

Análisis integrado de residuos herbicidas en suelo: ciencia, diagnóstico y aplicabilidad

Panaggio, H. ^{1,2}; Gianelli, V. ^{1,2}; Salvalaggio, A. ¹; De Geronimo, E. ^{1,2}

¹INTA Balcarce-IPADS; ²FCA-UNMdP



Malezas resistentes en expansion
Dificultades en control
Alta dependencia de herbicidas residuales
Nuevos ingredientes activos herbicidas
Stacking de modos de acción herbicida
Ausencia de límites/umbrales de residuos herbicidas en suelo para una siembra segura de cultivos
Demanda creciente de información sobre carryover en cultivos, diagnósticos
Dificultades para interpretación de análisis de resultados químicos

Problemas de carryover herbicida en aumento

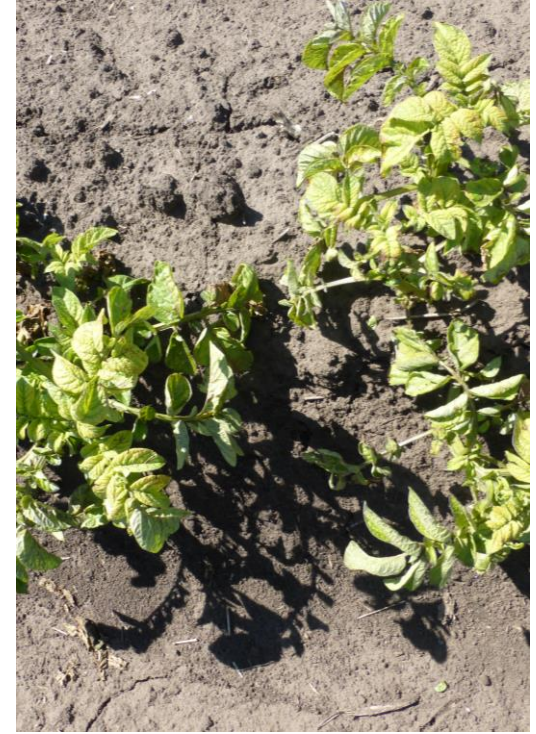
Lotes
afectados por
Carryover
herbicida



**Análisis químico
(UHPLC MS/MS)**



Bioensayos



**Interpretación
de casos**

Análisis integrado

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SEMILLA DE PAPA**PROPAPA – INTA BALCARCE**

RNCFS N° 714/AHIJ1

C.C.:276, B7620ZAA Balcarce - Teléfono: 02266-43-100 Interno: 306 - Fax 43-9101

e-mail: eeabalcace@iripapa@inta.gob.ar

Responsable Técnico: Dra. Andrea Salvaggio

Fecha de recepción: 27-05-24**Solicitante: LENNARD – Ing. Zamolincki****Material remitido: Suelo - Campo Rincón Grande****Cultivo Antecesor: SOJA y GIRASOL****Historial de herbicidas: sin dato****Variedad sembrada: Atlantic**

Tabla 1. Evolución de emergencia

Fecha	Aspecto de las plantas		
	LOTE RN3	LOTE R51	Suelo Testigo INTA
29-05	Plantación		
07-06	Emergió 1 planta	Emergió 1 planta	Emergió 1 planta
10-06	Emergieron 2 plantas	Emergieron 5 plantas	Emergieron 5 plantas
14-06	Plantas con entrenudos cortos y folíolos anormales, de menor tamaño que el testigo	Plantas de menor tamaño que el testigo	Plantas con desarrollo normal
17-06	Plantas con entrenudos cortos y folíolos anormales, de menor tamaño que el testigo	Plantas de entrenudos cortos, de menor tamaño que el testigo	Plantas con desarrollo normal
19-06	Plantas con entrenudos cortos y folíolos anormales, de menor tamaño que el testigo	Plantas de entrenudos cortos, de menor tamaño que el testigo	Plantas con desarrollo normal
24-06	Plantas con entrenudos cortos y folíolos anormales, de menor tamaño que el testigo	Plantas de entrenudos cortos, de menor tamaño que el testigo	Plantas con desarrollo normal
24-06	Escaso desarrollo del sistema radical, raíces con atrofias	Menor desarrollo radical que las testigo, algunas raíces con atrofias y otras raíces en cabellera	Buen desarrollo radical, raíces normales y en cabellera



