


Trialato - cómo un  
herbicida esencial desde  
hace 60 años reveló  
finalmente su mecanismo  
de acción

6 de noviembre de 2025  
Laurent Cornette



## ¿Qué es Trialato?

- Herbicida selectivo residual de pre-emergencia.
- Desarrollado en los '50s por Monsanto.
- Comercializado inicialmente en 1962, como  para el control de la avena loca (*Avena fatua*).
- En EEUU y Canada, en su apogeo, Avadex® fue EL herbicida clave de la avena loca para los cultivadores de trigo y cebada, hasta que los herbicidas de post-emergencia conquistaron el mercado y lo remplazaron progresivamente.
- Adquirido por Gowan en 2004 y registrado exitosamente en el Anexo 1 Europeo en el 2010. Viviendo una recrudescencia como factor anti resistencia.
- Registrado en España en 2024 como **Avadex'Factor** (micro-capsulas).
- Tiocarbamato del Grupo HRAC 15 (resultando de la fusión de los grupos N y K3).

# Grupo 15 de HRAC

15

Inhibition of Very Long-Chain Fatty Acid Synthesis (VLCFA)

$\alpha$ -Chloroacetamides

$\alpha$ -Thioacetamides

Azolylcarboxamides

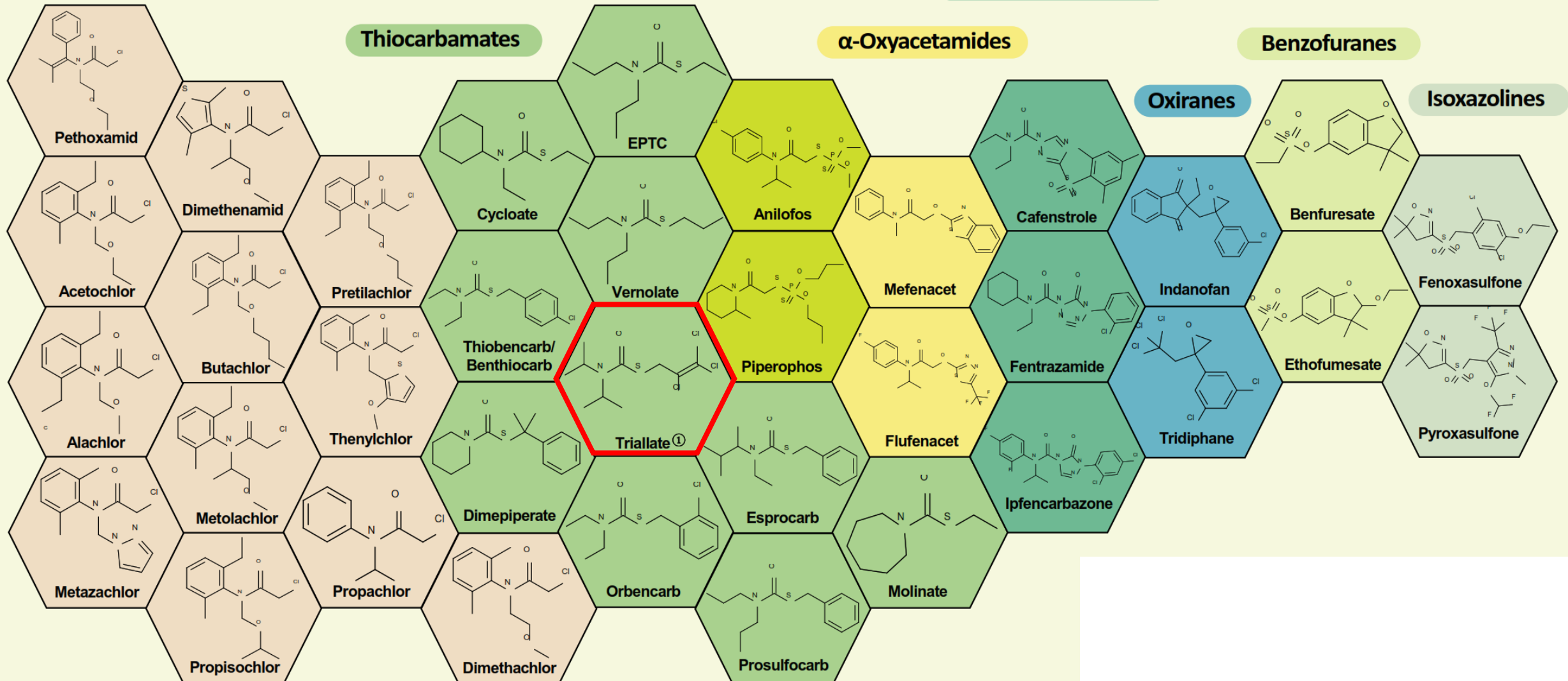
Thiocarbamates

$\alpha$ -Oxyacetamides

Benzofuranes

Oxiranes

Isoxazolines



# Mecanismo de Acción vs Sitio de Acción

Presumiblemente, todos los herbicidas del Grupo 15 comparten el mismo MdA:

« **Inhibidores de la síntesis de los AGMLC (VLCFA)** »

También muestran **efectos fisiológicos similares**.

¡Pero es posible que no tengan el mismo SdA!

El MdA de los herbicidas del Grupo 15 queda poco definido y el (los) sitio(s) de acción aun son menos conocidos.

Un hecho relevante es que **nunca se ha observado casos de resistencia del sitio diana (RSD)** a herbicidas del grupo 15 a pesar de que algunos llevan mas de 50 años de utilización.

