

RESIDUALIDAD Y ACUMULACIÓN DE HERBICIDAS EN EL SUELO

Ing. Agr. (M Sc.) Hernán Panaggio
19 de septiembre de 2019
INIA, La Estanzuela



○ Temario

- Residualidad y Acumulación de herbicidas (ALS)
 - Efectos en cultivos (TCC y Rendimiento)
 - Diagnóstico por síntomas
 - Bioensayos
- Factores que afectan el comportamiento de los herbicidas en el suelo

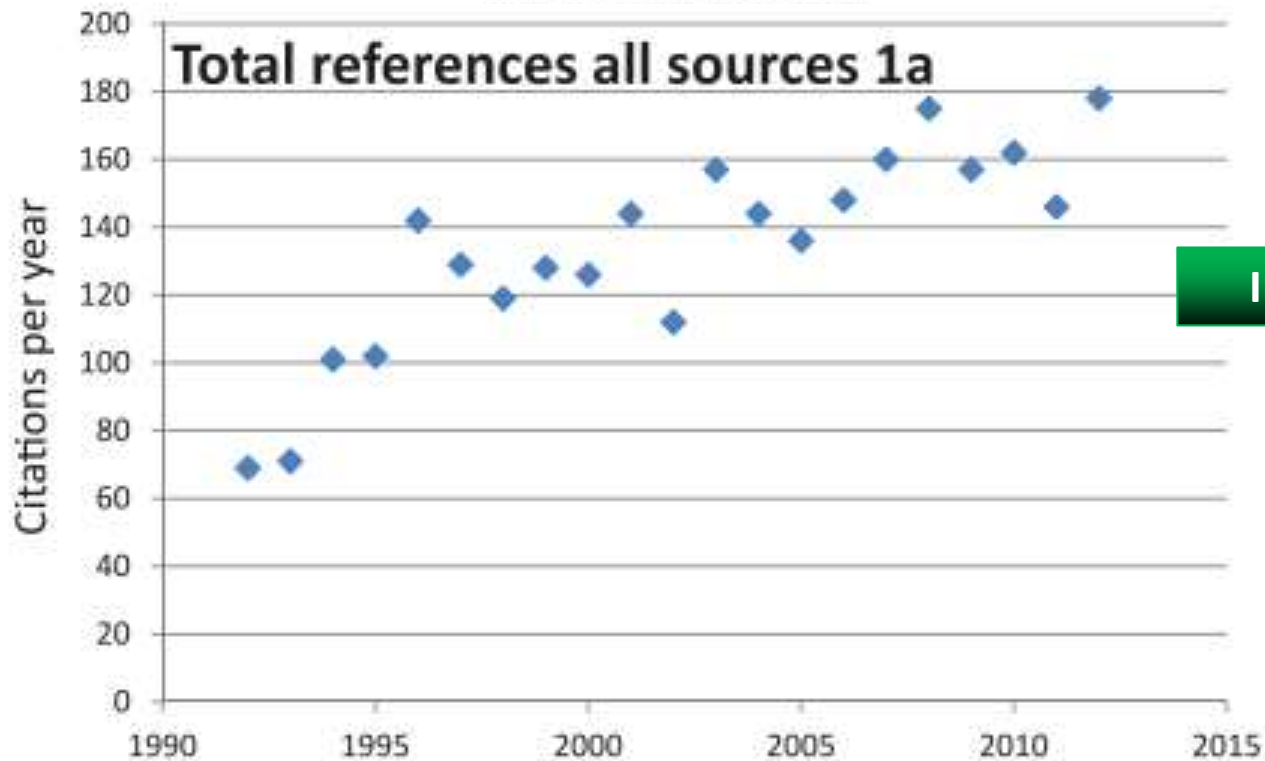
RESIDUALIDAD



Weed Science 2015 Special Issue:133-139

Methods Related to Herbicide Dissipation or Degradation under Field or Laboratory Conditions

Thomas C. Mueller and Scott A. Senseman*



IMPORTANCIA MUNDIAL

RESIDUALIDAD o PERSISTENCIA

➤ Términos utilizados para expresar el tiempo que un herbicida permanece activo en el suelo a concentraciones cuantificables.

➤ **PERSISTENCIA QUÍMICA**
(detección metodología químicas)



➤ Vida Media ($t_{1/2}$)
➤ Tiempo de disipación (DT50)

○ Estudios ambientales

➤ **RESIDUALIDAD BIOLÓGICA**
(cuantificable por las plantas)



➤ Días para alcanzar el 100% del testigo

○ Período de espera para siembra

VIDA MEDIA (días) de algunos herbicidas

A > VIDA MEDIA > PERSISTENCIA QUÍMICA EN EL SUELO

**VIDA MEDIA
MUY CORTA**

**VIDA MEDIA
CORTA**

**VIDA MEDIA
MODERA-LARGA**

**VIDA MEDIA
LARGA**

Herbicida	DT ₅₀	Herbicida	DT ₅₀	Herbicida	DT ₅₀	Herbicida	DT ₅₀
Carfentrazone	0,1	Acetoclor	12	Sulfentrazone	32	Paraquat	1000
Setoxidim	5	Glifosato	47	Clorimuron	40		
Fluroxipir	7-14	Dicamba	14	Clorsulfuron	40		
Fenoxaprop	9	Flumioxazin	17,6	Flurocloridona	9-70		
2,4 D (éster)	10	Diclofop	30	Atrazina	60		
		Sulfometuron	20-28	Metsulfuron	30		
				Clopiralid	71		
				Imazetapir	60-90		
				Picloram	90		
				Diclosulam	33-65		

Familias herbicidas con activos potencialmente persistentes

Sulfonilureas

clorimuron
clorsulfuron
iodosulfuron
metsulfuron
nicosulfuron
primisulfuron
prosulfuron
triasulfuron

Imidazolinonas

Imazamox
Imazapir
imazaquin
imazetapir
imazapic

Triazinas

atrazina
simazina

Sulfonamidas

flumetsulam
diclosulam
cloransulam

Hormonales

2,4-D
dicamba
clopiralid
picloram
triclopir

Inhibidores de la ALS

MAYORES PROBLEMAS POR RESIDUALIDAD

○ Argentina



Sudeste de Buenos Aires, Argentina

**Residuos inhibidores ALS
cultivo previo**

Girasol



Papa

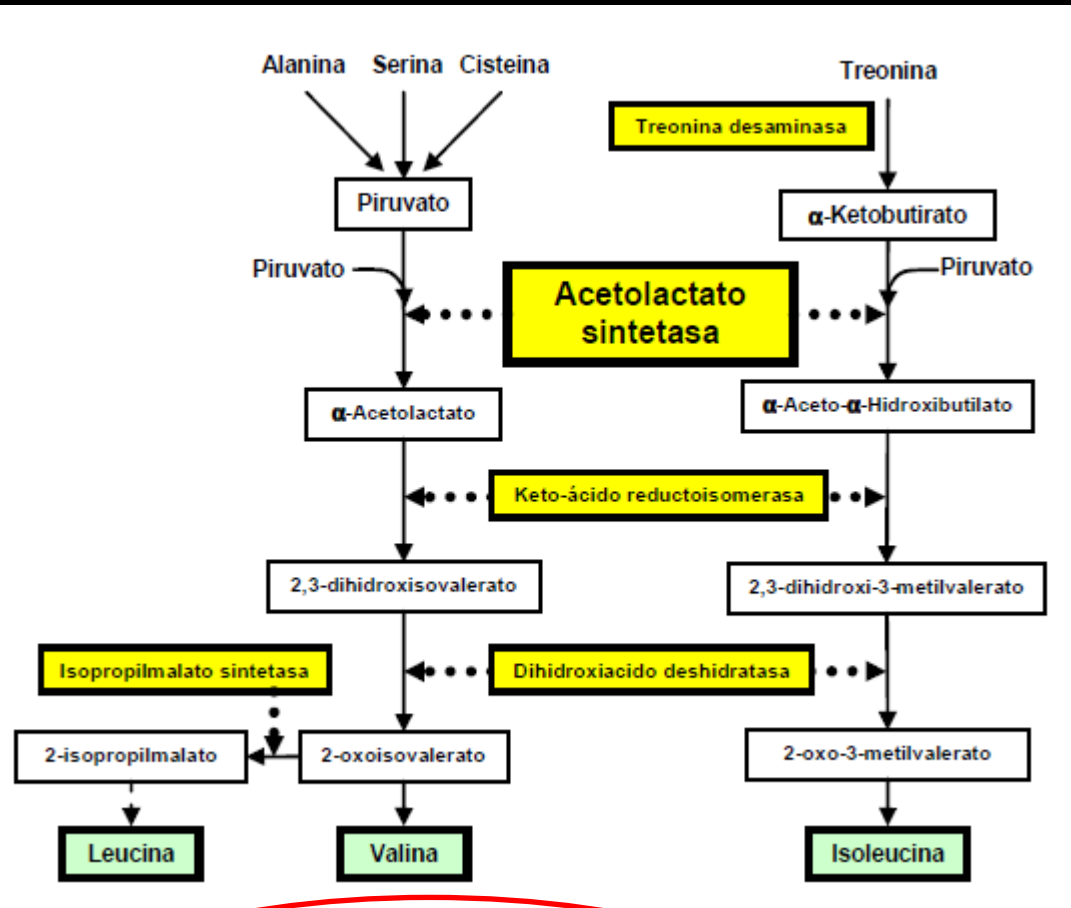


Cebada



**Residuos inhibidores ALS cultivo
previo +ALS postemergencia**

INHIBIDORES DE LA ALS



**VIDA MEDIA
MODERA-LARGA**

✓ Modo de acción: Inhiben la acetolactato sintetasa bloqueando la formación de aminoácidos esenciales: isoleucina, valina y leucina (Arregui y Puricelli, 2008).

