

Evaluación de la efectividad y el impacto ambiental de herbicidas preemergentes para el control de arvenses en caña de azúcar (*Saccharum spp.*)

Evaluation of the effectiveness and environmental impact of pre-emergent herbicides for weed control in sugarcane (*Saccharum spp.*)

Dailín Rodríguez Tassé^{1*}, Yaquelín Puchades Izaguirre¹ y Rene Nivardo Barbosa García¹

¹ Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar. La Habana, Cuba.

*Autor para correspondencia:

dailin.rodriguez@inicasc.azcuba.cu

Conflictos de interés:

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Contribución de autores:

DRT: Realizó la concepción y el diseño del estudio. Realizó la búsqueda y revisión de literatura y la redacción del manuscrito original (primera versión). YPI: Realizó el análisis e interpretación de los datos. Confeccionó las tablas y gráficos. Realizó la traducción y revisión de la versión final del artículo. RNBG: Realizó la validación de los resultados. Revisión de la versión final del artículo y aprobación de la versión final.

Financiamiento:

Ninguno

Disponibilidad de datos

Todo el conjunto de datos que apoya los resultados de este estudio está disponible mediante solicitud al autor de correspondencia. El conjunto de datos no está públicamente disponible debido a que son datos confidenciales y restringidos.

Historial:

Recibido: 31-03-2025;
Aceptado: 13-06-2025;
Publicado: 30-06-2025

Editor responsable:

Arnaldo Esquivel-Fariña 
Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Agrarias. San Lorenzo, Paraguay.

Licencia:

Artículo publicado en acceso abierto bajo una licencia Creative Commons CC-BY 4.0

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar la efectividad y el impacto ambiental de diferentes tratamientos herbicidas preemergentes para el control de especies arvenses en caña de azúcar, se establecieron dos experimentos de campo en diferentes localidades durante el período abril 2020 - junio 2021. Se realizó un inventario florístico de las plantas arvenses para determinar la composición taxonómica de las especies y su frecuencia de aparición. Se evaluaron siete tratamientos herbicidas: Unipix GD70 (Imazapic), Merlín Total SC60 (Isoxafluotole + Indaziflan), Mayoral LS35 (Imazapic + Imazapyr), Palmero GD75 (Isoxafluotole), Palmero GD75 + Mayoral LS35, Merlín GD75 + Mayoral LS35, y Merlín GD75 (Isoxafluotole) como testigo estándar, además de un testigo absoluto sin aplicación de herbicidas. Para cada tratamiento se calculó el coeficiente de impacto ambiental y se evaluó el costo total por hectárea. El inventario florístico confirmó que las especies arvenses presentan una relación filogenética cercana, lo cual facilita su manejo mediante prácticas de control similares. Todos los tratamientos herbicidas evaluados lograron un control excelente de las especies arvenses. En cuanto al impacto ambiental, el 50% de los tratamientos presentaron un nivel de riesgo bajo y el 50% restante un riesgo muy bajo. El tratamiento Unipix GD70 mostró la mejor relación costo-beneficio con el menor costo por hectárea por días libres de malezas, manteniendo el cultivo limpio durante 90 días posteriores a la aplicación. Los resultados obtenidos permiten ampliar las estrategias de manejo integrado de malezas como alternativas al tratamiento convencional Merlín GD75 (0.200 kg ha⁻¹), ofreciendo opciones más eficientes y ambientalmente sostenibles para el control de arvenses en caña de azúcar.

Palabras clave: imazapic, isoxafluotole, manejo integrado, coeficiente de impacto ambiental, costo-beneficio, agricultura sostenible

ABSTRACT

To evaluate the effectiveness and environmental impact of different pre-emergent herbicide treatments for weed control in sugarcane, two field experiments were conducted at different locations from April 2020 to June 2021. A floristic survey of weed species was performed to determine taxonomic composition and frequency of occurrence. Seven herbicide treatments were evaluated: Unipix GD70 (Imazapic), Merlín Total SC60 (Isoxafluotole + Indaziflan), Mayoral LS35 (Imazapic + Imazapyr), Palmero GD75 (Isoxafluotole), Palmero GD75 + Mayoral LS35, Merlín GD75 + Mayoral LS35, and Merlín GD75 (Isoxafluotole) as the standard treatment, along with an untreated control. Environmental impact coefficients and total costs per hectare were calculated for each treatment. The floristic survey revealed that weed species share close phylogenetic relationships, facilitating management through similar control practices. All herbicide treatments provided excellent weed control. Regarding environmental impact, 50% of treatments posed low risk while the remaining 50% posed very low risk. Unipix GD70 demonstrated the best cost-benefit ratio with the lowest cost per hectare per weed-free day, maintaining weed-free conditions for 90 days post-application. These results expand integrated weed management strategies as alternatives to the conventional Merlín GD75 treatment (0.200 kg ha⁻¹), providing more efficient and environmentally sustainable options for sugarcane weed control.

Keywords: imazapic, isoxafluotole, integrated management, environmental impact coefficient, cost-benefit, sustainable agriculture

INTRODUCCIÓN

La agroindustria cañera cubana enfrenta múltiples desafíos que afectan significativamente la productividad, incluyendo la despoblación rural, presencia de plagas, deficiencias en las labores culturales y condiciones climáticas adversas como la sequía, factores que favorecen la proliferación de especies arvenses. Las plantas no deseadas constituyen la segunda causa de reducción del rendimiento en caña de azúcar, ocasionando pérdidas que oscilan entre 33% y 66% en las cosechas, llegando hasta 97.5% debido a su competencia constante por recursos como agua, nutrientes y luz (Rodríguez Tassé, Barbosa García, Puchades Isaguirre, Rodríguez Rodríguez y García Perú, 2020; Barrera Fontanet, Cervera Duverger y Barquiel Pérez, 2020).