# Grupo 15 Casos de Resistencia

Weedscience.org

- 33 casos
- 10 malezas
- 10 países
- 10 activos
- Ninguno caso de RSD

#	Species	Year	Country	MOAs	Group 15 Actives	Type
1	Alopecurus myosuroides	2007	Germany	1, 2, 5, 15	flufenacet	Enhanced Metabolism
		2011	Sweden	1, 2, 15	prosulfocarb, flufenacet	TSR and Enhanced Metabolism
		2020	France	15	prosulfocarb, flufenacet	Unknown
2	Amaranthus palmeri	2016	United States	2, 3, 9, 14, 15	S-metolachlor	TSR and unknown
		2017	United States	15	S-metolachlor	Unknown
3	Amaranthus tuberculatus (=A. rudis)	2016	United States	15	dimethenamid, acetochlor, S-metolachlor, pyroxasulfone	Enhanced Metabolism
4	Avena fatua	1989	Canada	0, 15	tri-allate	Elevated level of giberellins
		1990	United States	0, 15	tri-allate	Unknown
		1993	United States	0, 15	tri-allate	Unknown
		1996	Canada	15	tri-allate	Unknown
		1996	Canada	1, 2, 15	tri-allate	Unknown
		1997	Canada	15	tri-allate	Unknown
		1997	Canada	0, 1, 2, 15	tri-allate	Unknown
		1998	Canada	1, 2, 15	tri-allate	Unknown
2015	Canada	1, 2, 14, 15	tri-allate, pyroxasulfone	Unknown		
5	Echinochloa crus-galli var. crus-galli	1993	China	15	butachlor	Unknown
		1993	China	15	thiobencarb/benthiocarb	Unknown
		1998	Thailand	5, 15	butachlor	Unknown
		2000	United States	1, 15	thiobencarb/benthiocarb, molinate	Unknown
		2005	Philippines	5, 15	butachlor	Unknown
6	Echinochloa oryzoides	2000	United States	15	thiobencarb/benthiocarb, molinate	Unknown
7	Echinochloa phyllopogon (=E. oryzicola)	1998	United States	15	thiobencarb/benthiocarb	Unknown
		2000	United States	1, 15	thiobencarb/benthiocarb, molinate	Unknown
8	Lolium perenne ssp. multiflorum	2005	United States	1, 2, 15	flufenacet	Unknown
		2018	France	15	flufenacet	Enhanced Metabolism
		2018	United Kingdom	15	flufenacet	Enhanced Metabolism
		2018	United States	15	flufenacet	Enhanced Metabolism
		2018	United States	15	flufenacet	Enhanced Metabolism
9	Lolium rigidum	1982	Australia	1, 2, 3, 13, 15, 23	metolachlor, tri-allate	TSR and Enhanced Metabolism
		1984	Australia	15	metolachlor	Unknown
		2015	Australia	15	tri-allate	Unknown
		2015	Australia	15	tri-allate	Unknown
10	Poa annua	1994	United States	15	ethofumesate	Unknown



# Declaración del HRAC

(publicada el 29 de septiembre de 2021)

## GLOBAL HRAC APOYA LA COMBINACIÓN O SECUENCIA DE INGREDIENTES ACTIVOS PERTENECIENTES A LOS ANTIGUOS GRUPOS N Y K3 (NUEVO GRUPO 15)

HRAC ha creado un Grupo de Trabajo del Grupo 15 para debatir y acordar recomendaciones comunes sobre la combinación o la secuencia de los ingredientes activos pertenecientes a dicho grupo. En septiembre de 2021, el Grupo de Trabajo publicó una carta de recomendación que puede consultarse aquí:

<https://hracglobal.com/who-we-are/working-groups/group-15-vcfa-inhibitors-resistance>

Basándose en el hecho de que el grupo 15 del HRAC (K3) presenta un modo de acción multi-enzimático con un patrón complejo de especificidad de sustrato, el HRAC sigue apoyando las combinaciones o secuencias de productos que contienen ingredientes activos de los antiguos grupos N y K3 (nuevo Grupo 15).



### Global HRAC apoya la combinación o secuencia de ingredientes activos pertenecientes a los antiguos Grupos N y K3 (nuevo Grupo 15)

R. Beffa (Bayer Crop Science), L. Cornette (Gowan Crop Protection), G. Le Goupil (Syngenta), C.V.S. Rossi (Corteva Agriscience) and B. Sievernich (BASF).

\*edactado en cooperación con HRAC Europa.

El control de las malas hierbas es una técnica importante para salvaguardar el rendimiento y la calidad de los cultivos. Los herbicidas ofrecen a los agricultores una herramienta efectiva y económica para el control de las malas hierbas, la cual se puede integrar con diferentes técnicas de cultivo de una manera flexible y sostenible para garantizar y optimizar la producción de cultivos. Con el fin de mantener la eficacia de los herbicidas y reducir el riesgo de selección de resistencia a los herbicidas es necesario implementar ciertas técnicas estratégicas. Una de las técnicas más importantes es la rotación de herbicidas con diferentes modos de acción (MoA) contra las malas hierbas para las cuales están destinados.

Para permitir a los agricultores identificar fácil y rápidamente el modo de acción de un herbicida, HRAC desarrolló durante la década de 1980 un sistema de clasificación basado en letras. Desde entonces, han entrado en el mercado nuevos ingredientes activos, algunos de ellos con nuevos modos de acción. Además, los nuevos métodos de investigación se han desarrollado y han ayudado a definir con más precisión los modos de acción de los herbicidas que ya existen en el mercado. Con el fin de recoger todos estos nuevos desarrollos, en enero de 2020, y tras considerar los últimos hallazgos científicos, HRAC actualizó el sistema de clasificación del modo de acción de los herbicidas, añadiendo nuevos grupos de clasificación y examinando el posicionamiento correcto de cada ingrediente activo.

Asimismo, se va a implementar un período de transición del antiguo sistema basado en letras al nuevo sistema numérico. El nuevo sistema numérico permitirá prescindir de la limitación en el número de clases establecidas por el sistema basado en letras y fomentará el uso del sistema de clasificación en áreas geográficas en las que el alfabeto latino no se utiliza de forma habitual.

Para el grupo HRAC N – "Inhibición de la síntesis de lípidos (no ACCase)" - se confirmó que la mayoría de sus ingredientes activos tenían que ser trasladados al grupo HRAC 15 (K3; Inhibición de la síntesis de ácidos grasos de cadena muy larga - VLCFAs) y se eliminó la clase N. Sin embargo, y en comparación con otros muchos grupos HRAC (p.ej: 1 (A) - ACCase, 2 (B) - ALS, 9 (G) - EPSPs, 27 (F2) - HPPD, etc.), la inhibición de los VLCFA (grupo K3) es un sistema multienzimático, el cual muestra un patrón complejo de especificidad del sustrato en relación con los ingredientes activos individuales. Los sitios diana específicos aún no se han identificado (4). De hecho, se cree que los herbicidas del grupo HRAC 15 (K3) podrían presentar un modo de acción con múltiples sitios de acción o al menos con

múltiples enzimas, y con varias elongasas implicadas, y que podría haber diferencias significativas entre los distintos herbicidas. Más investigaciones son necesarias para identificar los sitios diana específicos de los diferentes miembros del grupo 15 (K3) en más detalle. Hasta el momento, la resistencia de las malas hierbas a los inhibidores de los VLCFA sólo se ha observado en raras ocasiones y, en la mayoría de los casos, no se ha informado de resistencia cruzada.

