

ARTÍCULO DE OPINIÓN

LOS BIOCIDAS SINTÉTICOS “CREAN” RESISTENCIA EN INSECTOS Y ÁCAROS

SYNTHETIC BIOCIDES “CREATE” INSECT AND MITE RESISTANCE

Al abordar temas de resistencia de artrópodos a biocidas sintéticos, como los insecticidas y los acaricidas, la generalidad de estudiantes de las Ciencias Agrícolas, inclusive algunos profesionales Ingenieros Agrónomos, emite el comentario “los insecticidas crean resistencia”; o, tal o cual insecticida “crea resistencia”. Complementariamente, si en algún artículo se determinan poblaciones de organismos plaga resistentes a determinado formulado, ello hace que se lo descarte inmediatamente del portafolio de la empresa agroproductora, incluso si el estudio se realizó en otro continente.

Aunque la resistencia de artrópodos a biocidas se define como “un cambio hereditario en la sensibilidad de una población de plagas que se refleja en el fracaso repetido de un producto para lograr el nivel de control esperado cuando se usa de acuerdo con las recomendaciones de la etiqueta para esa especie de plaga”, es necesario establecer que la resistencia a biocidas es una ocurrencia natural y parte de los procesos evolutivos de adaptación (1), por lo que, además, es preexistente y hereditaria; es decir, en una población natural existen unos cuantos insectos y ácaros resistentes, coexistiendo con los organismos de la población mayoritariamente susceptible.

Si bien, según el Comité de Acción contra la resistencia a Insecticidas-IRAC, los insectos “tienen el potencial de desarrollar resistencia” a todas las formas de insecticidas, incluidos: químicos sintéticos, extractos biológicos, proteínas, péptidos, feromonas, virus y materiales no orgánicos; esto debe entenderse como que, aunque la resistencia se genera por alguna modificación genética, fisiológica

o bioquímica, no se genera en el artrópodo precisamente al momento de entrar en contacto con un biocida.

En este escenario, surge la inquietud de que, si existen individuos resistentes, en medio de los susceptibles, ¿por qué no dominan la población y, al contrario, son originalmente mayoritarios los individuos susceptibles? La razón es que los individuos resistentes sobreviven en bajo número debido a que presentan lo que se denomina “costo adaptativo”; entiéndase que, aunque poseen un mecanismo de resistencia a determinado biocida, desafortunadamente para estos organismos también poseen deficiencias reproductivas, que pueden manifestarse como baja tasa reproductiva, baja proporción de progenie viable y/o largo ciclo de vida, en oposición con sus parientes susceptibles, los cuales tienen una mejor tasa reproductiva, por lo que estos individuos dominan en número en la población, antes de sufrir el efecto de cualquier biocida.

Ahora, el que un biocida o varios dejen de ser efectivos contra una población plaga; o, visto de otra forma, una población “resistente” vaya percibiéndose como creciente en número, se explica por la presión de selección que ejerce el personal técnico a cargo de la sanidad del cultivo, por la cual los individuos susceptibles son eliminados por el mismo mecanismo de acción (MdA) del biocida aplicado continuamente, mientras que los únicos que sobreviven son aquellos capaces de detoxificarse del mencionado biocida; en este escenario, al encontrarse entre sobrevivientes se multiplican entre ellos, generando una nueva

población compuesta exclusivamente por individuos resistentes a los biocidas utilizados por la presión de selección ejercida.

La denominada presión de selección termina seleccionando individuos resistentes, al usar continuamente el mismo biocida inicialmente efectivo (mismo MdA), una y otra vez, bajo el convencimiento de: “para qué usar otro producto si se puede usar el que ya probó ser efectivo para suprimir a la plaga X”.

Como se explicó antes, al morir los susceptibles solo quedan para multiplicarse entre sí los resistentes al biocida antes efectivo; así que, al percibir que los artrópodos “se están volviendo resistentes” y ya no perecen en su totalidad como al inicio, el productor o técnico fitosanitario eleva la dosis comercialmente recomendada, ejerciendo así mayor presión de selección. A continuación, al ver que ni la dosis incrementada elimina satisfactoriamente a la plaga, entonces opta por aumentar la frecuencia de las aplicaciones, con el mismo biocida, ejerciendo entonces mayor presión de selección. Finalmente decide aplicar mezclas de productos, eventualmente con el mismo mecanismo de acción (MdA, en la página del IRAC, en inglés, Mode of Action-MoA), ejerciendo todavía más presión de selección sobre la población plaga, resultando seleccionados, como se dijo anteriormente, solo los individuos resistentes, que finalmente, además de resistencia a un MdA terminarán eventualmente manifestando resistencia cruzada, con lo cual el abanico de soluciones fitosanitarias se reduce, dejando a técnicos y productores prácticamente desarmados ante las plagas.