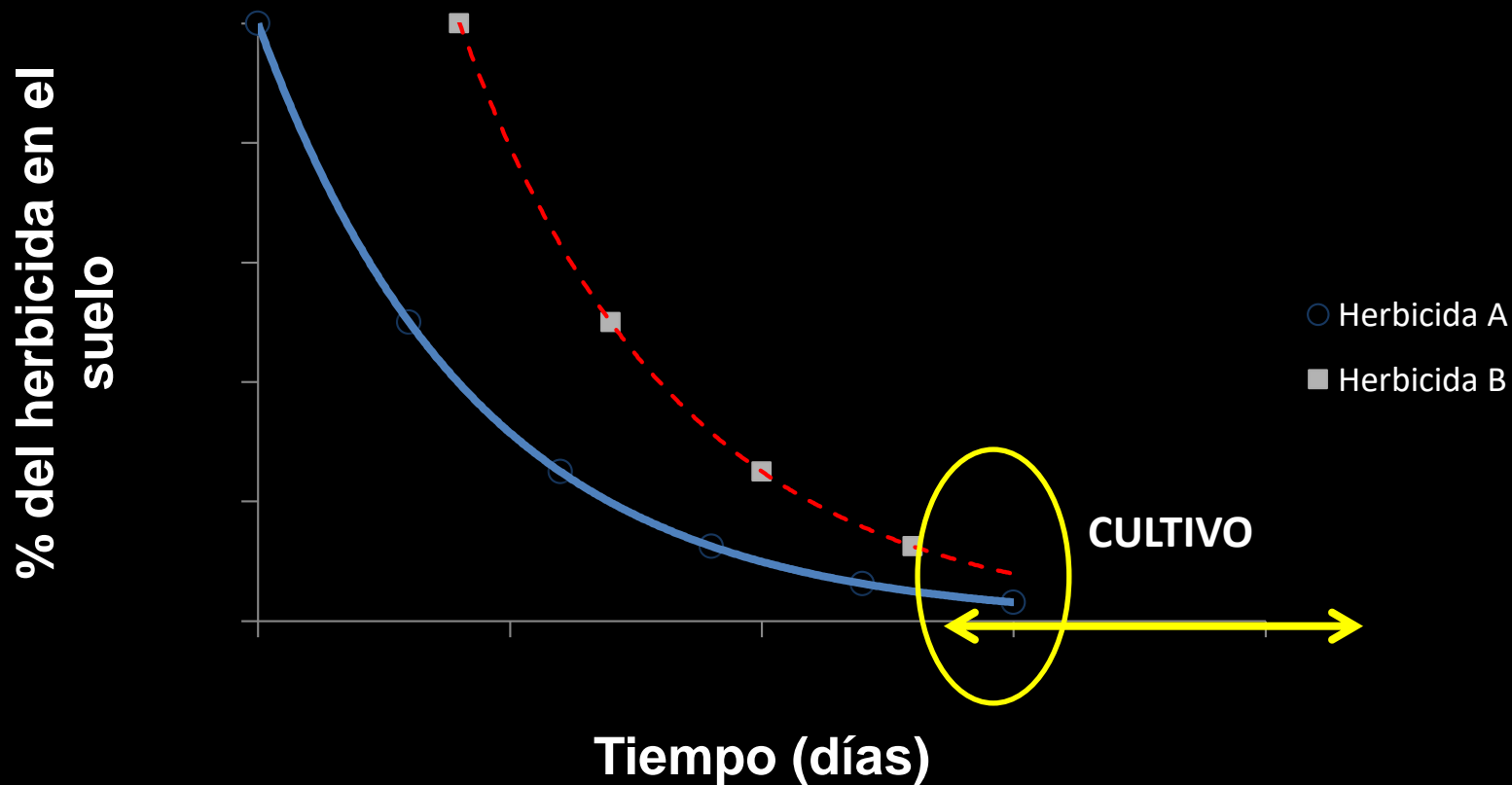
- ✓ Disminución de los niveles de aa
- ✓ Detención del crecimiento
- ✓ Toxicidad por acumulación de intermediarios
- ✓ Inhibición de la mitosis
- ✓ Disminución de la síntesis de ADN

Acumulación o "Stacking" de Herbicidas

RESIDUALIDAD



ACUMULACIÓN
"STACKING"



Acumulación o “Stacking” RESULTADOS

(2 ciclos productivos)



Ciclo 2014/15
Ciclo 2016/17

Balcarce, Bs.As.
Argentina

CARACTERÍSTICAS EDAFOCLIMÁTICAS

EEA INTA Balcarce
Julio 2014-Diciembre 2015
Julio 2016-Diciembre 2017
Argiudol típico
Suelos profundos
pH=5,9; MO=4,8%



Régimen de precipitaciones
anual 800-900 mm
Distribución balanceada

Rotación soja/cultivos invernales
(Siembra Directa)

Estrategia de aplicaciones en secuencia de herbicidas del mismo modo de acción (Inhibidores ALS)

BARBECHO-SOJA-BARBECHO-TRIGO/CEBADA

TRAT	Barbecho Largo	Barbecho Corto	POST Soja	Barbecho invernal	POST Fina	Nº Total ALS
1						0
2					Metsulfuron	1
3	Metsulfuron				Metsulfuron	2
4	Metsulfuron		Imazetapir		Metsulfuron	3
5	Metsulfuron		Clorimurón		Metsulfuron	3
6	Metsulfuron	Diclosulam			Metsulfuron	3
7	Metsulfuron	Diclosulam	Imazetapir		Metsulfuron	4
8	Metsulfuron	Clorimuron	Imazetapir		Metsulfuron	4
9	Metsulfuron	Clorimuron	Clorimuron		Metsulfuron	4
10	Metsulfuron	Diclosulam	Imazetapir	Clors+Met	Metsulfuron	5
11	Metsulfuron	Diclosulam	Clorimuron	Clors+Met	Metsulfuron	5

Metsulfuron: 4,8 y 4,2 g iaha⁻¹

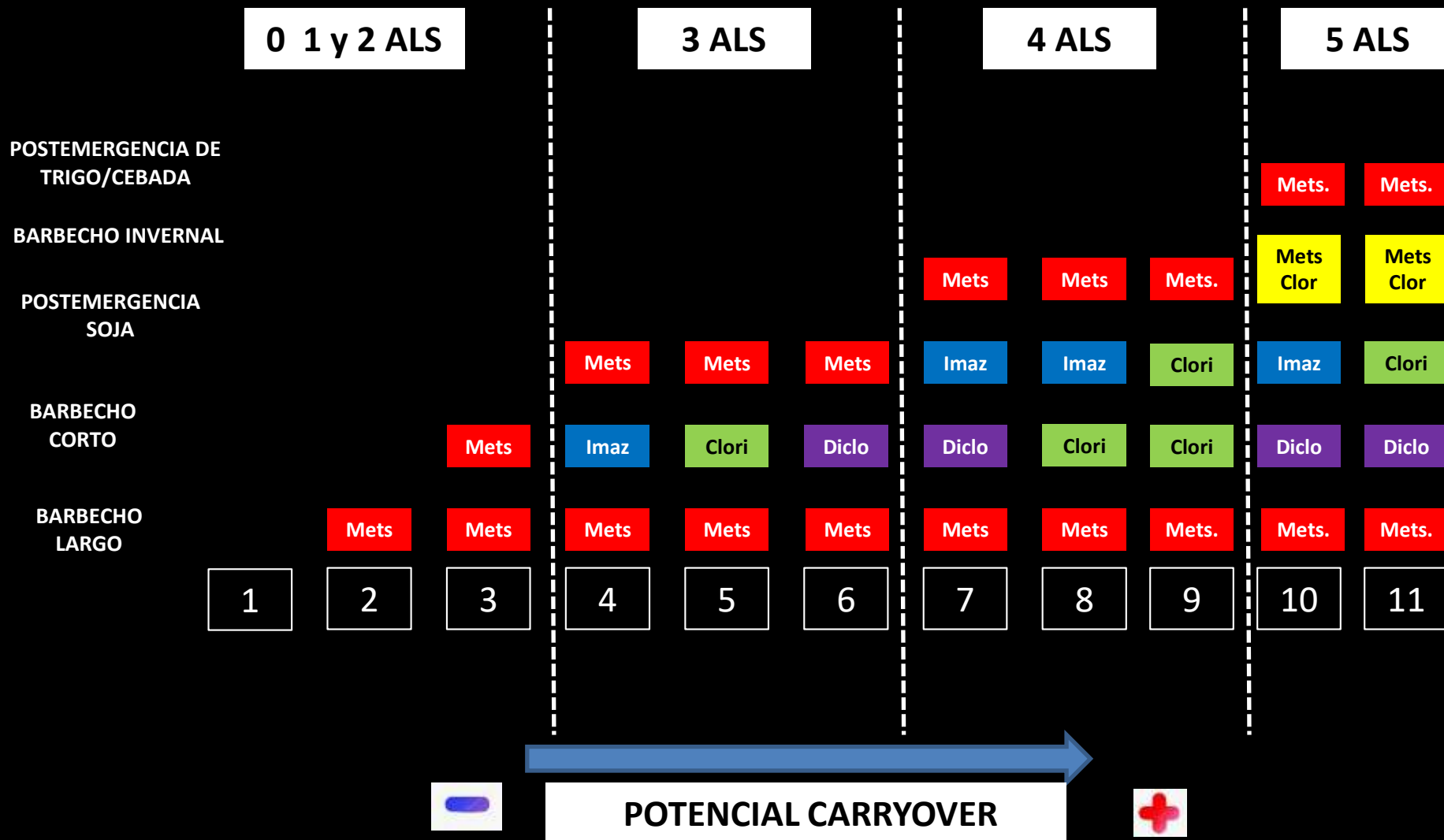
Diclosulam: 25,2 g ia ha⁻¹

Clorimuron: 12,5 g ia ha⁻¹

Imazetapir: 80 g ia ha⁻¹

Clorsulfuron+Metsulfuron: 13+2,4 g ia ha⁻¹

SECUENCIAS HERBICIDAS



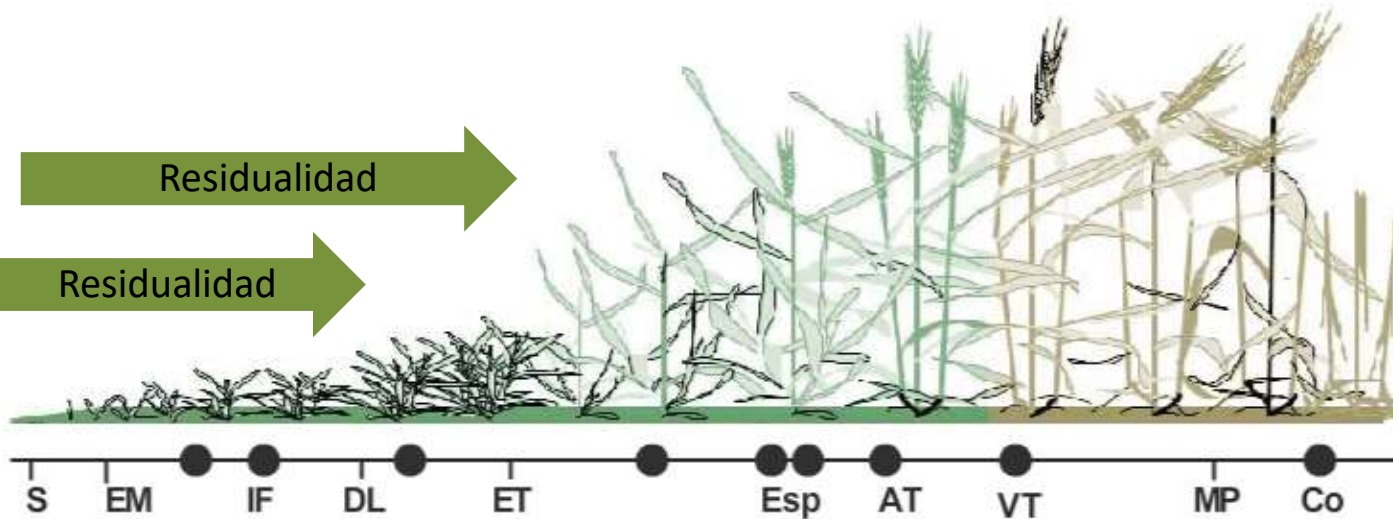
RESIDUALIDAD EN ROTACIONES DE CULTIVOS

Soja-cultivos
invernales

PERÍODO
CRÍTICO

$$TCC = RFA_i \times EUR$$

RENDIMIENTO



TRIGO Y CEBADA

BARBECHO INVERNAL



¿¿ Hay flujos de emergencia de malezas??



