

EFFECTO DE RETARDANTES DE CRECIMIENTO EN LA DISMINUCIÓN DEL VOLCAMIENTO DE SORGO DULCE FORRAJERO

Deisy Lorena Flórez-Gómez¹, Karen Viviana Osorio-Guerrero^{2/*}, Gustavo Adolfo Rodríguez-Yzquierdo³, Sair Jaramillo-Bonilla⁴, Luis Ernesto Ortégón-Herrera⁵, Evelin Gómez-Delgado⁶, Guillermo Alberto Brochero-Aldana⁷

Palabras clave: *Sorghum bicolor*; volcamiento; semilla; regulador de crecimiento; producción.

Keywords: *Sorghum bicolor*; lodging seed; growth regulator; production.

Recibido: 11/04/23

Aceptado: 22/08/23


RESUMEN

Introducción. Las plantas de sorgo dulce forrajero (*Sorghum bicolor* L. Moench) se caracterizan por presentar un porte alto, sin embargo, este atributo, junto con las condiciones variables del clima, favorecen el volcamiento de las plantas y dificulta la cosecha mecanizada de los lotes de producción de semilla certificada, lo que conlleva a la baja disponibilidad de semilla de calidad de esta especie. **Objetivo.** Como alternativa a


esta problemática, se probó el efecto de 3 retardantes de crecimiento sobre la producción de semilla de calidad en condiciones experimentales en campo. **Materiales y métodos.** Se evaluaron parámetros de crecimiento, volcamiento de las plantas y el rendimiento a semilla. La investigación se llevó a cabo en 2 localidades ubicadas en el valle cálido alto del Magdalena y el Caribe seco colombiano. Se empleó un diseño de bloques completos al azar con 3 repeticiones y 6 tratamientos, conformados por la aplicación

* Autora para correspondencia. Correo electrónico: kosorio@agrosavia.co


1 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA, Sede Central, Mosquera, Cundinamarca, Colombia.

 0000-0003-3676-7564.

2. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA, Sede Central, Mosquera, Cundinamarca, Colombia.

 0000-0002-9252-9993.

3 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA, Sede Central, Mosquera, Cundinamarca, Colombia.

 0000-0003-3709-8534.

4 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA, Centro de Investigación Nataima, El Espinal, Tolima, Colombia.

 0000-0003-1297-7444.

5 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA, Centro de Investigación Nataima, El Espinal, Tolima, Colombia.

 0000-0002-7693-8295.

6 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA, Centro de Investigación Motilonia, Agustín Codazzi, Cesar, Colombia.

 0000-0003-4183-7539.

7 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA, Centro de Investigación Motilonia, Agustín Codazzi, Cesar, Colombia.

 0000-0002-6713-4180.

de dosis variables de etefón, cloruro de mepiquat y trinexapac-etil, en 2 estados de desarrollo de la planta (1 y 3). **Resultados.** En los 2 ambientes, la aplicación de trinexapac-etil a razón de 200 g i.a.ha⁻¹ tuvo un mayor efecto en la reducción de la altura de la planta y una reducción del 89,2 en el porcentaje de volcamiento respecto al testigo en la localidad del Caribe seco colombiano, lo que incrementó el rendimiento de semilla aproximadamente 3 veces respecto al testigo en esta localidad y sin diferencias significativas en comparación con el control en la localidad del Valle Cálido del alto del Magdalena. **Conclusión.** Los resultados de esta evaluación permiten concluir que el uso de trinexapac-etil es una alternativa para mejorar la producción de semilla de calidad de sorgo dulce forrajero al reducir el porte de las plantas y con ello el volcamiento. La respuesta es dependiente del tipo de retardante y las condiciones edafoclimáticas.

ABSTRACT

Effect of growth retardants on reducing lodging in sweet forage sorghum. Introduction. Forage sweet sorghum plants (*Sorghum bicolor* L. Moench) are characterized by tall height; however, this attribute and variable weather conditions favor the overturning of the plants and make the mechanized harvest of lots difficult

INTRODUCCIÓN

El cultivo de sorgo dulce forrajero (*Sorghum bicolor* L. Moench) es una opción para ser incorporada en los sistemas ganaderos, dada su capacidad de adaptación a las variaciones climáticas y en especial a periodos largos de sequía. Presenta una mayor tolerancia a este factor climático en comparación con cultivos como el maíz, que además posee una alta demanda hídrica (Amombo *et al.* 2022).

for certified seed production, leading to the low availability of quality seed of this species. **Objective.** As an alternative to this problem, the effect of 3 growth retardants were tested. The production quality seed, growth parameters, plant settling, and seed yield were evaluated. **Materials and methods.** The research was carried out in 2 locations located in the warm upper Magdalena Valley and the dry Caribbean of Colombian. A complete block design was used, randomized with 3 repetitions and 6 treatments was used, consisting of the application of variable doses of ethephon, mepiquat chloride, and trinexapac-ethyl in 2 plant development stages (1 and 3). **Results.** In both environments, the application of trinexapac-ethyl at a rate of 200 g i.a.ha⁻¹ had a greater effect on reduction of plant height and a reduction of 89.2 in the percentage of toppling compared to the control in the dry Caribbean Colombian location, which increased seed yield by approximately 3 times compared to the control in this locality and without significant differences compared to the control in the warm upper Magdalena valley location. **Conclusion.** The results of this evaluation allow us to conclude that the use of trinexapac-ethyl is an alternative for the production of quality sweet forage sorghum seed and to reduce plant height and in therefore plant overturning. The observed response was dependent of the type of growth retardant and edaphoclimatic conditions.

