



CLAUDIO ALISTER ⁽¹⁾
Ingeniero Agrónomo, M.Sc.

MARCELO KOGAN ⁽²⁾
Ingeniero Agrónomo, M.Sc. PhD.

RIESGO AMBIENTAL DE LOS PLAGUICIDAS: PROPUESTA PARA UN MODELO SIMPLE DE EVALUACION^(*)

INTRODUCCION

Los plaguicidas juegan un papel fundamental en la producción de alimentos, fibras y en la protección de la salud humana. En nuestro país, el uso de estos compuestos es cada vez más intenso, llegando en ciertos cultivos a representar casi el 30 % de los costos de producción. Sin embargo, cada vez que se toma la decisión de usar uno u otro plaguicida, comúnmente no se hace considerando el grado de riesgo que éste podría presentar para el ambiente o para la salud humana.

Durante los últimos años, en los países más desarrollados, quienes son nuestros principales socios comerciales, ha aumentado el interés por conocer el comportamiento de los plaguicidas en el ambiente y su posible impacto sobre la calidad de las aguas, tanto superficiales como profundas. Así han surgido los conceptos como: Manejo Integrado de Plagas (Integrated Pest Management, IPM), Manejo Integrado de Predios (Integrated Farm Management, IFM), Manejo Integrado de Cultivos (Integrated Crop Management, ICM), y las Buenas Prácticas Agrícolas (Good Agricultural Practices, GAP) que ofrecen a los agricultores y empresas exportadores normas de manejo que buscan un uso racional de estas herramientas químicas, con la finalidad de entregar alimentos de alta calidad, seguros para el consumidor y su entorno agro-ecológico.

Numerosos son los factores que determinan que un producto sea considerado adecuado, desde un punto de vista toxicológico y ambiental. Sin embargo, hay dos principios claros que hay que tener en cuenta cada vez que se va a realizar alguna intervención química sobre nuestro entorno. El primero, establece que al aplicar cualquier compuesto químico se corre un riesgo de producir un cambio en el ambiente, y por ende sobre los seres vivos; en otras palabras no existe "riesgo cero". El segundo principio, reconoce que todos los productos aplicados pueden llegar al suelo, y directa o indirectamente a las aguas, tanto superficiales como subterráneas.

Cuando un plaguicida ingresa a un medioambiente dado, inicia su degradación, como resultado de la acción de la luz, microorganismos y reacciones químicas, lo que incide en la disminución de la concentración del compuesto en el medio. Paralelamente comienza también su dispersión desde el sitio de

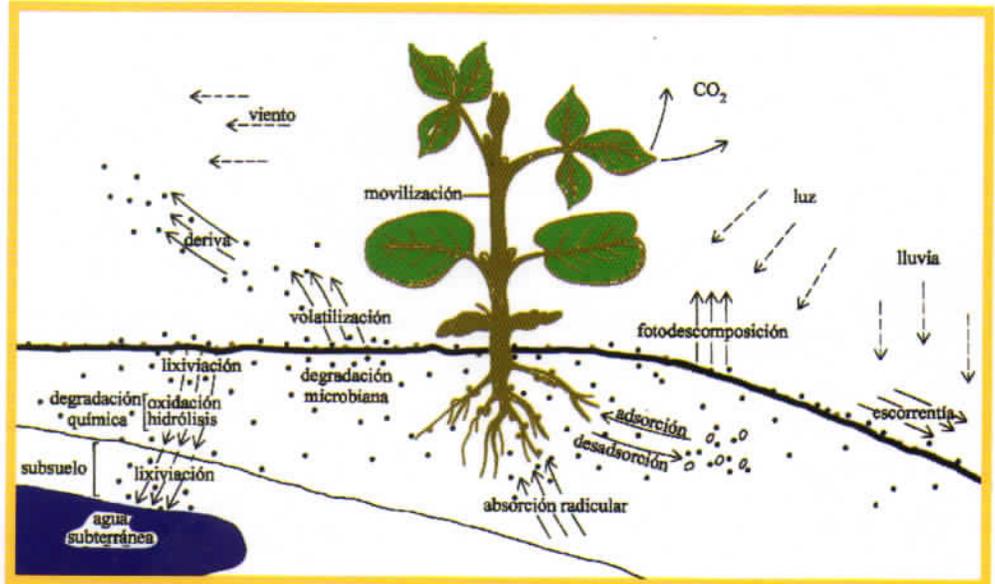


Figura 1.- Interrelaciones entre plaguicidas y el ambiente.

aplicación, producto de la deriva, volatilización, condensación y lavado desde el follaje. Una vez en el suelo, el plaguicida puede llegar a las napas subterráneas debido al movimiento en el perfil del suelo (lixiviación), y a los ríos, esteros, lagos y lagunas, como consecuencia del escurrimiento superficial ("run-off"). Estos fenómenos, en conjunto, son los que en parte gobiernan la "dinámica ambiental" de los plaguicidas, y como se desprende, son relaciones complejas, entrelazadas, lo que hace muy difícil predecir cual sería el comportamiento de un determinado compuesto, en las tan variadas condiciones en las que se puede utilizar (Figura 1).