Figura 1. Aspecto de las plantas al 07-06-24

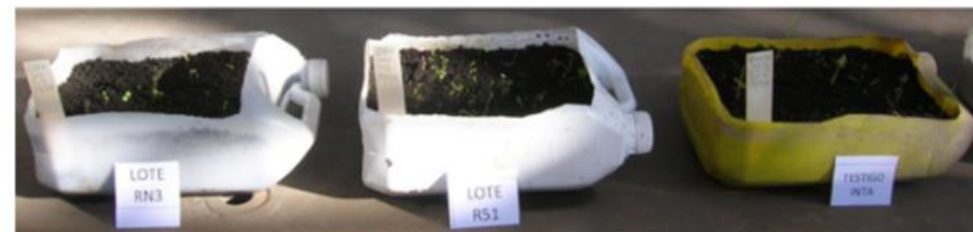


Figura 2. Aspecto de las plantas al 10-06-24



Figura 3. Aspecto de las plantas al 14-06-24

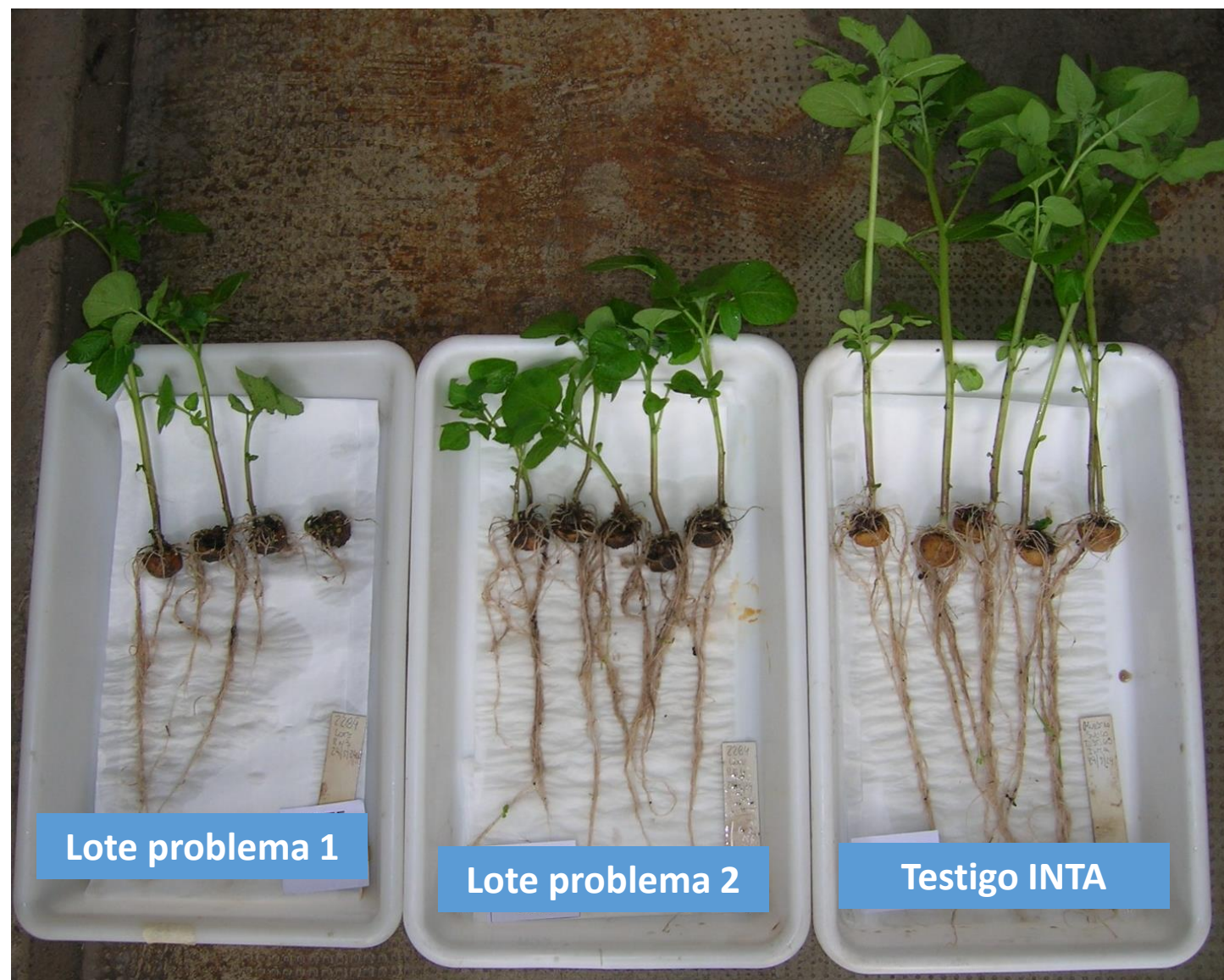


Figura 4. Aspecto de las plantas al 17-06-24



Figura 5. Aspecto de las plantas al 21-06-24

- Ejemplo: **Bioensayo**



Suelo problema



Testigo



4.2. Análisis de residuos en suelo

Métodos utilizados: Análisis de residuos herbicidas por UHPLC M/M

(Informe INTA N° 2025-262 – Material: Suelo)

Compuesto	Suelo testigo	Suelo afectada	Suelo muy afectada
Herbicidas	µg/Kg	µg/Kg	µg/Kg
2,4-D	No detectable	No detectable	No detectable
ACETOCLOR	No detectable	No detectable	No detectable
AMETRINA	No detectable	No detectable	No detectable
ATRAZINA	33.7	19.9	40.0
BICICLOPIRONA	No detectable	10.2	14.2
CLOMAZONE	No detectable	No detectable	No detectable
CLORSULFURON	No detectable	No detectable	No detectable
CLORIMURÓN-ETIL	No detectable	No detectable	No detectable
DICAMBA	No detectable	No detectable	No detectable
DICLOSULAM	No detectable	No detectable	No detectable
FLUMIOXAZIN	No detectable	No detectable	No detectable
FLUROCLORIDONA	7.0	7.1	5.7
FOMESAFEN	No detectable	No detectable	No detectable
HALAUXIFEN-METIL	No detectable	No detectable	No detectable
IMAZAPIC	No detectable	0.80	3.0
IMAZAPIR	No detectable	0.07	0.12
IMAZAMOX	No detectable	No detectable	No detectable
IMAZETAPIR	No detectable	No detectable	No detectable
ISOXAFLUTOLE	No detectable	No detectable	No detectable
LINURON	No detectable	No detectable	No detectable