En Colombia, el principal uso de este cultivo es como complemento en la alimentación animal, como forraje verde o transformado en harina procesada (Godoy 2016). De acuerdo con el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR 2018) el cultivo de sorgo dulce forrajero se siembra en aproximadamente 12 930 hectáreas y tienen un rendimiento potencial de forraje de 50 t.ha⁻¹. Su distribución en el país es amplia y los principales departamentos adoptantes del cultivo son Atlántico, Bolívar, Cesar, Córdoba, Huila, Magdalena, Meta y Sucre.

Los sorgos dulces forrajeros se caracterizan por presentar tallos gruesos, bajo contenido de fibras estructurales que facilitan la digestibilidad en animales, alto contenido de azúcares fermentables, volumen alto de biomasa, bajo rendimiento de semilla y altura de planta que pueden superar los 4 metros de altura (Rodríguez-Gómez *et al.* 2021, Hu *et al.* 2022). Esta última condición hace que los procesos de producción y multiplicación de semilla de calidad de esta especie se tornen en un gran desafío, al presentarse una alta susceptibilidad al volcamiento.

El volcamiento de plantas es una de las mayores limitantes en los cultivos de grano, al incidir directamente en el rendimiento. El impacto es mayor cuando el cultivo está expuesto a altas precipitaciones y fuertes vientos, especialmente en épocas próximas a la cosecha (Julio *et al.* 2021, Mejía-Kerguelén *et al.* 2019). El volcamiento de plantas destinadas a la producción de semilla dificulta los procesos de cosecha mecanizada y aumenta, consecuentemente, la necesidad de mano de obra; también, se aumentan las pérdidas de semilla de forma considerable, puesto que la humedad del suelo puede elevar el contenido de humedad del grano y afectar la calidad fisiológica y sanitaria, lo cual conlleva a su descarte posterior, situación que puede conducir a una baja disponibilidad de semilla en el mercado (Arévalos *et al.* 2019).

Diferentes estrategias para mitigar este fenómeno en los cultivos de grano han sido generadas: incluyen aspectos de manejo agronómico, el mejoramiento genético y, recientemente, el uso de retardantes de crecimiento (Rademacher 2000). Esta última alternativa, ha sido probada en diversos cultivos, pero hay poca evidencia de su uso en procesos de producción de semilla en sorgos forrajeros. Las evidencias del uso de reguladores en otros cultivos sugieren que estos pueden llegar a ser una gran opción para la reducción de la altura de la planta y el volcamiento (Torres de Souza *et al.* 2010).

Una característica común en varios de los retardantes de crecimiento disponibles en el mercado es que actúan como inhibidores de

la ruta de biosíntesis de giberelinas, en alguna parte de la ruta metabólica de este compuesto (Rademacher 2000); otros retardantes afectan el metabolismo de las auxinas (Zabala *et al.* 2009). El cloruro de mepiquat, ampliamente usado para el control del crecimiento en cultivos de algodón, actúa bloqueando directamente la síntesis del ent-kaureno, una etapa temprana en la ruta de biosíntesis de giberelinas (Rademacher 2000). La misma interrupción en la ruta de las giberelinas ocurre con la aplicación de Trinexapac – etil y su efecto se observa principalmente en la reducción de la elongación celular de los entrenudos cuando es aplicado en cultivos como caña de azúcar (Nakayama *et al.* 1990). Finalmente, compuestos como el etileno modifican el metabolismo de las auxinas, lo cual interfiere en los procesos de crecimiento y maduración (Zabala *et al.* 2009).

Al considerar los efectos positivos que pudiesen tener el uso de retardantes de crecimiento en la producción de semilla de sorgo dulce forrajero, se planteó como objetivo evaluar los efectos de algunos de ellos en variables asociadas al vigor de la planta, el porcentaje de volcamiento y la producción de semilla de calidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se realizó durante el primer semestre del 2022 en 2 localidades en donde se llevan a cabo procesos de producción de semilla certificada de sorgo dulce forrajero. El Centro de Investigación Nataima (NAT) de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA] ubicado en el valle cálido del Alto Magdalena, municipio de El Espinal, Tolima, con coordenadas geográficas 04° 11'18,35" de latitud norte y 74° 57'32,73" de longitud oeste, a una altitud de 371 msnm y con topografía plana (pendiente menor al 3%). Según Holdridge *et al.* (1971), en la zona se presenta un clima que corresponde a la clasificación de bosque seco tropical (bs-T), con precipitación media anual de 1275 mm de distribución bimodal, humedad relativa media de 69,4% y temperatura media de 28,2°C. La segunda localidad fue el Centro

