

Dinámica de insecticidas en frutales

POR CHRISTIAN VOLOSKY, SIDAL S. P. A. Y EDUARDO PINTO, ANASAC CHILE S.A.

Una de las principales causas de las ineficiencias en los sistemas agrícolas son las referidas al desconocimiento, por parte del usuario, de la dinámica de los plaguicidas en la planta y cuánto impactan factores como la naturaleza de los productos, sus características físico-químicas y formulación en su comportamiento en la planta y en el ambiente. En este artículo se entregan antecedentes que permitirán tener un mejor entendimiento de las variables que deben ser consideradas a la hora de elegir y aplicar los insecticidas.

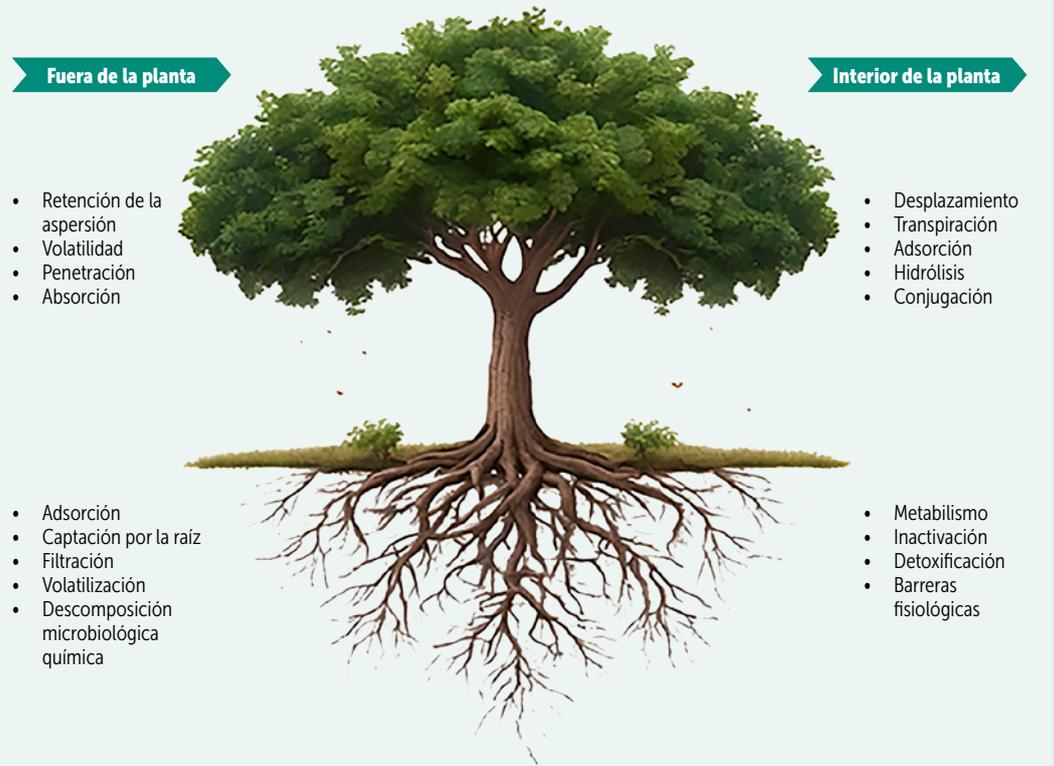
BARRERAS Y PROBLEMAS DE INGRESO

Como resultado de procesos de escurrimiento, evaporación, deriva y/o volatilización, gran parte de la aplicación de insecticidas no es interceptada por la planta, y una proporción significativa de estos compuestos no logra ingresar o depositarse en el tejido vegetal (figura 1). Algunos autores han llegado a plantear que menos del 50% del producto aplicado llega al frutal y solo una ínfima fracción de esa cantidad, logra asociarse a su sitio de acción en el insecto¹.

