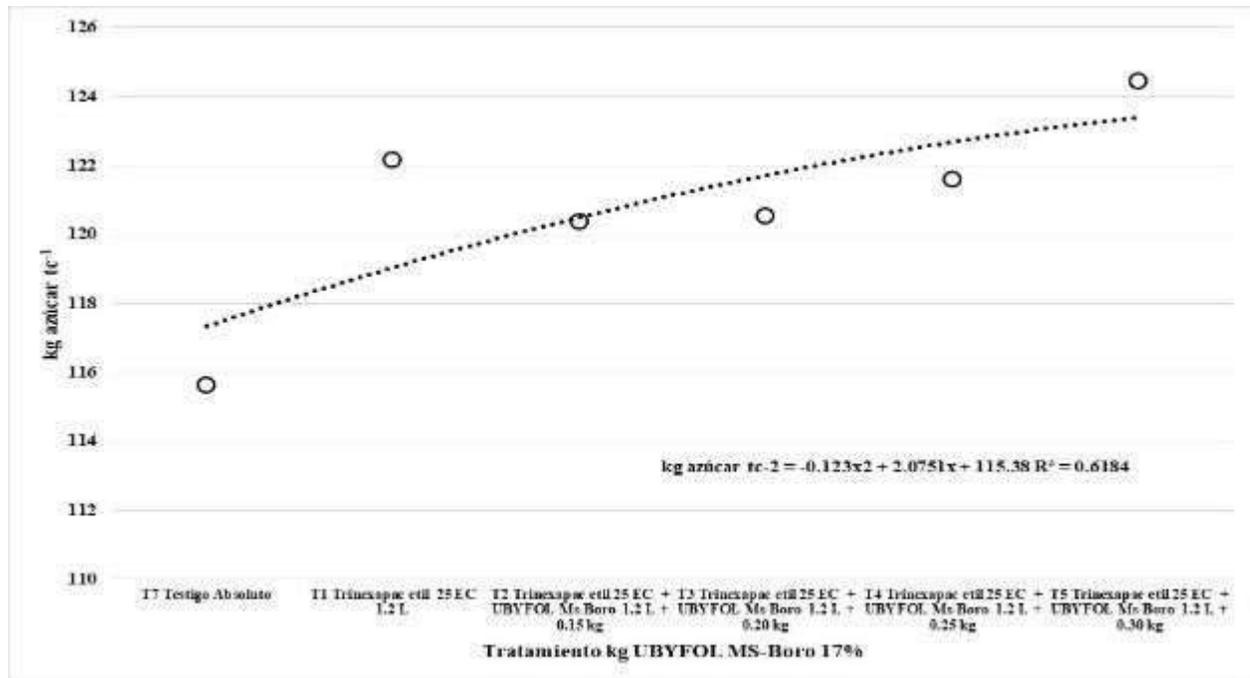


Figura 4. Curva de dosis-respuesta de trinexapac etil 25 EC y UBYFOL MS-Boro 17% (Polihexosa)

En el Cuadro 6 se observan los resultados de otros experimentos con la misma tendencia y su efecto económico (ganancia diferencial USD). La aplicación de Boro 17% dependerá de las condiciones de crecimiento del cultivo, para estos experimentos la dosis oscilo de 0.25 a 0.5 kg UBYFOL MS-Boro en mezcla con 0.5 L a 0.9 L de trinexapac etil ha^{-1} . Los resultados cuando comparados con la practica tradicional (trinexapac etil 1- 1.40 L ha^{-1}) mostraron entre 1.2 a 3.2 TAH de incremento, esto se tradujo entre USD142.6 a 459.00 de ingresos adicionales a la práctica comercial o testigo sin aplicar de acuerdo con la localidad. La adición de boro mejora las condiciones de crecimiento del rebrote reduciendo el efecto de detención del crecimiento en la planta (Figura 5) y por ende mejorando la translocación de elementos nutricionales específicamente B, así como auxinas (ácido indolacético), evitando la deficiencia en la planta, evitando acentuar el problema de deficiencia de B en la planta debido a la poca liberación de B en los suelos de Guatemala (Figura 6).

Cuadro 6. Experimentos realizados en diferentes ingenios con trinexapac etil + UBYFOL MS-Boro 17% y en diferentes variedades de caña de azúcar, así como la ganancia diferencial (USD).