de Investigación Motilonia (MOT) de AGROSAVIA, ubicado en el Caribe seco colombiano, municipio de Agustín Codazzi, Cesar, cuyas coordenadas geográficas son 9°59'18" de latitud norte y 73°16'21" de longitud oeste, con una altitud de 91 msnm y topografía del terreno plana. La clasificación climática corresponde al bosque seco tropical (bs-T) (Holdridge *et al.* 1971), la humedad relativa es de 59%, la temperatura media anual es de 24°C, se presenta una precipitación media anual que oscila entre 300 a 400 mm con distribución bimodal y el suelo se caracteriza por presentar una textura franco-arenosa.

Se utilizó la variedad Corpoica JJT18, de sorgo dulce forrajero. Es ampliamente empleada en el país para la suplementación nutricional, especialmente en los sistemas de producción de ganadería bovina. Posee un rendimiento promedio de 45 t.ha⁻¹ de forraje verde y una concentración de sólidos solubles entre 13,0 y 16,7° brix. (AGROSAVIA 2020, Bernal 2013, ICA 2013).

El diseño experimental usado fue de bloques completos al azar (DBCA) con 3 repeticiones y 6 tratamientos, para un total de 18 unidades experimentales. Los tratamientos consistieron en la aplicación de: T1- Cloruro de mepiquat (100 g i.a.ha⁻¹), T2- Etefón (720 g i.a.ha⁻¹), T3- Etefón (1200 g i.a.ha⁻¹), T4- Cloruro de mepiquat (25 g i.a.ha⁻¹) + Etefón (360 g i.a.ha⁻¹), T5- Trinexapacetyl (200 g i.a.ha⁻¹) y el T6 correspondió al testigo sin aplicación de retardantes de crecimiento. Los reguladores fueron aplicados en los estados de desarrollo 1 y 3, considerando la primera aplicación antes de la diferenciación del primordio foliar y la segunda precisamente en el cambio de la actividad meristemática de crecimiento vegetativo a reproductivo. Para evitar el efecto de deriva de los retardantes, las aplicaciones se realizaron con ayuda de una bomba de CO₂, calibrada a una presión de 35 PSI y con un volumen de agua de 150 L.ha⁻¹. La unidad experimental consistió en parcelas de 6 surcos de 10 metros de largo y una distancia entre surcos de 0,8 m, para un área de 48 m², separadas entre ellas por 4 surcos de siembra con el mismo material.

La densidad de plantas ocupada fue de 75 000 plantas.ha⁻¹.

De acuerdo con los análisis de suelos de cada localidad y el requerimiento nutricional de las plantas se definió el plan de fertilización, sin embargo, se decidió disminuir en un 25% la fertilización nitrogenada puesto que la recomendación referente fue la sugerida para producción de forraje donde se requiere favorecer el crecimiento y alargamiento de las plantas. En ningún caso el cultivo presentó indicadores de déficit del elemento. La fertilización se realizó con la aplicación de los compuestos simples: N: 94, P₂O₅: 51, K₂O: 121, Ca: 23, Mg: 20 y S: 18 en kg.ha⁻¹; el control de arvenses, plagas y patógenos se efectuó contemplando las técnicas de manejo integrado recomendadas para cada caso y algunas sugeridas por Bernal *et al.* 2014.

Las variables evaluadas durante el estudio correspondieron a variables de crecimiento y morfoagronómicas: altura de la planta a cosecha, medida desde la base del tallo hasta la panícula; diámetro en la parte media del tallo; área foliar de las 3 hojas indicadoras (en dónde la segunda hoja correspondió a la última hoja superior ligulada, la hoja inmediatamente superior fue la primera hoja y la hoja inmediatamente inferior fue la tercera); porcentaje de volcamiento; rendimiento de semilla (considerando una humedad del 14% a cosecha y medida en campo y expresado en kg.ha⁻¹); y el peso de mil semillas.

Los datos obtenidos fueron procesados con el programa estadístico R Studio® (R Core Team 2020) en dónde se realizó el procedimiento de análisis de varianza – ANOVA, y se comprobaron los supuestos de normalidad, homocedasticidad y no aditividad, con las pruebas de Shapiro-Wilk y Bartlett. Asimismo, se realizó la prueba de comparación de medias de Tukey con un nivel de significancia de 0,05. Para explicar la variación en la respuesta de la variedad en el bloque se empleó el siguiente modelo estadístico lineal: $Y_{ijk} = \mu + R_i + L_j + (RL)_{ij} + \beta k(j) + \varepsilon_{ijk}$, dónde Y_{ijk} es igual al resultado promedio de las variables del i-ésimo retardante obtenido en la j-ésima localidad y k-ésima repetición; μ equivale

