

EFFECTO DE LA UTILIZACIÓN DE HERBICIDAS PREEMERGENTES SOBRE EL CULTIVAR DE CAÑA DE AZÚCAR C86-12

EFFECT OF THE USE OF PRE-EMERGENT HERBICIDES ON SUGARCANE CULTIVAR C86-12

Odeiky Torrejón González¹, Lorenzo Rodríguez Estrada², Isnoel Rodríguez³

¹Empresa Agroindustrial Azucarera Majibacoa, Carretera central Km 722 Carmenate 3, poblado de Vivienda, Majibacoa, Las Tunas

²Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar, Carretera a la CUJAE, Km 1½ Boyeros, CP 19390, La Habana, Cuba

³UEB INICA Las Tunas, carretera Puerto Padre, Km 2½, Los Pinos, Reparto Buena Vista, Tunas, CP: 77700, Las Tunas, Cuba

e-mail: lorenzo.rodriquez@inica.azcuba.cu,

Resumen

La investigación se desarrolló en el Bloque Experimental del Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar en Las Tunas, ubicado en el municipio Majibacoa, Cuba, con las coordenadas 20.8989 de longitud y 76.7920 de latitud. El objetivo del ensayo fue evaluar el efecto que causa la aplicación de diferentes herbicidas preemergentes sobre el cultivo de la caña de azúcar. Estos herbicidas empleados en Cuba para el control preemergente de las plantas arvenses se aplicaron en dos momentos de desarrollo de la caña, inmediatamente después de tapada las estacas de caña y 30 días después de plantada la caña con la emisión de hojas activas, la cepa utilizada fue caña planta del cultivar C86-12, plantada en un suelo Sialitizado Cálcico plastogénico. Los herbicidas fueron Merlin, Merlin Total, Hezaxinona, Alion Pro, Mayoral, y Dromon. Los resultados mostraron que todos los herbicidas aplicados causaron síntomas de fitotoxicidad en el cultivo, siendo fuerte cuando éstos se aplican sobre el follaje del cultivo. Esta fitotoxicidad se refleja en los parámetros de desarrollo y crecimiento de la caña, afectando principalmente la longitud de los tallos y la producción total en las toneladas de caña por hectárea, siendo superior cuando son aplicados tardíamente; los herbicidas Hezaxinona, Mayoral y el Dromon fueron los que causaron las mayores afectaciones. Se concluye que los herbicidas comerciales Mayoral, Dromon, Merlin, Merlin Total y Hexazinona causan daños fitotóxicos al cultivo y aplicados en post-emergencia del cultivo causaron efectos negativos en la longitud de los tallos y en el rendimiento agrícola.

Palabras claves: caña de azúcar, fitotoxicidad, preemergentes, arvenses, rendimiento.

Abstract

The research was carried out in the Experimental Block of the Sugar Cane Research Institute in Las Tunas, located in the Majibacoa municipality, Cuba, with coordinates 20.8989 longitude and 76.7920 latitude. The objective of the test was to evaluate the effect caused by the application of different pre-emergent herbicides on the sugarcane crop. These herbicides used in Cuba for pre-emergent control of weed plants were applied at two times of cane development, immediately after covering the cane stakes and 30 days after planting the cane with the emission of active leaves, the strain used was cane plant of the C86-12 cultivar, planted in a plastogenic Calcium Sialitized soil. The herbicides were Merlin, Merlin Total, Hezaxinona, Alion Pro, Mayoral, and Dromon. The results showed that all the herbicides applied caused phytotoxicity symptoms in the crop, being strong when these were applied to the foliage of the crop. This phytotoxicity is reflected in the development and growth parameters of the cane, mainly affecting the length of the stems and the total production in tons of cane per hectare, being higher when they are applied late, and the herbicides Hezaxinone, Mayoral and Dromon were those that caused the greatest damage. It is concluded that the commercial herbicides Mayoral, Dromon, Merlin, Merlin Total and Hexazinone cause phytotoxic damage to the crop and applied post-emergence of the crop caused negative effects on the length of the stems and agricultural yield.

Keywords: sugarcane, phytotoxicity, pre-emergents, weeds, yield.

Introducción

La caña de azúcar presente en su mayor parte en las regiones tropicales y subtropicales, continuará representando más de 85% de la producción de cultivos para la obtención de azúcar, según reporte de OCDE-FAO, Perspectivas agrícolas 2023-2032. Además, se espera que la producción de Brasil se incremente como resultado tanto de la expansión de la superficie como de las mejoras en el rendimiento, bajo el impulso de los precios remunerativos. Los aumentos en productividad, incluidas las mejoras de las variedades y las mayores tasas de extracción, impulsarán el crecimiento de la producción de azúcar en la India y Tailandia. En África se prevé que la producción de caña de azúcar del principal productor, Sudáfrica, aumentará sustentada por las medidas de apoyo gubernamental al sector. (OCDE/FAO 2023).