El manejo de especies arvenses es crucial tras la plantación o cosecha para evitar pérdidas en la producción de caña y azúcar, y ha evolucionado desde métodos manuales hasta el uso de máquinas y herbicidas (Comastri, 2022). El control químico es esencial debido a la gran extensión de los cultivos y la escasez de mano de obra (Naranjo Landero, Obrador Olán, García López, Valdez Balero y Domínguez Rodríguez, 2020). Los herbicidas preemergentes son eficientes y económicos, previenen la germinación de semillas por su acción residual y son ampliamente utilizados en cultivos de riego y secano (Miranda, 2021).

Sin embargo, el uso continuo e indiscriminado de herbicidas puede generar desequilibrios ecológicos y favorecer el desarrollo de resistencia en las especies arvenses (Jáquez-Matas, Pérez-Santiago, Márquez-Linares y Pérez-Verdín, 2022). La evaluación del impacto ambiental permite identificar, evitar y minimizar efectos negativos de las actividades agrícolas, siendo más eficiente prevenir estos problemas que remediarlos posteriormente. En este contexto, el uso de índices para evaluar el riesgo ambiental de herbicidas se vuelve fundamental para aumentar la sostenibilidad de las estrategias de manejo, permitiendo comparar diferentes programas y seleccionar los productos más ambientalmente racionales (Jáquez-Matas et al., 2022).

El coeficiente de impacto ambiental (EIQ, por sus siglas en inglés) es una herramienta desarrollada por el Programa de Manejo Integrado de Plagas de la Universidad de Cornell que permite comparar diferentes herbicidas o programas de manejo mediante un valor numérico adimensional. Este índice considera propiedades físicas y químicas de los plaguicidas, aspectos ecotoxicológicos y efectos sobre la salud humana (Kovach, Petzold, Degni y Tette, 1992).

El objetivo de este trabajo fue evaluar la efectividad, el impacto ambiental y los costos de diferentes tratamientos herbicidas preemergentes para el control de especies arvenses en el cultivo de caña de azúcar.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en dos unidades productoras de caña de azúcar (UPC) en la provincia de Santiago de Cuba: la UPC Juan José Verdecía del municipio Julio Antonio Mella

y la UPC Niguabo del municipio Dos Ríos, ambas situadas en Palma Soriano (llanura del Cauto o valle del Tayaba) en las coordenadas 20°12'50"N 75°59'31"O

La investigación se realizó entre abril de 2020 y junio de 2021, evaluando tanto caña planta como retoño con tres cortes, utilizando las variedades C86-12 y C90-530. Los experimentos se establecieron en dos tipos de suelos: Pardo mullido y Vertisol pélico mullido, según la clasificación de suelos de Cuba (Hernández et al., 2015).

Para determinar la composición taxonómica y frecuencia de aparición de las especies arvenses, se realizó un inventario florístico en los sitios de investigación aplicando el método visual de Martínez, Zuaznábar-Zuaznábar y Rodríguez-García (2022). Se recorrieron los campos en diagonal y se registraron las especies arvenses principales. La identificación taxonómica se realizó mediante manuales especializados citados por Martínez et al. (2024) y Rodríguez (2007) y el sistema automatizado PC Malezas, que incluye información sobre 35 especies comunes en caña de azúcar y una galería fotográfica de estas arvenses (Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA), 2020)

Con los datos fitosociológicos obtenidos se determinó la frecuencia de aparición (FA) de las especies arvenses según Amador, Mederos, Bojórquez, Díaz y Partida (2013). Las especies se clasificaron según su frecuencia de aparición de acuerdo con Martínez et al. (2022): Accidentales (0-24.9%), Poco frecuentes (25-49.9%), Medianamente frecuentes (50-74.9%) y Muy frecuentes (>75%).

Se realizaron dos estudios de campo para evaluar diferentes tratamientos herbicidas (Tabla 1). El diseño experimental fue de bloques al azar con cinco repeticiones y parcelas de cuatro surcos de 7.5 m de longitud, con una superficie de 48 m² cada unidad experimental. Se incluyeron un testigo absoluto sin aplicación de herbicidas y un testigo estándar con isoxafluotole (Merlín GD75). Los tratamientos se evaluaron después de la plantación y tras la cosecha del cultivo, aplicándose con una asperjadora manual de espalda Matabi de 16 L con boquilla deflectora a una presión de 2 bar para asegurar la distribución uniforme de la solución.

La efectividad de los herbicidas se determinó a los 30, 60 y 90 días después de la aplicación (DDA) mediante evaluación visual según Domínguez (2008). El porcentaje de control de especies arvenses se clasificó según la escala propuesta por ALAM (1974) (Tabla 2). La fitotoxicidad del cultivo se evaluó a los 7, 14, 21 y 28 días posteriores a la aplicación, utilizando la escala de nueve grados de la European Weed Research Society (EWRS) (CIBA-GEIGY, 1981).

Se realizó un análisis de varianza para estudiar las diferencias entre tratamientos y réplicas en las diferentes evaluaciones, excluyendo el testigo absoluto. Los datos se verificaron para normalidad y homogeneidad de varianzas, transformándose cuando fue necesario según $x = 2 \arcsin \sqrt{p}$. Para las comparaciones múltiples se utilizó la prueba de Tukey ($p = 0.05$), empleando el programa STATISTICA versión 8.0 (STATSOFT, 2007).