Evolución del cultivo invernal....

40-50
DDS



Andreia

Baguette 601

TESTIGO (SIN DAÑOS)



70-90 DDS

**DETENCION DEL CRECIMIENTO
MENOR BIOMASA
MENOR N° MACOLLOS**



RESIDUALIDAD

CEBADA

N° ALS

1 y 2

3

4

5

Secuencia Herbicida	Fitotoxicidad		Altura	Biomasa
	71 DDS	83 DDS	cm	g MS ⁻²
1. Testigo	0	0	25	435
2. Metsulfuron ¹	0	0	25	433
3. Metsulfuron ¹ /Metsulfuron ⁷	0	0	23	417
4. Metsulfuron ¹ /Imazetapir ⁴ /Metsulfuron ⁷	9,5	7,8	17	269
5. Metsulfuron ¹ /Clorimuron ⁵ /Metsulfuron ⁷	0	0	23	424
6. Metsulfuron ¹ /Diclosulam ³ /Metsulfuron ⁷	11,5	10	17	293
7. Met ¹ /Diclosulam ³ /Imazetapir ⁴ /Met ⁷	22	22,5	15	183
8. Met ¹ /Clorimuron ² /Imazetapir ⁴ /Met ⁷	10	10	18	215
9. Met ¹ /Clorimuron ² /Clorimuron ⁵ /Met ⁷	0	0	23	427
10. Met ¹ /Diclos ³ /Imaz ⁴ /Clors+Met ⁶ /Met ⁷	30	42,5	14	136
11. Met ¹ /Diclos ³ /Clorim ⁵ /Clors+Met ⁶ /Met ⁷	25	17,5	16	214

7,8-42,5%



33-69%

RESIDUALIDAD EN TRIGO

TRIGO

N° ALS

1 y 2

3

4

5

Secuencia Herbicida	Fitotoxicidad		Altura	Biomasa
	71 DDS	83 DDS	cm	g MS ⁻²
1. Testigo	0	0	27	438
2. Metsulfuron ¹	0	0	26	434
3. Metsulfuron ¹ /Metsulfuron ⁷	0	0	28	429
4. Metsulfuron ¹ /Imazetapir ⁴ /Metsulfuron ⁷	1,5	1,3	23	383
5. Metsulfuron ¹ /Clorimuron ⁵ /Metsulfuron ⁷	0	0	28	393
6. Metsulfuron ¹ /Diclosulam ³ /Metsulfuron ⁷	0	6,3	23	319
7. Met ¹ /Diclosulam ³ /Imazetapir ⁴ /Met ⁷	6,5	14,5	21	295
8. Met ¹ /Clorimuron ² /Imazetapir ⁴ /Met ⁷	1,3	10	23	314
9. Met ¹ /Clorimuron ² /Clorimuron ⁵ /Met ⁷	0	0	27	398
10. Met ¹ /Diclos ³ /Imaz ⁴ /Clors+Met ⁵ /Met ⁷	10	23,8	19	263
11. Met ¹ /Diclos ³ /Clorim ⁵ /Clors+Met ⁶ /Met ⁷	5,5	6,3	22	320
MDS ^a (5%)	3,7	5,7	1,6	45,3

6,3-23,8%

12,5-40%

SÍNTOMAS EN EL CAMPO....

✓ Rotación soja/cebada

Metsulfuron/Diclosulam/Imazetapir/Met+Clor/Metsulfuron

1

Sin ALS

2

Met

3

Met/Met

4

Met/Di/Met

5

Met/Di/Im/Met

6

Met/Di/Im/M+Clor/Met

SÍNTOMAS EN EL CAMPO....