A los métodos de manejo de arvenses químicos y mecánicos se le atribuyen inconvenientes de tipo ecológico y económico respectivamente, a los métodos tradicionales de manejo (guataca) que son los más armónicos con la naturaleza y menos costosos, se le señalan serias limitaciones por su baja productividad y escasez de mano de obra (Altieri, 2011).

Las razones para evaluar un herbicida en el campo son múltiples, desde verificar la efectividad biológica hasta medir la residualidad de los herbicidas en el suelo o en las plantas (Domínguez, 2008). Estos son productos químicos capaces de alterar la fisiología de la planta causando la muerte o desarrollo anormal de la misma. Los mismos generan

su efecto letal actuando sobre un sitio primario de acción y generando una serie de efectos secundarios y terciarios que conllevan a la muerte de la planta (Diez, 2013).

Los cultivares de caña de azúcar presentan respuestas diferenciadas a los herbicidas debido a esto tienen frecuentes problemas de fitotoxicidad, lo que llega a ocasionar la reducción de la productividad de los cultivares de caña de azúcar (Esqueda-Esquivel y Rosales-Robles, 2013).

Los problemas que llegan a causar los herbicidas se dan al momento de la aplicación, cuando no se cumplen rigurosamente las recomendaciones de uso y las precauciones debidas de cada herbicida ya sea sistémico o de contacto. Por esta razón, los productos cuentan con recomendaciones (Monsanto, 2018).

La investigación se trazó como objetivo evaluar el efecto sobre la caña de azúcar de la aplicación de herbicidas en pre y post-emergencia del cultivo.

Materiales y Métodos

Ubicación y características del área experimental.

La investigación se desarrolló en el área del Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar Las Tunas, ubicado en el municipio Majibacoa, con las coordenadas 20.8989 de longitud 76.7920 de latitud, tomado de <https://maps.app.goo.gl/YuMtsRQdsaWaiWFAA>. El área procedía de un campo en reposición. El cultivar empleado fue la C86-12, plantada en el mes de septiembre del 2021 y cosechada en enero del 2023, el suelo predominante es clasificado como Sialitizado cálcico plastogénico (Hernández, 2015).

Cada parcela estaba conformada por 4 calles de 1.60 metros de ancho por 10.00 metros de largo para 64.00 m², se empleó un diseño experimental completamente aleatorio, con 5 réplicas por tratamientos. Se muestrearon los surcos centrales de cada parcela.

Momento y forma de aplicación de los productos

Los herbicidas se aplicaron en dos momentos de desarrollo del cultivo, inmediatamente después de plantada las estacas de la caña y a los 30 días de plantada la caña (**ddp**), ya brotada y emitiendo hojas las plantas. Los tratamientos herbicidas fueron aplicados con una asperjadora de espalda de 16 litros de capacidad, calibrada para entregar en cada parcela el volumen de solución final adecuada (Tabla 1).

Tabla 1. Tratamientos evaluados en el ensayo

Producto comercial (Dosis L o Kg ha ⁻¹)	Ingrediente activos (ia)	Momentos de aplicación	
		00 (ddp)	30 (ddp)
Merlin a 0.25 kg ha ⁻¹	<i>Isoxaflutole (IFT)</i>	X	X
Merlin Total a 0.25 L ha ⁻¹	<i>IFT + Indaziiflam (IDZ)</i>	X	X
Hezaxinona a 3.00 L ha ⁻¹	<i>Hezaxinona</i>	X	X
Alion Pro a 1.75 L ha ⁻¹	<i>IDZ + Metribuzin</i>	X	X
Mayoral a 0.55 L ha ⁻¹	<i>Imazapic + Imazapyr</i>	X	X
Drómon a 0.20 kg ha ⁻¹	<i>Imazapic</i>	X	X
Tratamiento control			

ddp: días después de plantada la caña

Las parcelas donde se aplicaron los tratamientos de post-emergencia del cultivo se mantuvieron limpias en los primeros 30 días a través de escardas (azadas), incluyendo al tratamiento control que se mantuvo limpio hasta los 120 días de plantada la caña. A todos los tratamientos se les realizó limpia manual cada vez que lo requerían para no introducir una variable nueva hasta la cosecha.