Es usual que la elección del plaguicida se realice únicamente bajo el criterio de sus tolerancias, sin atender los requerimientos de la molécula para un óptimo desempeño. Así, es común observar, por ejemplo, aplicaciones de productos sistémicos en momentos de baja actividad de traslocación en el frutal, lo que sin dudas impactará en su cometido.

El adecuado conocimiento de la naturaleza de los insecticidas será clave para realizar una óp-

Figura 1. Ineficiencias de los insecticidas en la planta (adaptado de Stephenson G. y Solomon K., 2014).



tima elección de las moléculas de acuerdo a las condiciones imperantes en el cultivo, de manera de incrementar su eficiencia y niveles de control. Así, existen moléculas que no necesitan ingresar al mesófilo para actuar, pues como respuesta a sus características físico-químicas, quedan retenidas en las porciones cerosas de hojas y frutos; mientras que otras, con características diferentes a las anteriores, pueden ingresar y movilizarse por el torrente vascular de la planta o a través del espacio extracelular. En consecuencia, los plaguicidas se ven enfrentados a una compleja red de barreras físicas, como la cutícula, pared y membrana celular, cada una con diferentes propiedades, que interactúan con

las características del compuesto, determinando así su movilidad en el tejido vegetal. De esta manera, aquellos plaguicidas de naturaleza lipofílica serán activamente retenidos por las ceras cuticulares (ej., insecticidas de contacto, acaricidas), mientras que productos con propiedades hidrofílicas, sortearán dicha barrera e ingresarán al sistema vascular de la planta (ej., insecticidas sistémicos)^{2,3}.

Por lo tanto, conocer la naturaleza de los plaguicidas permitirá comprender de mejor manera sus vías de ingreso al vegetal y realizar la mejor selección en atención a las condiciones imperantes: tipo de plaga, biología, fenología del cultivo, condiciones climáticas, etc. En la figura 2 se

presentan las vías de ingresos de los plaguicidas a la hoja.

Teicher³, indica que la polaridad del ingrediente activo es determinante en la absorción y traslocación a través de las vías apoplástica (xilema) o simplástica (floema), siendo relevante la capacidad de las moléculas para cambiar su polaridad dependiendo del pH imperante en la ruta de ingreso. De esta manera, el apoplasto presenta un pH ácido (pH ~4,5) y conduce al xilema (moderadamente ácido: pH 5,5 a 6); mientras que el simplasto es levemente alcalino (pH 7 a 7,5) y conduce al floema (moderadamente alcalino: pH ~8). Dicho esto, para estimar la absorción y movilidad de los plaguicidas en la planta, es fundamental cono-

cer algunos parámetros como su lipoficidad (K_{ow}) y constante de disociación ácida (pK_a).