METOLACLOR	42.4	134.8	221.4
METRIBUZIN	No detectable	No detectable	No detectable
METSULFURÓN-METIL	No detectable	No detectable	No detectable
MESOTRIONE	No detectable	No detectable	No detectable
PICLORAM	No detectable	No detectable	No detectable
SAFLUFENACIL	No detectable	No detectable	No detectable
SULFENTRAZONA	No detectable	No detectable	No detectable
SULFOMETURÓN METIL	No detectable	No detectable	No detectable
TIENCARBAZONA METIL	No detectable	No detectable	No detectable

4.1. Análisis de residuos en planta

Métodos utilizados: Análisis de residuos herbicidas por UHPLC M/M

(Informe INTA N° 2025-261 – Material: Planta)

Compuesto	Planta sana	Planta afectada	Planta muy afectada
Herbicidas	µg/Kg	µg/Kg	µg/Kg
2,4-D	No detectable	No detectable	No detectable
ACETOCLOR	No detectable	No detectable	No detectable
AMETRINA	No detectable	No detectable	No detectable
ATRAZINA	340.8	1095.8	728.5
BICICLOPIRONA	No detectable	No detectable	No detectable
CLOMAZONE	No detectable	No detectable	No detectable
CLORSULFURON	No detectable	No detectable	No detectable
CLORIMURÓN-ETIL	No detectable	No detectable	No detectable
DICAMBA	No detectable	No detectable	No detectable
DICLOSULAM	No detectable	No detectable	No detectable
FLUMIOXAZIN	No detectable	No detectable	No detectable
FLUROCLORIDONA	No detectable	No detectable	No detectable
FOMESAFEN	No detectable	No detectable	No detectable
HALAUXIFEN-METIL	No detectable	No detectable	No detectable
IMAZAPIC	No detectable	0.62	7.8
IMAZAPIR	No detectable	1.9	2.1
IMAZAMOX	No detectable	No detectable	No detectable