Mezclas o secuencias de herbicidas que contienen ingredientes activos provenientes de diferentes grupos HRAC forman parte de las recomendaciones para la gestión de la resistencia. Conforme a esta recomendación, una práctica habitual entre los agricultores europeos con los herbicidas del grupo HRAC N o K3 para el control de gramíneas como *Alopecurus* spp o *Lolium* spp, consiste en realizar una aplicación en mezcla de herbicidas o una aplicación secuencial de los mismos. Un enfoque similar para el control de malas hierbas de hoja ancha (p.ej: *Amaranthus* spp) es aplicable a otras regiones del mundo. Este enfoque se ha llevado a cabo durante años con escasos casos de resistencia, a los herbicidas inhibidores del grupo 15 en gramíneas (1, 2 & 3).

En base a esta experiencia y al hecho de que el grupo HRAC 15 (K3) comprende un modo de acción multienzimático con una pauta compleja de especificidad del sustrato, las combinaciones o secuencias de productos que contienen ingredientes activos de los grupos HRAC N y K3 (nuevo grupo 15) aún son recomendados por el HRAC.

En base a una investigación adicional y a sus conclusiones, una revisión del grupo HRAC 15 (K3) podría ser necesaria.

#### Bibliography

- (1) Dücker R., Parchardou E., and Beffa R. (2020). Flufenacet activity is affected by GST inhibitors in blackgrass (*Alopecurus myosuroides*) populations with reduced flufenacet sensitivity and higher expression levels of GSTs. *Weed Science*, 68 (5): 451-459.
- (2) Dücker R. et al. (2019). Enhanced metabolism causes reduced Flufenacet sensitivity in black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) field populations. *Pest Manag Sci*, 75: 2996-3004.
- (3) Dücker R. et al. (2019). Glutathione transferase plays a major role in flufenacet resistance of ryegrass (*Lolium* spp.) field populations. *Pest Manag Sci*, 75: 3084-3092.
- (4) Trentkamp S., Martin W., and Tietjen K. (2004). Specific and differential inhibition of very long chain fatty acid elongases from *Arabidopsis thaliana* by different herbicides. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* 101, 11903-11908.

# ¿Qué sabemos en cuenta a Trialato?

Ref.	C12	C16	C18	C20	C22	C24	C26
Bolton (1976) Patata		→	→	↘	↘		
Kern (1995) Avena	→	→	→	↘	↘		↘
Kern (1997) Avena		↘	↘	↘	↘		↘
Rashid (1997) Avena		↘	↘				

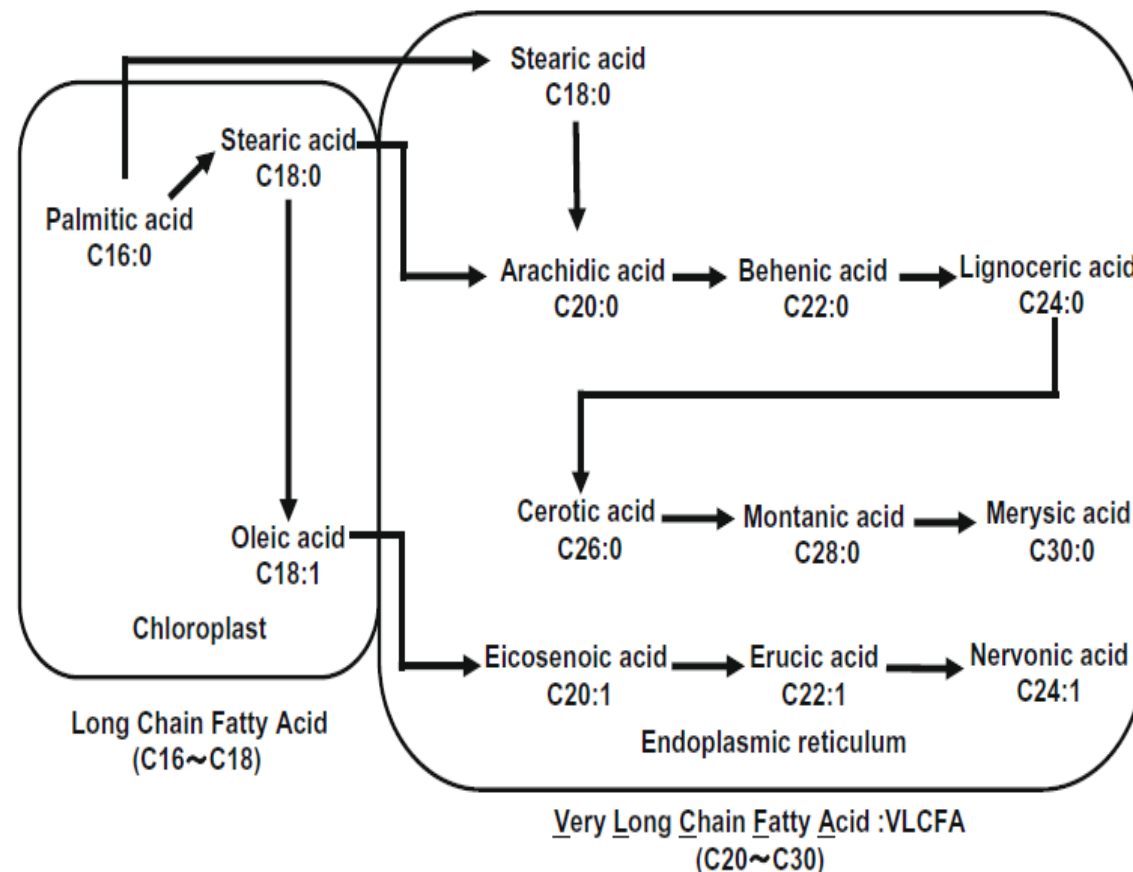


Fig. 2. Biosynthetic pathway of VLCFAs in plants.