Observaciones fenológicas realizadas a la plantación

- *Número de tallos.* Para determinar su número se contaron todos los tallos de las parcelas a los 5, 10 y 16 meses, momento en que se cosechó el experimento.
- *Medición de la altura de los tallos.* Con cinta métrica desde la base del tallo hasta el primer *dewlap* visible (hoja +1) en 20 tallos continuos de dos surcos centrales de cada parcela. Esto se realizó a los 5, 10 meses y al momento de la cosecha. Se expresó en metros.
- *Medición del diámetro de los tallos.* Con pie de rey, en un entrenudo del tercio central de 20 tallos continuos por parcela de dos surcos centrales, solo al momento de la cosecha. Se expresó en centímetros.

El rendimiento agrícola fue estimado, para ello se tomó en consideración el conteo de tallos antes referido en los surcos centrales y se cortaron 20 tallos continuos de cada parcela, a los que se les determinó su peso.

El rendimiento se estimó de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\text{Rendimiento agrícola t/ha} = C * (M/20) / 30 / 1000$$

Dónde: C es la cantidad de tallos en la parcela; M es el peso de las muestras de tallos; 20 es el número de tallos, 30 es la longitud de surco en la que se realiza el conteo de tallos, expresada en m y los coeficientes 6250 y 1000 son factores utilizados para expresar el rendimiento en t/ha.

Determinación de la fitotoxicidad.

La fitotoxicidad en la caña de azúcar a los herbicidas utilizados fue evaluada con referencia al control absoluto. En cada parcela se realizó una observación de los síntomas “en el cultivo”; en la Tabla 2 se presenta la escala de puntuación de la European Weeds Research Society, (Johannes y Schoh, 1971, citados por Ciba Geigy, 1981) para fitotoxicidad en la caña de azúcar.

Las evaluaciones se realizaron a los 30, 45 y 60 días después de la aplicación (**dda**) de los herbicidas. En los dos surcos centrales de cada parcela se evaluaron las plantas de caña pertenecientes a 10 plantones que se seleccionaron al azar (6 metros), que representan aproximadamente el 30 % del total.

Tabla 2: Escala de puntuación de la European Weeds Research Society, para evaluar la fitotoxicidad en la caña de azúcar.

Grado	Descripción
1	Ausencia absoluta de síntomas, plantas sanas
2	Síntomas muy leves, cierta atrofia
3	Síntomas leves pero claramente apreciables, clorosis
4	Síntomas más acusados, fuerte clorosis aun sin necrosis, probablemente sin efecto negativo en la cosecha.
Límite de aceptabilidad	
5	Daño medio, fuerte clorosis y/o necrosis, diseminadas en manchas pequeñas, es de esperar la pérdida de rendimiento
6	Daños elevados, clorosis muy fuerte, necrosis en el 50 % de las hojas tratadas
7	Daños muy elevados, desecación de la mitad de las hojas tratadas
8	Daños severos, desecación de todas las hojas tratadas
9	Muerte de la planta. Desecación de la planta completa.

Procesamiento estadístico de los datos

Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza y la prueba de rango múltiple de Duncan al 0,05 % de significación en los casos que correspondía. Se utilizó el paquete estadístico Infostat versión 2016 (Di Rienzo *et al.*, 2016).

Resultados y Discusión

Efecto de la aplicación de los herbicidas sobre cultivar C86-12

Los resultados de los análisis estadísticos arrojaron que existe diferencia significativa entre los dos momentos de aplicación independientemente del herbicida empleado (Tabla 3), cuando las aplicaciones se realizan posterior a la siembra y con demora de 30 días hay un grupo de herbicidas que causan daños a las plantas, sin embargo el cultivo es capaz de ir recuperándose.

El análisis de la interacción entre los herbicidas empleados y el momento de aplicación, arrojó que a los 30 y 45 días de aplicados los tratamientos de herbicidas hubo diferencias altamente significativas entre ellos.

Los tratamientos donde se aplicaron los herbicidas comerciales Mayoral (*Imazapic + Imazapir*) y Dromon (*Imazapic*) a los 30 días de plantada la caña, fueron los que causaron los mayores daños visuales sobre el cultivo, sin diferencias entre ellos. Los tratamientos de Merlin (*Isoxaflutole*), Merlin Total (*Isoxaflutole + Indaziflam*) y Hexazinona aplicados en ese momento no tuvieron diferencias significativas entre ellos, pero los grados de fitotoxicidad fueron superiores al resto de los tratamientos evaluados con estos herbicidas cuando fueron aplicados inmediatamente después de plantada la caña, el Alion Pro (*Indaziflam + Metribuzin*) no causó daños al cultivo. Todas las aplicaciones realizadas al momento de plantada la caña no arrojaron diferencias entre ellos al realizar el análisis estadístico, aunque en las evaluaciones visuales se observaron síntomas a causa de los herbicidas, con las mayores afectaciones donde se aplicaron Dromon y Mayoral.