Con el objeto de predecir el comportamiento de un plaguicida en el ambiente se han desarrollado muchos modelos determinísticos, centrándose en fenómenos como la lixiviación y contaminación de aguas profundas, movimiento atmosférico y en las cadenas tróficas. Sin embargo, estos modelos necesitan información precisa, que en algunos casos es escasa y relativamente compleja de manejar. Es por esta razón que en este artículo, se presenta el planteamiento de un modelo simple que permite estimar un valor relativo de riesgo ambiental para cualquier plaguicida, basándose en la información científica existente, con relación a las propiedades físico-químicas y toxicológicas de los distintos productos. La aplicación de este modelo da como resultados valores críticos de fácil interpretación, lo que permite la toma de decisiones basadas en índices de riesgo.

⁽¹⁾ Resumen adaptado de la publicación original "ERI: Environmental Risk Index. A simple proposal to select agrochemicals for agricultural use" de los autores Alister, C. y Kogan, M. 2006. Crop Protection 25, 202-211.

⁽¹⁾ Becario CONICYT-Programa Doctorado en Ciencias de la Agricultura, Pontificia Universidad Católica de Chile.

⁽²⁾ Centro de Investigación Agrícola y Ambiental (CIAA), Universidad de Viña del Mar.

DESARROLLO DEL INDICE DE RIESGO AMBIENTAL (IRA)

El principal inconveniente en la determinación del riesgo ambiental que tiene un plaguicida es que no se trata del efecto de un sólo factor, sino que de un conjunto de ellos, que involucra las características propias de cada compuesto, y por otra parte, las condiciones del ambiente (relieve, clima, recursos hídricos, propiedades de suelo). Por ende, el riesgo que presente un compuesto químico será muy dependiente del criterio técnico de la persona que está realizando la evaluación. Por esto, para comparar compuestos diferentes, básicamente hay que fijar ciertos puntos críticos que permitan simplificar el análisis, sin perder la objetividad de éste. De todos los posibles puntos de comparación entre plaguicidas, es necesario escoger aquellos de mayor relevancia para los estudios ambientales y que sean de una disponibilidad relativamente fácil disponibilidad, y a juicio de los autores son: persistencia, adsorción, volatilización, solubilidad en agua, solubilidad en solventes orgánicos, y parámetros toxicológicos, a continuación se describirán cada uno de ellos.

Persistencia y adsorción

Persistencia es el tiempo durante el cuál un compuesto químico es detectable en el suelo, la cual se mide, generalmente utilizando el valor de vida media o TD_{50} . Este último, corresponde al tiempo de degradación del 50 % del compuesto, y está controlado por procesos de degradación microbiológica, química y/o por foto-descomposición. Relacionado a esto, se encuentran los fenómenos de adsorción en el suelo, y se cuantifican mediante los coeficientes de adsorción al suelo propiamente tal (K_d), a materia orgánica (K_{om}) y al carbono orgánico (K_{oc}). Cuanto mayor sean los valores de estos coeficientes, mayor será la adsorción y menor la cantidad del plaguicida que quedará disponible en la solución suelo para ser degradado por los procesos antes descritos.

Movilidad o lixiviación

En general estos términos se utilizan en forma indistinta para indicar el movimiento de cualquier compuesto químico en el perfil de suelo. Este fenómeno, al igual que la persistencia está íntimamente relacionado con la adsorción que presente el compuesto al suelo, al ser más adsorbido menor será el riesgo de que el compuesto sea movilizado en profundidad junto al agua, aunque este producto sea de una alta solubilidad.

De las características físico-químicas del perfil del suelo que más inciden en la movilidad de un compuesto, están la textura y estructura de este. Así suelos muy arenosos, o con un alto contenido de arcillas plásticas, o bien estructurados, presentarán una mayor probabilidad de que un plaguicida se mueva debido al mayor contenido de macro poros que facilitan los flujos del agua. Otros factores que en ciertos casos también están influyendo en el grado de lixiviación son, el contenido de humedad del suelo y la carga hídrica a que el plaguicida sea sometido luego de que es aplicado.

Por otra parte, dentro del potencial riesgo de movilidad de un plaguicida, la persistencia (TD_{50}) de éste en el suelo juega un rol importante. Así, un compuesto que presente una mayor persistencia significará que estará mayor tiempo presente en el perfil del suelo para que algún evento (riego o lluvia) produzca su movimiento en el perfil. Es así como muchos de los índices utilizados para clasificar el riesgo de lixiviación de los plaguicidas utilizan como parámetros básicos los valores de K_{oc} y de TD_{50} .

Volatilización

La volatilización indica la capacidad de un compuesto químico de pasar del estado líquido al gaseoso. Aquel producto que presente el mayor valor de presión de vapor (mm de Hg, mPa, kPa) será movilizado dentro de la atmósfera en mayor proporción que los otros. Otra forma de medir el grado de

volatilidad de un compuesto, está dada por el valor de KH o Constante de Henry. Esta indica la relación de la volatilidad del compuesto y su solubilidad en agua, y siendo útil para estudiar el comportamiento de los plaguicidas en ambientes acuáticos como lo son lagunas, lagos y ríos, o en cultivos que crecen en inundación como el arroz.