Además, sabemos que trialato inhibe a la formación de las ceras cuticulares (las ceras son VLCFAs), entonces debilitando a las plantas, sensibilizándolas a los siguientes tratamientos herbicidas.

# Nuevo estudio lipodómico realizado en el Reino Unido por Rothamsted Research y Gowan.

“Group 15 Pre-emergent Herbicides Differentially Effect Plant Growth, Cuticular Wax Composition, and Fatty Acid Metabolism in Herbicide-Resistant and Herbicide-naïve Blackgrass”

## Authors:

Hannah R. Blyth<sup>1,2,3</sup>, Laurent Cornette<sup>3</sup>, Barrie Hunt<sup>3</sup>, Richard P. Haslam<sup>1</sup>, Frédéric Beaudoin<sup>1\*</sup>  
and Dana R. MacGregor<sup>2</sup>

## Author Affiliations:

1: Plant Sciences for the Bioeconomy, Rothamsted Research, Harpenden, UK

2: Protecting Crops and the Environment, Rothamsted Research, Harpenden, UK

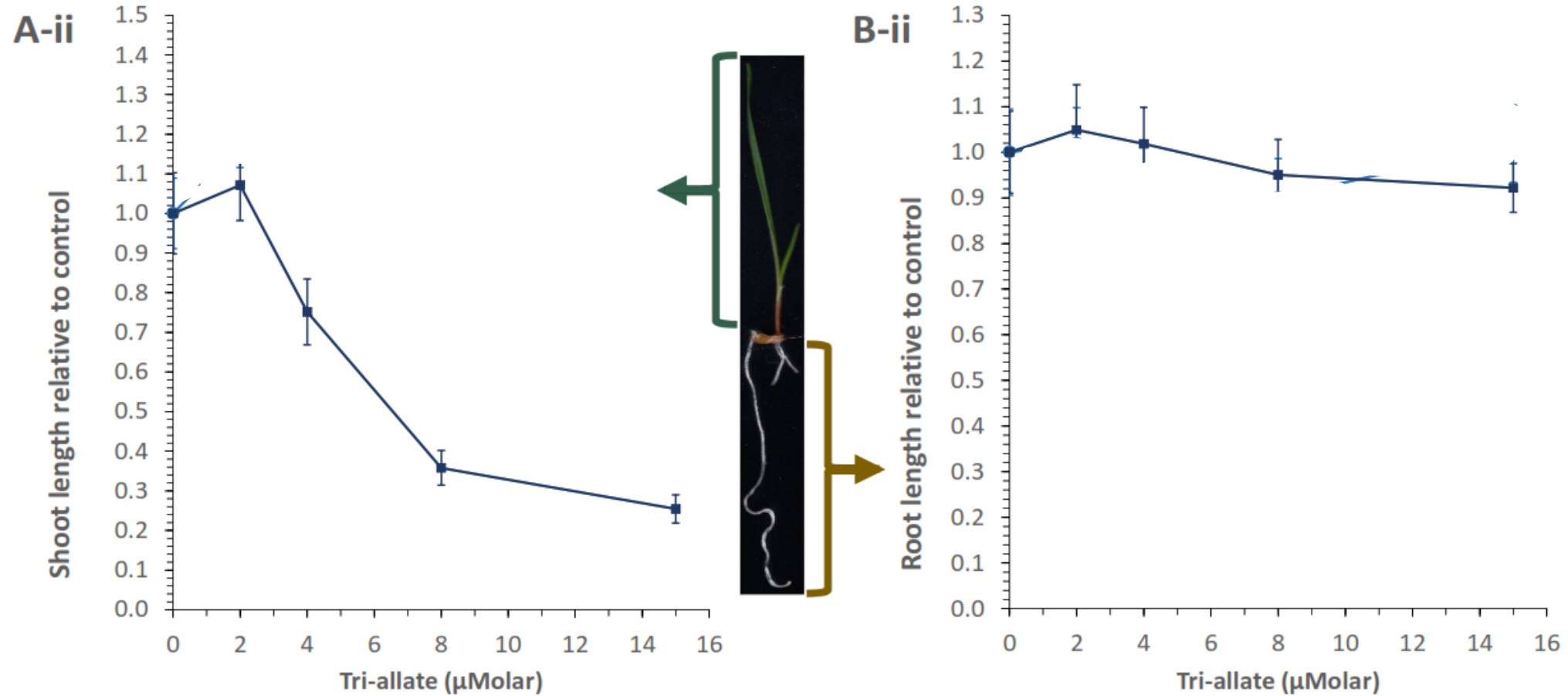
3: Gowan Crop Protection Ltd, Harpenden, UK