Tercio Cosecha	Ingenio	Finca	Variedad	Tratamiento	Δ TAH	USD Ganancia Diferencial
I-II	PSA	Sn Judas Tadeo	CG02-163	¹ Trinexapac etil 25 EC, 0.5 L + UBYFOL MS-Boro 17%, 0.25 kg	3.2	459.00
III	MT	Camantulul, El Ariete	CG04-10295	³ Trinexapac etil 25 EC, 0.5 L L+ UBYFOL MS-Boro 17%, 0.500 kg	1.2	241.00
III	IPG	San Jorge	CG02-163	⁴ Trinexapac etil 25 EC, 0.5 L+ UBYFOL MS-Boro 17%, 0.300 kg	1.2	142.6
III	PSA/ Concepción	Paso Antonio	CG02-163	⁶ Trinexapac etil 25 EC, 0.9 L + UBYFOL MS-Boro 17%, 0.25 kg	1.8	400.00

Tratamiento comercial utilizado=Tronmspac 25 EC.
¹Tratamiento comparador Moddu 25 EC, 1.2 L.
²Tratamiento comparador Tronmspac: 25 EC, 1.2 L y Testigo sin aplicar en III tercio.
³Tratamiento comparador Moddu 1.00 L o Tronmspac 25 EC, 1 L.
⁴Tratamiento comparador Tronmspac: 25 EC, 1.2 L.
⁵Tratamiento comparador Moddu 25 EC 25 EC, 1.2 L.



Figura 5. Efecto de trinexapac etil 25 EC + Boro 17% (a) y tratamiento comercial Trinexapac etil 25 EC 1.2 L ha⁻¹. Evaluación 30 DDC. Finca Paso Antonio, Variedad CG02-163, III Tercio de cosecha. Ingenio PSA/Concepción



Figura 6. Síntomas visuales de deficiencia de Boro en el rebrote a y b) Trinexapac etil 1.2 l y c y d) Trinexapac etil 1.2 L ha⁻¹ + UBYFOL MS-Boro 17% 0.25 kg ha⁻¹. Evaluación 30 DDC. Finca Paso Antonio, Variedad CG02-163, III Tercio de cosecha. Ingenio PSA/Concepción

4. CONCLUSIONES

-Bajo las condiciones de este estudio:

-La aplicación de Trinexapac etil 25 EC como madurante incrementa el rendimiento de azúcar por la vía de concentración (kg azúcar/TC) entre 42 a 55 días madurante.

-Trinexapac etil 25 EC se potencializa con la adición de Boro 17% mejorando el efecto fisiológico en el rendimiento de azúcar/Tonelada de caña, principalmente en la dosis de 0.25 kg a 0.3 kg ha⁻¹

-Trinexapac etil 25 EC en mezcla con Boro 17% no reduce el rendimiento de caña (TCH), Trinexapac etil 25 EC, reduce el TCH de acuerdo con la dosis, variedad y época de aplicación.

-La mezcla de Trinexapac etil 25 EC, 1.2 L ha⁻¹ con Boro 17% a 0.30 kg ha⁻¹, incrementa la productividad de azúcar (TAH).

-La aplicación de Trinexapac etil 25 EC, 1.2 L en mezcla con Boro 17% en la cualquiera de la dosis incrementa la concentración foliar en el tejido de las hojas, tanto en precosecha, así como en el rebrote a 30 días después de corte del cultivo.

-Trinexapac etil 25 EC, 1.2 L en mezcla con Boro 17% a partir 0.25 kg ha⁻¹ reduce significativamente el efecto residual en el rebrote mejorando el crecimiento y desarrollo del cultivo.

-El benéfico económico por la aplicación de la mezcla de Ubyfol MS-Boro + trinexapac etil es de al menos USD142.60 ha⁻¹.

