

Control preemergente de malezas en plato mediante el uso de *Indaziflam* en el cultivo de palma de aceite



Autor: **Ian Zelaya**
Ph.D., Iowa State University, Crop Production and Plant Physiology
Asesor en Manejo de Agroquímicos y Fisiología Vegetal



“La palmicultura sostenible, nuestro compromiso”



**CONTROL
PRE-
EMERGENTE
DE MALEZAS
EN PLANTO
MEDIANTE
EL USO DE
IDAZIFLAM
EN EL**

*cultivo
de palma
de aceite*

Diversos insumos son utilizados en la producción agrícola mundial. Si consideramos a los agroquímicos, el uso de herbicidas constituye el componente más importante, representando un volumen de venta superior a la demanda combinada de insecticidas y fungicidas (Agrios, 2005).

En palma de aceite, el maximizar rendimientos requiere de un manejo efectivo de malezas y los herbicidas representan una herramienta efectiva para este propósito; una lista parcial de moléculas herbicidas registradas en palma se describe (**Tabla 1**) (Rutherford *et al.*, 2011). Moléculas como 2,4-D, Diuron y Paraquat-(Cl⁻¹)₂ fueron muy utilizadas en el pasado, no obstante, en la actualidad, herbicidas post-emergentes como el glufosinato de amonio y Glifosato representan la columna vertebral del manejo de malezas en palma de aceite.

El uso de herbicidas residuales (pre-emergentes) por ende, ha sido históricamente limitado en producción de palma, aun cuando las últimas dos moléculas registradas en el cultivo constituyen herbicidas residuales (**Tabla 1**). Introducido en el 2010, Indaziflam es un nuevo modo de acción que representa una herramienta sumamente útil en manejo de resistencia a herbicidas post-emergentes. En adición, es una molécula de baja dosis de aplicación (< 100 g de ingrediente activo por hectárea año), demuestra un amplio espectro de control (más de 80 especies monocotiledóneas y dicotiledónea anuales) y posee un período residual amplio (> 60 días de control pre-emergente).

El herbicida demuestra notable selectividad al cultivo, según especificaciones en la etiqueta, se considera bajo riesgo a la evolución de resistencia y se degrada a compuestos asimilables por microorganismos en el ambiente, por lo que posee una baja toxicología y ecotoxicología. Estas características evidencian que Indaziflam es una molécula compatible con los sistemas regulatorios y de certificación, comunes en la producción de palma de aceite.

Ingrediente	Mecanismo	Clasificación	Introducción	Ventas (\$M)
2,4-D	TIR1 / represor Aux/IAA	HRAC 4	1945	430
Diuron	PQ _B en D1 (Ser 264)	HRAC 5	1951	150
Diquat-(Br ⁻¹) ₂	FNR _{red} (EC 1.18.1.2)	HRAC 22	1958	210
Paraquat-(Cl ⁻¹) ₂	FNR _{red} (EC 1.18.1.2)	HRAC 22	1962	675
Dicamba	TIR1 / represor Aux/IAA	HRAC 4	1963	350
Glyphosate	EPSPS (EC 2.5.1.19)	HRAC 9	1971	6,600
Oxyfluorfen	PPO (EC 1.3.3.4)	HRAC 14	1975	172
S-Metolachlor	KS (EC 2.3.1.-)	HRAC 15	1976	475
Triclopyr	TIR1 / represor Aux/IAA	HRAC 4	1979	225
Fluazifop-P-butyl	ACCasa (EC 6.4.1.2)	HRAC 1	1981	320
Glufosinate-NH ₄ ⁺	GS EC 6.3.1.2)	HRAC 10	1982	344
Metsulfuron-methyl	ALS (EC 2.2.1.6)	HRAC 2	1983	265
Fluroxypyr-meptyl	TIR1 / represor Aux/IAA	HRAC 4	1983	230
Carfentrazone-ethyl	PPO (EC 1.3.3.4)	HRAC 14	1997	121
Indaziflam	CesA (EC 2.4.1.12)	HRAC 29	2010	4.2

Tabla 1. Invencción y registro de herbicidas para la producción de palma de aceite, 1945 hasta el presente (Rutherford *et al.*, 2011).

El rendimiento potencial de un cultivo representa la máxima producción alcanzable en un área determinada, bajo condiciones ideales de crecimiento de una genética específica (cultivar, variedad o híbrido).

Los factores más importantes que determinan el rendimiento potencial del cultivo de palma de aceite son la presencia de plagas, fertilidad de suelo, y disponibilidad de humedad (Wood, 1977).

Por ejemplo, según los estimados de Woittiez *et al.*, (2017), una plantación de palma de aceite con 120–150 plantas ha^{-1} y 30–60 hojas planta^{-1} alcanza un rendimiento potencial de 8.9 T aceite $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ (Figura 1). Sin embargo, el rendimiento promedio mundial es de 3.5 T aceite $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ (Wood, 1977). *¿Qué factores entonces limitan el potencial de alcanzar rendimientos > 8.9 T aceite $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ en palma de aceite?*