Tabla 1. Tratamientos herbicidas evaluados en los diferentes experimentos.

| No | Tratamiento | Ingrediente activo | Dosis (kg o L ha ⁻¹) | Firma Provedora |
|-----------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|-----------------|
| 1 | Testigo absoluto | ---- | - | -- |
| 2 | Merlín GD75 (testigo estándar) | Isoxafluotole | 0.200 | Bayer C. S. |
| Experimento 1 (UPC J.J. Verdecía) | | | | |
| 3 | Unipix GD 70 | Imazapic | 0.200 | UPL |
| 4 | Merlín Total SC60 | Isoxafluotole + Indaziflan | 0.25 | Bayer C. S. |
| 5 | Mayoral LS35 | Imazapic + Imazapyr | 0.5 | ADAMA |
| Experimento 2 (UPC Niguabo) | | | | |
| 6 | Palmero GD75 | Isoxafluotole | 0.230 | ADAMA |
| 7 | Palmero GD75 + Mayoral LS35 | Isoxafluotole + Imazapic + Imazapyr | 0.115 + 0.25 | |
| 8 | Merlín GD75 + Mayoral LS35 | Isoxafluotole + Imazapic + Imazapyr | 0.115 + 0.25 | |

Tabla 2. Escala de evaluación del porcentaje de control de arvenses según ALAM (1974)

| Índice (%) | Grado de control |
|------------|------------------|
| 0 - 40 | Ninguno o pobre |
| 41 - 60 | Regular |
| 61 - 70 | Suficiente |
| 71 - 80 | Bueno |
| 81 - 90 | Muy bueno |
| 91 - 100 | Excelente |

Se calculó la cantidad de ingrediente activo (CIA) que llega al suelo considerando el porcentaje del ingrediente activo de cada herbicida y la dosis aplicada (Taylor, 2020), mediante la fórmula:

$$\text{CIA} = \% \text{ de Ingrediente Activo (i.a.)} \times \text{dosis de aplicación}$$

Para determinar el coeficiente de impacto ambiental se utilizó el índice *Environmental Impact Quotient* (EIQ) siguiendo la metodología de Kovach et al. (1992). El EIQ de campo se calculó a partir del porcentaje de ingrediente activo y la dosis aplicada. Para tratamientos con mezclas, se sumaron los EIQ de campo de cada ingrediente. La comparación del impacto ambiental se realizó según el coeficiente de cada herbicida, ya que según Kovach et al. (1992), no se deben comparar los valores base de EIQ debido a que el impacto depende de la dosis y el porcentaje de ingrediente activo. La clasificación del riesgo ambiental siguió lo propuesto por Stewart, Nurse, Van Eerd, Vyn y Sikkema (2011), donde valores numéricos mayores del índice indican un mayor impacto ambiental.

Se evaluó el costo total de cada tratamiento considerando el precio de los herbicidas. Se calculó el costo por hectárea y por días libres de malezas, multiplicando el precio de

cada producto por la dosis utilizada y dividiendo entre los días de control efectivo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El inventario florístico identificó 12 especies de plantas arvenses distribuidas en cinco familias botánicas (Tabla 3). La familia Poaceae fue la más abundante, representando el 58.3% del total, con especies predominantes como *Dichanthium annulatum*, *Cynodon dactylon* y *Sorghum halepense*. La familia Convolvulaceae representó el 16.6% con dos especies. Es importante destacar que el 50% de las especies identificadas presentan un ciclo vegetativo perenne, característica que dificulta significativamente su control según Núñez-Rodríguez, Pablos-Reyes, Maceo-Ramírez, Y., Alarcón-Méndez, y Nápoles-Vinent (2020).

Las plantas identificadas de las familias Poaceae y Euphorbiaceae han sido reportadas previamente como especies presentes en ecosistemas agrícolas cubanos por Blanco Valdés, Leyva Galán y Castro Lizazo (2014). Barrera et al. (2019) obtuvieron resultados similares en su estudio de la década 2006-2015, donde reportaron la presencia de 14 familias botánicas con predominio de Poaceae (44%) y Euphorbiaceae (9.8%). De Moya Guerra, Martínez Hernández y García (2021) señalaron que las familias Asteraceae y Poaceae se encuentran entre el 50% de las especies de malezas más perjudiciales a nivel mundial. Aulestia Calala et al. (2021) reportaron también a Poaceae como una de las familias presentes en ecosistemas agrícolas ecuatorianos. Las especies *R. cochinchinensis*, *C. rotundus*, *C. dactylon*, *E. colona* y *S. halepense* registradas en este estudio se encuentran entre las 16 especies con mayor incidencia y daño a los cultivos mundialmente según Cabrera, Ansonnaud y Varela (2020).