Estos resultados coinciden por los reportados por La Rosa (2021) en un estudio realizado en Cuba, quien encontró que la fitotoxicidad provocada por los diferentes herbicidas aplicados inmediatamente después de plantada la caña fue baja y que a los 30 dda solamente con los tratamientos *Isoxaflutole* y el *Imazapic + Imazapyr* (Mayoral) se alcanzó el grado 2, donde se aprecian síntomas muy ligeros. Mientras que Arias (2018), al evaluar la eficacia de Alion Pro, concluye que el producto es fitocompatible con el cultivo de la caña de azúcar.

A los 45 ddp se observa una recuperación de los daños causados por los herbicidas. El análisis estadístico arrojó que el Dromon aplicado a los 30 días de plantada la caña causó los mayores daños, superando estadísticamente a los tratamientos evaluados en ambos momentos de aplicación, mientras que *Mayoral* también mostró resultados estadísticos diferentes al de los tratamientos aplicados a los 30 días de plantada la caña e inmediatamente después de la plantación. El resto de los tratamientos tuvieron un comportamiento similar, independientemente del momento de aplicación. A los 60 días de aplicados los tratamientos la diferencia estadística entre ellos fueron ligeras, solo los tratamientos donde se aplicó Dromon y Mayoral a los 30 días de plantada la caña mostraron los resultados de mayores daños al cultivo. En general, el cultivo tuvo la capacidad de ir recuperándose de los daños iniciales causados por algunos de los herbicidas empleados, sin llegar a tener el mismo desarrollo que aquellos tratamientos donde se causaron los menores daños.

Tabla 3. Grados de fitotoxicidad de los herbicidas aplicados sobre el cultivar C86-12

Momento aplicación (ddp)	Grados Fitotoxicidad en los momentos evaluados(dda)					
	30 días		45 días		60 días	
0 días después de plantada la caña	1.30 b		1.28 b		1.06 b	
30 días después de plantada la caña	3.57 a		1.93 a		1.20 a	
Herbicidas evaluados	Momentos de evaluación (dda)					
	30 días		45 días		60 días	
	0 ddp	30 ddp	0 ddp	30 ddp	0 ddp	30 ddp
Merlin	1.25 c	3.48 b	1.08 c	1.75 c	1.03 b	1.08 b
Merlin Total	1.23 c	3.40 b	1.30 c	1.55 c	1.10 b	1.06 b
Hexazinona	1.10 c	3.33 b	1.13 c	1.18 c	1.00 b	1.00 b
Alion Pro	1.05 c	1.18 c	1.03 c	1.13 c	1.00 b	1.00 b
Mayoral	1.73 c	4.63 a	1.75 c	2.88 b	1.10 b	1.62 a
Drómon	1.78 c	4.88 a	1.70 c	4.00 a	1.18 b	1.68 a
Tratamiento control	1.00 c		1.00 c		1.00 b	
CV	31.04		32.45		17.80	
ES	0.4724		0.2708		0.0405	

Letras diferentes, difieren significativamente entre sí para $p \leq 0,05$

ddp: días de aplicado el herbicida con respecto a la plantación

dda: días de evaluación después de aplicado el tratamiento

Alfaro y Ocampo (2017) plantean que dos factores determinantes indiscutiblemente en el posible efecto fitotóxico que pueda presentar el cultivo, serán la residualidad de la molécula del herbicida y la susceptibilidad del cultivar, argumentos que se ajustan a los resultados alcanzados en el estudio, debido a que los herbicidas empleados son de alta residualidad en el suelo, pero sin resultados de tolerancia o susceptibilidad del cultivar ante la presencia de los herbicidas, el ensayo demostró que el cultivar es tolerante ante la aplicación del Alion Pro y con diferentes grados de susceptibilidad al resto de los herbicidas. También Arantes *et al.* (2010), aseveran que la tolerancia a un herbicida, es una respuesta gobernada en su mayoría por el factor genético, y la diferenciación metabólica y/o anatómica entre variedades.

Correia (2012), en estudio realizado obtuvo que en cuanto a los efectos fitotóxicos de los herbicidas en el cultivo a 30 dda, los herbicidas probados no causaron daño visual a las plantas de caña de azúcar, sin embargo, en la siguiente evaluación (a 60 dda) encontró intoxicación leve de las plantas, promovida por los herbicidas Imazapic, Hexazinone con puntajes inferiores a 4,4 %, mientras que a los 90 dda, los síntomas no se observaron,

resultado de la recuperación de las plantas. Esto demuestra que el cultivo de la caña es capaz de superar los efectos visuales de los daños iniciales

Comportamiento de los componentes del rendimiento

Al analizar el parámetro longitud de los tallos (Tabla 4), los resultados arrojaron que existen diferencias significativas entre los dos momentos de aplicación, en las tres evaluaciones realizadas a los 5, 10 y 16 meses de plantada la caña. Los tratamientos aplicados inmediatamente después de plantada la caña mostraron los mejores resultados estadísticos y de crecimiento del cultivo. Esto tiene su explicación en que los herbicidas tienen un efecto negativo en el desarrollo del cultivo cuando se retrasa su aplicación.