✓ Rotación soja/trigo

Metsulfuron/Diclosulam/Imazetapir/Met+Clor/Metsulfuron

1

Sin ALS

2

Met

3

Met/Met

4

Met/Di/Met

5

Met/Di/Im/Met

6

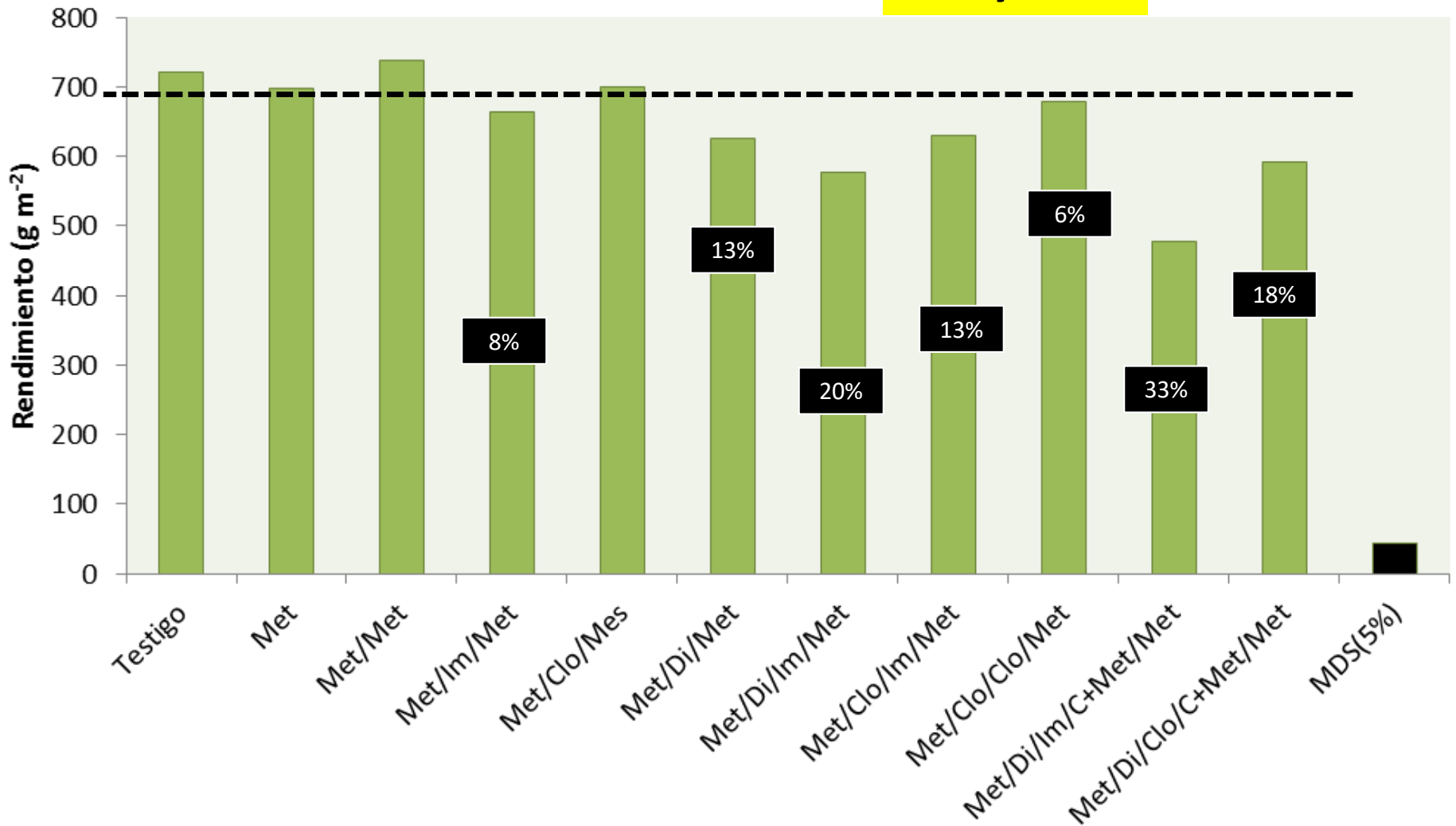
Met/Di/Im/M+Clor/Met

RENDIMIENTO

2014/15

Cebada

-6% y -33%



- ALS

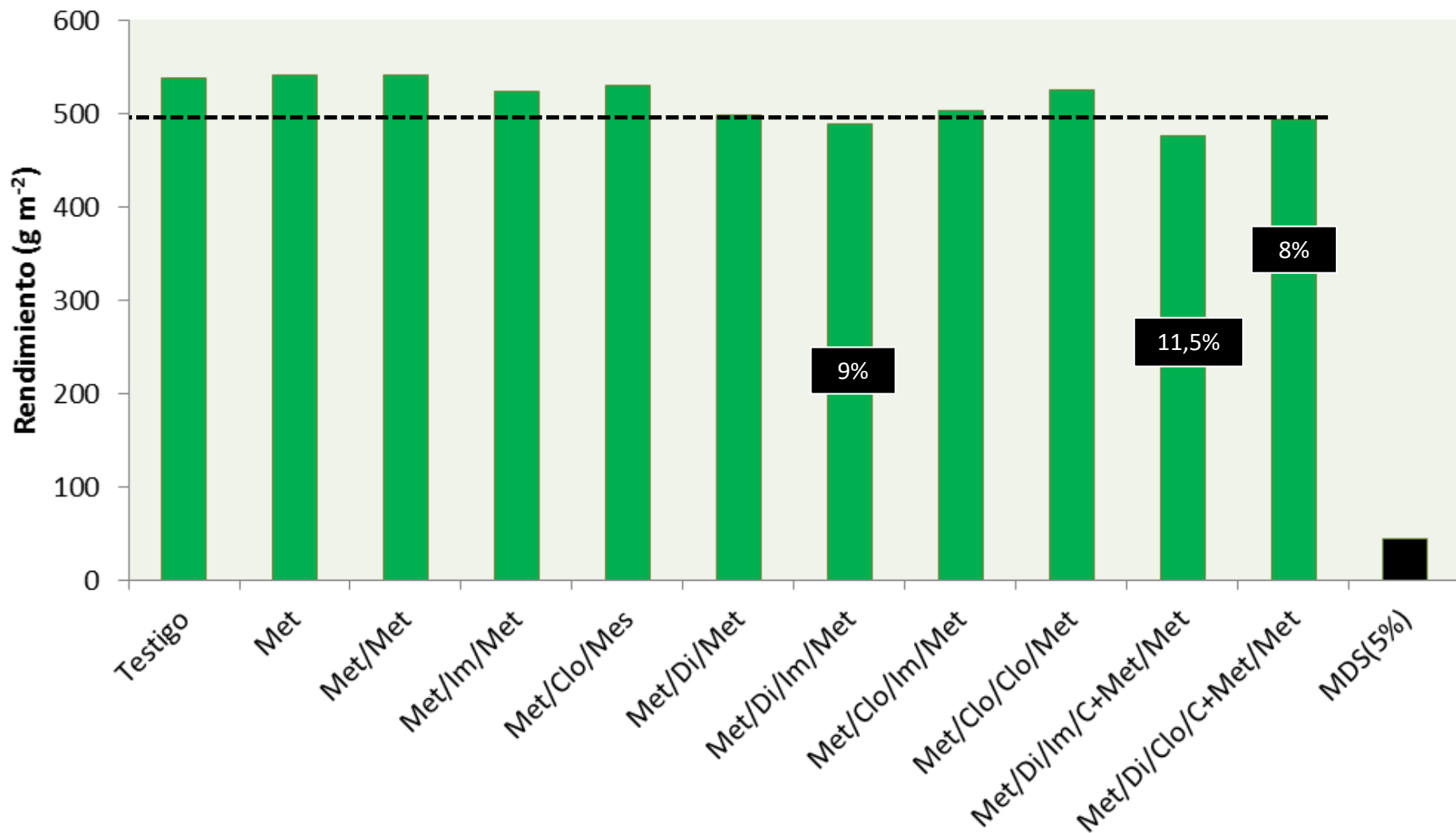


+ ALS

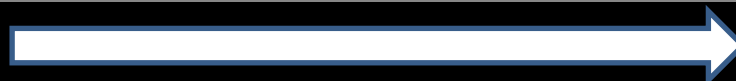
RENDIMIENTO

Trigo

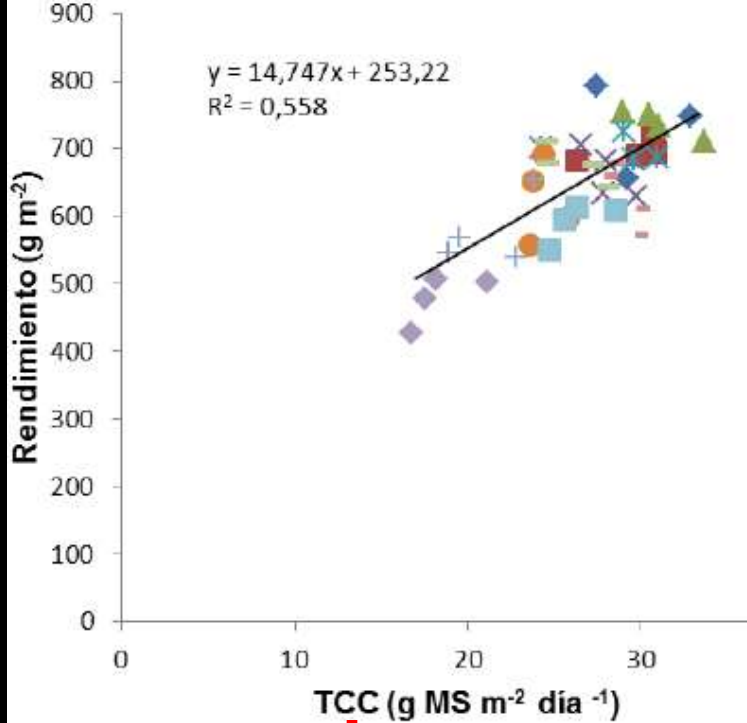
2014/15



- ALS



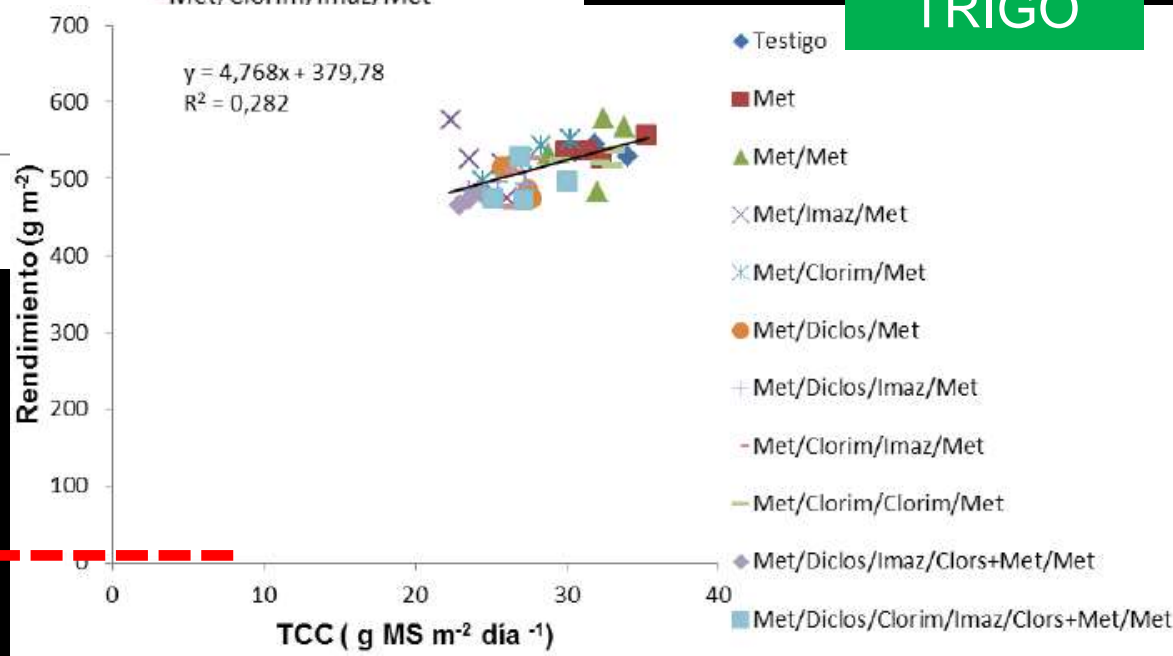
+ ALS



CEBADA

- ◆ Testigo
- Met
- ▲ Met/Met
- × Met/Imaz/Met
- ✕ Met/Clorim/Met
- Met/Diclos/Met
- + Met/Diclos/Imaz/Met
- Met/Clorim/Imaz/Met

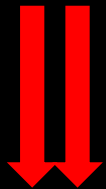
TRIGO



- ◆ Testigo
- Met
- ▲ Met/Met
- × Met/Imaz/Met
- ✕ Met/Clorim/Met
- Met/Diclos/Met
- + Met/Diclos/Imaz/Met
- Met/Clorim/Imaz/Met
- ◆ Met/Diclos/Imaz/Clors+Met/Met
- Met/Diclos/Clorim/Imaz/Clors+Met/Met

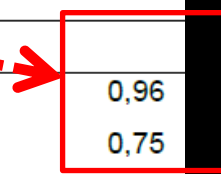
RFAI y EUR

N ° ESPIGAS



Cultivos	Rendimiento vs.	
	PG (mg)	NG
Cebada	0,09	0,96
Trigo	0,01	0,75

R²



**COMPONENTES
ECOFISIOLÓGICOS DEL
RENDIMIENTO**

Rendimiento en
grano

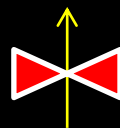
$$RTO = BT \times IC$$



Índice de cosecha

Biomasa total

$$BT = RFAI \times EUR$$



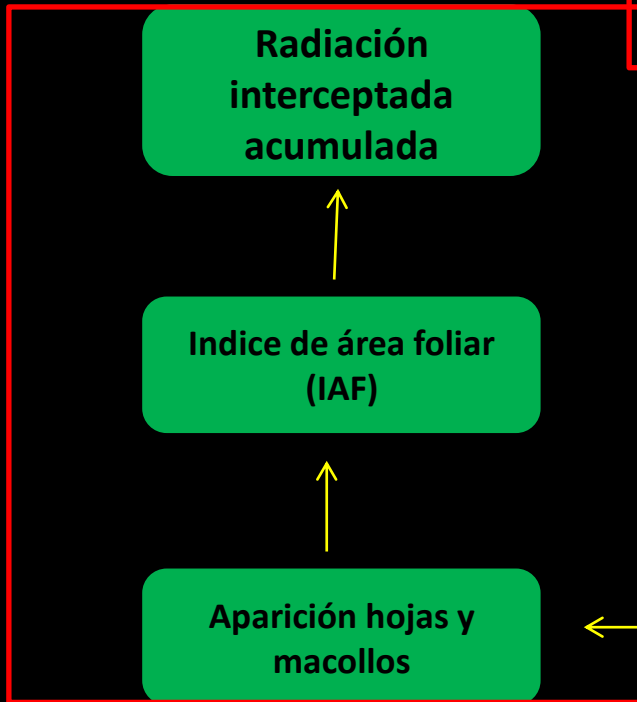
Eficiencia de
conversión

Radiación
interceptada
acumulada

Índice de área foliar
(IAF)

Aparición hojas y
macollos

Stand de plantas



COMPONENTES DEL RENDIMIENTO

Rendimiento en grano
(g m⁻²)

$$RTO = NG \times PG$$

$$NG = NGE \times NESP$$

Número de granos
(N° m⁻²)

Peso de grano
(g grano⁻¹)