La frecuencia de aparición del inventario florístico se presenta en la Figura 1. En la categoría muy frecuente (>75%) se clasificó únicamente *R. cochinchinensis*. Como medianamente frecuentes (50-74.9%) se registraron

Tabla 3. Resultado taxonómico del inventario florístico.

| Familia | Especies | Clase | Ciclo de vida |
|----------------|------------------------------------|-------|---------------|
| Poaceae | <i>Sorghum halepense</i> | M | Perenne |
| | <i>Cynodon dactylon</i> | M | Perenne |
| | <i>Dichanthium annulatum</i> | M | Perenne |
| | <i>Panicum maximum</i> | M | Perenne |
| | <i>Rottboellia cochinchinensis</i> | M | Añual |
| | <i>Brachiaria fasciculata</i> | M | Añual |
| | <i>Echinochloa colona</i> | M | Añual |
| Convolvulaceae | <i>Ipomoea trifida</i> | D | Añual |
| | <i>Merremia quinquefolia</i> | D | Añual |
| Fabaceae | <i>Rhynchosia minima</i> | D | Perenne |
| Cyperaceae | <i>Cyperus rotundus</i> | M | Perenne |
| Euphorbiaceae | <i>Euphorbia heterophylla</i> | D | Añual |

(M) Monocotiledóneas; (D) Dicotiledóneas

I. trifida, *R. minima*, *C. dactylon* y *C. rotundus*. Las especies *S. halepense*, *M. quinquefolia*, *D. annulatum*, *E. heterophylla*, *B. fasciculata*, *E. colona* y *P. maximum* se clasificaron como poco frecuentes (25-49.9%).

Los resultados del estudio coinciden con los obtenidos por Barrera et al. (2020), quienes analizaron la frecuencia de malezas en Guantánamo durante el período 2006-2011, encontrando que *R. cochinchinensis*, *C. dactylon* e *I. trifida* estuvieron por encima del 25%. Martínez Ramírez (2019) también evaluó cambios en la composición de malezas asociadas al cultivo de caña de azúcar e identificó patrones de frecuencia similares a los observados en este estudio. En las áreas evaluadas se evidenció un predominio de especies arvenses en la categoría poco frecuentes, seguidas de las medianamente frecuentes y muy frecuentes, respectivamente. Núñez-Rodríguez et al. (2020) reportaron la misma tendencia, con predominio de la categoría poco frecuentes.

Todos los tratamientos evaluados en la UPC Juan José Verdecía mostraron un buen control de las especies

arvenses (Tabla 4), sin diferencias significativas entre ellos. Los tratamientos Mayoral LS35, Merlín Total SC60 y Unipix GD70 demostraron efectividad en todos los momentos de evaluación, lo que sugiere que existen alternativas viables para el control de arvenses en caña de azúcar, además del tratamiento convencional Merlín GD75.

Los herbicidas utilizados en este estudio fueron efectivos para controlar todas las especies arvenses predominantes. Según Sánchez Zorrilla (2020), el herbicida Merlín Total SC60 mostró eficacia en el control de arvenses en caña de azúcar durante 90 días después de la aplicación.

Los tratamientos herbicidas estudiados mostraron un excelente control de especies como *R. cochinchinensis*, *C. rotundus*, *C. dactylon*, *I. trifida*, *D. annulatum* y *R. minima*. Con la aplicación del herbicida Merlín Total SC60 se obtuvo el menor porcentaje de arvenses, seguido por Mayoral LS35 y Merlín GD75. Las especies *R. minima*, *D. annulatum* e *I. trifida* mostraron mayor cobertura con Unipix GD70, aunque se verificó un buen control de *C. dactylon*, *C. rotundus*, *D. annulatum* y *R. minima*. Rodríguez Tassé et

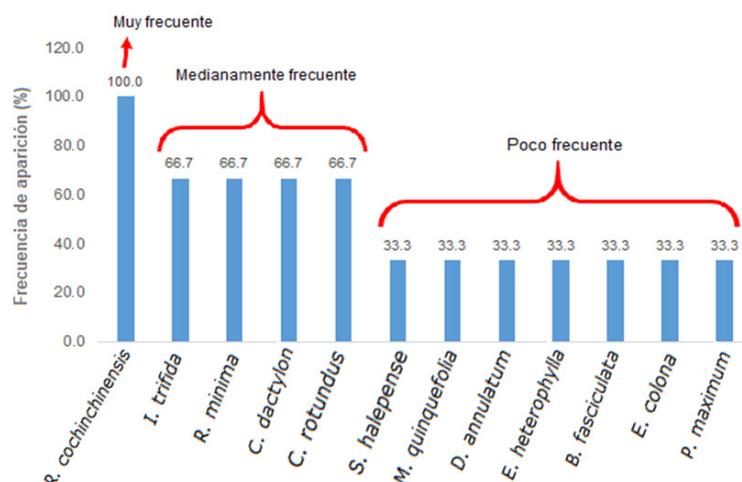
**Figura 1.** Frecuencia de aparición (FA) del inventario florístico.

Tabla 4. Porcentaje de control en las diferentes evaluaciones realizadas en la UPC Juan José Verdecía.

| No | Tratamiento | Dosis kg o L ha ⁻¹ | Porcentaje de Control (%) | | |
|----|-------------------|-------------------------------|---------------------------|--------|--------|
| | | | 30 DDA | 60 DDA | 90 DDA |
| 1 | Testigo absoluto | - | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | Merlín GD75 | 0.200 | 95.5 | 94.2 | 90.0 |
| 3 | Unipix GD70 | 0.200 | 99.2 | 94.2 | 90.0 |
| 4 | Merlín Total SC60 | 0.25 | 95.5 | 94.3 | 90.1 |
| 5 | Mayoral LS35 | 0.5 | 95.3 | 94.2 | 89.9 |
| | Error estándar | --- | 2.96 | 4.24 | 4.55 |
| | CV | --- | 0.252 | 0.376 | 0.399 |

Leyenda. DDA= días después de la aplicación; CV= coeficiente de variación

al. (2020) también demostró un manejo efectivo de estas especies cuando utilizó los herbicidas Merlín Total SC60 y Mayoral LS35.