a la media general de las variables; R_i semeja el efecto del i -ésimo retardante; L_j es el efecto de la j -ésima localidad; $(RL)_{ij}$ indica la interacción entre el i -ésimo retardante de crecimiento y la j -ésima localidad, $\beta k(j)$ corresponde al efecto del bloque en la k -ésima repetición y en la j -ésima localidad y ε_{ijk} indica el efecto aleatorio del error experimental relacionado al i -ésimo retardante en la j -ésima localidad y k -ésima repetición, de acuerdo con el modelo lineal aditivo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la evaluación fueron evidentes las diferencias estadísticas significativas para las localidades y los tratamientos en los parámetros de crecimiento de las plantas (Tabla 1). En los 2 ambientes el tratamiento T5 de trinexapac-etil fue el que presentó la menor altura a cosecha con un valor aproximado de 2,1 metros comparada con la longitud del testigo que superó los 3,5 metros (Figura 1). Los resultados demuestran que la aplicación de 200 g i.a.ha⁻¹ de trinexapac-etil en los estados de desarrollo 1 y 3 reduce entre el 40,8 y 43,5% el porte de la planta en

MOT y NAT respectivamente. Este resultado coincide con lo reportado por Julio *et al.* (2021) quienes encontraron que con el uso trinexapac-etil se logró una reducción del 40% de la altura de las plantas de sorgo.

Referente al diámetro del tallo, en el análisis de varianza combinado se presentaron diferencias estadísticas significativas en la localidad (Tabla 1), en este sentido, en la comparación de medias por localidad en NAT se registraron 2 grupos de significancia estadística entre tratamientos, y se destaca que existe una tendencia de engrosamiento del tallo cuando se disminuye la altura de la planta, es decir que parece existir una compensación respecto al porte de las plantas de sorgo (Figura 1), sin embargo no se detectaron diferencias significativas cuando se aplicaron los retardantes respecto al tratamiento control. Kebrom *et al.* (2017) en un estudio sobre el análisis de la dinámica de la expresión génica durante el desarrollo de entrenudos vegetativos del tallo de sorgo encontraron que existe una relación entre la retención de células pequeñas en la epidermis y la zona subepidérmica del tallo que contribuyen a aumentar su diámetro.

Tabla 1. Valores de los cuadrados medios y significancia del análisis de varianza para las variables de parámetros de crecimiento de altura de la planta a cosecha, diámetro de tallo y área foliar, evaluados en el primer semestre del 2022 en la localidad del Valle cálido del Alto Magdalena (NAT) y el Caribe seco colombiano (MOT).

Fuente de variación	GL	Altura de la planta (cm)	Diámetro del tallo (mm)	Área foliar (cm ²)
Localidad (L)	1	4400,1*	148,03***	93942,3***
Tratamiento (R)	5	18859,6***	3,89 ^{NS}	53396,9***
L x R	5	361,1 ^{NS}	3,63 ^{NS}	26579,1***
Error	24	726,2	5,19	2715,3
CV (%)		8,32	13,3	11,46
Mean		323,94	17,14	454,53

GL: Grados de libertad; CV: Coeficiente de variación; ***, *: diferencias significativas ($p < 0,001$) y ($p < 0,05$), respectivamente; NS: No significativo.