# Principios del estudio

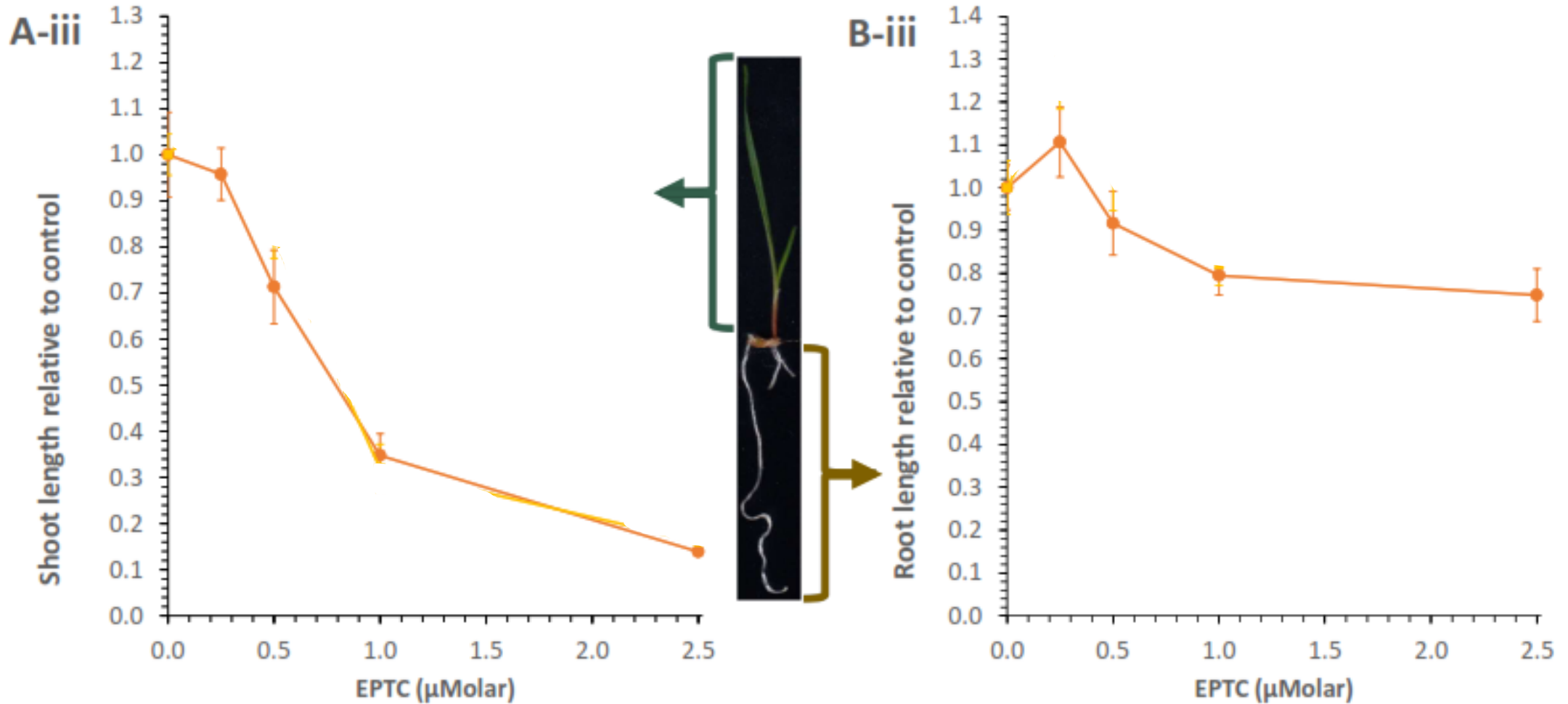
- Objetivo: **aclarar el modo de acción del trialato**.
- El estudio también incluyó **EPTC**, como otro tiocarbamato y herbicida del Grupo 15, además de **flufenacet**, utilizado como referencia, ya que se conoce bien su sitio y modo de acción.
- ¿Por qué Rothamsted?
  - Líderes en genómica – por ejemplo, identificaron el genoma del Black-grass (*Alopecurus myosuroides*).
  - Líderes en lipidómica – amplia experiencia en el estudio de ácidos grasos y lípidos.
- Realizado *in planta* (*Alopecurus myosuroides*).

# Observación 1: El trialato está activo sólo en los brotes.



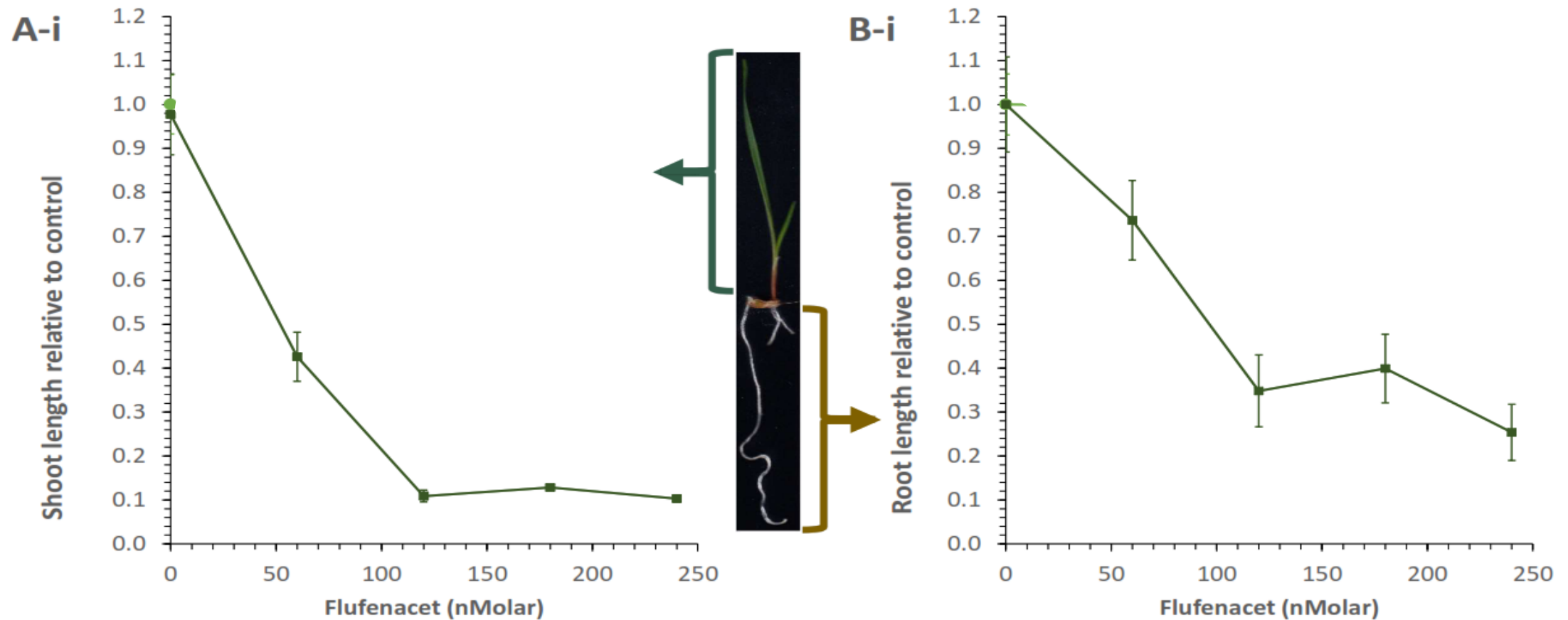
# Observación 1:

El EPTC también está activo sólo en los brotes.