Al evaluar la fitotoxicidad de los productos aplicados en caña de azúcar (cultivar C86-12), no se encontraron síntomas negativos en el cultivo. Araújo, Marinho y Sobrinho (2020) compararon varios herbicidas preemergentes y observó que causaron poca o ninguna fitotoxicidad al cultivo de la caña de azúcar.

En la UPC Niguabo, todos los tratamientos herbicidas lograron un buen control de arvenses en comparación con el testigo absoluto, sin diferencias significativas entre ellos (Tabla 5). El control fue similar al usar Palmero GD75 a 0.230 kg ha⁻¹ y Merlín GD75 a 0.230 kg ha⁻¹. Las mezclas de Palmero GD75 (0.115 kg ha⁻¹) con Mayoral LS35 (0.25 L ha⁻¹) y Merlín GD75 (0.115 kg ha⁻¹) con Mayoral LS35 (0.25 L ha⁻¹) ofrecieron un control similar, con una ligera tendencia a ser superiores que los tratamientos aplicados individualmente, aunque sin diferencias estadísticamente significativas.

Este estudio demostró que es posible controlar diversas especies arvenses utilizando herbicidas preemergentes con el mismo ingrediente activo, pero de diferentes proveedores, ya sea solos o en combinación. Rodríguez Tassé et al. (2020) comprobó que Merlín Total SC60 y Mayoral LS35 lograron un control efectivo hasta 120 días sin afectar el rendimiento agrícola al usar las dosis recomendadas. Vargas (2021) evaluó la efectividad del herbicida isoxaflutole (GD75) para controlar arvenses y concluyó que el producto impide el desarrollo de malezas

hasta 120 días después de la aplicación en caña de azúcar.

Los tratamientos evaluados lograron un buen control de diversas especies arvenses, destacándose el bajo porcentaje de cobertura observado en *R. cochinchinensis* y *C. rotundus*. Las combinaciones más efectivas fueron Palmero GD75 (0.115 kg ha⁻¹) con Mayoral LS35 (0.25 L ha⁻¹) y Merlín GD75 (0.115 kg ha⁻¹) con Mayoral LS35 (0.25 L ha⁻¹). La especie con mayor cobertura a los 90 días fue *P. maximum*. Estudios anteriores también mostraron que Guateque GD75 (isoxaflutole GD75) controla *E. colona* y *P. oleracea*, especies frecuentes en caña de azúcar, a dosis de 0.150, 0.175 y 0.200 kg ha⁻¹ (Martínez et al., 2022).

Durante el período evaluado, los tratamientos herbicidas mostraron alta selectividad con el cultivo de caña de azúcar, ya que no se observaron síntomas de daño en el cultivo. Gómez Vásquez (2020) menciona que la aplicación adecuada de herbicidas antes del crecimiento de las arvenses permite un buen control sin dañar el cultivo. Herrera-Murillo y Picado-Arroyo (2023) también señalan que la aplicación preemergente logra un control efectivo sin causar daño al cultivo.

La cantidad de sustancia de acción efectiva en el control de arvenses que llega al suelo por hectárea es pequeña, en algunos casos por los bajos porcentajes de ingredientes activos y en otros por la baja dosis que se aplica (tabla 6). Las menores cantidades la presentaron Mayoral LS 35,

Tabla 5. Porcentaje de control en las diferentes evaluaciones realizadas en la UPC Niguabo.

| No | Tratamiento | Dosis (kg o L ha ⁻¹) | Porcentaje de Control (%) | | |
|----|-----------------------------|----------------------------------|---------------------------|--------|--------|
| | | | 30 DDA | 60 DDA | 90 DDA |
| 1 | Testigo absoluto | - | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | Merlín GD75 (estándar) | 0.230 | 96.4 | 96.9 | 97.0 |
| 3 | Palmero GD75 | 0.230 | 96.5 | 96.8 | 96.9 |
| 4 | Palmero + Mayoral LS35 | 0.115 + 0.25 | 97.2 | 97.5 | 97.9 |
| 5 | Merlín GD 75 + Mayoral LS35 | 0.115 + 0.25 | 97.3 | 97.4 | 97.9 |
| | Error estándar | --- | 4.61 | 6.35 | 6.92 |
| | CV | --- | 0.336 | 0.424 | 0.474 |

Leyenda. DDA= días después de la aplicación; CV= coeficiente de variación

Tabla 6. Cantidades de ingrediente activo (i.a) que llega al suelo.

| No | Tratamiento | % de i.a. | Dosis kg o L ha ⁻¹ | CIA |
|-----------------------------------|--------------------------------|-------------|-------------------------------|------|
| 1 | Testigo absoluto | -- | -- | |
| 2 | Merlín GD75 (testigo estándar) | 0.75 | 0.2 | 0.15 |
| Experimento 1 (UPC J.J. Verdecía) | | | | |
| 3 | Unipix GD70 | 0.35 | 0.5 | 0.18 |
| 4 | Merlín Total SC60 | 0.6 | 0.25 | 0.15 |
| 5 | Mayoral LS35 | 0.7 | 0.2 | 0.14 |
| Experimento 2 (UPC Niguabo) | | | | |
| 6 | Palmero GD75 | 0.75 | 0.23 | 0.17 |
| 7 | Palmero GD75 + Mayoral LS35 | 0.75 + 0.35 | 0.115 + 0.25 | 0.17 |
| 8 | Merlín GD75 + Mayoral LS35 | 0.75 + 0.35 | 0.115 + 0.25 | 0.17 |