Detectamos que herbicidas están a concentraciones cuantificables y en que nivel (ppb)

Screening de herbicidas en suelo – Análisis de campaña 2025-26 Base de datos



148 MUESTRAS DE
SUELO



SCREENING
MULTIRESIDUOS



25 INGREDIENTES
ACTIVOS HERBICIDAS
ANALIZADOS (+5)

Métricas por Herbicida

HERBICIDA	MOA	Frecuencia (%)
ATRAZINA	 INHFSII	100
S-METOLACLOR	 INHSAGCML	98
FLUROCLORIDONA	 INHCAROTENOS	89
SULFENTRAZONE	 INHPPO	61
ACETOCLOR	 INHSAGCML	60
METRIBUZIN	 INHFSII	50
IMAZETAPIR	 INHALS	32
SAFLUFENACIL	 INHPPO	28
METSULFURÓN-METIL	 INHALS	27
IMAZAPIR	 INHALS	24
BICICLOPIRONA	 INHCAROTENOS	22
2,4-D	 AUXINAS	18
LINURON	 INHFSII	18
FLUMIOXAZIN	 INHPPO	16
CLOMAZONE	 INHCAROTENOS	14

HERBICIDA	MOA	Mediana ppb	Maximo ppb
ATRAZINA	INHFSII	1,8	29,2
S-METOLACLOR	INHSAGCML	10,1	237,2
FLUROCLORIDONA	INHCAROTENOS	1,9	50,3
SULFENTRAZONE	INHPPO	6	185,9
ACETOCLOR	INHSAGCML	1,1	326,6
METRIBUZIN	INHFSII	0,34	29,7
IMAZETAPIR	INHALS	0,3	13,6
SAFLUFENACIL	INHPPO	0,18	0,8
METSULFURÓN-METIL	INHALS	0,1	12,9
IMAZAPIR	INHALS	0,1	2
BICICLOPIRONA	INHCAROTENOS	1,5	64,5
2,4-D	AUXINAS	1,2	449,8
LINURON	INHFSII	0,3	575,7
FLUMIOXAZIN	INHPPO	1,1	57,2
CLOMAZONE	INHCAROTENOS	0,53	2,2

Med: 1 - 3% Max: 3- 50%

• Ranking de herbicidas detectados según frecuencia de aparición: Moléculas dominantes

• Top 15

¿Por qué aparecen con tanta frecuencia?