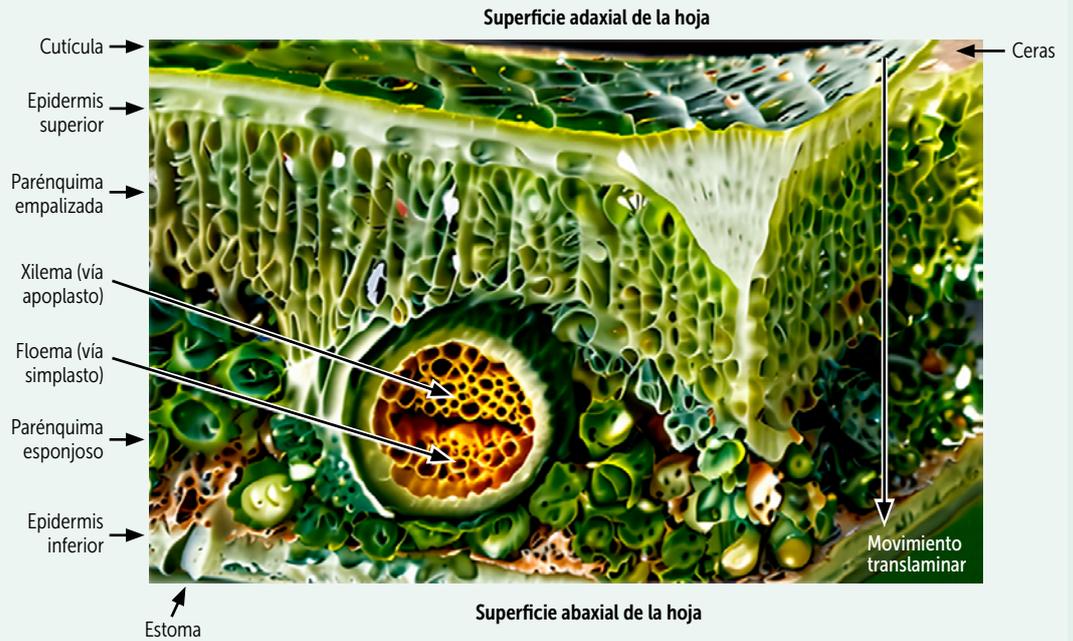
Lipoficidad: representa la afinidad de un compuesto por un ambiente lipofílico, permitiéndole ser permeable a través de las membranas biológicas. Se mide como el coeficiente de partición octanol-agua (K_{ow}), vale decir, el balance entre la fracción soluble en lípidos y agua de una molécula y es expresada en escala logarítmica ($Log P$).

Constante de disociación ácida: describe la fuerza de un ácido y normalmente se expresa como pK_a , valor que define el pH al que una molécula es neutra. En otras palabras, determina la igualdad de la proporción de las diferentes formas presentes (disociado y sin disociar) a un pH dado.

Fue a principios de la década de 1990, cuando Bromilow y colaboradores⁴ presentaron un revolucionario modelo que, basándose en los parámetros K_{ow} y pK_a , permitía predecir la movilidad de los plaguicidas en la planta a pH fisiológico. En este modelo teórico, los autores fijaron la barrera entre productos sistémicos y de contacto en el valor $Log P$ 3,2; mientras que explicaron la acción sistémica xilemática y/o floemática, en función al valor pK_a de los compuestos, donde la disminución de dicho parámetro es indicativo de una mayor disociación del ingrediente activo y un consecuente aumento de la sistemia en la planta (figuras 3, 4 y 5).

Si utilizamos el modelo de Bromilow⁴ para analizar los principales acaricidas e insecticidas registrados en Chile para el cultivo del cerezo, observaremos que los primeros presentan altos valores K_{ow} ($Log P$) (figura 3), los que oscilan entre 3,4 y 6,8. Esta cualidad les confiere una alta afinidad con las ceras presentes en la cutícula, quedando retenidos en ellas y explicando su acción de contacto u ocasionalmente translaminar (ej., abamectina). Dicha propiedad de

Figura 2. Esquema de vías de ingreso del ingrediente activo, contacto, sistémico o translaminar.



los acaricidas permite controlar efectivamente a los ácaros que se ubican y alimentan en el follaje, sin embargo, al carecer de acción sistémica, el efecto de la dilución por crecimiento del tejido vegetal puede llegar a afectar su periodo de protección efectiva en épocas de activo crecimiento vegetativo.

A diferencia de lo que ocurre en el grupo de los acaricidas -exclusivamente con acción de contacto-, hay un importante número de insecticidas con propiedades

sistémicas, siendo quizás el caso más conocido el grupo de los neonicotinoides, cuyos representantes tienen propiedades altamente hidrofílicas, que les confieren su atributo sistémico ($Log P$: -0,549 a 0,8; pK_a : 0,4 a 12,6). Estos insecticidas, luego de depositarse en la hoja, atraviesan lentamente la cutícula y, una vez han superado esta barrera, difunden rápidamente por la pared y membrana celular hasta alcanzar el xilema y/o floema. En este sentido, ace-

tamiprid, imidacloprid y thiamethoxam son capaces de movilizarse por ambas vías, situándose muy cerca del óptimo floemático propuesto por Bromilow *et al.*¹. Por su parte, dinotefuran presenta sistemia xilemática y floemática, pero con una menor disociación ácida (pK_a 12,6), lo que lo aleja del óptimo movimiento floemático, mientras que clothianidin -metabolito principal de thiamethoxam- únicamente presenta sistemia vía xilema.