5. BIBLIOGRAFIA

1. Producción de azúcar. [Página web en línea]. Guatemala. Asociación de Técnicos Azucareros de Guatemala. [Consultado: 25-mayo-2020]. Disponible en: <https://www.azucar.com.gt/>
2. Azúcar exportada por destino. [Página web en línea]. Guatemala. Asociación de Técnicos Azucareros de Guatemala. [Consultado: 25-mayo-2020]. Disponible en: <https://www.azucar.com.gt/>
3. BROWN, P.H.; BELLALOU, N.; WIMMER, M.A.; BASSIL, E.S.; RUIZ, J.; HU, H.; PFEFFER, H.; DANIEL, F. ROMHELD, V. Boron in plant biology. *Plant Biol.* n.4, p.205-223, 2002.
4. CASTRO, O. y GIL. Efecto de la temperatura ambiental en la acumulación de azúcar estudio preliminar realizado en ingenio La Unión. IN: Memoria de presentación de resultados de Investigación 2010. Centro Guatemalteco de Capacitación e Investigación en caña de azúcar- CENGICAÑA-.
5. SIQUIERA, G; FOLTRAN, R; SILVA, D; CRUSCIOL, C.A. 2013. Chemical Ripener and Boron Increase the Sucrose Accumulation of Sugarcane in Early Season. Conference: International Annual Meeting American Society of Agronomy/ Crop Science Society of America/ Soil Science Society of América 2013.
6. ESPINOZA, J.G. Maduración de la Caña de Azúcar y Floración de la Caña de Azúcar y su Manejo. En: MELGAR, M. et al. 2012. El cultivo de la Caña de Azúcar En Guatemala. 1era ed. Guatemala. Editorial Artemis Edinter, Centro de investigación de la caña de azúcar (CENGICAÑA). ISBN978-9929-40-469-4. Cap. XI. p. 262-281, 2012.
7. ESPINOZA, G.; MORALES, J.; UFER, C.; MONTEPEQUE, R. y AGUIRRE, I. Efecto del glifosato, aplicado como madurante, en el rebrote de caña de azúcar, variedad CP88-1165, evaluado a partir de aplicaciones comerciales In: Memoria de Presentación de Resultados de Investigación de CENGICAÑA, Zafra 09-10. Pag. 355-362.
8. FARIA, A.T., FERREIRA, E.A., ROCHA, P.R.R., SILVA, D.V., SILVA, A.A., FIALHO, C.M.T., and SILVA, A.F. Effect of trinexapac-ethyl on growth and yield of sugarcane. *Planta Daninha*, Viçosa-MG, v. 33, n. 3, p. 491-497, 2015.
9. SEBASTIÃO FERREIRA DE LIMA; RITA DE CASSIA FÉLIX ALVAREZ; VESPASIANO BORGES DE PAIVA NETO; CÁLIA APARECIDA SIMON; MARIA GABRIELA DE OLIVEIRA ANDRADRE. Effect of trinexapac-ethyl on sugarcane varieties efeito do trinexapac-ethyl em variedades de cana-de-açúcar. *Biosci. J.*, Uberlândia, v. 35, n. 1, p. 159-165, Jan./Feb. 2019.
10. CARDOZO, N. P. E SENTELHAS, P. C. Climatic effects on sugarcane ripening under the influence of cultivars and crop age. *Scientia Agricola*, 70, 449-456. <http://dx.doi.org/10.1590/>. 2013.
11. ESPINOZA, JG; LOPEZ, K; CORADO, M; ORTIZ, A; Maduración del cultivo de caña de azúcar a través de activadores enzimáticos en el inicio de la zafra. Memoria Presentación de resultados de investigación Zafra 2018 – 2019. Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar-CENGICAÑA- pág. 400-409. 2019.

12. ESPINOZA, JG; MONTEPEQUE, R; JAVIER, A, LOPEZ, K. Alternativas para el incremento del contenido de sacarosa por activación enzimática en el inicio y mitad del periodo de cosecha en caña de azúcar. Memoria Presentación de resultados de investigación Zafra 2017 – 2018. Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar-CENGICAÑA- pág. 394-409. 2018.
13. ESPINOZA, JG; CORADO, M; MARTINEZ, M; ECHEVERRÍA, C; PINEDA, JC. Efecto de madurantes no herbicidas en el cultivo de la caña de Azúcar (*Saccharum* spp) variedad CP88-1165. Memoria Presentación de resultados de investigación Zafra 2010 – 2011. Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar-CENGICAÑA- pág. 261-266. 2018.
14. MORALES, J y ESPINOZA, JG. Inducción química de la maduración en caña de azúcar (*Saccharum* spp) en la costa sur de Guatemala. Memoria presentación de resultados de investigación Zafra 2013 – 2014. Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar-CENGICAÑA- pág. 377-391. 2014.
15. MCCOLLUGH, P et al. 2006. Growth and Nutrient Partitioning of 'TifEagle' Bermudagrass as Influenced by Nitrogen and Trinexapac-ethyl. HortScience 41 (2): 453:458,
16. OROZCO, H y BUC, R. 2019. CENSO DE VARIEDADES DE CAÑA DE AZÚCAR DE GUATEMALA, ZAFRA 2019-20. Memoria presentación de resultados de investigación Zafra 2019 – 2020. Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar-CENGICAÑA- pág. 61-72. 2014.
17. PÉREZ, et al. 2015. Avances en las evaluaciones de B y Zn en el cultivo de caña de azúcar en suelos derivados de ceniza volcánica de Guatemala. Memoria Presentación de Resultados de Investigación 2014-2015. CENGICAÑA, ISSN:2300-0472, Ed. 2015, pág. 248-255.
18. RAIJ B. VAN. 2011.; CANTARELLA, H; QUAGGIO, J.A. & FURLANI A.M.C. 1996. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2ª ed. IAC, Campinas (Boletim Técnico 100).
19. DA SILVA, D.P., RICHARD, K.A., KING, B.G., JOHNSON, R.M. 2017. Effect of growth regulators, boron and molybdenum on sugarcane grown in the greenhouse [abstract]. Journal of the American Society of Sugar Cane Technologists. 34:47.
20. -VILLATORO, B Y PÉREZ, O. 2012. Caracterización de la zona cañera. Pag 33-44. In: CENGICANA (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación). 2012. Cultivo de caña de azúcar en Guatemala. Melgar, M.; Meneses, A.; Orozco, H.; Pérez, O.; and Espinosa, R. (eds.). Guatemala. 495 p.