- ✓ Alta persistencia
- ✓ Alta frecuencia de uso
- ✓ Moderado/Alto Koc

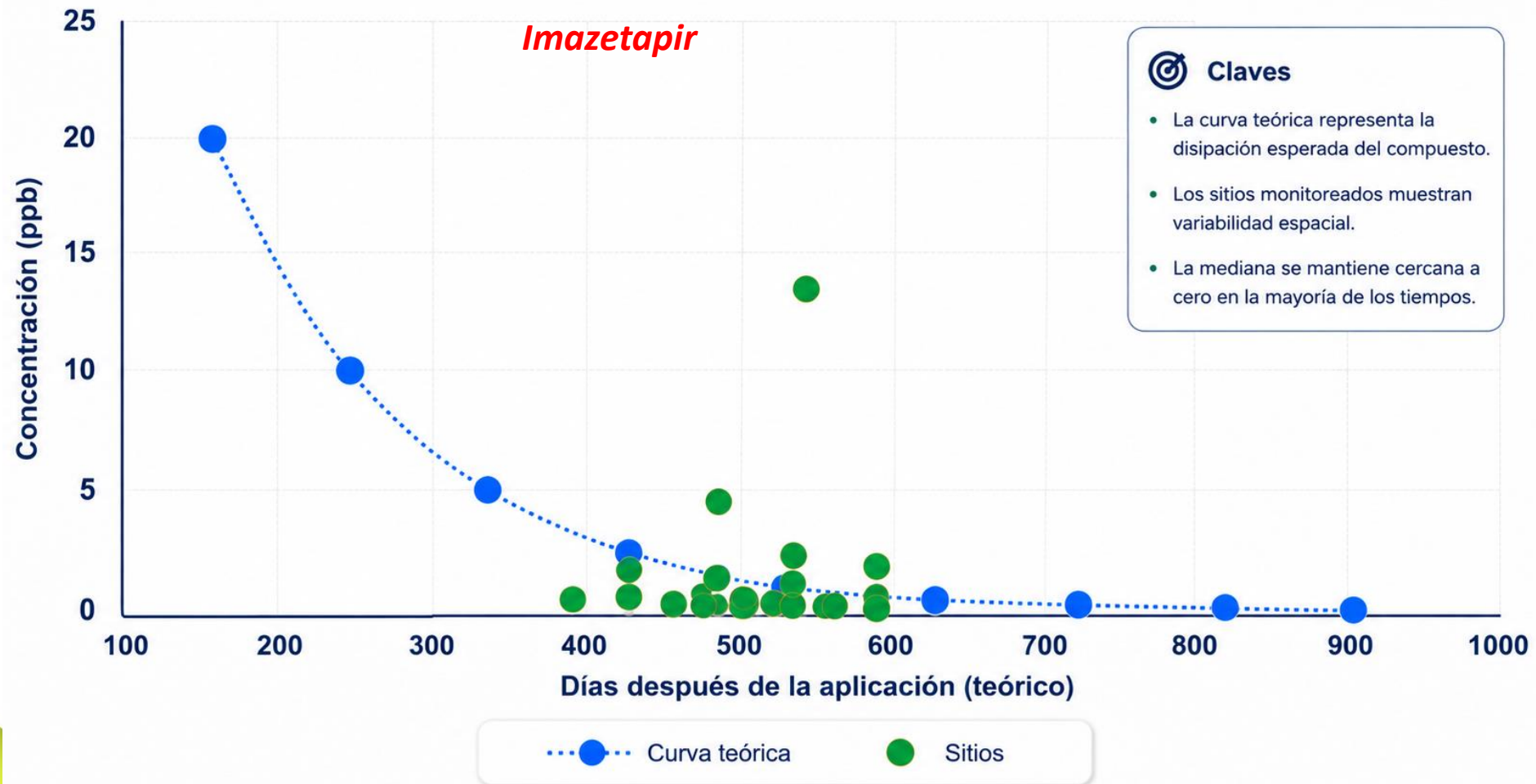
 Herbicida	 MoA	 Vida media lab (20°C, días)	 DT50 Field (días)	 Koc/Kof (mL/g)
 Atrazina	INH FSII	66	39	100
 Flurocloridona	INH Carotenos	81,4	41	700
 S-metolacoloro	INH SAGCML	15	23	200,2
 Sulfentrazone	INH PPO	400	212	43