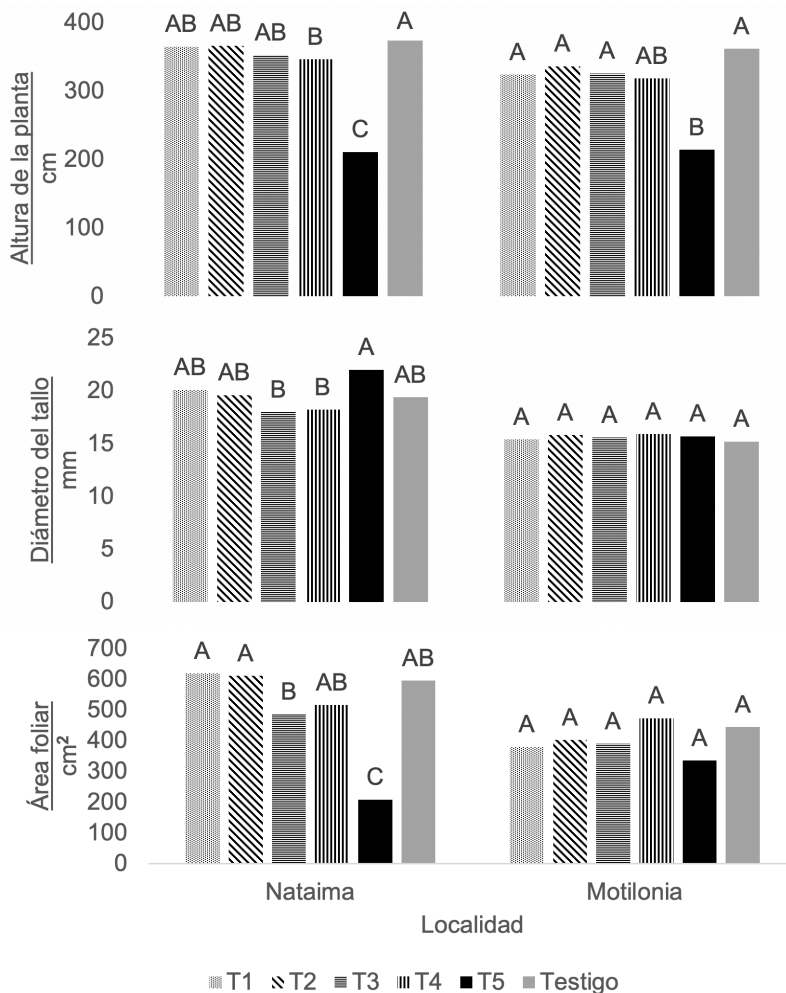


Figura 1. Crecimiento promedio de las plantas de sorgo forrajero en el periodo productivo 2022 en la localidad del Valle cálido del Alto Magdalena (NAT) y el Caribe seco colombiano (MOT).

* Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes con $p < 0,05$ (Tukey).

En la variable de área foliar se registraron diferencias altamente significativas para la localidad, los retardantes y su interacción. De igual forma se observa que el tratamiento de trinexa-pac-etil, en la localidad de Nataima, registró la menor área foliar de las hojas indicadoras que se evaluaron (Figura 1); conviene subrayar que en este estudio se encontró que el área foliar no tiene una relación directa con la acumulación de

materia seca en las semillas, pues a menor área foliar no se tradujo necesariamente en menor rendimiento. Este resultado indica que la aplicación de este retardante de crecimiento puede modificar la arquitectura de la planta sin que implique sombreado y por ende hay un mayor aprovechamiento de la intercepción lumínica. Estudios previos han reportado que, en el estrato superior de las plantas de sorgo, el ángulo de las hojas

puede representar un mejor aprovechamiento de la intercepción de la luz, lo que da como resultado un mayor potencial de rendimiento del cultivo (Zhi *et al.* 2022). En la localidad NAT se observó un síntoma de fitotoxicidad en las plantas con la aplicación del trinexapac-etil específicamente durante el estado de desarrollo 4 (Figura 2),

esto provoca un acortamiento de los nudos; con respecto a esto Rademacher (2000) indica que los retardantes de crecimiento vegetal cuando son empleados de forma apropiada no provocan síntomas visibles de daños a la planta que puedan comprometer su productividad.



Figura 2. Evidencia de plantas de sorgo dulce con síntomas de fitotoxicidad por efecto de la aplicación de Trinexapac-etil a dosis de 200 g i.a. ha⁻¹ en la localidad del Valle cálido del Alto Magdalena (NAT) durante la evaluación del ciclo productivo 2022.

En las 2 localidades se evidenció el volcamiento basal de las plantas con diferencias estadísticas para las 3 fuentes de variación (Tabla 2), de forma particular en el análisis del ambiente de NAT los datos no presentaron una distribución normal por lo que, aunque son evidentes las diferencias entre los retardantes de crecimiento según la comparación de medias los tratamientos son estadísticamente semejantes. Cabe señalar que el tratamiento T5 de trinexapac-etil obtuvo los menores porcentajes de volcamiento en NAT y MOT con 1 y 8,3% respectivamente, el cual fue contrastante con el tratamiento T2 de etefón a mínima dosis que tuvo porcentajes de volcamiento de 91% para

MOT y 41,7% para NAT. Los demás tratamientos T1, T3, T4 y el testigo fueron contrastantes en las 2 localidades, es decir que existe un efecto ambiental que influye en el comportamiento de los retardantes respecto a esta variable (Figura 3). De acuerdo con Stubbs *et al.* (2020) se puede inferir que la resistencia de flexión del tallo fue menor en MOT que en NAT. La fuerza de referencia o de carga externa aplicada sobre las plantas fue inducida principalmente por condiciones ambientales adversas, como la velocidad del viento y las altas precipitaciones en momentos de flexión. Esta condición de exceso de lluvia fue predominante en MOT, donde tuvo picos de precipitación de hasta 90 mm día en

estadios tempranos de formación de grano y que se lograron determinar en el balance hídrico

que se elaboró para las localidades de prueba (Flórez- Gómez 2023).

Tabla 2. Valores de los cuadrados medios y significancia del análisis de varianza para las variables porcentaje de volcamiento, peso de mil semillas y rendimiento de semilla tomadas en la evaluación del primer semestre del 2022 en la localidad del Valle cálido del Alto Magdalena (NAT) y el Caribe seco colombiano (MOT).