Al realizar un análisis entre los diferentes herbicidas empleados en los primeros meses de desarrollo del cultivo (5 meses) no se observaron diferencias estadísticas entre los tratamientos empleados, pero si una ligera retención de la longitud del cultivo cuando los herbicidas son aplicados de forma tardía, principalmente aquellos que causaron daños fitotóxicos en el cultivo. Los tratamientos donde se empleó Alion Pro y Hexazinona, junto al testigo sin aplicar fueron los de mayor longitud de los tallos, mientras los de menor longitud fueron aquellos herbicidas que tuvieron un comportamiento agresivo sobre el cultivo como son Dromon y Mayoral.

En la evaluación realizada a los 10 meses, el análisis estadístico arrojó diferencias significativas entre los diferentes tratamientos empleados, Alion Pro, Hexazinona y el testigo sin aplicar continuaron mostrando los mejores resultados en cuanto al crecimiento del cultivo en las dos evaluaciones, los tratamientos de Dromon y Mayoral fueron los de peores resultados y de mayor afectación en el crecimiento del cultivo.

En la evaluación realizada al momento de la cosecha, esta diferencia estadística se fue reduciendo, pero el cultivo no fue capaz de mitigar el efecto causado por los herbicidas aplicados cuando este ya presentaba hojas activas, con una reducción en el tamaño de las plantas cuando se aplicaron los herbicidas Dromon y Mayoral, Merlin Total.

Espinoza *et al.* (2014), plantean que los herbicidas que afectan la producción de aminoácidos afectan más la altura y la producción final, los resultados alcanzados en el presente estudio muestran que donde se aplicó las mezclas que tienen Dromon o Mayoral (ambos son imazapic = inhibidor de aminoácidos), son los que presentan menor altura.

Tabla 4. Longitud de los tallos en los diferentes tratamientos evaluados

Momento aplicación de los tratamientos (ddp)		Longitud de los tallos en los momentos evaluados				
		5 meses		10 meses		A la cosecha
0 días después de plantada la caña		0.53 a		1.27 a		2.92 a
30 días después de plantada la caña		0.46 b		1.12 b		2.86 b
Tratamientos herbicidas evaluados	Longitud de los tallos					
	5 meses		10 meses		A la cosecha	
	0 ddp	30 ddp	0 ddp	30 ddp	0 ddp	30 ddp
Merlin	0.52 ns	0.45 ns	1.27 abcd	1.08cde	2.93 ab	2.87 ab
Merlin Total	0.55 ns	0.47 ns	1.31 ab	1.11bcde	2.89 ab	2.82 ab
Hexazinona	0.53 ns	0.52 ns	1.29 abc	1.10 cde	2.95 ab	2.90 ab
Alion Pro	0.56 ns	0.52 ns	1.33 a	1.24 abcd	2.96 a	2.95 ab
Mayoral	0.51 ns	0.40 ns	1.21 abcde	1.03 e	2.86 ab	2.79 ab
Drómon	0.47 ns	0.36 ns	1.17 abcde	1.02 e	2.80 ab	2.74 b
Tratto control	0.56 ns		1.29 abc		2.97 a	
CV	18.39		6.78		3.00	
ES	0.0083		0.0066		0.0075	

ddp: días de aplicado el herbicida con respecto a la plantación .

Letras diferentes, difieren significativamente entre sí para $p \leq 0,05$

En la Tabla 5 se muestra la evolución de la cantidad de tallos por metro lineal. La evaluación entre los dos momentos de aplicación muestra diferencias significativas en las tres evaluaciones realizadas, donde se aplicó los herbicidas 30 días después de plantada la caña muestra la mayor cantidad de tallos, se infiere que puede estar influenciado por la muerte del tallo primario en los tratamientos donde se aplicó Dromon y Mayoral lo cual estimuló la emisión de tallos secundarios a partir de las yemas formadas. En los diferentes tratamientos evaluados, se observa que al realizar el análisis estadístico en el conteo a los cinco meses de aplicados los herbicidas, existen ligeras diferencias significativas entre algunos tratamientos y entre ellos mismos en los dos momentos de aplicación, el cultivo en esta evaluación se encuentra en plena etapa de ahijamiento donde se emiten la mayor cantidad de tallos y por eso muestra una cantidad considerable de tallos.