Carryover: Herbicidas riesgosos para papa

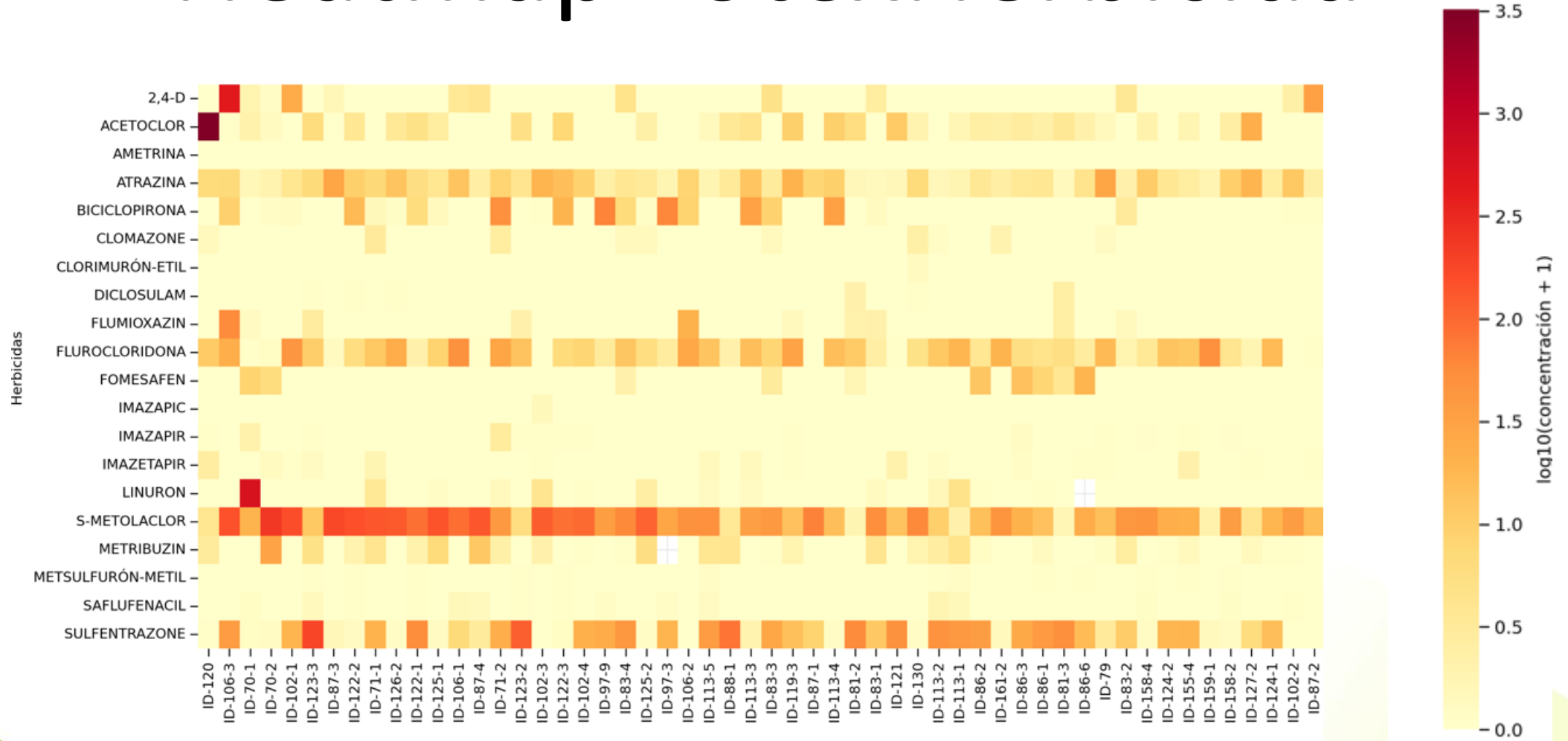
 HERBICIDA	 MOA	 % MUESTRAS CON DETECCIÓN	 MÁX DETECTADO (ppb)	 OBSERVACIONES
 Imazetapir	ALS (G2)	32%	13.60	✓ Presente con cierta frecuencia; mediana de positivos ≈0,30 ppb .
 Imazapir	ALS (G2)	24%	2.00	✓ Positivos bajos-moderados, mediana de positivos ≈0,10 ppb .
 Metsulfurón-metil	ALS (G2)	27%	> 3,1	⚠ Detectado con valores puntualmente altos (> 3,1 ppb).
 Diclosulam	ALS (G2)	6%	1.50	i Detecciones poco frecuentes; mediana positivos ≈0,33 ppb .
 Clorimurón-etil	ALS (G2)	<1%	0.33	● Hallazgo puntual, muy baja frecuencia.
 Saflufenacil	PPO (G14)	28%	0.80	✓ Detecciones frecuentes pero bajas (mediana positivos ≈0,18 ppb).
 Fomesafen	PPO (G14)	12%	18.30	⚠ Baja frecuencia pero con picos relativamente altos (máx 18,3).