Solubilidad y Coeficiente de partición (K_p)

La solubilidad en agua de un plaguicida, por sí sola, no es un parámetro muy significativo para el estudio de la dinámica ambiental. Sin embargo, la relación entre solubilidad de los compuestos en los solventes orgánicos y en el agua, sí es una característica relevante, y se conoce como Coeficiente Octanol/agua (K_{ow}) o Coeficiente de Partición (K_p). Mientras mayor sea este valor de K_{ow} menos soluble en agua es el plaguicida, y a su vez más lipofílico o afín con los compuestos orgánicos. Dado que los valores de K_{ow} de los plaguicidas presentan una gran variación, pudiendo moverse entre valores aproximados de $K_{ow}=0,025$ (glifosato) hasta valores $K_{ow}=4.000.000$ (Cypermetrina), normalmente se presentan como $\text{Log}K_{ow}$ o $\text{Log}P$.

El K_{ow} es de una gran implicancia en la dinámica ambiental, dado que tiene una alta relación con otros fenómenos como lo son la adsorción en el suelo (K_{oc} y K_{om}), y con la potencial de acumulación de los compuestos químicos en las cadenas tróficas, o Factor de Bioacumulación (BCF), que indica cuanto del plaguicida que está en el entorno del ser vivo queda dentro de él una vez que es trasladado a un entorno sin el plaguicida. Algunos autores consideran que productos con valores de $\text{Log}K_{ow} = 3$ ($K_{ow} = 1000$), que equivalen a valores de BCF sobre 100, lo que implicaría que este plaguicida estaría 100 veces más dentro del organismo que en el medio que lo rodea, lo cual podría ser de un alto impacto sobre las cadenas alimenticias.

Al considerar todos estos parámetros básicos ya mencionados, junto a los índices toxicológicos, es posible comparar el riesgo ambiental que tendría uno u otro plaguicida, mediante un Índice de Riesgo Ambiental (IRA). Para esta estimación se propone un modelo cinco términos:

$$IRA = (P + L + V + PT) * D \quad [1]$$

Donde, P es el factor resultante de la persistencia del plaguicida en el ambiente medido en días (TD_{50}), L representa el grado de movilidad del plaguicida en profundidad (lixiviación), V es la volatilidad, PT es el perfil toxicológico, y D corresponde a la dosis o carga química aplicada al ambiente. Esta carga química es un multiplicador de los otros factores, debido a que la dosis aumenta proporcionalmente el riesgo de que parte del compuesto llegue a un lugar no deseado, o que cause un efecto negativo sobre los organismos vivos.

$$PT = K_{ow} + Rfd + LD_{50} + TA \quad [2]$$

El PT relaciona cuatro factores muy importantes en lo que respecta a la toxicología de un plaguicida: K_{ow} , término que se relaciona directamente con la Bioacumulación; Rfd , o dosis referencial ($\text{mg kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$), el cuál corresponde a la toxicidad crónica, resultante de la exposición por largo tiempo al plaguicida, y al extrapolarla al ser humano nos indica la cantidad máxima del compuesto que podría ingerir durante toda su vida sin presentar un efecto negativo; LD_{50} , correspondiente a la dosis letal que causa un 50 % de muerte de la población experimental, y que para éste modelo se consideró el LD_{50} dermal, dado el mayor riesgo de exposición para un aplicador agrícola será la piel, y TA, denominado toxicología animal, que incluye la dosis letal para aves, peces, e insectos.

CUADRO 1

Grado de severidad, valores asignados e intervalos propuestos para cada término de la ecuación [1] del IRA. $[IRA=(P+L+V+PT)*D]$.

Grado de severidad y valores asignados	Intervalos				
	Persistencia (P) (DT ₅₀ , días)	Dosis (D) (Kg ia ha ⁻¹)	Lixiviación (L) LIX Index	Volatilidad (V) (mm Hg)	Perfil Toxicológico (TP)
Bajo 1	≤ 30	≤ 1	≤ 0.09	≤ 10 ⁻⁶	≤ 8
Medio 2	30 ≤ 60	1 ≤ 2	0.09 ≤ 0.25	10 ⁻⁶ ≤ 10 ⁻⁵	8 ≤ 14
Alto 3	60 < 90	2 < 3	0.25 < 0.5	10 ⁻⁵ < 10 ⁻⁴	14 < 20
Muy alto 4	≥ 90	≥ 3	≥ 0.5	≥ 10 ⁻⁴	≥ 20

CUADRO 2

Grado de severidad, valores asignados e intervalos propuestos para cada término de la ecuación [2] del IRA. $[PT=K_{ow}+Rfd+LD_{50}+TA]$