Figura 3. Modelo de Bromilow para la predicción de la movilidad de acaricidas registrados en cerezo, adaptado de Bromilow *et al.* (1991). ABA: abamectin, ACQ: acequinocyl, ACT: acrinathrin, BZT: bifentazate, ETX: etoxazole, SDF: spirodiclofen, SMF: spiromesifen, FPM: fenproxiymate, FPT: fenpropathrin, FZQ: fenazaquin, MBT: milbemectin y PDB: pyridaben.

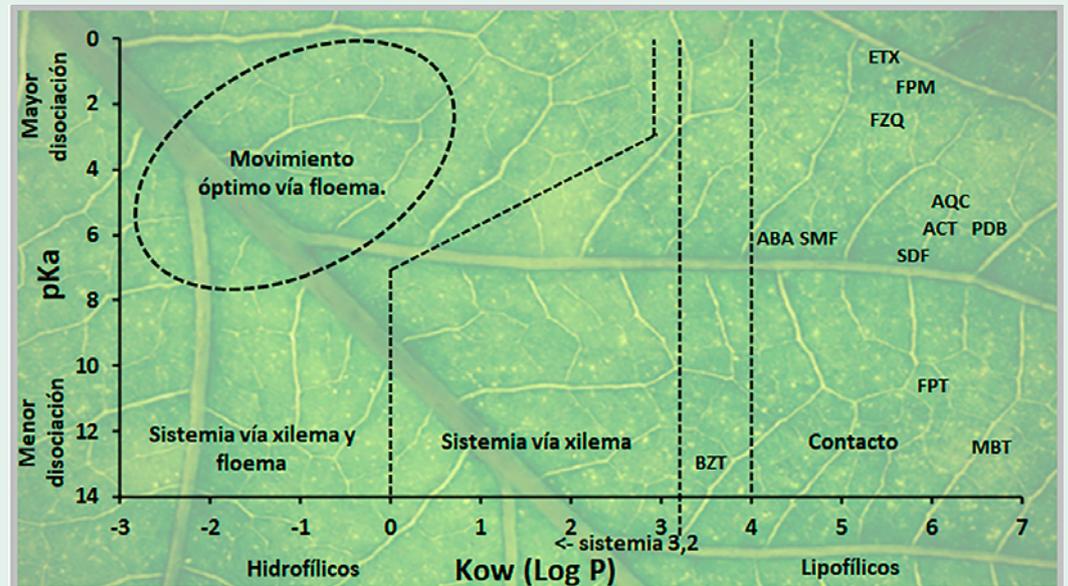
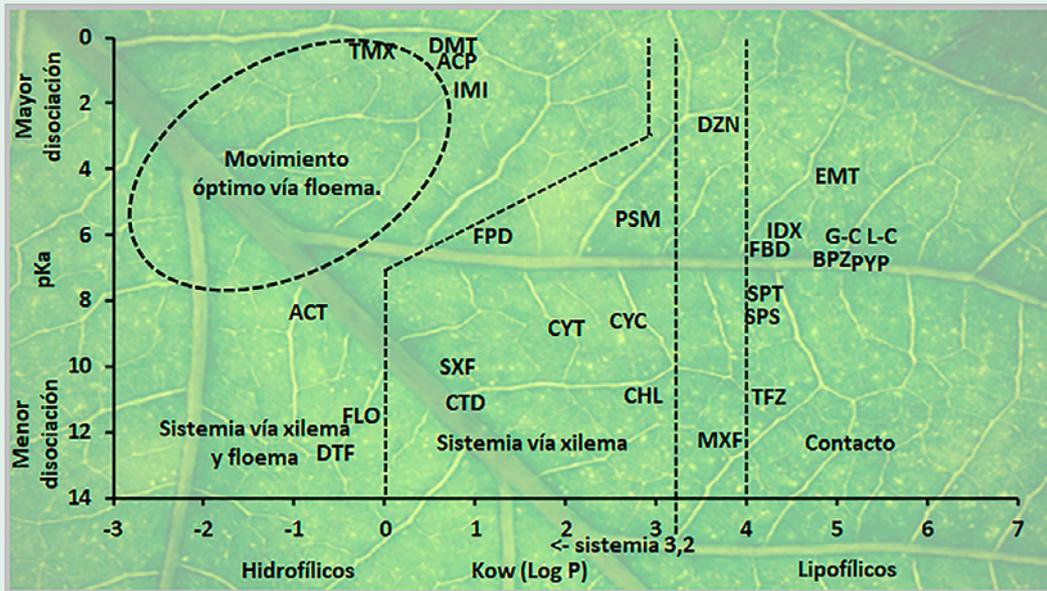