Fuente de variación	GL	Volcamiento (%)	Rendimiento (kg.ha ⁻¹)	Peso de mil semillas (g)
Localidad (L)	1	15708,4***	72 ^{NS}	72,25***
Tratamiento (R)	5	2722,7*	2867533***	1,89 ^{NS}
L x R	5	4359,0***	5092631***	2,25*
Error	24	703	189883	0,83
CV (%)		59,73	41,5	3,21
Mean		44,39	1050,9	28,47

GL: Grados de libertad; CV: Coeficiente de variación; ***, *: diferencias significativas ($p < 0,001$) y ($p < 0,05$) respectivamente; NS: No significativo.

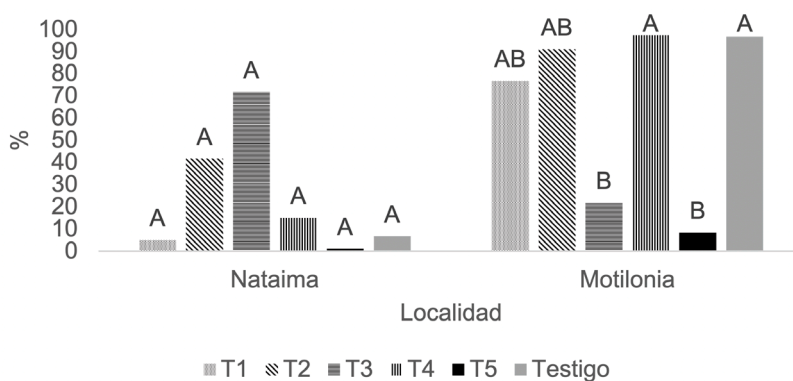


Figura 3. Comparación de medias para la variable de porcentaje de volcamiento de plantas en el periodo productivo 2022 en localidad del Valle cálido del Alto Magdalena (NAT) y el Caribe seco colombiano (MOT).

* Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes con $p < 0,05$ (Tukey).

La Figura 4 indica que existe una correlación negativa entre el porcentaje de volcamiento de las plantas y el nivel de productividad de semilla, pues a mayor porcentaje de volcamiento se presenta un menor rendimiento. Nuevamente sobresale la aplicación de trinexapac-etil cuyo rendimiento de semilla fue de 2,9 t.ha⁻¹ y 1,4

t.ha⁻¹ en MOT y en NAT respectivamente. Lo anterior discrepa de lo encontrado en un experimento de Julio *et al.* (2021), en el cual la aplicación de este retardante se realizó cuando las plantas habían desarrollado 8 y 12 hojas y obtuvieron una reducción en el rendimiento de semilla del 41%. Esta situación puede ser debida sobre

todo por el momento de aplicación del regulador, que en el caso de los investigadores fue cercana a la fase reproductiva y en este estudio se efectuó en los primeros estados de desarrollo vegetativo, puntualmente antes y durante la diferenciación meristemática. Los resultados obtenidos dan evidencia que la aplicación de los retardantes en las plantas de sorgo dulce forrajero en los estados vegetativos 1 y 3 según la escala de Vanderlip y Reeves (1972) tienen un mayor efecto sobre los parámetros de crecimiento, dado que en la fase

vegetativa la longitud del tallo está regulada por la tasa y la duración de la división y elongación de las células del entrenudo, esta zona de división celular es conocida como el meristemo; y cuando cambia la actividad meristemática del primordio foliar a floral la aplicación de estos productos genera que se presenten alteraciones en la señalización de hormonas, especialmente en las giberelinas y por ende se disminuye la proliferación celular (Yu *et al.* 2022).

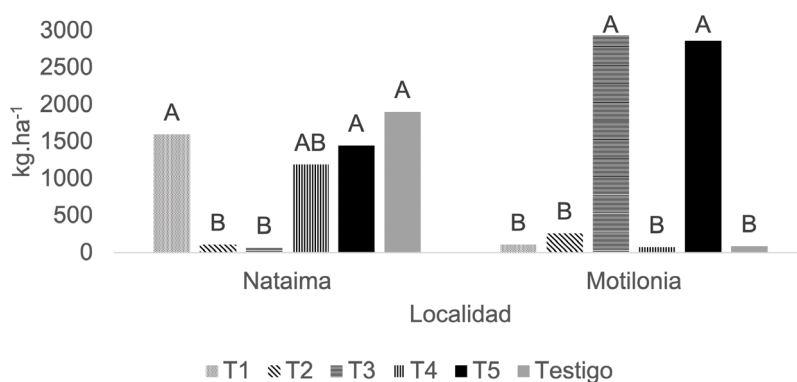


Figura 4. Comparación de medias para la variable del rendimiento de semilla en el periodo productivo 2022 en localidad del Valle cálido del Alto Magdalena (NAT) y el Caribe seco colombiano (MOT).

* Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes con $p < 0,05$ (Tukey).

En el dendrograma de la Figura 5 se detalla el análisis multivariado de los tratamientos y se aprecia su agrupación en 2 conglomerados. Se destaca que el tratamiento T5 de trinexapac-etil,

no se agrupa con los demás tratamientos debido a su composición y respuesta en la evaluación de las variables medidas.