Número de granos por estructura reproductiva

Número de estructuras reproductivas

Número de plantas

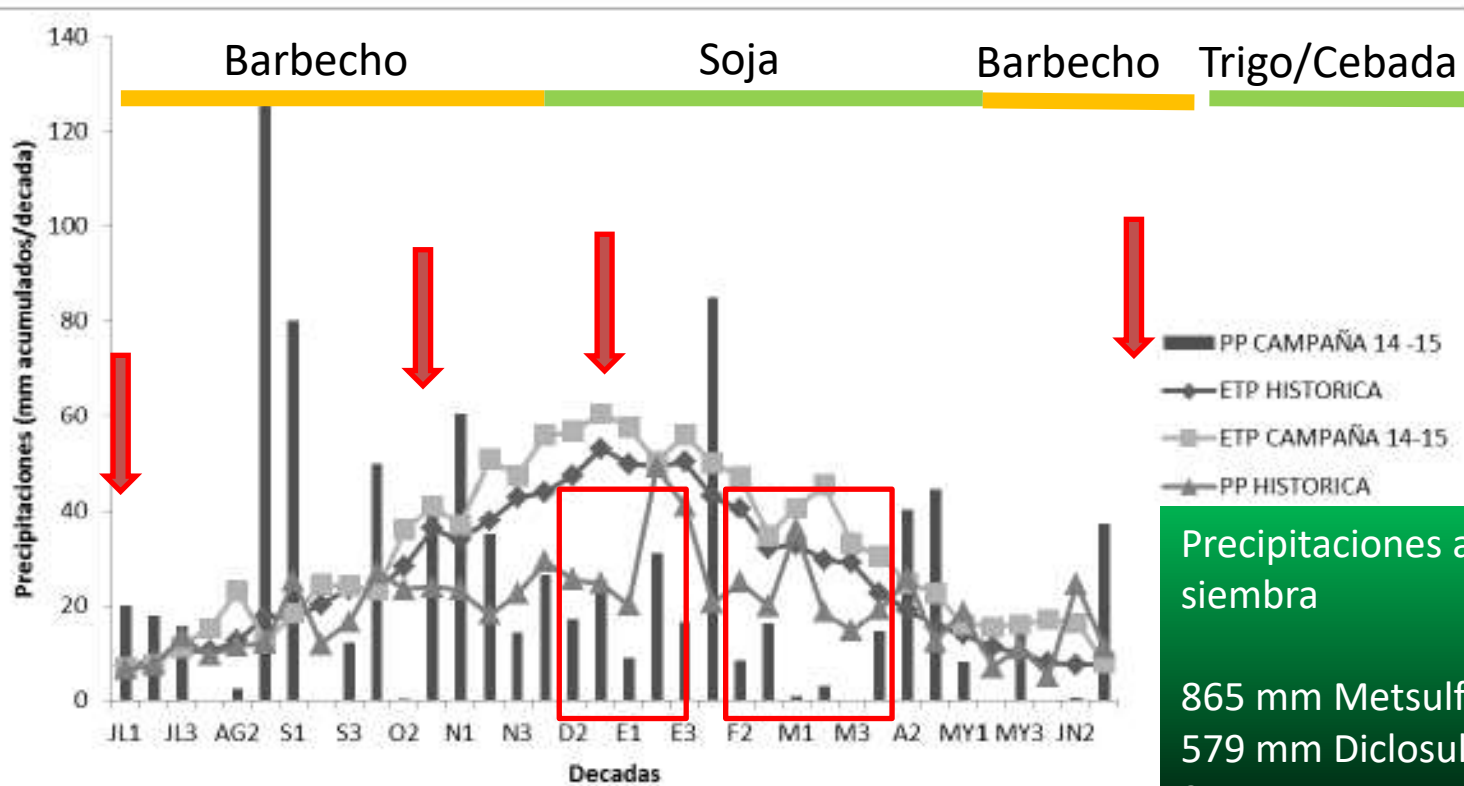
Número de estructuras reproductivas por planta

CONDICIONES CLIMÁTICAS

Ciclo 14/15

-9,7 mm Vs -143,6 mm

-357 mm Vs -157,6 mm



Precipitaciones acumuladas a la siembra

865 mm Metsulfuron
579 mm Diclosulam/Clorimuron
355 mm Imazetapir/Clorimuron
11,5 Clorsulfuron+Metsulfuron

BIOENSAYOS

- ✓ DIAGNOSTICAR POTENCIALES PROBLEMAS DE RESIDUALIDAD HERBICIDA EN LOTES PROXIMOS A LA SIEMBRA

REDUCCIÓN EN EL CRECIMIENTO
REDUCCIÓN DE LA ALTURA DE LAS PLANTAS
ACORTAMIENTO DE RAÍCES

PROCESAMIENTO
DE MUESTRAS

15-20 DÍAS

RESULTADOS



BIOENSAYOS

CEBADA

TESTIGO

Metsulfuron

Metsulfuron
Metsulfuron

Metsulfuron
Clorimuron
Metsulfuron



SECUENCIAS SIN SÍNTOMAS RADICULARES EN
BIOENSAYOS Y SIN SÍNTOMAS EN CAMPO

BIOENSAYOS

CEBADA

TESTIGO

**Metsulfuron
Imazetapir
Metsulfuron**

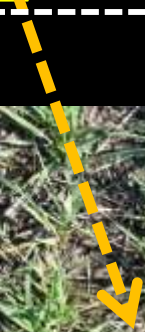
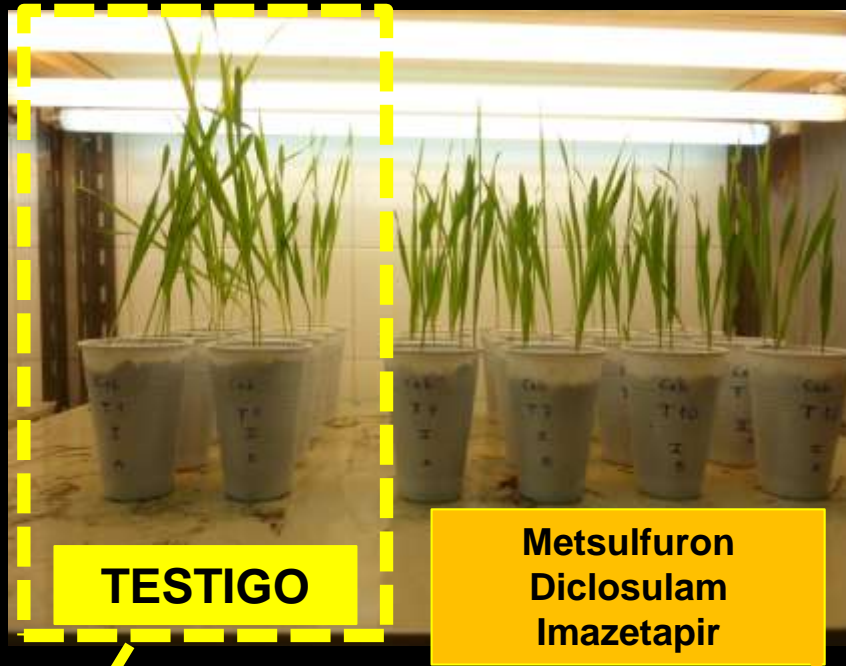
**Metsulfuron
Diclosulam
Metsulfuron**