Grado de severidad y valores asignados	Intervalos					
	K _{ow} (Log K _{ow})	Rfd (mg kg ⁻¹ día ⁻¹)	LD ₅₀ (mg kg ⁻¹)	TA		
Pato salvaje LD ₅₀ (mg kg ⁻¹)				Trucha arco iris CL ₅₀ (mg L ⁻¹)	Abeja melífera LD ₅₀ (mg kg ⁻¹)	
Bajo 1	≤ 1	≥ 0.1	≥ 4000	≥ 5000	≥ 100	≥ 100
Medio 2	1 ≤ 2	0.1 ≥ 0.01	4000 ≥ 400	5000 ≥ 500	100 ≥ 50	100 ≥ 50
Alto 3	2 < 3	0.01 > 0.001	400 > 40	500 > 50	50 > 10	50 > 25
Muy alto 4	≥ 3	≤ 0.001	≤ 40	≤ 50	≤ 10	≤ 25

K_{ow} = Coeficiente octanol agua. - Rfd = Dosis referencial diaria. - LD₅₀ = Dosis letal media. - CL₅₀ = Concentración letal media.

CUADRO 3

Propiedades de los plaguicidas seleccionados para el cálculo del IRA¹.

Plaguicidas	TD ₅₀ ² (días)	K _{oc} ³	k ⁴ (1 día ⁻¹)	Presión de vapor (mm Hg)	Dosis (kg ia ha ⁻¹)	LIX Index ⁵
Herbicidas						
Glifosato	20	1500	0,035	3,00*10 ⁻⁷	2,4	0,0000
Atrazina	55	110	0,013	2,89*10 ⁻⁷	2	0,2501
Simazina	55	103	0,013	2,20*10 ⁻⁸	2,5	0,2731
2,4-D	10	48	0,069	1,40*10 ⁻⁷	0,96	0,0359
Diuron	60	415	0,012	1,72*10 ⁻⁹	2,5	0,0083
Imazethapyr	75	7	0,009	1,00*10 ⁻⁷	0,14	0,9374
Hexazinona	90	54	0,008	2,00*10 ⁻⁷	3,6	0,6598
Pendimetalina	44	6500	0,016	3,00*10 ⁻⁵	1,33	0,0000
Metolacoloro	30	152	0,023	2,80*10 ⁻⁵	1,3	0,0299
Paraquat	900	10000	0,001	1,00*10 ⁻⁷	0,6	0,0000
Diclofop-metil	23	16000	0,03	3,50*10 ⁻⁶	0,7	0,0000
Aminotriazol	14	202	0,05	4,40*10 ⁻⁷	2,5	0,0000
Mesotrione	10	109	0,069	4,27*10 ⁻⁸	0,15	0,0005
Metsulfuron	20	42	0,035	5,97*10 ⁻¹³	0,03 ⁶	0,2330
Insecticidas						
Malation	9	600	0,077	3,38*10 ⁻⁶	1,7	0,0000
Clorpirifos	30	6000	0,023	1,88*10 ⁻⁵	1,44	0,0000
Carbaryl	14	288	0,05	1,36*10 ⁻⁶	2,55	0,0000
Dimetoato	7	20	0,099	1,80*10 ⁻⁶	0,4	0,1381
Terbufos	15	650	0,046	2,60*10 ⁻⁴	1,5	0,0000
Fungicidas						
Mancozeb	30	800	0,023	7,50*10 ⁻⁶	3	0,0000
Captan	5	150	0,139	8,25*10 ⁻⁸	3,2	0,0000
Benomilo	80	1900	0,009	3,75*10 ⁻⁸	0,75	0,0000

¹ Valores promedios obtenidos desde: ARS agrochemical database y WSSA herbicide handbook.

² TD₅₀ = Tiempo de disipación del 50% del plaguicida.

³ K_{oc} = Coeficiente de adsorción a carbono orgánico.

⁴ k = tasa de disipación, estimados a partir de: $k=0.693/TD_{50}$

⁵ LIX Index = $\exp(-K_{oc} \cdot k)$.

⁶ Dosis promedio utilizada en control de malezas en condiciones Forestales.

CUADRO 4

Parámetros eco-toxicológicos de los plaguicidas elegidos para el cálculo del perfil toxicológicos (PT)¹.

Plaguicidas	LogK _{ow} ²	Rfd (mg kg ⁻¹ día ⁻¹) ³	Dermal LD ₅₀ (mg kg ⁻¹) ⁴	TA		
				Pato salvaje LD ₅₀ (mg kg ⁻¹)	Trucha arco iris CL ₅₀ (mg L ⁻¹) ⁵	Abeja melífera LD ₅₀ (mg kg ⁻¹)
Herbicida						
Glifosato	-1,6	0,1	5000	4600	86	100
Atrazina	2,34	0,035	3000	10000	9,9	100
Simazina	2,1	0,005	5000	4640	70,5	100
2,4-D	2,81	0,01	1000	1000	2	25
Diuron	2,77	0,002	3400	5000	8	150
Imazethapyr	1,49	0,25	5000	2150	340	100
Hexazinona	1,17	0,033	5000	2500	320	150
Pendimetalina	5,18	0,04	5000	1421	0,178	50
Metolaclo	2,9	0,15	2000	2000	3	150
Paraquat	1,59	0,0045	600	4048	32	11
Diclofop-metil	4,57	0,001	5600	110	0,35	200
Aminotriazol	0,85	0,00003	5000	2000	1000	150
Mesotrione	1,3	0,02	2000	5200	120	100
Metsulfuron	1,8	0,25	5000	2500	150	25
Insecticida						
Malation	2,7	0,02	7000	1500	200	0,709
Clorpirifos	4,7	0,003	3000	180	0,009	0,114
Carbaryl	2,36	0,01	4000	5000	4,38	1,3
Dimetoato	5,06	0,01	1200	40	30,2	0,9
Terbufos	4,5	0,0001	31	275	0,0013	150
Fungicidas						
Mancozeb	1,33	0,05	10000	5000	2,2	150
Captan	2,8	0,13	2000	5600	0,1	200
Benomilo	1,37	0,02	10000	500	0,41	10