CIA: Cantidad de Ingrediente Activo; i.a.: ingrediente activo

Tabla 7. Coeficiente de Impacto Ambiental y EIQ de campo de cada tratamiento herbicida aplicado.

| No | Tratamiento | EIQ | CIA | EIQ de campo | Nivel de riesgo |
|-----------------------------------|--------------------------------|-------|------|--------------|-----------------|
| 1 | Testigo absoluto | -- | -- | -- | |
| 2 | Merlín GD75 (testigo estándar) | 24 | 0.15 | 3.6 | Muy bajo |
| Experimento 1 (UPC J.J. Verdecía) | | | | | |
| 3 | Unipix GD70 | 43.5 | 0.18 | 7.6 | Bajo |
| 4 | Merlín Total SC60 | 39.5 | 0.15 | 5.9 | Bajo |
| 5 | Mayoral LS35 | 21.2 | 0.14 | 3.0 | Muy bajo |
| Experimento 2 (UPC Niguabo) | | | | | |
| 6 | Palmero GD75 | 24 | 0.17 | 4.1 | Muy bajo |
| 7 | Palmero GD75 + Mayoral LS35 | 45.75 | 0.17 | 7.9 | Bajo |
| 8 | Merlín GD75 + Mayoral LS35 | 45.75 | 0.17 | 7.9 | Bajo |

EIQ: Environmental Impact Quotient; CIA: Cantidad de Ingrediente Activo

Merlín GD 75 y Merlín Total SC 60.

El tratamiento Unipix GD70 presentó la mayor cantidad de ingrediente activo que llega al suelo, con un valor de CIA = 0.18, equivalente a 0.01 g del producto por m². Rodríguez, Barbosa García, Gracia Perú, Zamora Fuentes y Rodríguez Hechavarria (2019) encontraron que el herbicida Mayoral LS35 solo aporta entre 0.140 y 0.175 L de ingrediente activo por hectárea, sugiriendo un bajo riesgo de retención en cosechas y suelos.

El coeficiente de impacto ambiental de los tratamientos herbicidas indica que el 50% de los tratamientos presenta un riesgo bajo y el otro 50% un riesgo muy bajo (Tabla 7). Los productos Merlín GD75 y Palmero GD75 presentaron el nivel de riesgo ambiental más bajo, clasificándose como muy bajo.

Es esencial contar con herramientas que evalúen estos riesgos mediante indicadores sencillos para optimizar el uso de herbicidas (Barrantes, 2022). El índice EIQ constituye

Tabla 8. Resultados del análisis económico.

| No | Tratamiento | Precios (USD) | Costo/ha (USD) | Días libres de malezas | Costo/ha/día libre de malezas (USD) |
|-----------------------------------|--------------------------------|---------------|----------------|------------------------|-------------------------------------|
| 1 | Testigo absoluto | -- | -- | -- | -- |
| 2 | Merlín GD75 (testigo estándar) | 118.4 | 23.68 | 90 | 0.26 |
| Experimento 1 (UPC J.J. Verdecía) | | | | | |
| 3 | Unipix GD70 | 35.9 | 17.95 | 100 | 0.18 |
| 4 | Merlín Total SC60 | 142.3 | 35.58 | 100 | 0.36 |
| 5 | Mayoral LS35 | 74.24 | 14.85 | 90 | 0.16 |
| Experimento 2 (UPC Niguabo) | | | | | |
| 6 | Palmero GD75 | 118.4 | 27.23 | 100 | 0.27 |
| 7 | Palmero GD75 + Mayoral LS35 | 154.3 | 22.6 | 110 | 0.21 |
| 8 | Merlín GD75 + Mayoral LS35 | 154.3 | 22.6 | 110 | 0.21 |

una herramienta útil para medir el impacto ambiental de los herbicidas utilizados en caña de azúcar (Fernández Aurazo, 2021). Este índice permite evaluar el efecto de los tratamientos en agroecosistemas, cuantificar el uso de productos químicos, comparar diferentes plaguicidas y seleccionar aquellos de menor impacto ambiental.

La evaluación de la factibilidad económica demostró que todos los tratamientos evaluados presentaron bajos costos por hectárea por días libres de malezas (Tabla 8). El menor costo por hectárea por días libres de arvenses se obtuvo con el tratamiento Unipix GD70. El tratamiento Merlín Total SC60 tuvo el costo más alto.

El control de malezas durante los primeros 120 días de una plantación es muy importante, debido a que las pérdidas que puede causar en el rendimiento pueden ser superiores al 50% según Zafar, Tanveer, Cheema y Ashraf (2010). En un estudio sobre herbicidas en el cultivo de la caña de azúcar, se encontró que tratamientos con mayores dosis también costaban más, pero mantenían el campo limpio por más tiempo, lo que podría aumentar los gastos (Rodríguez Tassé et al., 2020).

Este estudio demostró que el uso de nuevos herbicidas preemergentes controla muy bien las arvenses, sin dañar la caña de azúcar. Se proponen alternativas químicas para reducir las malezas en las etapas iniciales del cultivo, con poco impacto ambiental y menor costo.

CONCLUSIONES

El inventario florístico confirmó el predominio de la familia Poaceae, particularmente de la especie *R. cochinchinensis*.