# Observación 1:

## El Flufenacet está activo en los brotes y las raíces.



# ETPC, Tri-allylate, and FFT all are proposed to inhibit VLCFAs

15

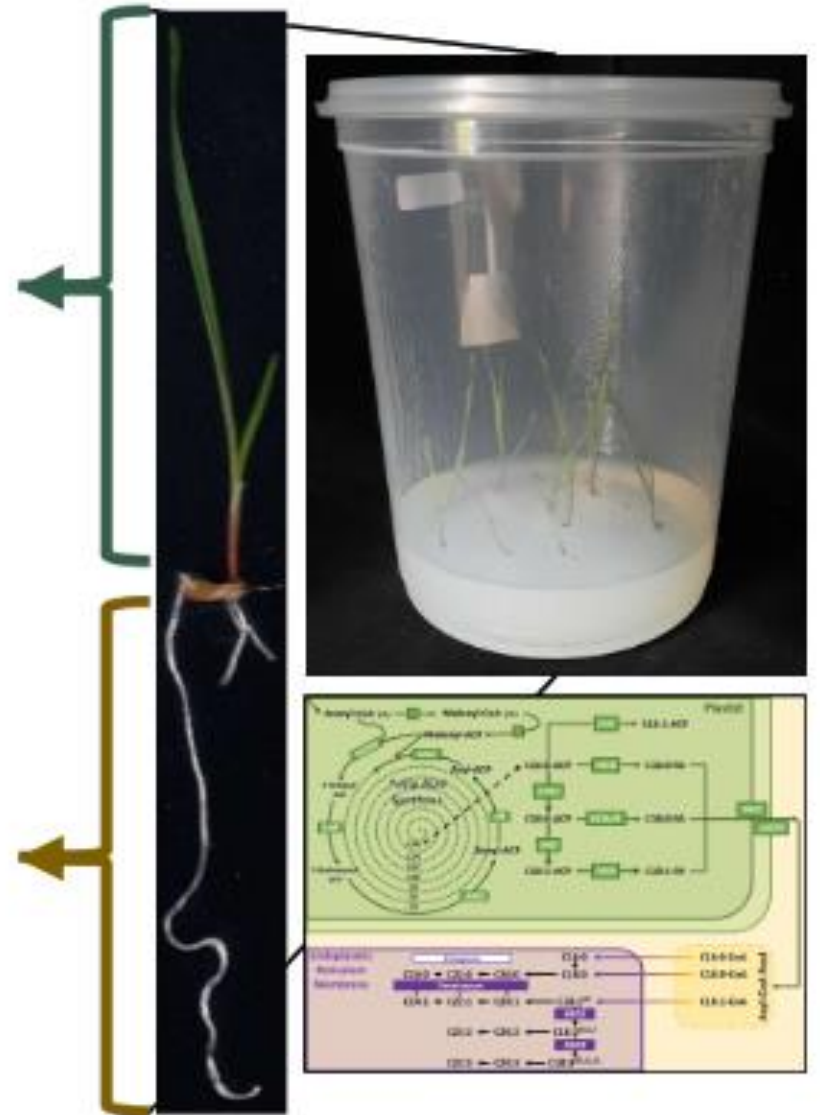
Inhibition of Very Long-Chain Fatty Acid Synthesis

RRes Lipidomic Facility



Methyl ester derivatives of total fatty acids (FAMES) / Cuticular Waxes / Sterols / Terpenoids / Tocopherols / etc.

We can measure these using GC-FID/MS

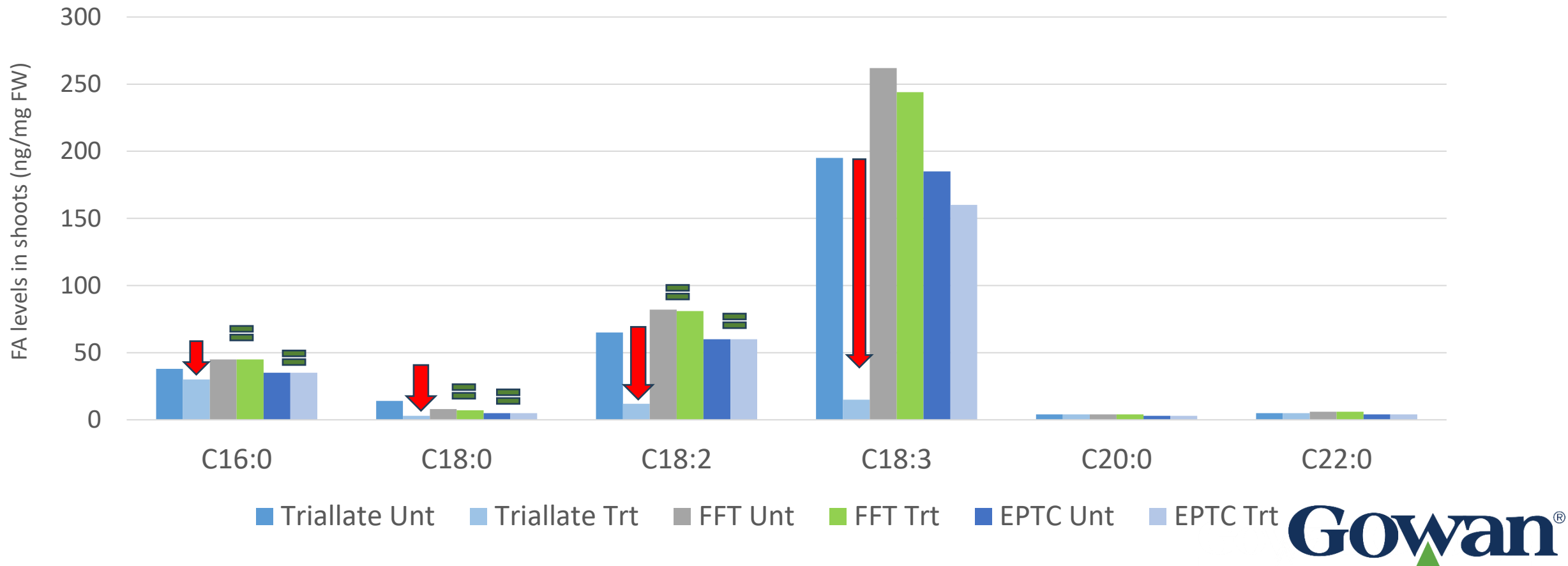


## Observación 2: Efectos en los lípidos y en las ceras

Activo		Ceras Totales
Trialato	Testigo	17.34
	Tratado	11.73
EPTC	Testigo	12.16
	Tratado	9.77
Flufenacet	Testigo	20.37
	Tratado	10.54