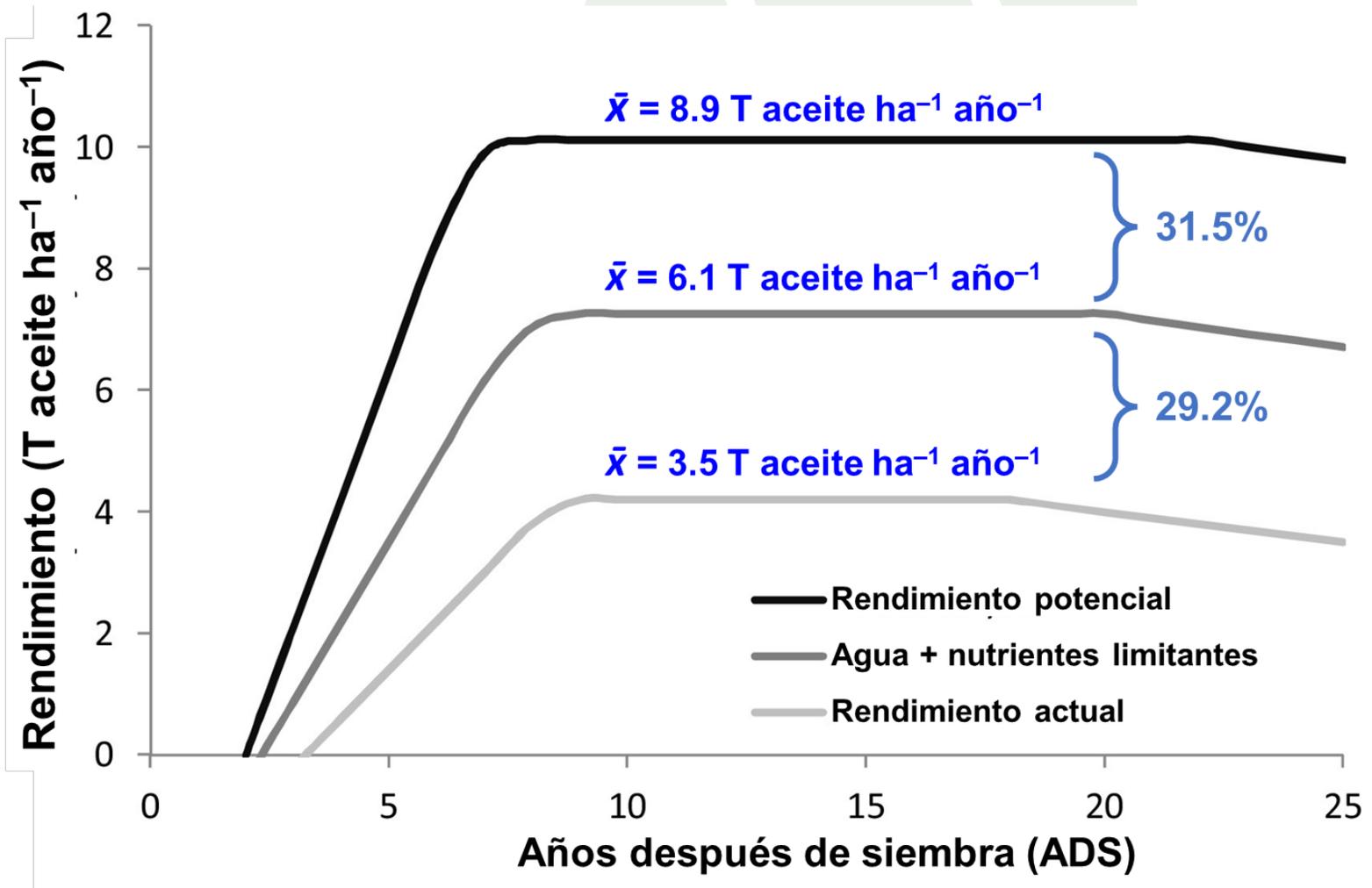


Figura 1. Rendimiento potencial alcanzable en una plantación de palma de aceite adulta (> 6 años de sembrada). Se estima que un 31.5% de este rendimiento se pierde en promedio por factores edáficos, limitantes en agua y nutrientes; 29.2% se pierde por la competencia de plagas y el restante, define el rendimiento actual mundial de 3.5 T aceite $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ (Woittiez *et al.*, 2017) (Wood, 1977).

Según Woittiez *et al.*, (2017), limitantes en la disponibilidad de agua y nutrientes representa en promedio, una reducción del 31.5% en el rendimiento potencial del cultivo (**Figura 1**).

En el caso de la competencia de malezas, se estima que un 50–60% reducción en biomasa de la planta de palma de aceite ocurren en los primeros 4 a 6 años después de siembra (ADS) (Wood, 1977). En promedio y dependiendo de la geografía y cultivo bajo consideración, se estima que las malezas reducen entre un 20% y 30% el rendimiento potencial de los cultivos (Gianessi y Reigner, 2007). Podemos concluir entonces que la presencia de malezas representa uno de los factores más importantes que limitan el establecimiento y crecimiento de plantaciones jóvenes de palma de aceite (4–6 ADS); en plantaciones mayores, las malezas representan un factor de competencia por recursos y sirven de hospederos alternos a plagas.

El término '*manejo residual de malezas*', es sinónimo a '*manejo pre-emergente*' o '*manejo proactivo*'. De los métodos desarrollados hasta el presente, el manejo residual de malezas representa la estrategia más efectiva, especialmente cuando se mezclan y rotan ingredientes activos con diferentes modos de acción (Kaushik *et al.*, 2006).

Existe tres pilares que definen la efectividad de las estrategias residuales de manejo de malezas: (1) minimizan las pérdida en rendimiento del cultivo asociadas con la competencia de malezas, (2), representan el fundamento del manejo y son complementadas con otros métodos de control y (3) minimizan el riesgo de evolución de resistencia a herbicidas (Busi *et al.*, 2020).

Estos tres pilares son descritos ampliamente en el concepto de manejo proactivo de malezas (Mueller *et al.*, 2005). En la actualidad, el manejo de malezas en palma de aceite se realiza casi exclusivamente con herbicidas post-emergentes, el cual se define como un manejo reactivo (**Figura 2**). El manejo reactivo de malezas fundamenta las decisiones de aplicación de herbicidas en función de la presencia o no de plantas en el campo.