**Metsulfuron
Diclosulam
Imazetapir
Metsulfuron**

**HAY ACUMULACIÓN DE
RESIDUOS INHIBIDORES DE LA ALS!!**



Bioensayo



Campo

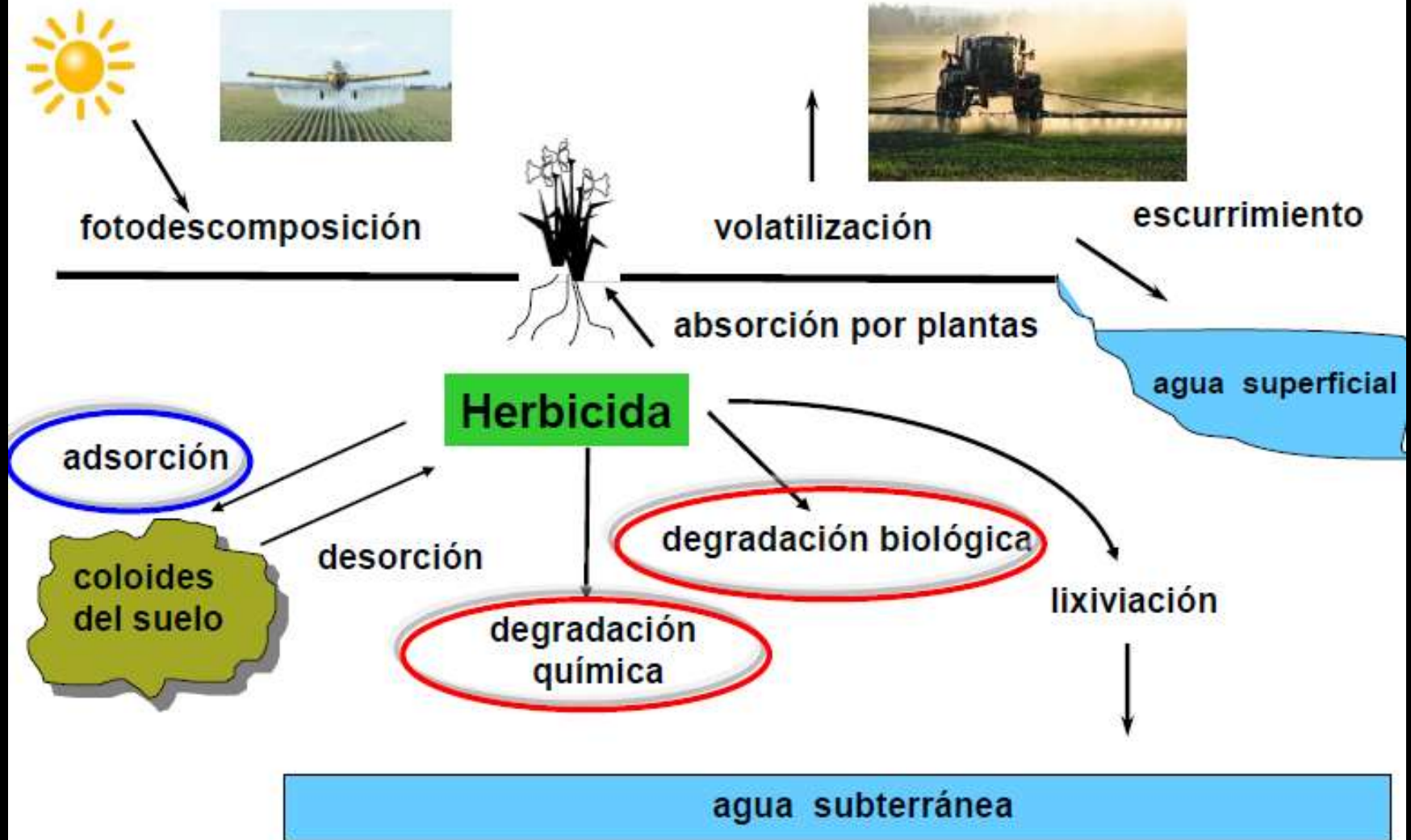


Factores que afectan la residualidad



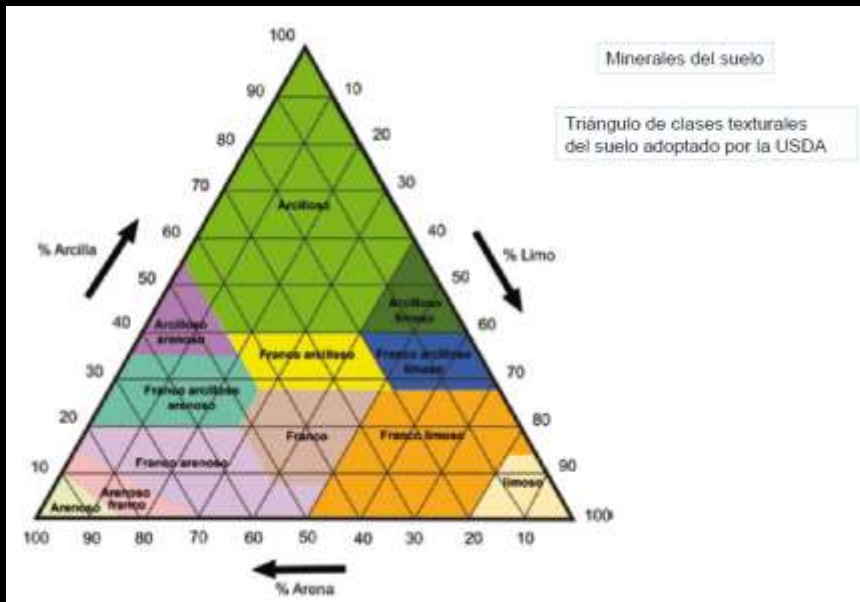
COMPORTAMIENTO DE LOS HERBICIDAS EN EL SUELO

(adaptado de Comfort et al., 1994)



CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS

Clase textural de Suelo



La residualidad herbicida cambia con el tipos de suelos

Tamaño de partículas

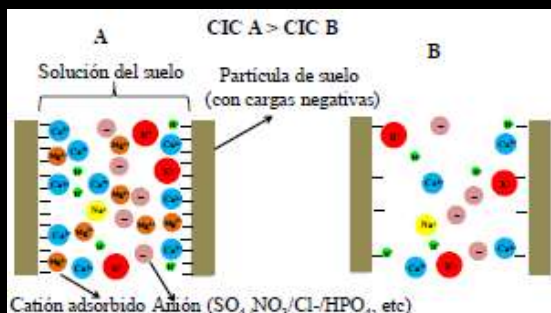


Arcillas

Limo

Arena

Coloides del suelo



- Tamaño de partícula muy pequeño (< 2 micrones)
- Área superficial grande
- Adsorber
- Retener humedad

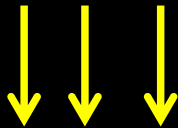
Materia orgánica

Arcillas y Óxidos

Fuente: Bedmar, F.

Herbicida adsorbido

No disponible para absorción por plantas, microorganismos y lixiviación

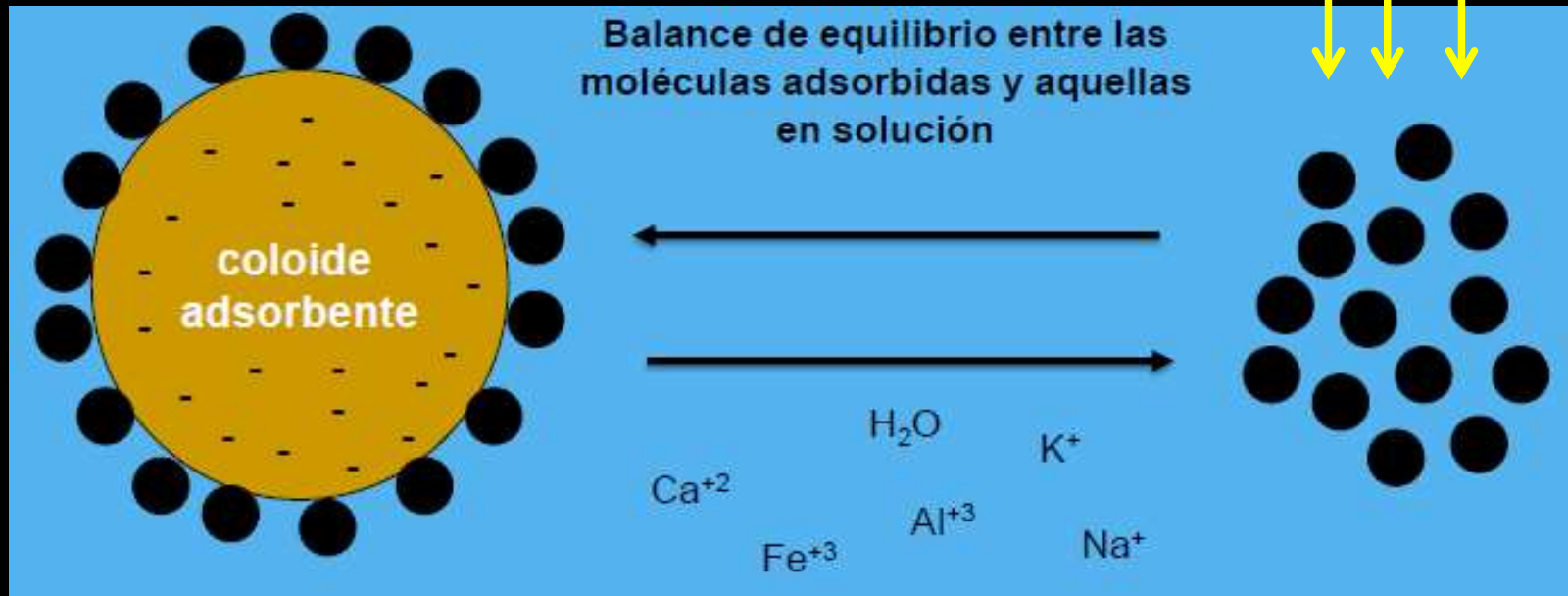
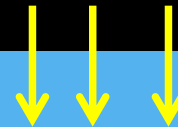


Adsorción/Desorción

Proceso por el cual el herbicida se fija física o químicamente en la superficie de los coloides del suelo

Herbicida en solución de suelo

Disponible para absorción por plantas, microorganismos y lixiviación



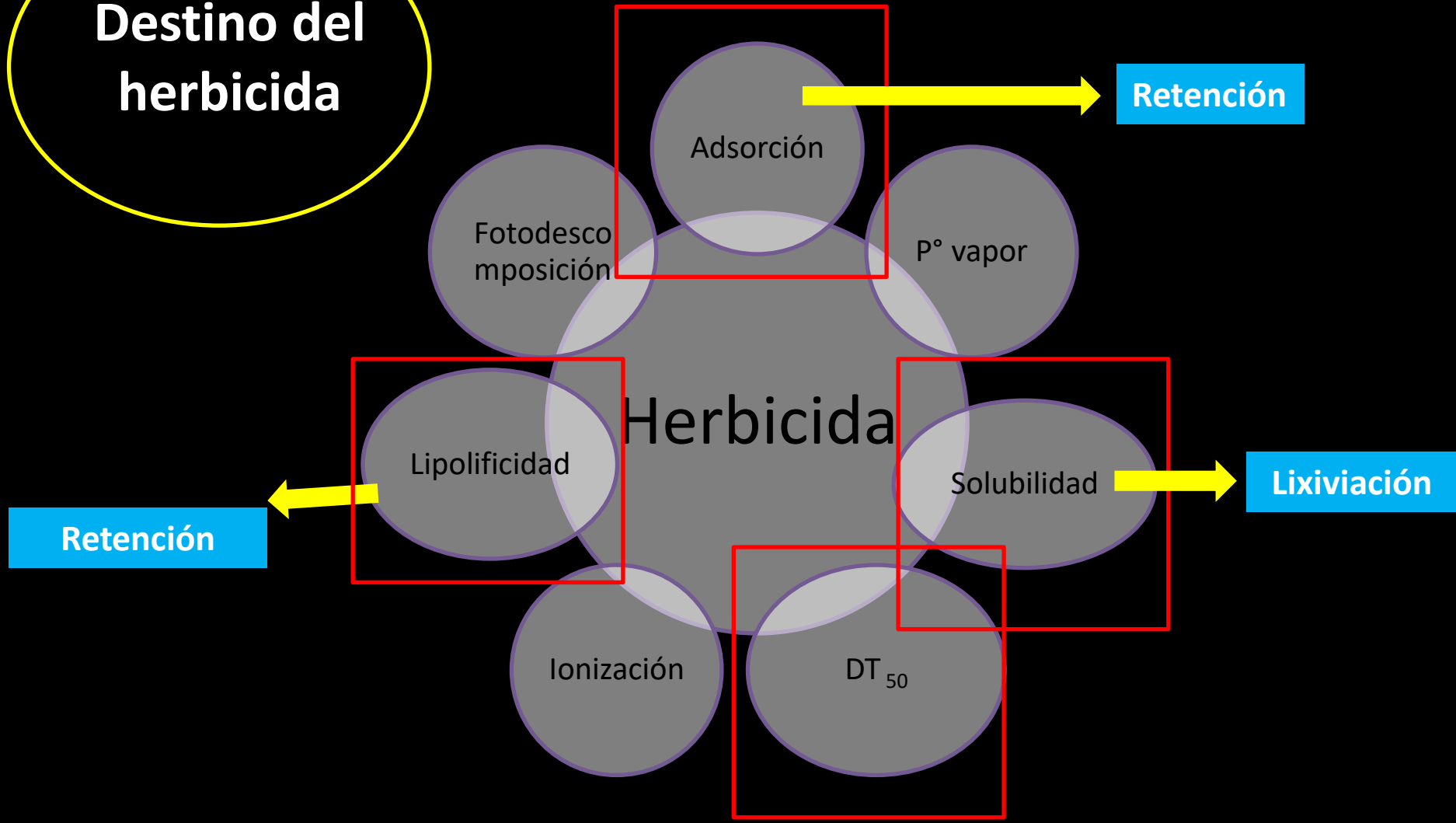
pH de la solución

Retención, balance de cargas y pH regulan la disponibilidad herbicida

PROPIEDADES DE LOS HERBICIDAS

Propiedades de los herbicidas que afectan su comportamiento

Destino del herbicida



Koc de Herbicidas

Coefficiente de distribución (Kd)

$$Kd_{(Kf)} = \frac{\text{plaguicida adsorbido en suelo (mg/kg)}}{\text{plaguicida en solución (mg/L)}}$$