Figura 4. Modelo de Bromilow para la predicción de la movilidad de insecticidas registrados en cerezo, adaptado de Bromilow et al. (1991). ACP: acetamiprid, ACT: acephate, BPZ: buprofezin, CHL: chlorantraniliprole, CTD: clothianidin, CYC: cyclaniliprole, CYT: cyantraniliprole, DMT: dimethoate, DTF: dinotefuran, DZN: diazinon, EMT: emamectin, FBD: flubendiamide, FPD: flupyradifurone, FLO: flonicamid, IMD: imidacloprid, ¹IDX: indoxacarb, ¹L-C: L-cyhalotrina, ¹G-C: G-cyhalotrina, MXF: methoxyfenozide, PSM: phosmet, SPS: spinosad, SPT: spinetoram, SXF: Sulfoxaflor, TFZ: tebufenozide y TMX: thiamethoxam.



¹ activo sin disociación ácida en condiciones ambientales. Valores de pKa < 4 para bases y > 8 para ácidos, no son relevantes en un contexto ambiental (Teicher, 2022), se utiliza un valor pKa de 6 para fines gráficos.

La diamida antranílica cyantraniliprole, de reciente ingreso a nuestro país, presenta propiedades medianamente hidrofílicas (Log P: 2.02 y pKa: 8.8), con sistema vía xilema, sumado a un interesante efecto translaminar, explicado por su movimiento a través de vías intracelulares. Propiedades similares se observan para chlorantraniliprole (Log P: 2,86 y pKa: 10,88), mientras que

la diamida ftálica flubendiamide presenta acción exclusivamente de contacto, explicada por su mayor Kow (Log P: 4,14).

Buprofezin (Log P: 4.93 y pKa: 6.7) y pyriproxyfen (Log P: 5.37 y pKa: 6.87), son insecticidas con propiedades lipofílicas y acción eminentemente de contacto, al igual que los piretroides lambda-cyhalotrina y gamma-cyhalotrina (Log P: 5,5 y 4,96, respectivamen-

te) y la oxadiazina indoxacarb (Log P: 4,46). La conocida molécula spinosad, presenta propiedades lipofílicas, acción de contacto y un interesante efecto translaminar, explicado por su movimiento a través de vías extracelulares (Log P 4.1 y pKa 8).