Todos los tratamientos evaluados presentaron un excelente control de especies arvenses en preemergencia en el cultivo de caña de azúcar, lo que permite ampliar las estrategias de manejo químico con relación al tratamiento convencional Merlín GD75 (0.200 kg ha⁻¹).

Los tratamientos Merlín GD75, Unipix GD70 y Palmero GD75 presentaron un riesgo ambiental muy bajo, mientras que Mayoral LS35, Merlín Total SC60 y las combinaciones de tratamientos mostraron un riesgo bajo, lo que indica que los herbicidas evaluados son ambientalmente sostenibles.

El tratamiento Unipix GD70 (0.200 kg ha⁻¹) presentó el menor costo por hectárea por días libres de malezas (0.16) con 90 días de control posteriores a la aplicación, lo que resulta económicamente factible.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amador, I. D., Mederos, M., Bojórquez, G., Díaz, T. y Partida, L. (2013). Diagnóstico del enmalezamiento en zonas agrícolas cubanas de cultivos de ciclos cortos. En *Manejo y control de malezas en Latinoamérica*. Asociación Latinoamericana de Malezas, p. 213-218.
- Araújo, R., Marinho, A. y Sobrinho, R. (2020) Seletividade de herbicidas aplicados, empré-emergência, na fase de estabelecimento da cana-de-açúcar. *Scientific*

Electronic Archives, 13 (6), 16-24. <http://dx.doi.org/10.36560/1362020968>

Aulestia Calala, G. J., Chuchuca Chacha, A. E., Cunalata Caguana, G. E., Jaguaco Cumbajin, E. B., Sánchez Guanopatin, E. M., Solórzano Bonoso, E. L. y Ulloa González, G. B. (2021). *Poaceae. Guía fotográfica de las plantas útiles en la familia Poaceae en el Ecuador. Universidad Técnica COTOPAXI. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos naturales. Ecoturismo*, 37 p. Disponible en: <https://es.slideshare.net/slideshow/familia-poaceae-77087486/77087486>

Barrantes, A. L. (2022). *Ingredientes activos en plaguicidas*. TSI Life Science. Tecnosoluciones. <https://tecnosolucionescr.net/blog/617-ingredientes-activos-en-plaguicidas>

Barrera, M., Peña, L., Cobas, A., Terrero, J., Cervera, G., Barquién, O. y Peña, M. (2019). *Avances del Control Integral de Malezas, 10 años después de la implementación del Servicio de Recomendaciones*. *Revista Cuba y Caña*, 22 (1) 1028-6527, 25-36

Barrera Fontanet, M., Cervera Duverger, G. y Barquién Pérez, O. (2020). Especies leñosas, exóticas e invasoras, en áreas cañeras de la provincia Guantánamo. *Revista Centro Agrícola*, 47 (4), pp. 81-89.

Blanco Valdés, Y., Leyva Galán, A., y Castro Lizazo, I. (2014). Determinación del período crítico de competencia de arvenses en el cultivo del maíz (*Zea mays* L.). *Cultivos Tropicales*, 35 (3), 62-69. <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v35n3/ctr07314.pdf>

Cabrera, D., Ansonnaud, R. J., y Varela, A. E. (2020). Análisis de la comunidad de malezas en dos edades de corte del cultivo de caña de azúcar (*Sacharum officinarum* L.). *Revista Agronómica del Noroeste Argentino*, 40 (1), 31-38.

CIBA-GEIGY. (1981). *Manual para ensayos de campo en protección vegetal*. 2da ed. Basilea, Suiza: Editorial CIBA-Geigy, 205 p.

Comastri, L. (2022). *Cuatro maneras de control de malezas en el cultivo de sorgo*. Santacruz de la Sierra, Bolivia: Totalpec. Disponible en: <https://totalpec.com/blog/146/cuatro-maneras-decontrol-de-malezas-en-el-cultivo-de-sorgo>.

De Moya Guerra, N., Martínez Hernández, N. J., y García, A. F. (2021). Diversidad taxonómica de opiliones en la vertiente occidental de la Sierra Nevada de Santa Marta, Magdalena, Colombia. *Boletín Científico Centro de Museos. Museos de Historia Natural*, 25(2), 157-180. <https://doi.org/10.17151/bccm.2021.25.2.10>

Domínguez Valenzuela, J. A. (2008). *Metodologías para la evaluación de herbicidas en campo*. Dpto. de Parasitología Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Edo. de México. Recuperado de: <http://publico>.