8

¹ Valores obtenidos de: IRIS y EXTNET, ARS, WSSA handbook, Cornell agrochemical database, TERA y De Liñan (1997).

² LogK_{ow} = Coeficiente octanol agua.

³ Rfd = Dosis referencial diaria.

⁴ LD₅₀ = Dosis letal media.

⁵ CL₅₀ = Concentración letal media.

CUADRO 5

Perfil toxicológico (PT) calculado para los plaguicidas seleccionados de acuerdo a la eq. [2], usando los parámetros eco-toxicológicos (Cuadro 4) y valorado de acuerdo al Cuadro 2.

Plaguicidas	LogK _{ow}	Rfd	LD ₅₀	Pato salvaje	Trucha arco iris	Abeja melífera	PT
Glifosato	1	1	1	2	2	1	8
Atrazina	3	2	2	1	4	1	13
Simazina	3	3	1	2	2	1	12
2,4-D	3	2	2	2	4	4	17
Diuron	3	3	2	1	4	1	14
Imazethapyr	2	1	1	2	1	1	8
Hexazinona	2	2	1	2	1	1	9
Pendimetalina	4	2	1	2	4	2	15
Metolaclo	3	1	2	2	4	1	13
Paraquat	2	3	2	2	3	4	16
Diclofop-metil	4	4	1	2	4	1	16
Aminotriazol	1	4	1	2	1	1	10
Mesotrione	2	2	2	1	1	1	9
Metsulfuron-metil	2	1	1	2	1	4	11
Malation	3	2	1	2	1	4	13
Clorpirifos	4	3	2	3	4	4	20
Carbaryl	3	4	1	1	4	4	17
Dimetoato	4	2	2	4	3	4	19
Terbufos	4	4	4	3	4	1	20
Mancozeb	2	2	1	1	4	1	11
Captan	3	1	2	1	4	1	12
Benomilo	2	2	1	2	4	4	15