Este manejo no previene el establecimiento de malezas o la competencia de estas con el cultivo. Una estrategia proactiva de manejo comienza con la aplicación inicial y preventiva de un herbicida residual, el cual usualmente suprime un > 80% de las plantas que hubiesen emergido del suelo (**Figura 2**). Seguidamente, la aplicación secuencial del post-emergente debe controlar solamente un número reducido de las plantas que hubiesen emergido en ausencia del herbicida pre-emergente; esto convierte al manejo proactivo en una estrategia efectiva y consistente. La implementación de una estrategia proactiva de manejo conllevaría a un control eficiente de malezas en el cultivo de palma de aceite, así como se realiza en cultivos anuales y perennes, como maíz y caña de azúcar, respectivamente.

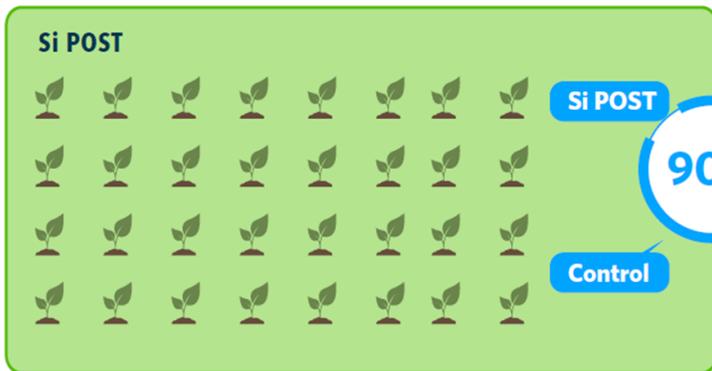
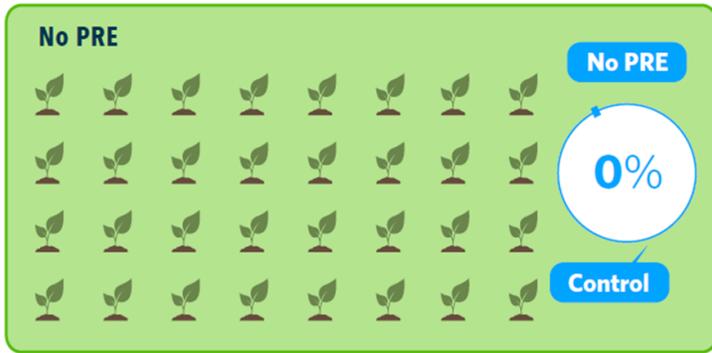
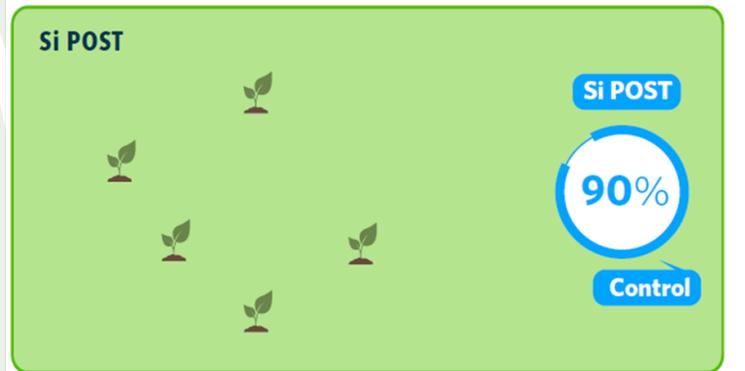
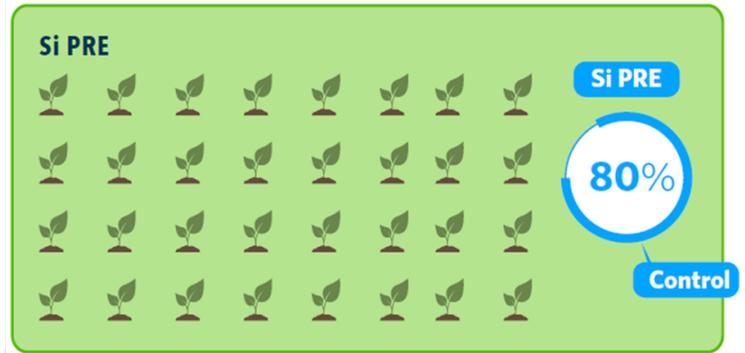
MANEJO REACTIVO**MANEJO PROACTIVO**

Figura 2. Comparación de dos estrategias de manejo de malezas. El manejo proactivo minimiza las pérdidas de rendimiento por competencia de malezas y reduce el riesgo de evolución de resistencia a herbicidas (Mueller *et al.*, 2005).

Los herbicidas Inhibidores de la Síntesis de Celulosa (CBI) representan el último modo de acción nuevo (HRAC 29), registrado para uso en el cultivo de palma de aceite (Tabla 1). La celulosa $[(C_6H_{10}O_5)_n]$ está compuesta de una cadena larga de cientos a miles de unidades (polímero) del carbohidrato glucosa, ligadas por un enlace glucurónico lineal beta $[(\beta\text{-glucosa})_n]$ (Taiz *et al.*, 2015). Su función es mayormente estructural, como componente indispensable de la pared en las células vegetales. Aparte de proveer rigidez, preserva la integridad y contiene el alto potencial osmótico (ψ_s) interno de la célula; asiste durante el proceso división celular (mitosis) (Taiz *et al.*, 2015).

La primer *Fluoroalkyltriazina* en el grupo CBI (HRAC 29) fue triaziflam, herbicida desarrollado por Idemitsu Kosan Company, Ltd. y lanzado al mercado en 1994 (Grossmann *et al.*, 2001). Indaziflam representa una nueva generación de Fluoroalkyltriazinas, donde el grupo dimethyl-phenoxy fue reemplazado por el heterociclo Indane (Jeschke, 2017). Indaziflam es una molécula quiral la cual posee tres carbonos asimétricos alfa ($\alpha\text{-C}$), esto resulta en ocho posibles combinaciones de isómeros diaestéreo (enantiómeros). Sin embargo, solamente dos de los ocho diaestéreo isómeros son activos biológicamente y estos se encuentran disponibles comercialmente a un ratio de 95:5 isómeros (1R,2S,fluoroethyl-R) y (1R,2S,fluoroethyl-S) (**Figura 3**) (Ahrens, 2015).