El tratamiento donde se aplicó la Hezaxinona a los 30 días de plantada la caña presenta el peor resultado en esta evaluación, este herbicida tiene un fuerte efecto post emergente

que puede dañar a las plantas emergidas sin llegar a la muerte y no estimular la emisión de otros tallos. Los herbicidas donde se observó mayor daño inicial sobre el cultivo Dromon y Mayoral causaron daños en los tallos iniciales con el atrofiamiento y muerte de los mismos, a partir de las yemas de estos tallos, emergieron tallos secundarios dando lugar a la presencia de un mayor número por metro, estos herbicidas fueron los que mayor fitotoxicidad mostraron sobre el cultivo, el resto de los tratamientos tuvieron un comportamiento similar. A partir de los 10 meses el cultivo muestra una compensación en la cantidad de tallos y se encuentran definidos los tallos que irán a la futura cosecha, no se observan diferencias significativas en las dos evaluaciones realizadas en este periodo hasta la cosecha, pero sí una ligera diferenciación del número de tallos por metro el cual se hace superior al llevarlo a la cantidad de tallos por hectárea.

Tabla 5. Cantidad de tallos por metro lineal en las diferentes evaluaciones.

Momento aplicación del herbicida (ddp)	Cantidad de los tallos por metro durante las evaluaciones					
	5 meses		10 meses		A la cosecha	
0 días después de plantada la caña	16.17 b		10.48 b		9.24 b	
30 días después de plantada la caña	17.13 a		10.88 a		9.81 a	
Tratamientos herbicidas evaluados	Cantidad de tallos por metro					
	5 meses		10 meses		A la cosecha	
	0 ddp	30 ddp	0 ddp	30 ddp	0 ddp	30 ddp
Merlin	16.33 ab	17.13 a	10.14 ns	10.74 ns	9.17 ns	9.78 ns
Merlin Total	16.81 ab	16.66 ab	10.29 ns	10.75 ns	9.12 ns	9.79 ns
Hexazinona	17.12 a	14.69 b	10.56 ns	10.79 ns	9.06 ns	9.49 ns
Alion Pro	16.30 ab	17.00 a	10.73 ns	10.95 ns	9.82 ns	9.48 ns
Mayoral	17.12 a	17.28 a	10.61 ns	10.91 ns	9.35 ns	10.02 ns
Drómon	16.54 ab	17.39 a	10.19 ns	10.92 ns	9.01 ns	10.07 ns
Tratto control	17.38 a		10.80 ns		10.06 ns	
CV	4.83		4.23		10.92	
ES	0.6461		0.2411		1.0830	

Letras desiguales difieren significativamente entre sí para $p \leq 0,05$

En la Tabla 6 se muestra el diámetro y las toneladas de cañas por hectárea. En el diámetro de los tallos el análisis estadístico arrojó que no existen diferencias significativas para ninguna de las variables estudiadas. Esto demuestra la estabilidad genética de este carácter, el cual es difícil de modificar.

El momento de aplicación es fundamental al elegir la aplicación de cualquier herbicida, debido a que pueden causar daños irreversibles al cultivo y en la cosecha. En este

estudio al evaluar los dos momentos de aplicación los resultados arrojaron diferencias significativas entre ellos, importante fue la afectación en toneladas de caña por hectárea donde se obtuvo una disminución de 8 toneladas por solo aplicar los tratamientos con la caña ya germinada.

Al evaluar los diferentes herbicidas, el análisis estadístico arrojó diferencias significativas entre ellos cuando fueron aplicados tardíamente y con ellos mismos entre los dos momentos que fueron aplicados. El herbicida Alion Pro fue el único producto que no arrojó diferencia respecto al el mismo entre los dos momentos que fue aplicado y con respecto al testigo control, demostrando que este herbicida se puede aplicar en cualquier fase de desarrollo del cultivo sin afectar los rendimientos del cultivo.

Todos los herbicidas reportaron los mejores resultados cuando fueron aplicados inmediatamente después de plantada la caña, ninguno arrojó diferencias con respecto a los otros en este momento de aplicación, aunque Merlin, Merlin Total, Mayoral y el Dromon reportaron disminución del rendimiento cuando es comparado con el testigo control, con una disminución entre 4 y 5 toneladas.

Al analizar los resultados entre los herbicidas aplicados 30 ddp la caña, los resultados estadísticos arrojó diferencia significativa entre los mismos, el Alion Pro no tubo diferencia con respecto al testigo control, pero estos fueron muy superiores al resto de los herbicidas, los herbicidas Mayoral y el Dromon reportaron los peores resultados.