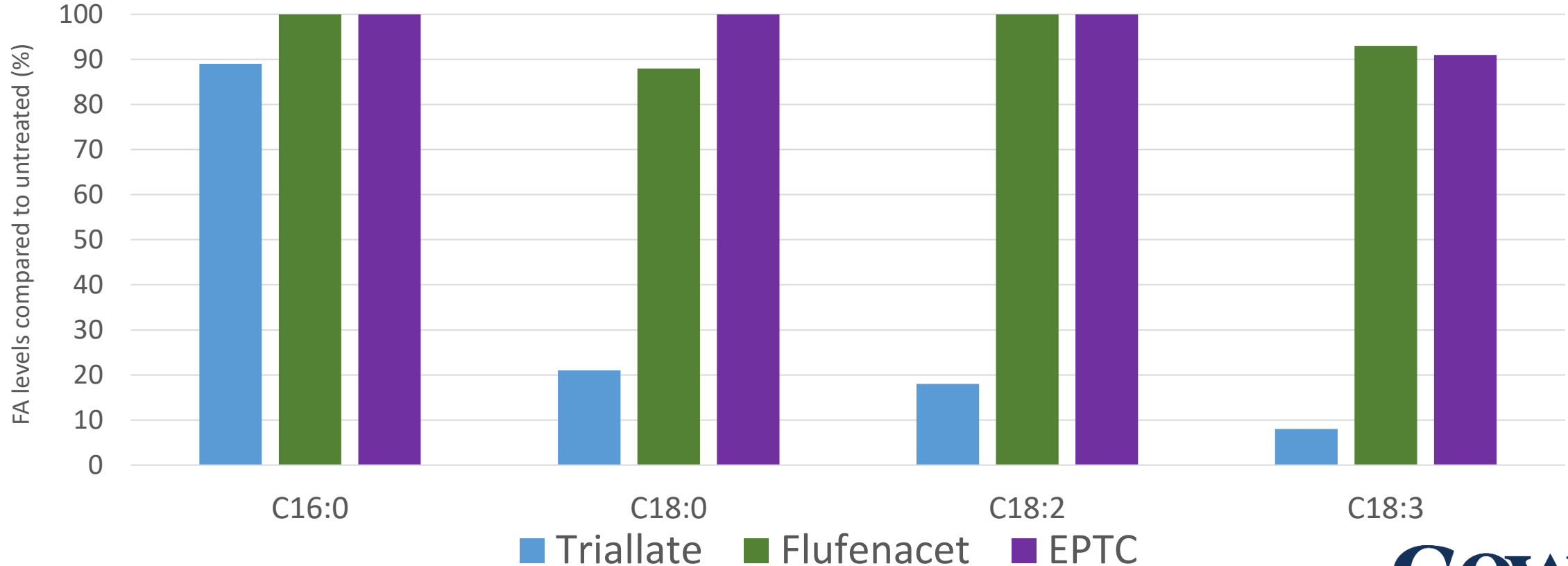
# Observación 3: El trialato redujo significativamente los Ácidos Grasos C18 insaturados en la cola de zorra tratada

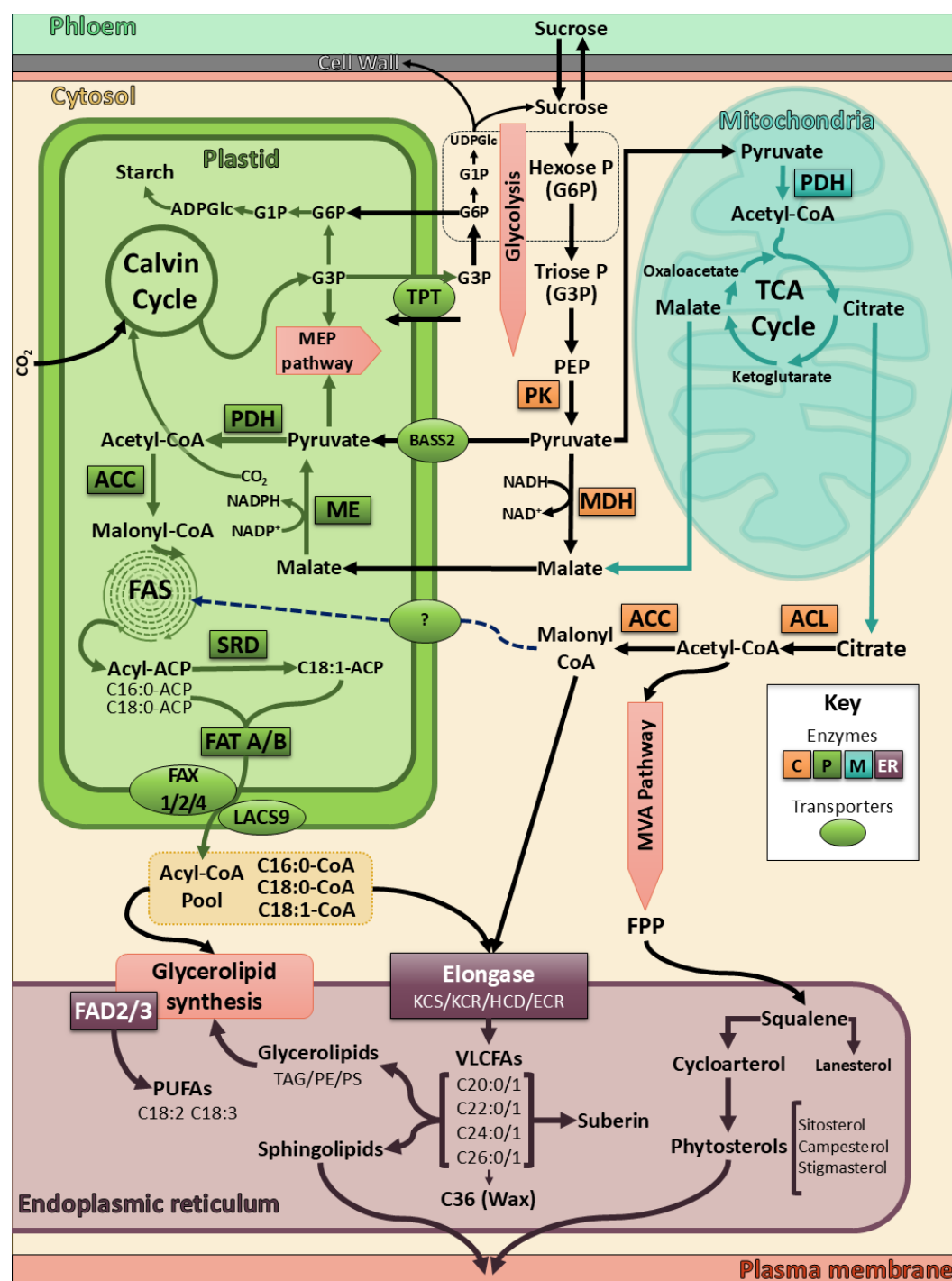
Levels of various Fatty Acids present in shoots: Untreated vs treated