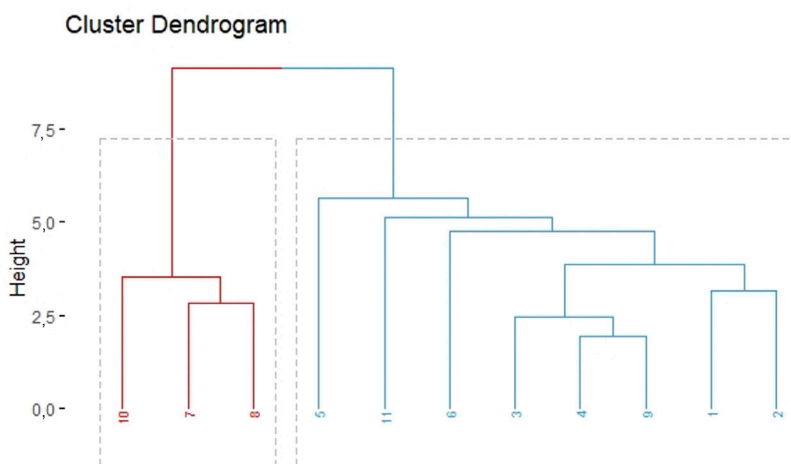


Figura 5. Dendrograma de retardantes de crecimiento aplicados para la producción de semilla de sorgo en el semestre productivo 2022 en la localidad del Valle cálido del Alto Magdalena (NAT) y el Caribe seco colombiano (MOT).

CONCLUSIONES

Con la aplicación de $200 \text{ g i.a.ha}^{-1}$ de Trinexapac-etil durante los estados de desarrollo 1 y 3 en lotes de sorgo dulce forrajero destinados a la producción de semilla certificada, se genera un menor desarrollo vegetativo de las plantas, un menor porcentaje de volcamiento y esto se refleja en una mejora en el rendimiento de semilla.

Se evidenció que existe un efecto ambiental que influye en la respuesta de las plantas de sorgo dulce forrajero a los retardantes. La mejora en rendimiento fue mayor en la localidad de Motilonia ubicada en el Caribe seco colombiano.

El Trinexapac-etil a la dosis aplicada tuvo un efecto positivo en la reducción de la altura de la planta y el área foliar, lo cual puede facilitar las labores de cosecha mecanizada, las labores de postcosecha y la calidad de la semilla.

RECOMENDACIONES

Se sugiere evaluar el retardante Trinexapac-etil en dosis menores a la evaluada para evitar síntomas de fitotoxicidad y retrasos en el

desarrollo de las plantas establecidas en campo. Se recomienda evaluar la interacción del uso del retardante con prácticas de manejo agronómico como la nutrición y la densidad poblacional. Es importante comprobar la efectividad del retardante Trinexapac-etil en áreas mayores a las experimentales y su validación en campos de producción de semilla certificada que validen los resultados experimentales de este estudio.

AGRADECIMIENTOS

Las personas autoras agradecen al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVA), a los Centros de Investigación Nataima y Motilonia, al Departamento de Semillas y la Coordinación de la Producción de Semillas, por su participación y financiación en el marco del proyecto “Conservación y producción de semilla y material vegetal de calidad para las Ofertas Tecnológicas corporativas de AGROSAVIA con el fin de activar procesos de escalamiento y vinculación comercial (Fase III)”.