Al realizar una comparación entre los mismos herbicidas en los dos momentos, se observa que existe diferencia entre ellos mismos en la mayoría de los tratamientos, siempre a favor de la aplicación realizada inmediatamente después de plantada la caña. Si evaluamos individualmente a cada uno en la producción total, el herbicida Merlin tuvo una afectación de 3.65 t ha^{-1} , el herbicida Merlin Total de 6.87 t ha^{-1} , la Hexazinona 9.78 t ha^{-1} , el Mayoral 10.70 t ha^{-1} y en el caso del Dromon 13.48 t ha^{-1} .

En los tratamientos con Mayoral y Dromon se confirman las afectaciones en las primeras etapas de desarrollo del cultivo, donde se observó que las aplicaciones tardías causaban atrofia y hasta la muerte de los tallos primarios y un crecimiento lento del cultivo. La Hexazinona también mostró diferencias significativas entre los momentos de aplicación, ya que la aplicación tardía de la misma causa una disminución en el crecimiento del cultivo, lo que se refleja en las toneladas de caña. Mientras los tratamientos donde se aplicó el Merlin y Merlin Total, que aparentemente no afectaron los parámetros de desarrollo del cultivo, supuestamente la clorosis que produce su aplicación reduce el desarrollo temporal de las plantas y afectan el rendimiento agrícola del mismo. Esto último esta en correspondencia por lo reportado por Ferreira *et al.*, (2010) indica que la reducción en la clorofila puede afectar la biosíntesis, al disminuir la producción de azúcares necesarios en la producción de biomasa, en la etapa de elongación, el mismo autor plantea que la Hexazinona inhiben fotosíntesis, mientras que el Dromon y Mayoral inhiben aminoácidos esenciales para la biosíntesis, reportando que estos mecanismos de acción pueden afectar el crecimiento del cultivo.

Otros autores como Ocampo *et al.*, (2013), afirman que la tolerancia o susceptibilidad a los herbicidas es una condición meramente genética y diversa la cual no se puede inferir, aunque se conozcan los progenitores del cultivar, por lo que se deduce que no

necesariamente se deben notar síntomas visibles expresos de toxicidad para que el cultivo sufra disminuciones en la producción, en el caso del ensayo conducido, esta afirmación se produce donde es aplicada la *Hexazinona*, aparentemente no produjo síntomas, pero existe una reducción considerable de los rendimientos.

Alfaro (2011), en estudio realizado para evaluar diferentes mezclas de herbicidas encontraron diferencias en la producción de caña entre las mezclas evaluadas, y estiman que se debe a un posible efecto negativo (presuntamente fitotóxico) provocado por los herbicidas aplicados, pese a su aparente selectividad.

Araldi (2010), plantea que los cultivares presentan respuestas diferenciadas a los herbicidas y tienen, como consecuencia, frecuentes problemas de fitotoxicidad, lo que llega a ocasionar la reducción de la productividad de los cultivares más sensibles.

Tabla 6. Resultado de la interacción entre el momento de aplicación y el tipo de herbicida aplicado sobre el diámetro y las toneladas de caña por hectárea.

Momento aplicación de los tratamientos	Diámetro (cm)		t Caña ha ⁻¹	
0 días después de plantada la caña	2.73 ns		77.79 a	
30 días después de plantada la caña	2.74 ns		69.64 b	
Tratamientos de herbicidas evaluados	Diámetro (cm)		t Caña ha ⁻¹	
	0 ddp	30 ddp	0 ddp	30 ddp
Merlin	2.71 ns	2.83 ns	75.18 abcd	71.53 bcde
Merlin Total	2.68 ns	2.72 ns	76.12 abcd	69.27 de
Hexazinona	2.69 ns	2.72 ns	79.28 abc	69.52 cde
Alion Pro	2.66 ns	2.78 ns	82.44 a	80.38 ab
Mayoral	2.84 ns	2.73 ns	74.08 abcd	63.38 e
Drómon	2.71 ns	2.70 ns	75.69 abcd	62.21 e
Tratamiento control	2.74 ns		79.73 ab	
CV	5.39		5.52	
ES	0.0217		16.566	

Letras desiguales difieren significativamente entre sí para $p \leq 0,05$

Conclusiones

Los herbicidas comerciales Mayoral (*Imazapic + Imazapir*), Dromon (*Imazapic*), Merlin (*Isoxaflutole*), Merlin Total (*Isoxaflutole + Indaziflam*) y Hexazinona causan daños fitotóxicos al cultivo.

Las aplicaciones de los herbicidas en post-emergencia del cultivo causaron efectos negativos en la longitud de los tallos y alta afectación en el rendimiento agrícola cuando se aplicaron los herbicidas Merlin (*Isoxaflutole*), Merlin Total (*Isoxaflutole + Indaziflam*), Hexazinona, Mayoral (*Imazapic + Imazapir*) y Dromon (*Imazapic*).