El mecanismo y modo de acción de los herbicidas en el grupo HRAC 29, fue elucidado inicialmente en estudios realizados con Isoxaben y Dichlobenil (otros CBI). Estos resultados son consistentes con evaluaciones más recientes, confirman que Indaziflam y el resto de herbicidas CBI, son potentes inhibidores de la enzima Celulosa Sintasa (CesA; EC 2.4.1.12) (Sebastian *et al.*, 2017). Por ende, la ausencia de biosíntesis de celulosa causa un crecimiento irregular de células expuestas a Indaziflam (Figura 4C & 4D). El crecimiento amorfo de células es debido a la incorrecta formación de la pared celular, lo cual permite que la presión del potencial osmótico (ψ_s) en el citosol, altere la correcta formación y configuración de la integridad celular. En adición, la falta de una pared celular afecta la división celular (mitosis) y por consiguiente, el crecimiento de los tejidos expuestos a Indaziflam (Figura 4A & 4B) (Brabham *et al.*, 2014).

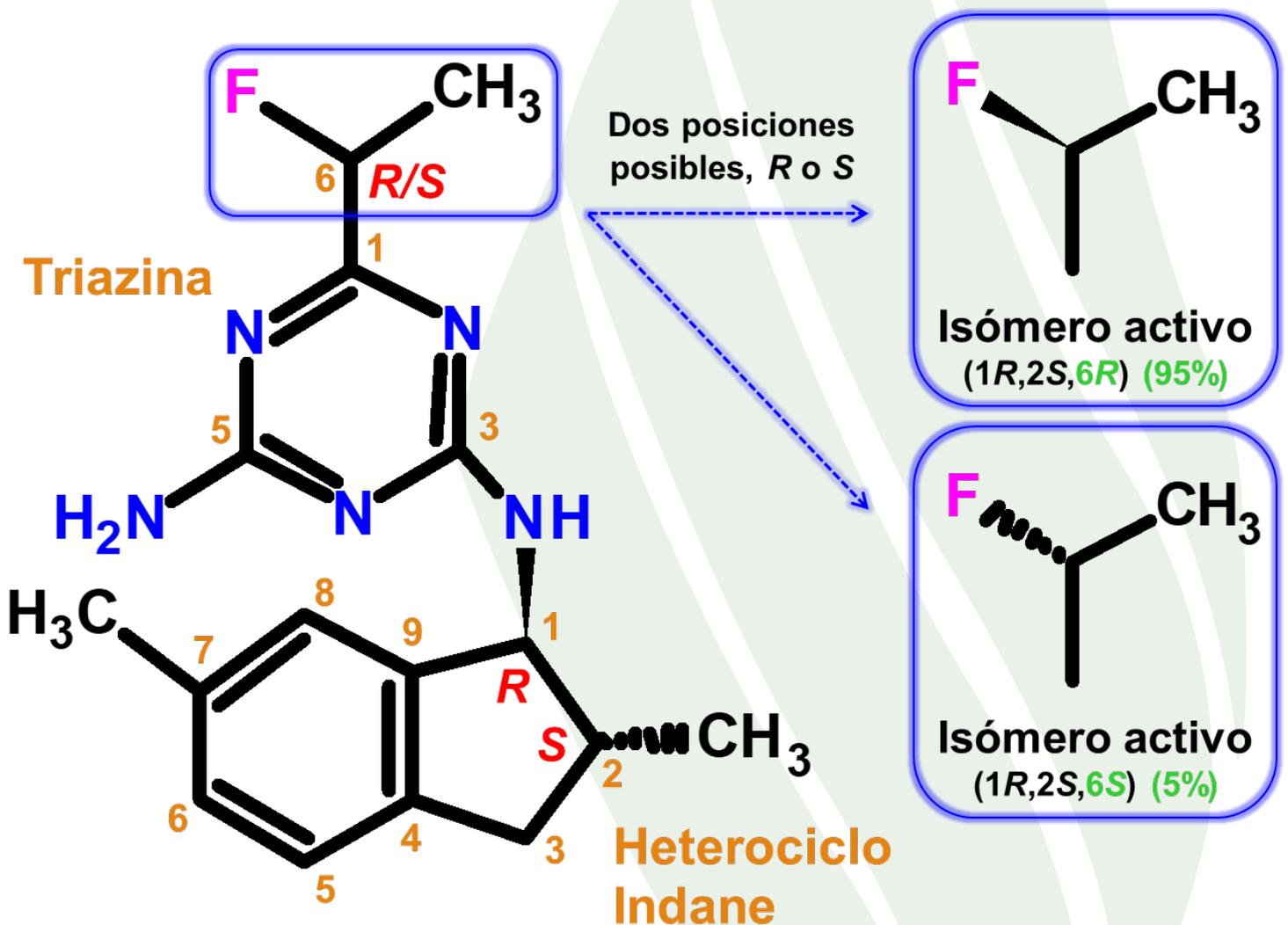


Figura 3. Estructura química de Indaziflam (CBI) (HRAC 29). El herbicida posee tres carbonos asimétricos alfa (α -C), identificados R y S. Esto resulta en ocho posibles estereoisómeros, dos de los cuales son activos biológicamente y se encuentran disponibles comercialmente a un ratio de 95:5. La secuencia de átomos se indica con números anaranjados (Ahrens, 2015) formación y configuración de la integridad celular. En adición, la falta de una pared celular afecta la división celular (mitosis) y por consiguiente, el crecimiento de los tejidos expuestos a Indaziflam (Figura 4A & 4B) (Brabham *et al.*, 2014).