Coefficiente de adsorción (Koc)

$$Koc = \frac{Kd}{\% \text{ de carbono orgánico del suelo}} \times 100$$

A > Koc del herbicida > retención en coloides de suelo

Koc de algunos herbicidas

Herbicida	Koc
Glifosato	24000
Paraquat	1000000
Lactofen	10000
Flumioxazin	889
Carfentrazone	886
2,4 D	20
Imazetapir	10

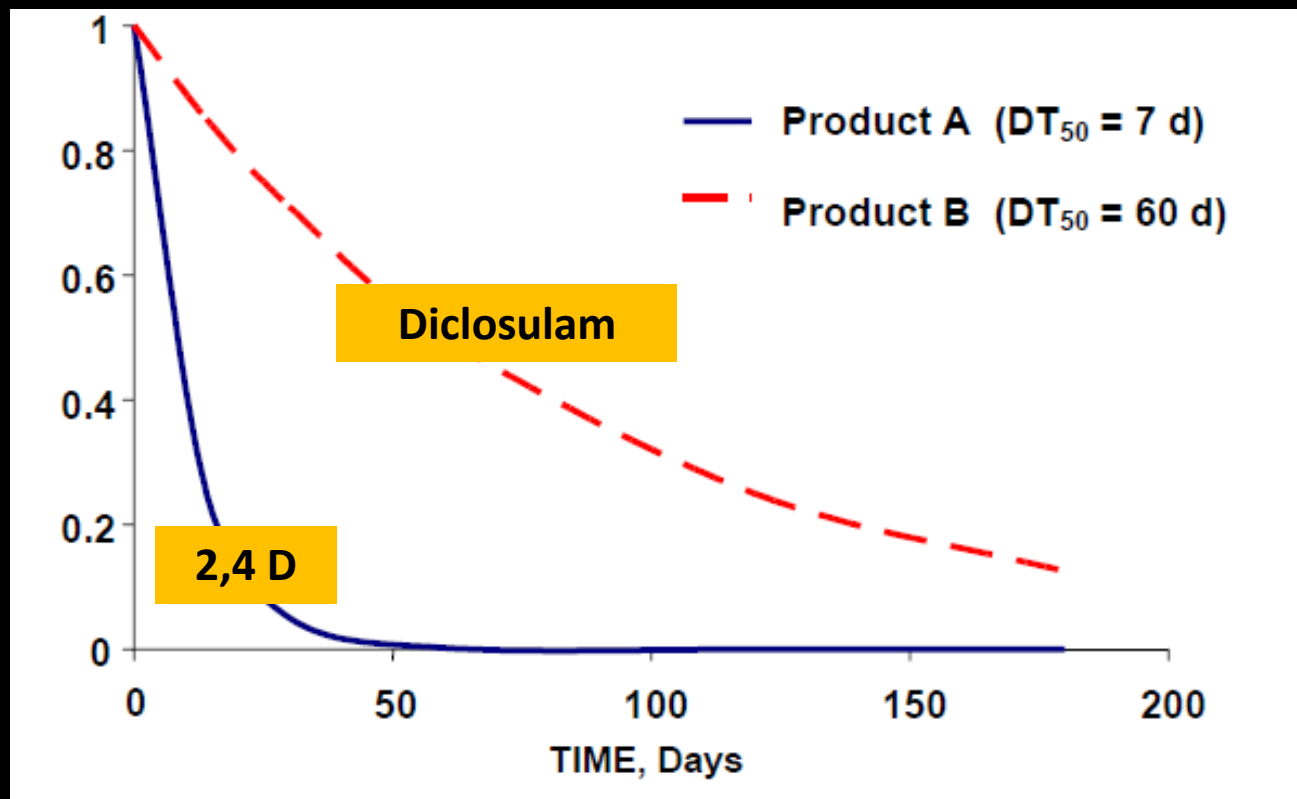
Débil: 0.5-99
Moderada: 100-599
Fuerte: 600-4999
Muy fuerte: > 5000

A > Koc del herbicida > retención en coloides de suelo

PROPIEDADES HERBICIDAS

DT_{50}

Herbicida	DT_{50}
Acetoclor	12
2,4-D	7
Glifosato	47
Dicamba	14
Flumioxazin	17,6
Diclosulam	60
Imazetapir	60-90



Disipación de herbicidas residuales

Adaptado de Helling, 2005

PROPIEDADES HERBICIDAS

PROPIEDADES	HERBICIDA					
	Flumioxazin	Carfentrazone	Sulfentrazone	Fomesafen	Lactofen	Pyraflufen
Koc (L/kg)	889	886	43	50	10000	1949
DT ₅₀	22	1	400	86-100	4	0.3
Solubilidad (mg/L)	0.79	22	780	50	0.1	0.082

PROPIEDADES	HERBICIDA				
	Acetoclor	S-Metolacoloro	Pyroxasulfone	Atrazina	Metribuzin
Koc (L/kg)	168	226	223	100	38
DT ₅₀	12	15-21	16-26	60	12
Solubilidad (mg/L)	282	480	3.49	33	1165

Débil: 0.5-99
 Moderada: 100-599
 Fuerte: 600-4999
 Muy fuerte: > 5000

>100 ppm alto
 tendencia a
 lixivarse

DT₅₀

Inhibidores de la PPO

Flumioxazin

40-50 impactos /cm² y 200-400 um DVM

20 mm precipitaciones para activar el herbicida

Suelos > 1% de MO y dosis

Orden de mezcla (desde lo mas insoluble a lo mas soluble)

< 30% de cobertura verde de suelo

< 30°C Temperatura, < 10 km/h viento, > 55% HR, 80-100 L/ha

40-50 días de residualidad

Sulfentrazone

20-30 impactos/cm² (Sistémico y residual)

Absorción radicular (preemergencia de malezas)

15-20 mm precipitaciones para activar el herbicida

Dosis variable con MO, pH, textura

30-60 días previo a la siembra de soja y girasol o en preemergencia

<30% de cobertura verde

Carfentrazone

40-80 impactos/cm² (Contacto)

Condiciones climáticas que favorezcan el crecimiento de malezas

Luz intensa durante y después del tratamiento > eficacia

Inhibidores del Fotosistema II

Atrazina

20-40 impactos/cm².

Precipitaciones para activar el herbicida dentro de los 10-15 DDA (favorece la humedad de suelo previa).

Acción sistémica y de preemergencia y postemergencia

Absorción por raíces y hojas.

Metribuzin

20-30 impactos/cm².

Precipitaciones para activar el herbicida dentro de los 10-15 DDA

Acción sistémica.

Absorción por raíces y hojas

Inhibidores de la división celular

Acetoclor

Precipitaciones para activar el herbicida dentro de los 10 DDA (favorece la humedad de suelo previa)
Absorción por coleoptile (gramíneas) e hipocótilo (dicotiledóneas).
Raíces absorción secundaria.
Preemergencia de malezas
Dosis mas altas en suelo de texturas mas pesadas

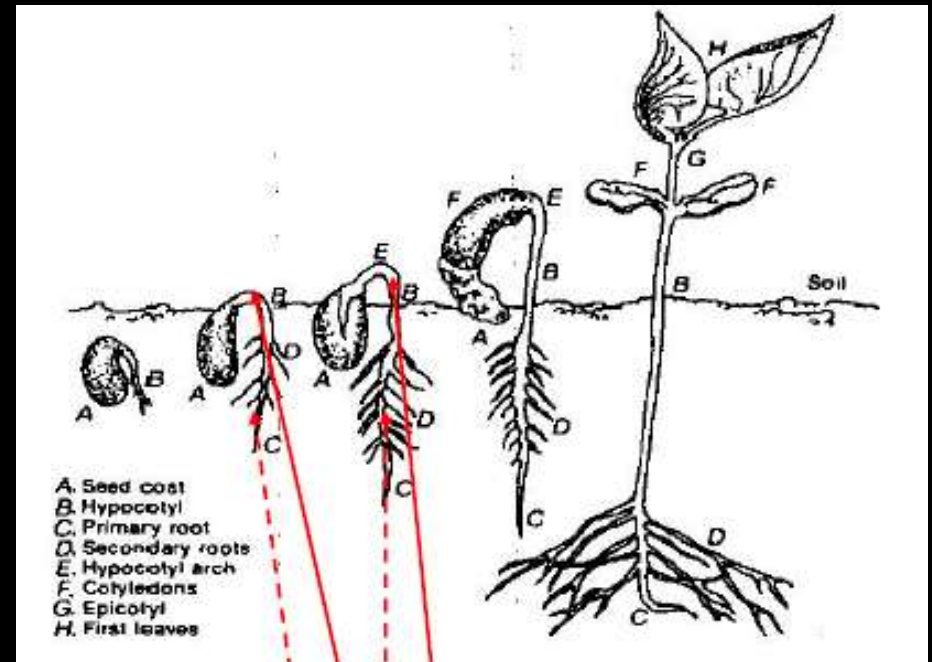
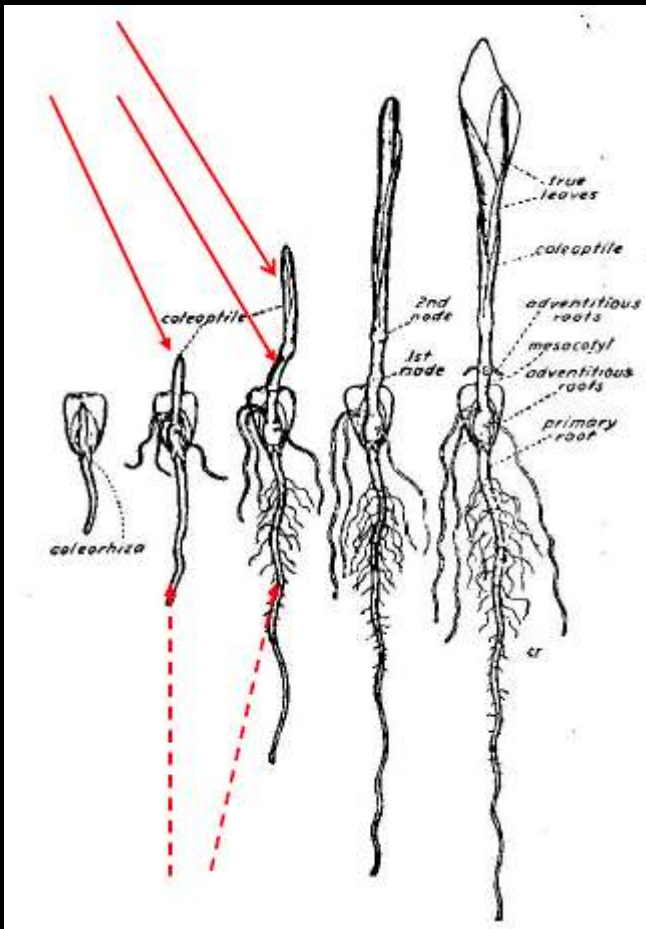
S-Metolacoloro

20-30 impactos/cm².
Precipitaciones 20 mm dentro de los 10-15 DDA
Absorción por coleoptile (gramíneas) e hipocótilo (dicotiledóneas) y radículas.
Preemergencia de malezas y acción sistémica.