Bibliografía

Alfaro, R. (2011). Tolerancia Varietal de la Caña de Azúcar a diferentes herbicidas pre-emergentes recomendados para el control de (*Rottboellia cochinchinensis* (L). DIECA-LAICA. San José, Costa Rica .Disponible en: <https://servicios.laica.co.cr/library>

Alfaro, R. y Ocampo, R. (2017). Avances en la Investigación en el Control Químico de Malezas en el Cultivo de la Caña de Azúcar en Costa Rica. LAICA.Disponible en: <https://servicios.laica.co.cr/library>

Altieri, M. 2011. Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable. Capítulo VIII. Agricultura orgánica. Disponible en: http://medioambientaldia.blogspot.com/2011/09/_Agroecología – bases - científicas

Araldi, R. (2010). Avaliação da absorção do amicarbazone e intoxicaçãoem cana-de-açúcar e plantas daninhas. 83 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia /Proteção de Plantas) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de MesquitaFilho", Botucatu. Disponible en: <https://repositorio.unesp.br>.

Arias, G. H. (2018). Evaluación de la eficacia pre emergente de Alion Pro 51.75 SC. Aplicado en mezcla con herbicidas de efecto pos emergente, sobre (*Rottboellia cochinchinensis* (L) en plantillas de caña de azúcar (*Saccharum spp.*), Taxisco, Santa Rosa, Guatemala, C.A. Disponible en: <https://catalogosiidca.csuca.org/Record/USAC.630071>

Arantes, M., Silva, M., Rhein, A., Pincelli,R., Dellabiglia,W., Bassetto,S. (2010). Avaliações fisiológicas em cultivares de cana de açúcar submetidas a herbicidas selectivos.Memorias XXVII Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas 19 a 23 de julho de 2010. Ribeirão Preto – SP.

CibaGeigy. (1981). Manual para Ensayos de Campo. 2^{da} ed., Basilea, 205 p.

De la Rosa Ayala, L. (2021). Efectividad del herbicida Alion Pro SC 51.75 en el control preemergente de arvenses en caña de azúcar (*Saccharum* spp híbrido) en plantaciones de primavera y frío. Tesis presentada en opción al título de Máster en Ciencias Agrícolas. Facultad de Ciencias Técnicas y Agropecuarias. Universidad de Las Tunas. Disponible en: <https://roa.ult.edu.cu>

Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M., González, L., Tablada, M., Robledo, C. W. (2016). InfoStat, versión 2016. Paquete estadístico. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.

Diez, P. 2013. Manual de herbicidas (en línea, sitio web). 2020. Disponible en http://aapresid.org.ar/wp/uploads/sites/3/AAP167289/AAPManual_Rem_Herbicidas.pdf
Domínguez, J. 2008. Metodologías para la evaluación de herbicidas en campo. México, Universidad Autónoma de Chapingo, Departamento de Parasitología Agrícola. 7 p.

Esqueda-Esquivel, V.A, Rosales-Robles, E. (2013). Época de aplicación y toxicidad varietal del herbicida amicarbazone en la caña de azúcar, en Veracruz, México. *Planta Daninha* 31,3:611-621. Disponible en: <https://www.scielo.br/j/pd/a/6pYDKY3yRbTqgCmPNWhRf8m>

Espinoza, G.; Morales, J.; Cruz, W.; Tuchán, L. (2014). Respuesta de variedades promisorias de caña de azúcar a distintas mezclas de herbicidas, en la zona cañera de Guatemala. Disponible en: <https://cengicana.org/files/20150902101648121.pdf>.

Ferreira, R.; Rodrigues de Oliveira F.; Souza Delite F.; Azevedo R.; Nicolai M.; Pinto de Carvalho S.; Christoffoleti J.; Vargas De Oliveira A. (2010) Tolerancia diferencial de variedades de cana-de-acúcar a estresse por herbicidas. Disponible en: <https://www.scielo.br/j/brag/a/HBcSXYQZWB7SrRPsbj43Lcs>

Hernández, J. A., Pérez, J. M., Bosch, I., D., Castro, S., N. (2015). Clasificación de los Suelos de Cuba. Ediciones INCA, Cuba, 91 pp.

Monsanto, A. 2018. Pregunta de la Semana – ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de los herbicidas? | Monsanto Puerto Rico. OCDE-FAO PERSPECTIVAS AGRÍCOLAS 2023-2032 © OCDE/FAO 2023

Ocampo, R., Alfaro, R., Barrantes, J. C., Araya, A. y Ángulo. A. (2013). Tolerancia varietal a los herbicidas utilizados en el cultivo de la caña de azúcar. Disponible en: <https://www.google.com/search?q>