Las características físico-químicas de Indaziflam sugieren que la molécula posee excelente absorción radicular, pero limitada absorción foliar (Ahrens, 2015). Debido a que Indaziflam es lipofílico (Log KOW = 1.8 – 2.8), se estima que su translocación en la raíz es a través del espacio intercelular y membranas celulares (vía apoplástica). En adición, Indaziflam es un ácido débil ($pK_{a1} = 3.5$), el nivel de ionización y solubilidad dependen del pH; en agua a pH 4.0 (20°C) la solubilidad es de 4.4 mg L⁻¹, mientras que a pH 7.0–9.0 la solubilidad se reduce a 2.8 mg L⁻¹ (Turner, 2018). Esto permite una óptima sistemicidad de Indaziflam en el xilema que mantiene un ambiente levemente ácido (Bromilow *et al.*, 1990).

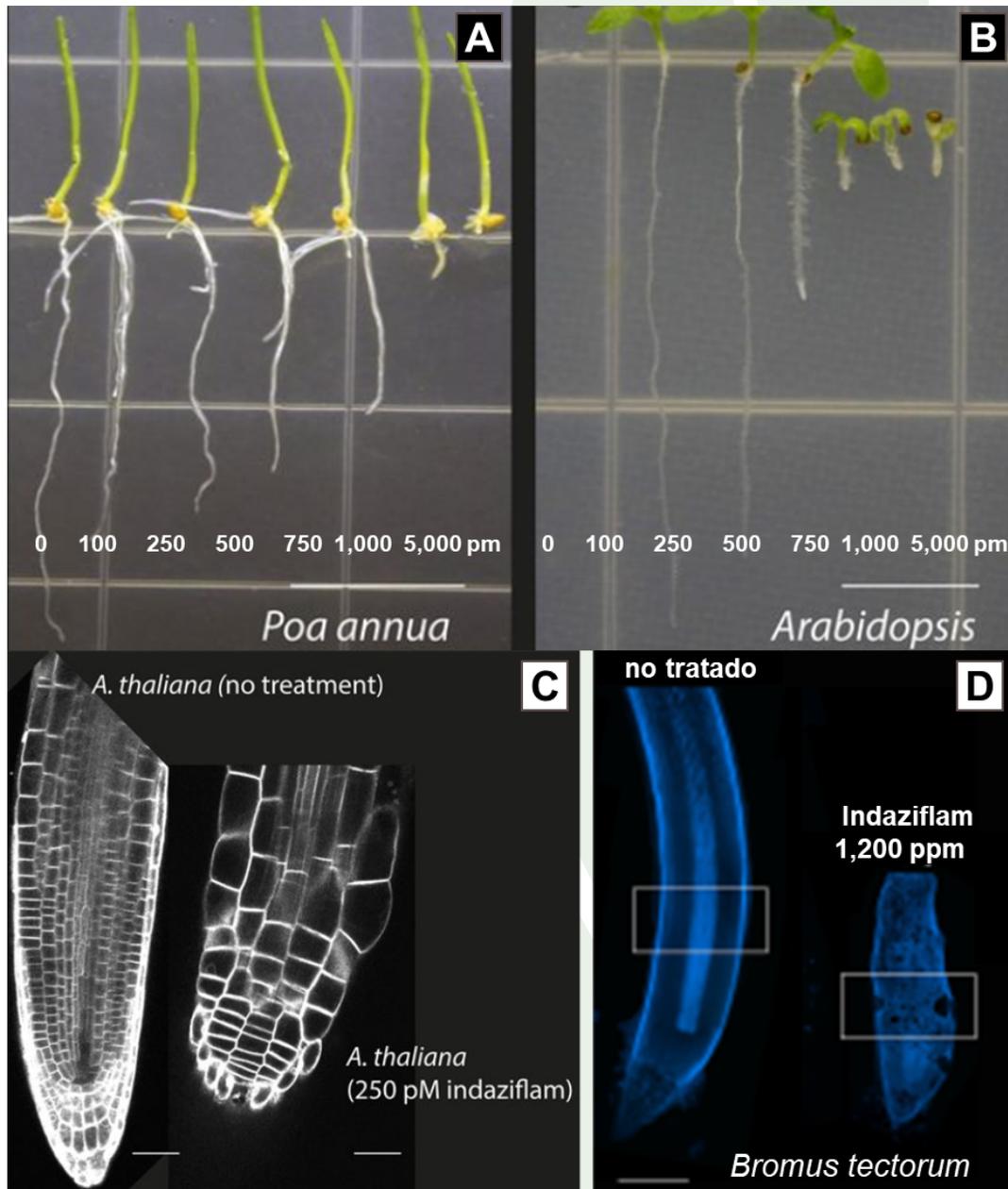


Figura 4. Modo de acción de Indaziflam. Inhibición de la enzima Celulosa Sintasa (CesA; EC 2.4.1.12), reduce la división y elongación celular; la ausencia de pared celular conlleva a la deformación de células. A & D: dosis incrementales de Indaziflam reducen el crecimiento de raíces y tallos de *Poa annua* y *Arabidopsis thaliana*, respectivamente. C & D: crecimiento irregular de células por ausencia de la pared celular (Brabham *et al.*, 2014).

Indaziflam posee un amplio espectro de control de especies monocotiledóneas y dicotiledóneas anuales, utilizado principalmente en aplicaciones pre-emergentes. Según pesquisa realizada recientemente, Indaziflam posee alta efectividad en las cinco especies más importantes en la producción de palma de aceite en Guatemala: Braquiarias (*Brachiaria spp.*), Zacate guinea (*Panicum maximum*), Campanilla (*Ipomoea spp.*), Navajuela (*Scleria melaleuca*) y Kudzu (*Pueraria spp.*) (Sagastume-Méndez, 2016).