Cuando un organismo posee un mecanismo genético de resistencia metabólica o bioquímica, le resulta fácil detoxificarse ante formulados con similar mecanismo de acción. Lo anterior se complica cuando el individuo resistente posee más de un mecanismo de resistencia, pues entonces es resistente a varios agentes con semejanza estructural que afectan en un punto de acción común, por lo que se considera que comparten un mismo mecanismo de acción en la población, percibiéndose como una “resistencia cruzada”; en cuyo caso, es inadmisibles rotar productos con aproximadamente similar sitio de acción, como por ejemplo los neurotóxicos, que

actúen, por ejemplo, neurotóxicos, que actúen en la neurona presináptica (ej.: intervención en el paso de iones de cloruro a través del canal regulado por el ácido gamma amino butírico-GABA, el cual se reserva cerrándose los canales, ocasionando una acumulación de iones cloruro en pre sinapsis), con formulados también neurotóxicos, aunque actúen en la sinapsis (ej.: inhibidores de la acetilcolinesterasa); o, con formulados también neurotóxicos aunque actúen en la neurona posináptica (ej.: interfiriendo los receptores de acetilcolina). Cabe establecer que este tipo de “rotación” sin embargo, si es admitida por el IRAC, si y solo si no existe resistencia cruzada.

La resistencia de los artrópodos insectos y ácaros a los insecticidas y acaricidas, respectivamente, frecuentemente es el resultado de un incremento en el metabolismo (actividad enzimática) de la plaga. Este mecanismo de resistencia metabólica no está ligado a ningún punto de acción específico y, por tanto, puede conferir resistencia a insecticidas de más de un grupo de mecanismo de acción (2).

Es importante destacar que los reportes académico-científicos de resistencia de diferentes plagas a determinados biocidas sintéticos (3-9), inclusive resistencia a productos de origen biológico (10), son válidos para las poblaciones de artrópodos de la localidad donde se evaluaron, en los cultivos y circunstancias donde se hizo el estudio que determinó que existía (una población con) resistencia al formulado biocida utilizado en la evaluación. Sin embargo, se debe rescatar de esos estudios, el conocimiento de que, entre la población natural de la plaga estudiada, existen mecanismos de resistencia al formulado, por lo que se debe, imperativamente, usar dicho biocida exclusivamente en rotación con biocidas con diferente mecanismo de acción para no desarrollar una población resistente.

Adicionalmente, cabe destacar que los biocidas evaluados como ineficaces para poblaciones resistentes en determinado cultivo y localidad, mantienen su capacidad de matar, a las dosis recomendadas en la etiqueta, pero a organismos de poblaciones susceptibles, en cultivos con baja presión de selección con biocidas, en otras localidades, en otros cultivos, en otras circunstancias. Por lo expuesto, si en el proceso productivo se evita la presión de selección antes mencionada y se

rotan biocidas según su Mda, las moléculas de los formulados biocidas no solo volverán a eliminar la población plaga de los organismos susceptibles, sino también de los resistentes, por los alternativos Mda utilizados en la rotación.

Por otra parte, ante la inquietud de la posibilidad de que poblaciones resistentes puedan volver a ser susceptibles, hay que establecer que solo en el caso de que el tipo de resistencia sea “recesiva” cabe esta posibilidad, al cruzarse individuos resistentes con susceptibles mantenidos en hospederos sin presión de selección o, por migración de poblaciones susceptibles. Lo que acontece en este tipo de resistencia es que, para que un organismo sea resistente tiene que ser homocigótico recesivo (rr), por lo que en un cruzamiento de individuos homocigóticos susceptibles (SS) con homocigóticos resistentes (rr), el 100 % de la población será heterocigótica (Sr), o sea, susceptible. En el caso de que un heterocigótico susceptible (Sr) en el tipo de resistencia recesiva, se cruce con un homocigótico resistente (rr), la progenie será 50 % susceptible (Sr) y 50 % resistente (rr). Finalmente, en el caso de que individuos heterocigóticos (Sr) se crucen entre sí, 25 % de la población será homocigótica susceptible (SS), 50 % será heterocigótica susceptible (Sr) y, un 25 % será resistente homocigótico (rr); generando así una población de organismos 75 % susceptibles. Lo anterior coadyuva a explicar, por qué en la naturaleza sin presión de selección con biocidas, el mayor número de individuos es susceptible.