Un caso interesante son los denominados “pro insecticidas”, este término describe a aquellos insecticidas que requieren de una

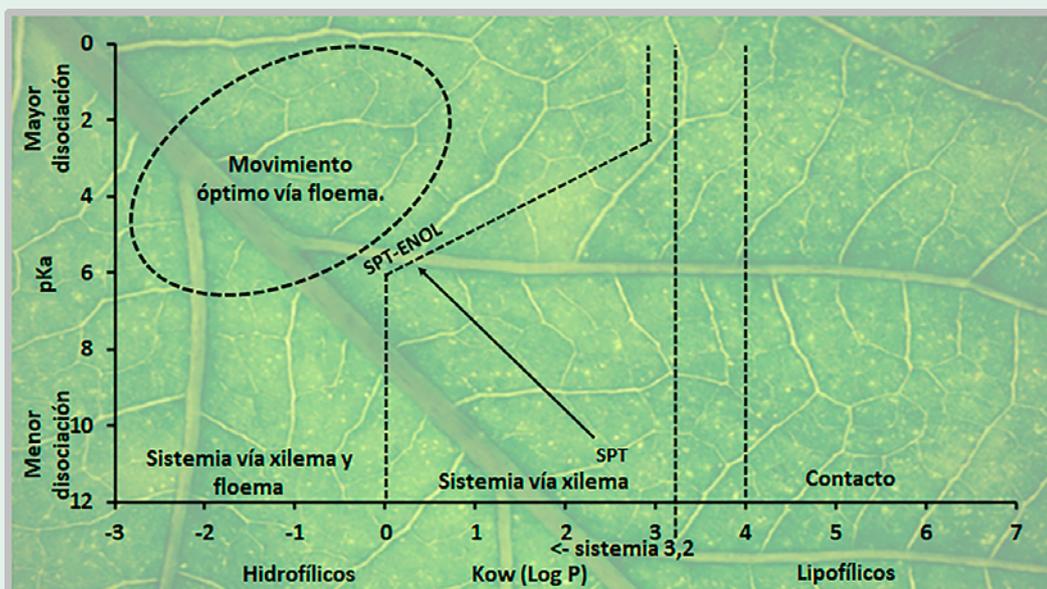
Bibliografía

¹Yu, S. J. (2015). The Toxicology and Biochemistry of Insecticides. Second Edition. CRC Press Taylor & Francis Group. 358 p.
²Sthepson G. y Solomon K., (2014). Plaguicidas y ambiente. Editorial UCR. 580 p.
³Teicher H. (2022). Pesticides & Biopesticides. Formulation & Mode of Action. The Labcoat Guide to Crop Protection Series, Nº 1. 132 p.
⁴Bromilow, R.H. y Chamberlain, K. (1991). Pathways and Mechanisms of Transport of Herbicides in Plants. In: Kirkwood, R.C. (eds) Target Sites for Herbicide Action. Topics in Applied Chemistry. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-2433-9_9.

transformación de sus formas parentales para ejercer su acción biocida. Un ejemplo muy conocido es spirotetramat (Log P 2,51; pKa 10,7), el cual mediante hidrólisis es metabolizado a spirotetramat-enol (Log P 0,3; pKa 5,2). Este cambio, aumenta la hidrofílicidad y disminuye su constante de disociación ácida, incrementando la sistema vía xilema-floema respecto de la molécula parental, situándolo muy cerca del óptimo floemático propuesto por Bromilow⁴.

Como se indicó en este artículo, las exigencias actuales y futuras hacen imprescindible optimizar los recursos y racionalizar el uso de los plaguicidas en los sistemas productivos agrícolas. Entender el manejo fitosanitario más allá de una mera elección de activos posicionados en una secuencia que no genere problemas de residuos, es clave para lograr este objetivo.

Figura 5. Modelo de Bromilow para la predicción de la movilidad de insecticidas registrados en cerezo, adaptado de Bromilow et al. (1991) SPT: spirotetramat, SPT-ENOL: spirotetramat-enol.



Contacto

Christian Volosky
 Director de extensión y transferencia tecnológica
 cvolosky@sidal.cl
www.sidal.cl



Eduardo Pinto
 Jefe de línea I+D Insecticidas y Bioinsecticidas
 epinto@anasac.cl
www.anasac.cl