Disipación teórica vs. sitios monitoreados

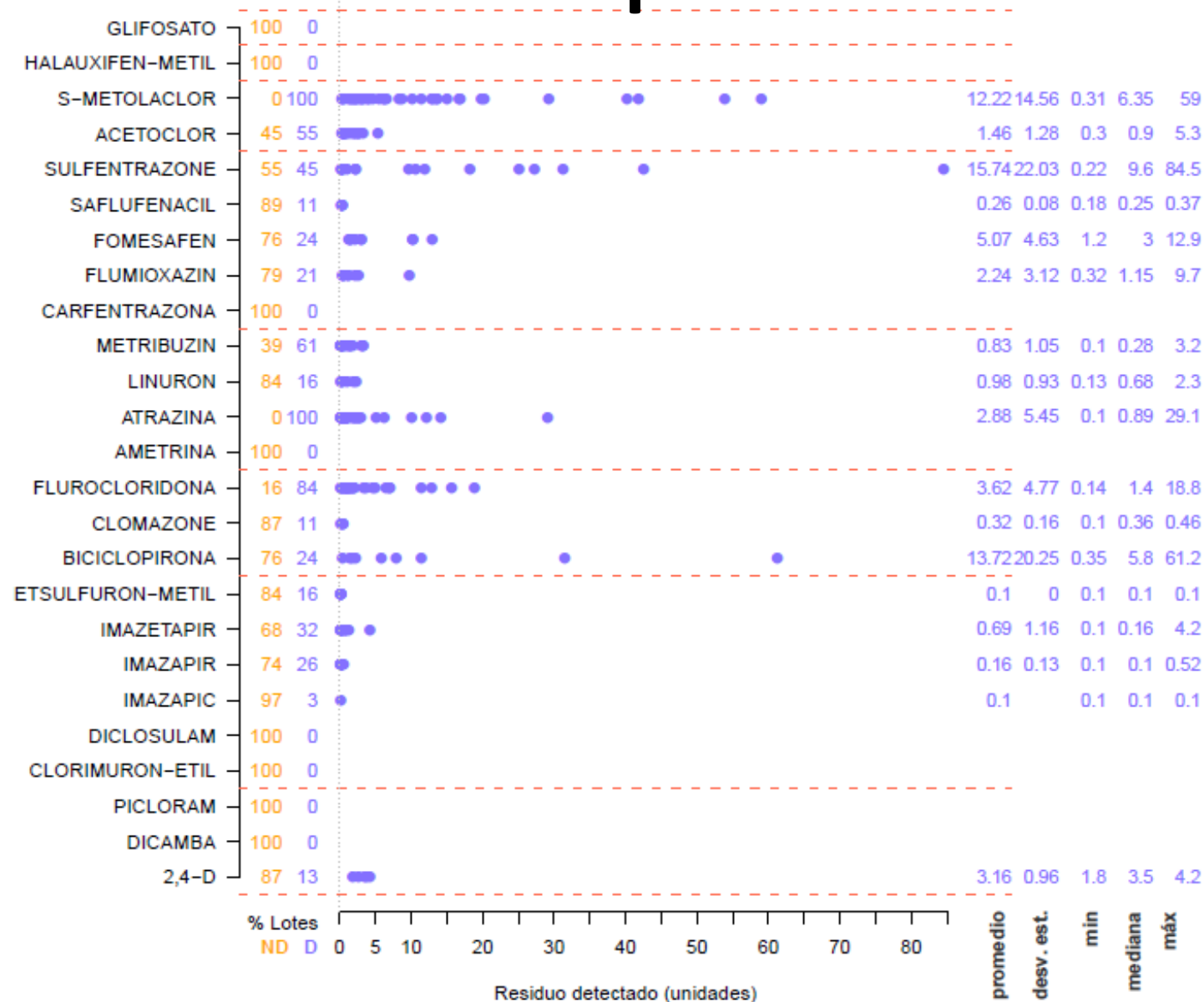
Concentración (ppb) en función de los días después de la aplicación