Igualmente, el período residual de Indaziflam es superior a la mayoría de los herbicidas pre-emergentes; en condiciones de Centro América, se han documentado hasta 100 días de efecto residual. El herbicida es compatible en mezcla con la mayoría de las moléculas utilizadas en la producción de palma de aceite. En estudios realizados en Indonesia, mezclas de Glifosato más Indaziflam, Metsulfuron-methyl, Fluroxypyr-meptyl, o Oxyfluorfen, ofrecieron buenas alternativas para el control de malezas gramíneas, hoja ancha y ciperáceas cuando fueron aplicadas a la base de la planta (plato) (Figura 5) (Sidik *et al.*, 2018).

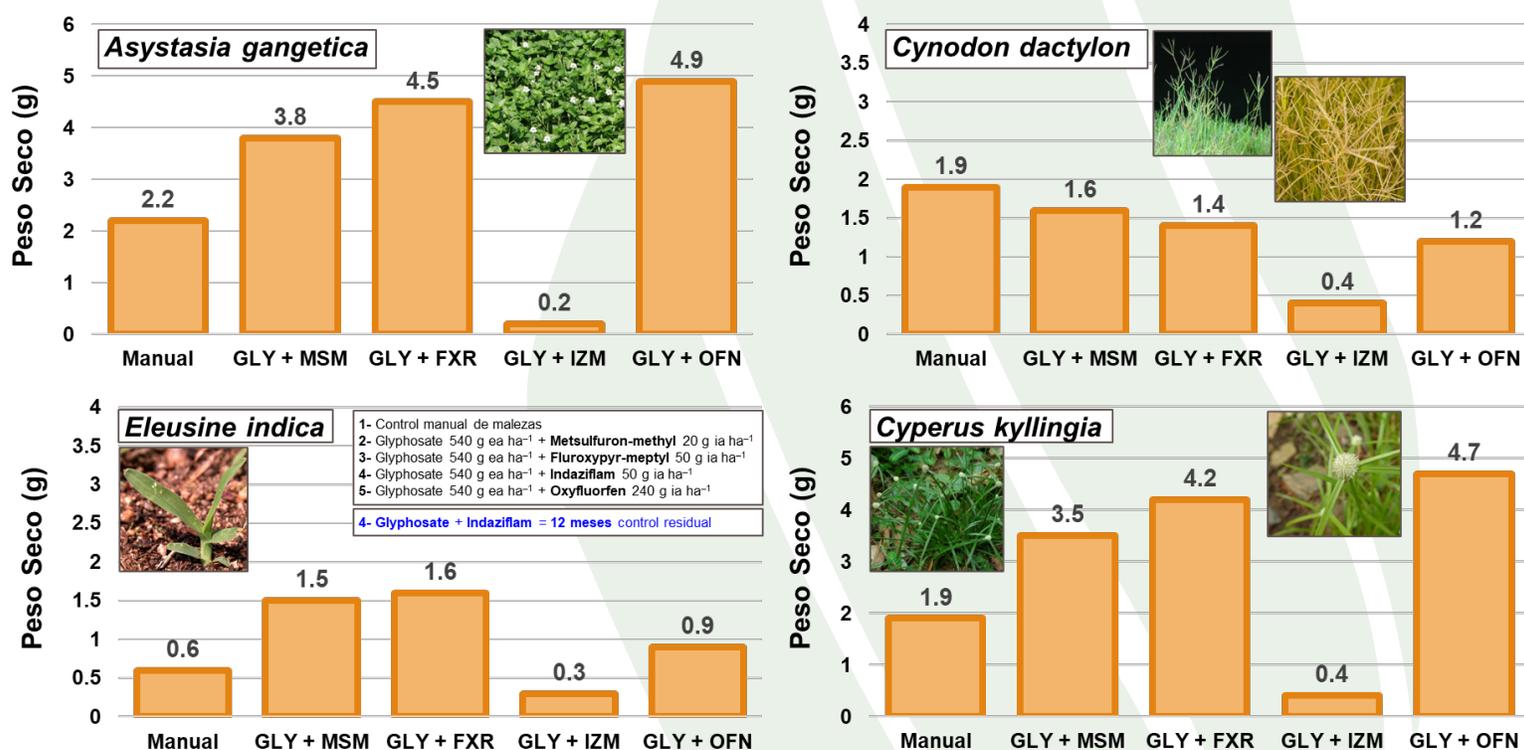


Figura 5. Figura 5. Efecto de mezclas de Glifosato más herbicidas residuales en Indonesia, aplicadas a la base de la planta (plato) de palma de aceite. El tratamiento más consistente fue la mezcla de Glifosato 540 g ea ha⁻¹ + Indaziflam 50 g ia ha⁻¹, ofreciendo una eficacia superior al resto de tratamiento y al menos 12 meses control residual. Glifosato = GLY; Metsulfuron-methyl = MSM; Fluroxypyr-meptyl = FXR; Indaziflam = IZM; Oxyfluorfen = OFN. (Sidik *et al.*, 2018)

Indaziflam es selectivo al cultivo de palma de aceite, según las especificaciones en la etiqueta. La mayoría de los herbicidas residuales ofrecen selectividad a los cultivos por posicionamiento, colocando el ingrediente activo en concentraciones bajas y lejos de las áreas potenciales de inhibición.

Un metro cúbico de suelo dependiendo de humedad y densidad, pesa entre 1.0 a 2.0 toneladas. En los primeros 5 cm de la superficie del suelo, se acumula la mayoría de las semillas de malezas; comúnmente más del 90% de las semillas. Por ende, las aplicaciones de herbicidas residuales deben permanecer y concentrar su efecto en esta franja de 5 cm superficiales de suelo, para ofrecer la mayor eficacia residual.