LITERATURA CITADA

- AGROSAVIA (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria). 2020. Sorgo dulce para forraje Corpoica JTT-18 (en línea, sitio web). Consultado 18 de jul. 2023. Disponible en <https://www.agrosavia.co/productos-y-servicios/oferta-tecnol%C3%B3gica/1%C3%ADnea-pecuaria/ganader%C3%ADa-y-especies-menores/material-reproductivo-vegetal-semillas/302-sorgo-dulce-corpoica-jtt-18>
- Amombo, E; Ashilenje, D; Hirich, A; Kouisni, L; Oukarroum, A; Ghoulam, C; Gharous, M; Nilahyane, A. 2022. Exploring the correlation between salt tolerance and yield: research advances and perspectives for salt-tolerant forage sorghum selection and genetic improvement. *Planta* 255(3):71.
- Arévalos, A; Redondo, E; Insrán, A. 2019. Daños mecánicos asociados al procesamiento de granos y semillas: una revisión de la literatura. *Latin American Journal of Applied Engineering* 4 (2):1-14.
- Bernal, JH; Rincón, A; Guevara, E; Hernández, R; Flórez, H. 2014. Boletín técnico Sorgo forrajero Corpoica JTT-18. Villavicencio, Colombia. 60 p.
- Bernal, JH. 2013. Efecto de las variaciones ambientales en el crecimiento, desarrollo y acumulación de azúcares en variedades de sorgo dulce (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). Tesis Ph.D. Bogotá, Colombia, Universidad Nacional de Colombia. 164 p.
- Flórez Gómez, DL. 2023. Evaluación de retardantes de crecimiento en la producción de semilla de sorgo dulce forrajero (*Sorghum bicolor* L. Moench). Tesis M.Sc. Guadalajara, México, Universidad de Guadalajara. 85 p.
- Godoy, JC. 2016. Identificación de las causas de pérdida de competitividad del cultivo de sorgo (*Sorghum*) en Colombia. Revisión. Tesis pregrado. Bogotá, Colombia, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales. Consultado 18 jul. 2023. Disponible en <https://repository.udca.edu.co/bitstream/handle/11158/765/Trabajo%20final%20tesis%20de%20sorgo.%20Juan%20Camilo%20Godoy%202017%20junio%207.pdf;jsessionid=B284A56E38F34CBBADDEE949BE743F6A3?sequence=1>
- Holdridge, LR; Grenke, WC; Hatheway, WH; Liang, T; Tosi, JA. 1971. Forest environments in tropical life zones, a pilot study. Defense Technical Information Center. s.l. 747 p.
- Hu, W; Zhou, L; Chen, JH. 2022. Conversion sweet sorghum biomass to produce value-added products. *Biotechnol Biofuels Bioproducts* 15(1):72.
- ICA (Instituto Colombiano Agropecuario). 2013. Resolución N° 4245. 2013. Registro de la variedad de sorgo forrajero CORPOICA JTT-18 de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria
- CORPOICA. Diario Oficial del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). Colombia. 11 oct.
- Julio, MP; Magalhães, PC; Soares Viana, AR; Mingote Julio, BH; Santos, CV; Parrella, NN; Menezes, CB. 2021. Trinexapac-Ethyl Reduces Plant Height and Seed Yield in Forage Sorghum. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo* 20:212.
- Kebrom, TH; McKinley, B; Mullet, JE. 2017. Dynamics of gene expression during development and expansion of vegetative stem internodes of bioenergy sorghum. *Biotechnology for Biofuels* 10:159.
- MADR (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural). 2018. Ganaderos tienen en la siembra de sorgo forrajero una buena alternativa de alimentación para sus animales (en línea). Consultado 18 jul. 2023. Disponible en <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/Ganaderos-tienen-en-la-siembra-de-sorgo-forrajero-una-buena-alternativa-de-alimentación-para-sus-animales-.aspx>
- Mejía-Kerguelén, S; Tapia-Coronado, JJ; Atencio Solano, LM; Cadena Torres, J. 2019. Producción y calidad nutricional del forraje del sorgo dulce en monocultivo e intercalado con maíz y frijol. *Pastos y Forrajes* 42(2):1-15.
- Nakayama, K; Kamiya, Y; Kobayashi, M; Abe, H; Sakurai, A. 1990. Effects of a plant-growth regulator, prohexadione, on the biosynthesis of gibberellins in cell-free systems derived from immature seeds. *Plant Cell Physiology* 31:1183-1190.
- R Core Team. 2020. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Consultado 10 oct. 2022. Disponible en <https://www.r-project.org/>
- Rademacher, W. 2000. Growth retardants: Effects on Gibberellin Biosynthesis and Other Metabolic Pathways. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 51:501-531.
- Rodríguez-Gómez, JC; García- De los Santos, G; Hernandez- Livera, A; Hernandez-Martinez, M. 2021. Evaluación agronómica de sorgos forrajeros en el Bajío, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 44(4):687:691.
- Stubbs, CJ; Oduntan, YA; Keep, TR; Noble, SD; Robertson, DJ. 2020. The effect of plant weight on estimations of stalk lodging resistance. *Plant Methods* 16:128.
- Torres de Souza, L; Curitiba, M; Soares, V; Fernandes dos Santos, D; Alves de Souza, M. 2010. Growth retardants in wheat and its effect in physiological quality of seeds. *Ciencia Rural* 40(6):1431-1434.
- Vanderlip, RL; Reeves, HE. 1972. Growth stages of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Agronomy Journal* 64:13-16.
- Yu, KMJ; Oliver, J; McKinley, B; Weers, B; Fabich, HT; Evetts, N; Conradi, MS; Altobelli, SA; Marshall Colon, A; Mullet, J. 2022. Bioenergy sorghum stem growth regulation: intercalary meristem

- localization, development, and gene regulatory network analysis. *Plant Journal* 112(2):476-492.
- Zabala, M; Angarita, M; Aguirre, A; Restrepo, J; Montoya, C. 2009. Estrategias para incrementar la producción de metabolitos secundarios en cultivos de células vegetales. *Revista Facultad Nacional de Agronomía de Medellín* 62(1):4881-4895.
- Zhi, X; Tao, Y; Jordan, D; Borrell, A; Hunt, C; Cruickshank, A; Potgieter, A; Wu, A; Hammer, G; George Jaeggli, B; Mace, E. 2022. Genetic control of leaf angle in sorghum and its effect on light interception. *Journal of Experimental Botany* 73(3):801-816.



Agronomía Costarricense. Universidad de Costa Rica. Se encuentra licenciada con Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional. Para mayor información escribir a rac.cia@ucr.ac.cr