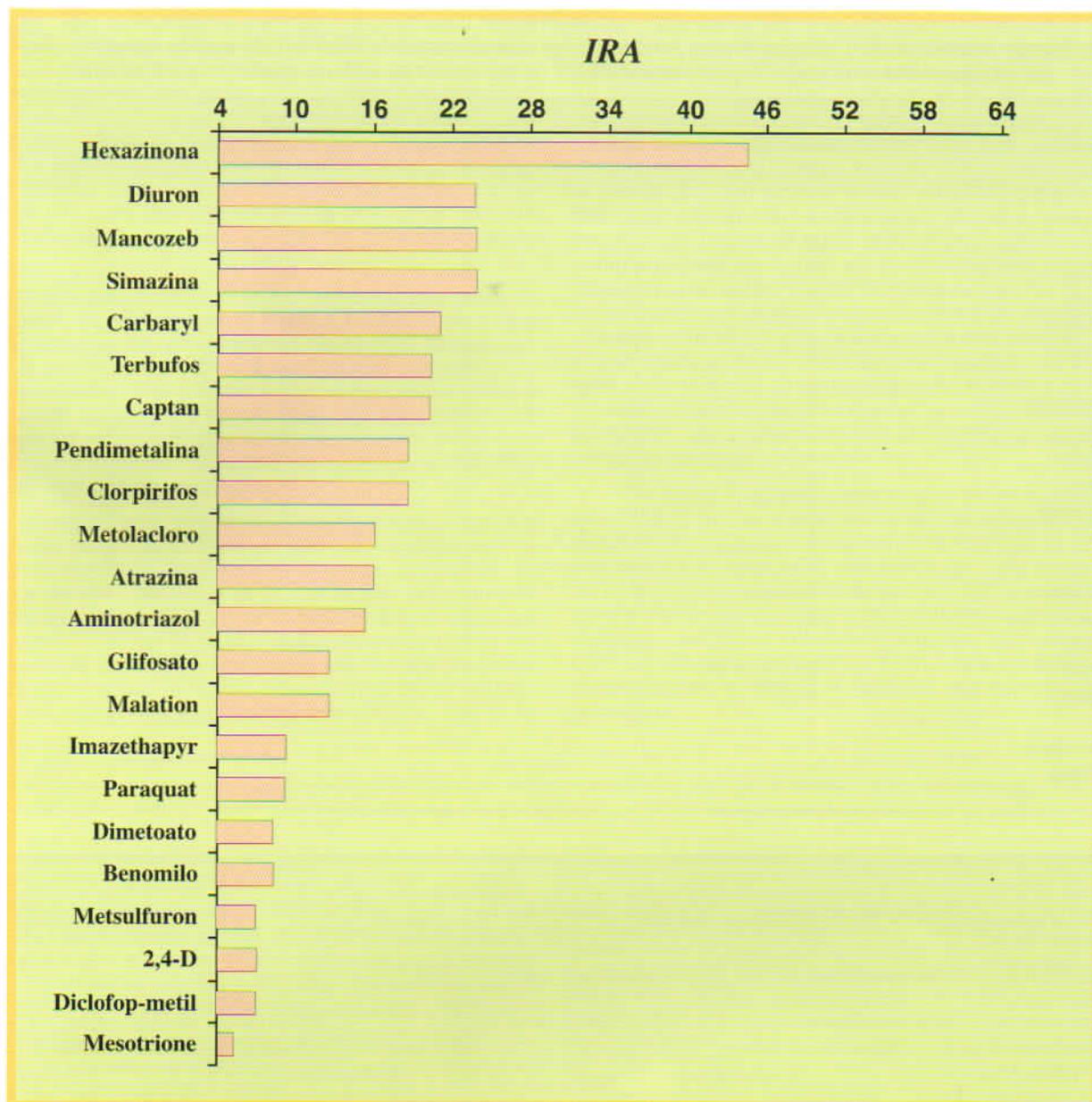


Figura 2.- Índice de Riesgo Ambiental (IRA) de los plaguicidas seleccionados (valor mínimo 4 y máximo 64).

CUANTIFICACION DEL RIESGO AMBIENTAL

Como se aprecia en la ecuación [1], el riesgo ambiental del uso de un plaguicida sería el resultado del efecto aditivo de los parámetros seleccionados, multiplicado por la carga química de éste, o sea su dosis (D). Dada la gran cantidad de valores que se encuentran en la literatura para cada uno de los parámetros utilizados, es muy importante que los factores de ponderación que se utilicen para los diferentes parámetros de la ecuación, sean muy acotados y racionalizados, así como la información utilizada para caracterizar cada producto.

Para cada término de la ecuación del *IRA* se asignaron cuatro intervalos (bajo, medio, alto y muy alto), y a cada uno de ellos se asoció un factor de ponderación desde 1 a 4. De esta forma el menor *IRA*, según el modelo, alcanzaría un valor 4 y un máximo de 64 (Cuadro 1). Sin embargo, existen dos puntos críticos en el cálculo del *IRA*, el primero dice relación con el movimiento en profundidad o lixiviación y el segundo, con el perfil toxicológico.

Para realizar la evaluación de la lixiviación se utilizó el índice *LIX* propuesto por Spadotto (2002) que relaciona el K_{oc} y la tasa de degradación del compuesto (k), que es una medida indirecta del TD_{50} . Así, los plaguicidas con un valor de *LIX* cercano a 1 serían muy móviles, y por el contrario valores cercanos a 0 serían inmóviles (Cuadro 3). Existen otros índices comparativos del riesgo de lixiviación, tal como el *GUS*, *LEACH*, *LPI*, *RF*, *AF*, pero para este caso se eligió el *LIX* debido a su simpleza de cálculo, y su adecuado grado de ajuste con lo observado en la realidad.

El perfil toxicológico (*PT*) es un término muy subjetivo, ya que es dependiente del criterio que se use para evaluarlo. Así, para el cálculo del *PT* se seleccionaron sólo cuatro parámetros, a los cuales se les asignaron los factores de ponderación (Cuadro 2), con un valor de *PT* mínimo de 6 y un máximo de 24. Dentro de esta ecuación [2], el término *TA* es calculado en base al LD_{50} para aves (pato salvaje), CL_{50} (concentración letal) para peces (trucha arco iris), y el LD_{50} para abejas (abeja

CUADRO 6

Índice de Riesgo Ambiental (*IRA*) calculados para los plaguicidas seleccionados de acuerdo a la eq.[1], usando las propiedades de los agroquímicos (Cuadro 3) y los valores de *PT* de acuerdo a los valores asignados en el cuadro 1.

Plaguicidas	Persistencia <i>P</i>	Lixiviación <i>L</i>	Volatilidad <i>V</i>	Perfil toxicológico <i>PT</i>	Dosis	<i>IRA</i>
Hexazinona	4	4	1	2	4	44
Diuron	2	2	1	3	3	24
Mancozeb	1	1	2	2	4	24
Simazina	2	3	1	2	3	24
Carbaryl	1	1	2	3	3	21
Terbufos	1	1	4	4	2	20
Captan	1	1	1	2	4	20
Pendimetalina	2	1	3	3	2	18
Clorpirifos	1	1	3	4	2	18
Metolaclo	1	2	3	2	2	16
Atrazina	2	3	1	2	2	16
Aminotriazol	1	1	1	2	3	15
Glifosato	1	1	1	1	3	12
Malation	1	1	2	2	2	12
Imazethapyr	3	4	1	1	1	9
Paraquat	4	1	1	3	1	9
Dimetoato	1	2	2	3	1	8
Benomilo	3	1	1	3	1	8
Metsulfuron	1	3	1	2	1	7
2,4-D	1	2	1	3	1	7
Diclofop-metil	1	1	2	3	1	7
Mesotrione	1	1	1	2	1	5

melífera) ponderados de acuerdo al Cuadro 2 y sumados a los otros términos de *PT*.