# Observación 3: El trialato redujo significativamente los Ácidos Grasos C18 insaturados en la cola de zorra tratada

Levels, compared to untreated, of various Fatty Acids present in shoot (%)



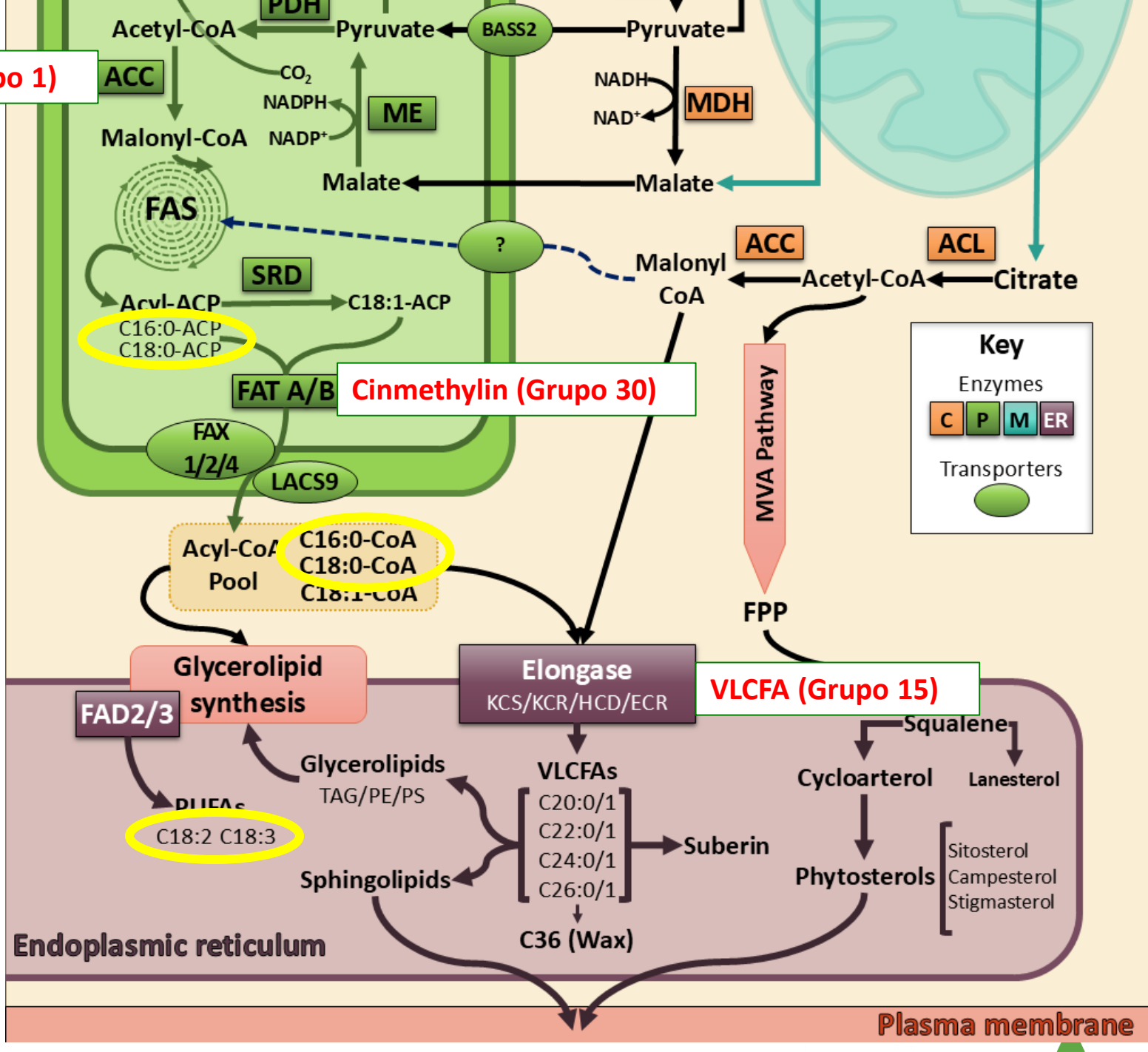


**ACCase (Grupo 1)**

**Cinmethylin (Grupo 30)**

**VLCSA (Grupo 15)**

Cambios provocados con Trialato



# Conclusiones

- Confiamos que Trialato actúa en el plastidio, aunque este sitio de acción no necesariamente es exclusivo.
- El sitio de acción es diferente del EPTC (aunque pertenecen a la misma familia química) y del Flufenacet.
- El sitio de acción tiene que ser vital por la planta o multigenic ya que no se adapta (no se ha observado casos de RSD).
- No podemos excluir la posibilidad de casos de resistencias metabólicas.
- Los aspectos multisitio y sitio de acción único hacen de Trialato una herramienta clave en programas de manejo de resistencia a otros grupos de herbicidas.

**¡Gracias!**