Pyroxasulfone

30-40 impactos /cm² y 200-400 um DVM
< 30°C Temperatura, < 10 km/h viento, > 55% HR, 80-100 L/ha
< 30% de cobertura verde de suelo
20 mm precipitaciones dentro de los 15 DDA para activar el herbicida
> Restricciones en días para sistemas de labranza convencional
Pre-siembra de Maíz y Soja (10-15 días antes)

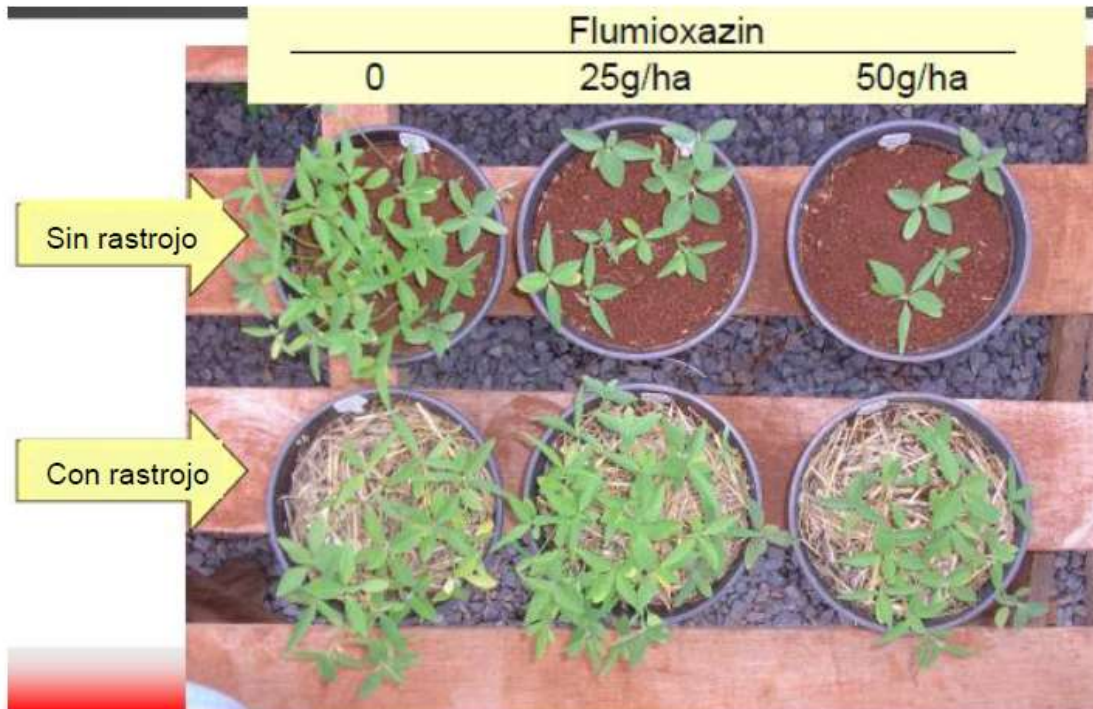
Zonas de absorción de herbicidas preemergentes



RETENCIÓN EN BIOTA Y MO

Retención por el rastrojo

De Oliveira Jr 2007



Coeficiente
octanol/agua

KOW

- Paraquat = - 4.5
- Glifosato = - 3.2
- Picloram = - 1.92
- 2,4-D = - 0.82
- Metsulfuron = 1.7
- Flumioxazin = 2.55
- Pyroxasulfone = 2.39
- S-metolacloro = 3.05
- Pyraflufen etil = 3.49
- Acetoclor = 4.14

A > KOW > RETENCIÓN EN BIOTA Y MO

- 4,5 tn/ha > 90% intercepción dosis de preemergentes (Acetolcor/Metolaclor) (Banks y Robinson 1986)



**CONDICIONES AMBIENTALES QUE
AFECTAN LA RESIDUALIDAD HERBICIDA**

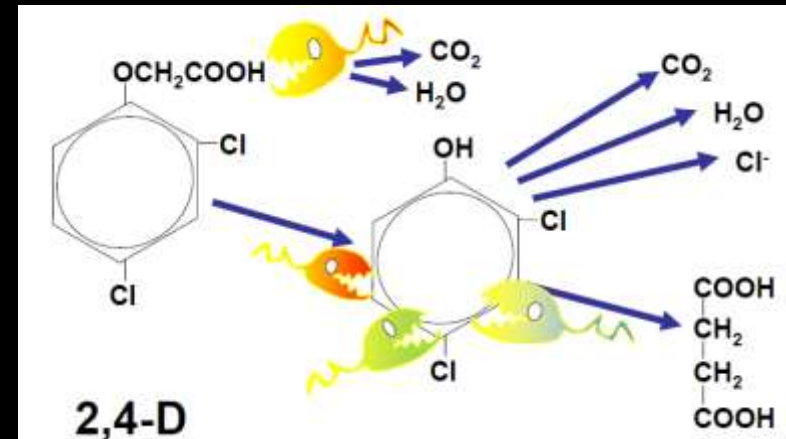
PRINCIPALES FACTORES AMBIENTALES QUE REGULAN LA RESIDUALIDAD DE HERBICIDAS

TEMPERATURA

HUMEDAD

pH

ACTIVIDAD MICROBIANA



A < TEMPERATURA DE SUELO < ACTIVIDAD MICROBIANA

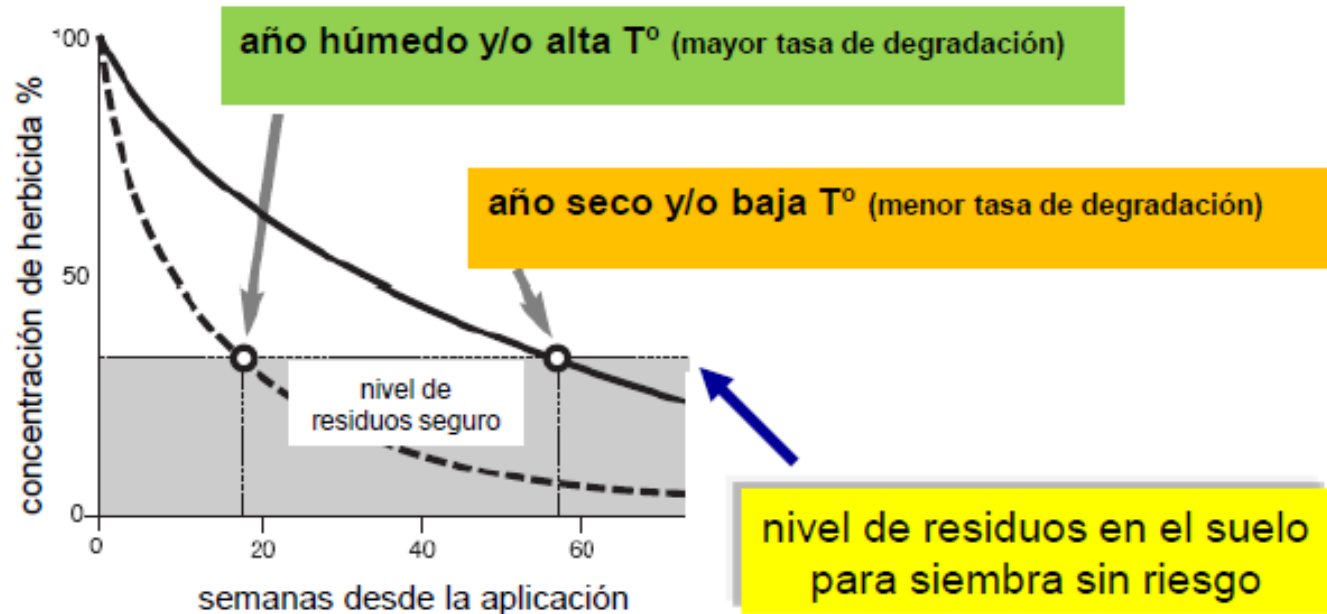
A < HUMEDAD DE SUELO < ACTIVIDAD MICROBIANA

A > pH DE SUELO < ACTIVIDAD MICROBIANA

MAS RESIDUALIDAD

CONDICIONES CLIMÁTICAS y MO (%)

Efecto de la humedad y temperatura de suelo sobre la residualidad de los herbicidas



IMPORTANCIA DE LOS PROCESOS QUE AFECTAN EL COMPORTAMIENTO DE LOS HERBICIDAS

Familia	Degradación microbiana	Degradación química	Fotólisis	Volatilización	Lixiviación
Amidas	A	B	B	B-M	B-M
Imidazolinonas	A	B	B	B	M-A
Sulfonamidas	A	B	B	B	M-A
Hormonales	A	B	B	B-M-A	B-M-A
Triazinas	M-A	B-M-A	B	B	M-A
Sulfonilureas	B-M	M-A	B	B	M-A
Sulfentrazone	A	B	M-A	B	M-A
Flumioxazin	A	B	B-M	B	B

CONDICIONES CLIMÁTICAS QUE INCREMENTAN LA RESIDUALIDAD DE ALGUNOS HERBICIDAS

Importancia	Sulfonilureas	Imidazolnonas	Triazinas	PPO
Muy alta	↑ pH	↓ Lluvia/T°	↓ Lluvia/T°	↓ Lluvia/T°
Importante	↓ Arcilla/MO	↓ Arcilla/MO	↓ Arcilla/MO	↓ Arcilla/MO
De cierta importancia	↓ Lluvia/T°	↓ pH	↑ pH	↑ pH

CARRYOVER: CONSIDERACIONES FINALES

- **Susceptibilidad del cultivo próximo a la siembra**
- **Intervalo entre aplicaciones y siembra**
- **Extremar medidas en suelos con bajos contenidos de MO(%) y texturas gruesas y años de bajas precipitaciones**
- **Realización de bioensayos**
- **Ojo!!Secuencias de aplicación de herbicidas y dosis utilizadas**
- **Uso de cultivos de servicios**
- **Tipos de suelos, pH y MO (%)**
- **Propiedades de los herbicidas (DT₅₀ , Ionización, etc)**
- **Adecuar el uso de tecnologías de una zona agroclimática a otra**



**iiii MUCHAS
GRACIAS!!!!**