De manera contrastante, la mayoría de las raíces de cultivos no se concentran en los primeros 5 cm de la superficie del suelo. Determinaciones en palma de aceite en Costa Rica, confirman que la densidad radical en los primeros 50 cm de suelo equivale a 35 raíces por cm^2 , a profundidad de 55 a 100 cm, equivale a 0.08 raíces por cm^2 (Figura 6) (Chinchilla, 2009). La aplicación de un herbicida residual como Indaziflam, concentra el ingrediente activo inicialmente en los primeros 5 cm de la superficie de suelo, donde se encuentra la mayor cantidad de semillas de malezas.

A medida que el área recibe precipitación o riego, el herbicida se moviliza a estratos inferiores del suelo, perdiendo de esa manera su concentración (Figura 6).

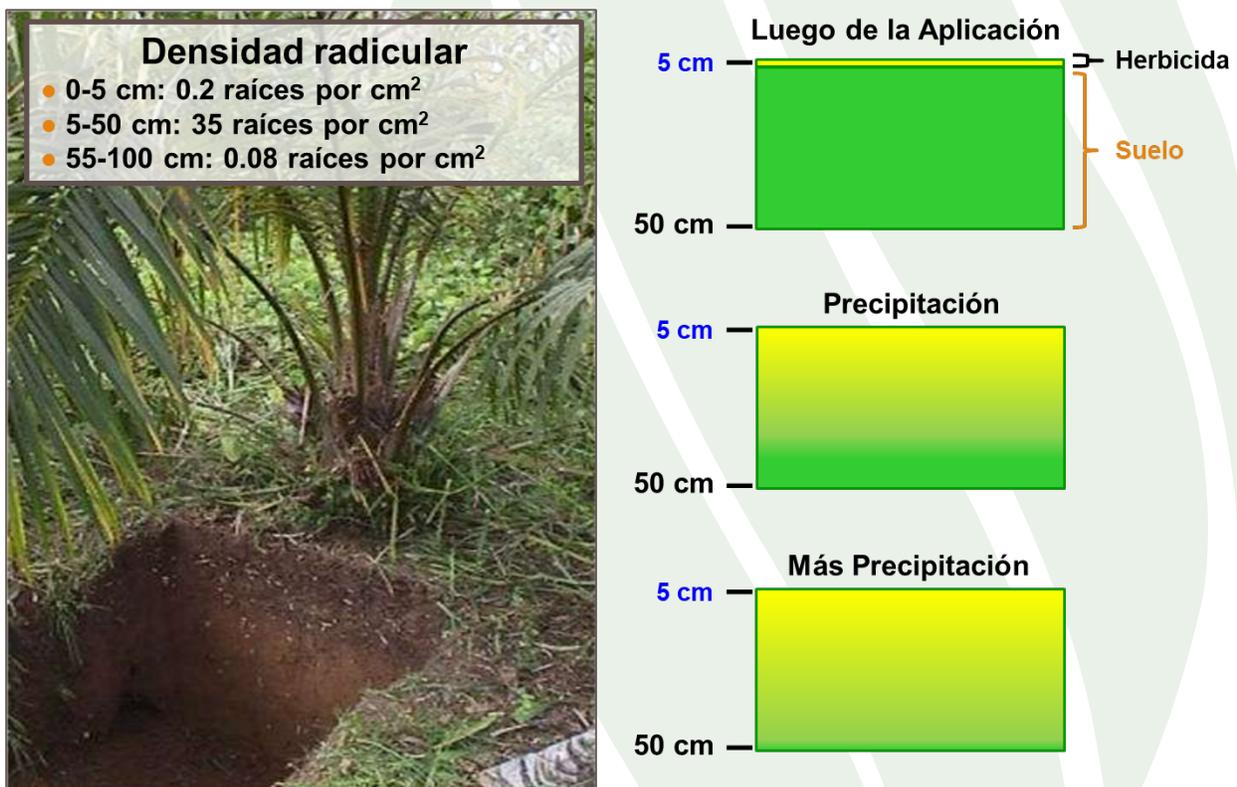


Figura 6. Selectividad por posicionamiento de herbicidas residuales como Indaziflam. La aplicación del herbicida al suelo asegura que el ingrediente activo se concentra en los 5 cm superficiales, zona que concentra la mayor cantidad de semillas de malezas. La precipitación mueve al herbicida a estratos inferiores de suelo, reduciendo su concentración. La mayor cantidad de raíces de palma de aceite se encuentran en estratos de suelo superiores a los 5 cm superficiales (Chinchilla, 2009)

En estos estratos de suelo inferiores a los 5 cm superficiales, se encuentra la mayor cantidad de raíces de palma de aceite y esto describe la selectividad por posicionamiento alcanzada con la mayoría de los herbicidas residuales.

La mayoría de los herbicidas residuales utilizan este mecanismo de selectividad por posicionamiento. En resumen, Indaziflam es un herbicida innovador que se adapta al ambiente regulatorio actual en palma de aceite, posee las siguientes características:

- 1. Permite un manejo proactivo de malezas;**
- 2. Representa un nuevo modo de acción que facilita el manejo de malezas resistentes;**
- 3. Posee efectiva absorción radicular y translocación acropetal (xilema);**
- 4. Ejerce un amplio espectro de control en malezas anuales;**
- 5. Demuestra un período residual superior a la mayoría de los herbicidas pre-emergentes;**
- 6. Es compatible en mezcla;**
- 7. Ofrece excelente selectividad al cultivo según las especificaciones en la etiqueta; y**
- 8. Posee un perfil toxicológico y eco toxicológico favorable.**