La clasificación de la volatilidad de los plaguicidas que se propone (Cuadro 1) es resultante de una simplificación del cálculo de la tasa de disipación de los plaguicidas desde el suelo, en base al peso molecular de los compuestos y su presión de vapor.

Tomando cada uno de los parámetros de las ecuaciones [1] y [2], y asignándoles los factores de ponderación según el Cuadro 1 y 2 de acuerdo a las propiedades físico-químicas y toxicológicas de los plaguicidas (Cuadro 3 y 4) se obtiene un valor de *IRA* para cada uno de los productos seleccionados para ser sometidos a comparaciones relativas (Figura 2). El *IRA* permite dos tipos de análisis, primero, los valores de *IRA* indican en forma relativa qué producto presenta un mayor riesgo de uso respecto a otro (*P*, *L*, *V* y *D*), y cual sería su posible impacto si llega a un medio ambiente acuático (*LogK_{ow}*, *Rfd*, *LD₅₀*, y *TA*); y en segundo lugar, permite saber cuál es el punto crítico o la característica (Ej: lixiviación, persistencia, etc...) que hace a un compuesto más riesgoso que otro.

Si se observa el caso de los herbicidas Simazina y Diuron, dos productos que en general muestran similar espectro de control, y pueden ser usados indistintamente en ciertos rubros productivos (Ej: viñedos), presentan el mismo valor de *IRA* (Cuadro 6; Figura 2). Sin embargo, Simazina presenta un mayor riesgo de lixiviación que Diuron, lo cual nos indica que en lugares con condiciones predisponentes a la lixiviación (suelos arenosos, arcillas plásticas, bajo niveles de materia orgánica y napas de agua superficiales) Diuron sería una elección más racional que Simazina. Ahora, si el problema es que en los alrededores del sitio de uso existen sectores de fauna, y el lugar

no es predisponente para la lixiviación, y pensando en una posible contaminación de aguas superficiales (escurrimiento superficial y/o deriva) Simazina sería una mejor selección dado que su toxicidad a especies acuáticas como la trucha arco iris es menor que la de Diuron (Cuadro 5).

Otro ejemplo es la comparación de Clorpirifos y Carbaryl, dos insecticidas utilizados para el control de la polilla de la manzana (*Cydia pomonella*). Claramente Carbaryl es un producto que posee un *IRA* estimado mayor que Clorpirifos (Cuadro 6 y Figura 2), lo que se debe en gran medida a la mayor dosis empleada en el caso de Carbaryl. Sin embargo, si se considera el impacto que podría producir uno u otro insecticida sobre la fauna y las cadenas tróficas, claramente la opción de Carbaryl pasa a ser adecuada, resultado de su menor *K_{ow}* y de su baja toxicidad en aves, trucha arco iris y abejas, aunque su valor de *IRA* sea mayor.

Este tipo de análisis, y de una mayor profundidad usando el índice propuesto, son de una cierta facilidad al seguir el desglose de cada uno de los términos del *IRA*, lo que no significa que se debería hacer un análisis tan simplista, como sólo comparar un término aislado del *IRA* para así emitir un juicio. Así, si se comparan dos herbicidas y uno presenta una mayor persistencia en el suelo respecto a otro, no sería correcto decir que el primero no es adecuado, ya que sólo eso no da una real apreciación del riesgo que tendría la utilización de algún plaguicida. Así destaca, el caso de Paraquat, herbicida que en el análisis del *IRA* realizado presentó dos puntos "negativos". El primero fue su alto valor de perfil toxicológico, dado principalmente por su *Rfd* y *LD₅₀*, características por las cuales siempre ha sido cuestionado y se le ha considerado como un plaguicida "peligroso". El segundo punto negativo, es su alta

persistencia. Sin embargo, la persistencia, en este caso, se debe analizar desde diferentes puntos de vista. Su alta persistencia, caracterizada por valores de TD_{50} tan altos como 10 años, está dada por una fuerte y casi irreversible adsorción al suelo, lo que se traduce en que su bio-disponibilidad, o sea la cantidad de producto en solución, que puede tener un efecto sobre organismos vivos, sea extremadamente baja. Lo anterior indica que en este caso particular, su fuerte adsorción, que da como efecto una gran persistencia y nula movilidad, sería un aspecto positivo, si se considera el potencial de contaminación de aguas.

Claramente queda reflejado que un producto que presente un mayor valor de *IRA* no quiere decir que es nocivo, y que por lo tanto debiera ser eliminado de los planes de manejo, sino que, al contrario, el *IRA* nos está dando una señal de que dicho producto debe utilizarse con mayor precaución, y en caso de ser expuesto a condiciones predisponentes, se debería reemplazar por otro plaguicida equivalente en cuanto a efectividad, y que sea más "amistoso" en los en los respectivos términos del *IRA* que sean críticos.