Heatmap LotexHerbicida

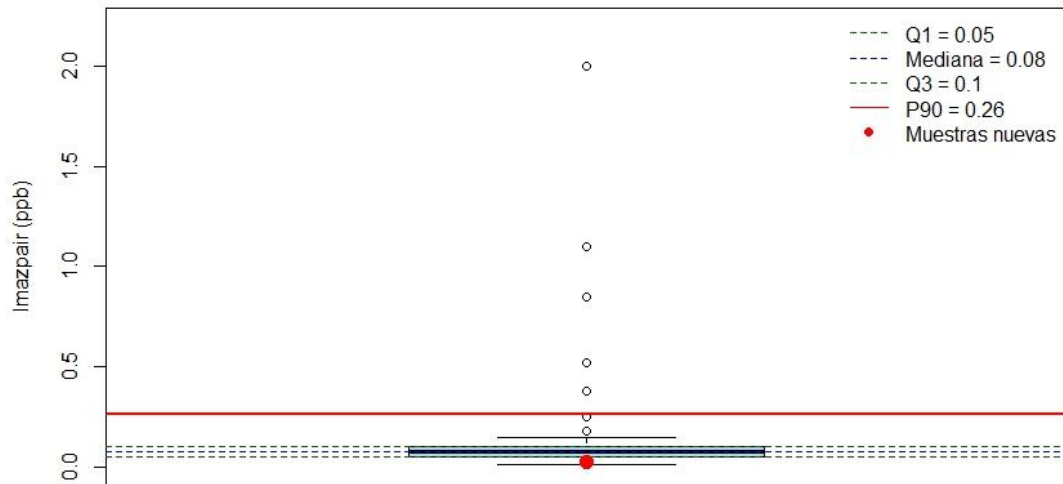


Estadísticos por Herbicida



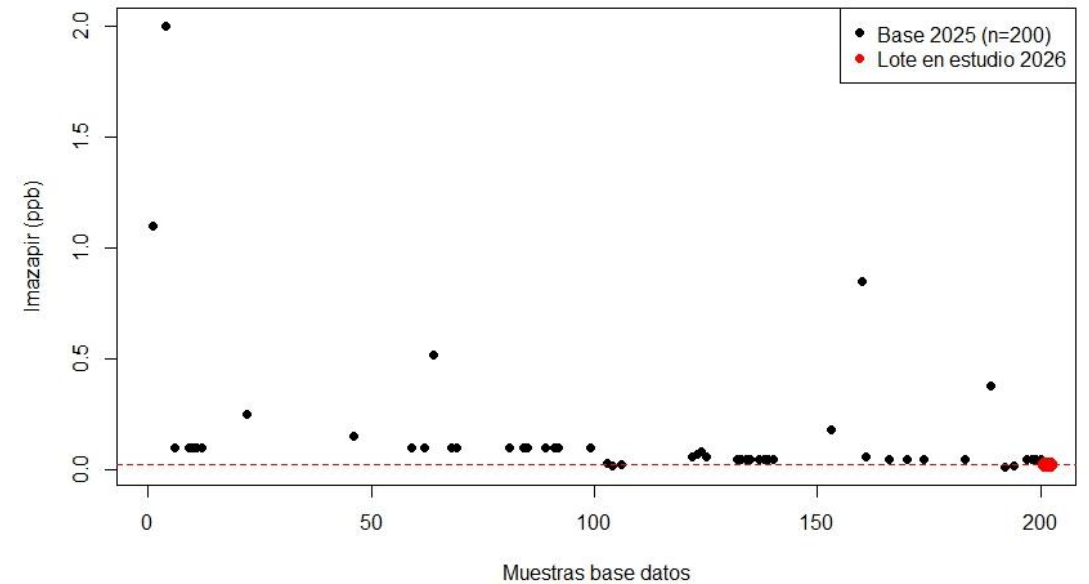
Box plot

Distribución 2025 vs nuevas 2026



Scatter plot

Base 2025 vs Lote en estudio



CONCLUSIONES

Herbicidas persistentes, con moderado a alto Koc, alta frecuencia de uso (6 herbicidas explican la mayor parte de las detecciones: Atrazina, S-metolacoloro, Flurocloridona, Sulfentrazone, Acetoclor, Metribuzin).

Las concentraciones detectadas son en general menores respecto de lo esperable en DDA

Detección de herbicidas inhibidores de la ALS (30% de los lotes destinados a papa que se analizan). Predominan las Imidazolinonas y sulfonilureas. Imazetapir>Metsulfuron>Imazapir>Imazapic> Imazamox

Se han establecido relaciones entre síntomas observados en los bioensayos y detección de residuos herbicidas

Intercambio con productores y asesores

Muchas gracias!!

Servicio integral de Análisis de Residuos Herbicidas

- ✓ Detección y cuantificación precisa de residuos de herbicidas en suelo y plantas
 - ✓ Más de 30 principios activos herbicidas detectados
 - ✓ Bioensayos + Integración de resultados
 - ✓ Resultados confiables
- Monitoree la seguridad y calidad de sus cultivos.

📍 EEA INTA Balcarce "Domingo R. Pascuale"
Ruta 226 km 73,5, Balcarce.

✉ salvalaggio.andrea@inta.gob.ar
📞 degeronimo.eduardo@inta.gob.ar
✉ gianelli.valeria@inta.gob.ar
✉ panaggio.nestor@inta.gob.ar

Contactanos hoy