LITERATURA
citada



- Agrios, G.N. 2005. "Plant Pathology, 5th Edition". Elsevier Academic Press, Burlington, MA. © Academic Press 2005. pp. 948. ISBN 978-0-120-44565-3. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.10.009>
- Ahrens, H. 2015. "Indaziflam: An Innovative Broad-Spectrum Herbicide, Chap 17". In: Discovery and Synthesis of Crop Protection Products. ACS Symposium Series Vol. 1204. pp. 233-245. <https://doi.org/10.1021/bk-2015-1204.ch017>
- Brabham, Chad, Lei Lei, Ying Gu, Jozsef Stork, Michael Barrett, and Seth DeBolt. 2014. "Indaziflam Herbicidal Action: A Potent Cellulose Biosynthesis Inhibitor." Plant Physiology 166 (3): 1177–85. <https://doi.org/10.1104/pp.114.241950>
- Bromilow, Richard H., Keith Chamberlain, and Avis A. Evans. 1990. "Physicochemical Aspects of Phloem Translocation of Herbicides." Weed Science 38 (3): 305–14. <https://doi.org/10.1017/S0043174500056575>
- Busi, Roberto, Stephen B Powles, Hugh J Beckie, and Michael Renton. 2020. "Rotations and Mixtures of Soil applied Herbicides Delay Resistance." Pest Management Science 76 (2): 487–96. <https://doi.org/10.1002/ps.5534>
- Chinchilla, A.H. 2009. "Características del Suelo y Desarrollo Radical en Palma Aceitera Joven (*Elaeis guineensis* Jacq.)". ASD Oil Palm Papers (Costa Rica), N° 33, 17-32. <http://www.asd-cr.com/>
- Gianessi, Leonard P., and Nathan P. Reigner. 2007. "The Value of Herbicides in U.S. Crop Production." Weed Technology 21 (2): 559–66. <https://doi.org/10.1614/WT-06-130.1>
- Grossmann, Klaus, Stefan Tresch, and Peter Plath. 2001. "Triaziflam and Diaminotriazine Derivatives Affect Enantioselectively Multiple Herbicide Target Sites." Zeitschrift Für Naturforschung C 56 (7–8): 559–69. <https://doi.org/10.1515/znc-2001-7-814>
- Jeschke, Peter. 2017. "Latest Generation of Halogen-Containing Pesticides." Pest Management Science 73 (6): 1053–66. <https://doi.org/10.1002/ps.4540>
- Kaushik, Shalini, Inderjit, Jens Carl Streibig, and Nina Cedergreen. 2006. "Activities of Mixtures of Soil-Applied Herbicides with Different Molecular Targets." Pest Management Science 62 (11): 1092–97. <https://doi.org/10.1002/ps.1285>
- Mueller, Thomas C., Paul D. Mitchell, Bryan G. Young, and Stanley Culpepper. 2005. "Proactive Versus Reactive Management of Glyphosate-Resistant or -Tolerant Weeds." Weed Technology 19 (4): 924–33. <https://doi.org/10.1614/WT-04-297R.1>

Rutherford, M.; Flood, J. & Sastroutomo, S.S. 2011. "Roundtable for Sustainable Palm Oil (RSPO): Research project on Integrated Weed Management Strategies for Oil Palm – FINAL REPORT". CAB International. © 2011 Roundtable on Sustainable Palm Oil. https://www.rspo.org/file/RSPO%20IWM_FINAL%20REPORT%20to%20RSPO%209%205%2011.pdf

Sagastume-Méndez, RA. (2016). "Determinación de la Dinámica Poblacional de las Malezas en el Cultivo De Palma Africana (*Elaeis Guineensis* Jacq.) y Diagnóstico y Servicios Prestados en la Franja Transversal Del Norte, Guatemala, C.A". Trabajo De Graduación, Facultad De Agronomía, Universidad De San Carlos De Guatemala. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/5948/1/ROLANDO%20ARNULFO%20SAGASTUME%20M%C3%89NDEZ.pdf>

Sebastian, Derek J, Margaret B Fleming, Eric L Patterson, James R Sebastian, and Scott J Nissen. 2017. "Indaziflam: A New Cellulose-Biosynthesis-Inhibiting Herbicide Provides Long-Term Control of Invasive Winter Annual Grasses." *Pest Management Science* 73 (10): 2149–62. <https://doi.org/10.1002/ps.4594>

Sidik, S, Edison Purba, and E N Yakub. 2018. "Population Dynamics of Weeds in Oil Palm (*Elaeis Guineensis* Jacq.) Circle Weeding Area Affected by Herbicide Application." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 122 (February): 012069. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/122/1/012069>

Taiz L.; Zeiger, E.; Møller I.M.; Murphy A. 2015. "Plant Physiology and Development, Sixth Edition". Sinauer Associates of Oxford University Press. p 761. ISBN: [978-1605352558](https://doi.org/10.1088/1755-1315/122/1/012069)

Turner, Jim A. 2018. *The Pesticide Manual: A World Compendium*, 18th Edition. British Crop Production Council (BCPC). <http://www.bcpc.org/product/bcpc-online-pesticide-manual-latest-version>

Woittiez, Lotte S., Mark T. van Wijk, Maja Slingerland, Meine van Noordwijk, and Ken E. Giller. 2017. "Yield Gaps in Oil Palm: A Quantitative Review of Contributing Factors." *European Journal of Agronomy* 83 (February): 57–77. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.11.002>

Wood, B. J. 1977. "The Economics of Crop Protection in Oil Palms." *PANS* 23 (3): 253–67. <https://doi.org/10.1080/09670877709412448>



GREPALMA

GREMIAL DE PALMICULTORES DE GUATEMALA

BOLETÍN *La Palma* No.25

www.grepalma.org

Comuníquese con nosotros

Email: info@grepalma.org



GREPALMA miembro de