- senasica.gob.mx/includes/asp/download.asp?IdDocumento=19766&IdUrl=31600&jeto=Documento&IdObjetoBase=19766&down=true
- Fernández Aurazo, O. (2021). Impacto Ambiental del control de malezas en Maíz Choclero (*Zea mays* L.) en la provincia de Cutervo - Cajamarca, 2017. (Tesis presentada para optar el Grado Académico de Maestro en Ciencias con mención en Ingeniería Ambiental). Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/10355>
- Gómez Vásquez, A. R. (2020). Control de malezas gramíneas y cyperáceas pre-emergentes en Caña de Azúcar (*Saccharum officinarum*). (Trabajo presentado como requisito para la obtención del título de Ingeniero Agrónomo). Milagro, Ecuador. Universidad Agraria del Ecuador.
- Hernández, J. A., Pérez, J. J. M., Bosch, I. D., Castro, S. N. (2015). Clasificación de los suelos de Cuba. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Mayabeque, Cuba. 91 p. ISBN 978-959-7023-77-7.
- Herrera-Murillo, F., y Picado-Arroyo, G. (2023). Evaluación de herbicidas preemergentes para el control de arvenses en camote. *Agronomía Costarricense*, 74(1), 59-71. <http://dx.doi.org/10.15517/rac.v47i1.53949>
- Jáquez-Matas, S., Pérez-Santiago, G., Márquez-Linares, M. y Pérez-Verdín, G. (2022). Impactos económicos y ambientales de los plaguicidas en cultivos de maíz, alfalfa y nogal en Durango, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 38, 219-233. <https://doi.org/10.20937/RICA.54169>
- Kovach, J., Petzold, J., Degni, E. & Tette, J. (1992) A Method to measure the environmental impact of pesticides. *New York Lifes and Sciences Bulletin*, 139, 1-8
- Martínez, R., Zuaznabar, R., Betancourt, Y. et al. (2024). Actualización de la flora de arvenses asociadas a la caña de azúcar en Cuba. *Revista Ingeniería Agrícola*, Vol. 14, No. 3, julio-septiembre 2024, E-ISSN: 2227-8761.
- Martínez Ramírez, R. (2019). *Cambios en la frecuencia de las especies de malezas asociadas al cultivo de la caña de azúcar en cuba, en los últimos 5 años de cultivo*. <https://www.researchgate.net/publication/332973966>
- Martínez, R., Zuaznabar-Zuaznabar, R., y Rodríguez-García, J. (2022). Efectividad en el control de malezas y fitotoxicidad de Guateque GD 75 en caña de azúcar. *Ingeniería Agrícola*, 12(2), pp. 60-64
- Naranjo Landero, S., Obrador Olán, J. J., García López, E., Valdez Balero, A., & Domínguez Rodríguez, V. I. (2020). Arvenses en un suelo cultivado con caña de azúcar con fertilización mineral y abono verde. *Polibotánica* (50), 119-135.
- Núñez-Rodríguez, G., Pablos-Reyes, P., Maceo-Ramírez, Y., Alarcón-Méndez, O., y Nápoles-Vinent, S. (2020). Identificación de arvenses por su frecuencia de aparición y evolución en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) En el municipio de Contramaestre, Santiago de Cuba. *Ciencia en su PC*, 1, (4), pp. 45-54.
- Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA). (2020). Programa para el control de malezas en caña de azúcar. Software Versión 2.4.0. Departamento de INICA. La Habana: INICA.
- Miranda, V. P. de. (2021). *Metabolização de herbicidas inibidores do fotossistema ii em cultivares de cana-de-açúcar*. (Dissertação para obtenção do título de Mestrem Agronomia). Faculdade de Ciências Agrônomicas da Unesp Câmpus de Botucatu.
- Rodríguez Tassé, D., Barbosa García, R. N., Puchades Isaguirre, Y., Rodríguez Rodríguez, R., & García Perú, A. (2020). Efectividad de Mayoral® y Merlin Total® aplicados con el sistema Cosecho- Aplico®, combinado con la Fertilización en caña de azúcar. *Revista Centro Agrícola*, 47(3), pp. 14-22.
- Rodríguez, D., Barbosa García, R., Gracia Perú, A., Zamora Fuentes, J. y Rodríguez Hechavarria, F. (2019). Cosecho-aplico, alternativa eficaz y sustentable para el control de malezas. *Revista Cuba y Caña*, 22 (1) https://www.researchgate.net/publication/378393765_COSECHO-APLICO_ALTERNATIVA_EFICAZ_Y_SUSTENTABLE_PARA_EL_CONTROL_DE_MALEZAS
- Rodríguez, J. (2007). Las malezas y el agroecosistema. Unidad de Malezas, Departamento de Protección Vegetal, Centro Regional Sur, Facultad de Agronomía, Universidad de la República Oriental del Uruguay. Disponible en: <http://www.pv.fagro.edu.uy/Malezas>.
- Sánchez Zorrilla, D. G. (2020). *Eficacia y fitotoxicidad de varios herbicidas para el control de arvenses en dos variedades de caña de azúcar Saccharum sp.* (Tesis para optar por el título de Ingeniero Agrónomo). Guayaquil: Facultad de Ciencias Agrarias Universidad de Guayaquil. https://biblioteca.semisud.org/opac_css/index.php?lvl=author_see&id=306155.
- STATSOFT (2007). *Inc. STATISTICA (Data Analysis Software System), version 8.0*. Disponible en: <https://statistica.software.informer.com/8.0/>
- Stewart, C. L., Nurse, R. E., Van Eerd, L., Vyn, R. J. & Sikkema, P. H. (2011). Weed control, environmental impact, and economics of weed management strategies in glyphosate-resistant soybean. *Weed Technology*, 25 (4), pp. 535-541.
- Taylor, M. D. (2020). Pesticide rate and dosage calculations. En *Georgia Pest, Management Handbook—2020 Commercial Edition*. Vol. 1., pp. 31-50. UGA Extension Special Bulletin 28
- Vargas, R. (2021). *Evaluación del herbicida Merlin, solo o combinado con otros herbicidas, en el control de arvenses de la Caña de Azúcar en la UBPC Walter Mulet Pupo del municipio Cacocum*. (Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero Agrónomo). Facultad de Ciencias Naturales y Agropecuarias. Universidad de Holguín. Recuperado de: <https://repositorio.uho.edu.cu/handle/uho/8856>
- Zafar, M., Tanveer, A., Cheema, Z. A. y Ashraf, M. (2010). Weed-crop competition effects on growth and yield of sugarcane planted using two methods. *Pakistan Journal of Botany*, 42 (2), pp. 815-823.