Finalmente, los autores desean indicar que esta propuesta de análisis de riesgo ambiental, si bien ha considerado un número importante de procesos y factores envueltos en la dinámica de los compuestos químicos de uso agrícola en el ambiente, no es excluyente y lógicamente puede ser perfeccionable. Se ha buscado entregar un esquema de racionalización de las múltiples propiedades de los plaguicidas y de la interacción con el ambiente, tratando de simplificar muchas de las relaciones y conceptos involucrados, con el fin

de que personas no relacionadas íntimamente con estos conceptos, puedan realizar sus propias comparaciones de riesgo ambiental ante cualquier tipo de plaguicida. Es necesario establecer que cualquier producto al no ser usado en forma correcta, presenta un riesgo para la salud, animal y humana, y para el ambiente. Por otra parte, no se puede afirmar que un plaguicida con una toxicidad mayor será siempre más nocivo, al compararlo con otro de menor toxicidad, ya que el primero podría ser menos móvil en el suelo, y por ende, el riesgo de que llegue a las napas de agua será mucho menor. Todas estas comparaciones se hacen en el buen entendimiento que los plaguicidas se estén usando correctamente. En la actualidad, en países desarrollados, el consumidor está dispuesto a pagar más por un producto que se demuestre que protege al ambiente y a la biodiversidad. Así, la preocupación va más allá de solamente conocer si algún plaguicida supere o no los límites de residuo permitidos, sino que es necesario demostrar que la producción es ambientalmente sostenible en el lugar mismo donde se produce.

En general, el conocimiento que se tiene sobre el riesgo que implica el uso inadecuado de los plaguicidas sobre la salud de los usuarios, consumidores, fuentes de agua y de la vida salvaje es adecuado. Sin embargo, toda esta información no es totalmente extrapolable de una región a otra, por lo cuál para ir disminuyendo esa brecha se hace necesario desarrollar trabajos científicos multidisciplinarios, con el fin de poder conocer los factores propios de nuestra realidad que están determinando el riesgo e impacto real que los plaguicidas producen. ■

PORTADA :

“REINJERTACION EN POMACEAS”

1.- En la propagación de árboles frutales, la variedad se obtiene, mantiene o en su defecto puede ser cambiada, mediante la injertación (primera instancia, en el vivero) o la re-injertación (segunda instancia, en el vivero o en el huerto). Las injertaciones y las reinjertaciones son sistema de propagación "agámicos", es decir, sin la intervención de la fecundación, sino que simplemente en forma vegetativa mediante la colocación de una púa o yema en el porta-injertos, se mantendrán inalterables las características de la "variedad deseada". Esto permite, utilizando el mismo tronco y sistema radicular, ejecutar "cambios varietales" para no perder las características comerciales del huerto.

2.- El tronco o ramas a "reinjertar" son decapitados (tijerón o serrucho podador) y con un machete afilado, ojalá con un golpe "seco", se les hace una hendidura central y profunda en donde se ubicarán la o las púas. Al momento de colocarla o ubicarlas, con la ayuda de un cuchillo o cortaplumas muy afilado, se procede a suavizar los cortes, desastillar la hendidura, rebajar exteriormente la corteza, etc. Preparadas las púas, de 3 a 4 yemas cada una, con un corte en doble bisel en la base, y con la ayuda de una "cuña" se procede a abrir la hendidura para



facilitar la colocación de éstas (tratar de evitar deshidrataciones y oxidaciones del material).

3.- El éxito del prendimiento en la operación se basa principalmente en hacer coincidir zonas en activo crecimiento celular (*Cambium*), tanto del tronco o porta-injerto, como el de las púas. El cambium es tejido meristemático, y como tal se encuentra en continuo y activo crecimiento, por lo tanto, es capaz de producir la unión de las partes o re-injertación propiamente tal. En la

práctica el cambium se encuentra ubicado entre la corteza y la madera del árbol, rama o de la misma púa. Para evitar que se mueva este trabajo, debe amarrarse firmemente con la ayuda de una amarra de plástico, género o lisa y llanamente de papel engomado. A veces, se puede atar ramas o arcos construidos con maderas flexibles, de tal forma que eviten que pájaros puedan desarmar el trabajo. Normalmente después de estas amarras, se aplica un compuesto que impermeabilice las heridas, se le conoce como "mástico" (mezcla de cera de abejas, pez castilla y grasa animal) el que además le confiere dureza y flexibilidad, salvando las inclemencias climáticas.

4.- En la cuarta foto un árbol reinjertado desde hace algunos años. Para avalar una mejor unión o prendimiento, se puede recurrir al uso de tutores que protegen la púa, minimizando la acción perjudicial del viento, evitando cambios de ubicación, acción perjudicial de terceros, etc. Las púas serán capaces de formar "callos" con los que la nueva copa se pegará al porta-injerto, reconstituyéndose el complejo y perfecto sistema vascular por el que el árbol se alimenta.