Por lo anterior, en el caso de resistencia de tipo recesiva, se fomenta como parte de la ficha técnica de la semilla, que se tienen que establecer, en el caso particular de proveedores de semillas de cultivos genéticamente modificados, como las variedades de algodón, soya o maíz Bt (cuyas células producen la toxina de *Bacillus thuringiensis*), que se tienen que establecer cultivos refugio, conocidos como “áreas de refugio” (11), donde crece el mismo cultivo pero no Bt, ni expuesto a aplicaciones foliares de *B. thuringiensis*, para permitir la reproducción de plagas lepidópteras a partir de poblaciones silvestres no resistentes (SS y Sr), de modo que ocurra la cópula con los individuos resistentes (rr) y generen una progenie susceptible que, al pasar al cultivo, sean sensibles al tejido vegetal transgénico (Bt).

En conclusión, por lo expuesto, en realidad un formulado no crea resistencia y, menos, al momento de aplicar el producto; sino que, el productor o el técnico a cargo de la sanidad vegetal crea una población resistente debido a una gestión de supresión de plagas inconveniente (aplicando presión de selección), lo que en poco tiempo fomenta la reproducción de individuos con resistencia preexistente, generando así una población resistente, que hereda esta condición a su progenie, al no haber organismos susceptibles con los cuales reproducir susceptibles.

REFERENCIAS

- [1] IRAC. Insecticide Resistance Action Committee Insecticide Resistance Training Basic Module: Crop Protection [Internet]. 2020. p. 1–16. Available from: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://irac-online.org/documents/insecticide-resistance-training-basic-module/>
- [2] Committee Insecticide Resistance Action. Clasificación Mda de insecticidas y acaricidas. pdf. Committee Insecticide Resistance Action; 2022. p. 28.
- [3] Arthur V, Nicastro RL, Sato ME, Machi AR. Milbemectin and etoxazol acaricide resistant and susceptible strains of *Tetranychus urticae* (Trombidiformes: Tetranychidae) are equally radiosusceptible and unable to reproduce when irradiated with 400 Gy. Florida Entomol — [Internet]. 2016 [cited 2018 Jun 13];99(2). Available from: <file:///C:/Users/Usuario/Documents/DISCIPLINAS ciclo 3/Resistencia de artrópodos/Resistencia de ácaros irradiados a Milbemectin y Etoxazol.pdf>
- [4] de JCM, R.P.T. B, de JTJ, P.G.L. K, der ME van. Journal of applied entomology = Zeitschrift für angewandte Entomologie. [Internet]. Journal of applied entomology. Blackwell Wissenschafts-Verlag; 1993 [cited 2017 May 31]. Available from: [http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=DE19940004764#.WS9IQQuZd1c.mendeley&title=Population growth and survival of western flower thrips Frankliniella occidentalis Pergande \(Thysanoptera, Thripidae\) on different chrysanthemum cultivars. Two methods for measuring resistance.&description=Looking for Agricultural Science and Technology Information?](http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=DE19940004764#.WS9IQQuZd1c.mendeley&title=Population growth and survival of western flower thrips Frankliniella occidentalis Pergande (Thysanoptera, Thripidae) on different chrysanthemum cultivars. Two methods for measuring resistance.&description=Looking for Agricultural Science and Technology Information?)

- [5] Bellows TS, Fisher TW. Handbook of biological control : principles and applications of biological control [Internet]. Academic Press; 1999 [cited 2017 Oct 23]. 1046 p. Available from: <https://books.google.com.br/books?id=u2X-rfgU0ewC&pg=PA131&lpg=PA131&dq=disinfection+on+Spodoptera+eggs&source=bl&ots=QjYIvG6l1U&sig=IMlBZ99COCn60GFoQuWAT1YsqLE&hl=pt-BR&sa=X&ved=0ahUKEwjF17L84lbXAhVkwQ6AEIOTAF#v=onepage&q=disinfectiononSpodop>.
- [6] Dhooria MS. Fundamentals of applied acarology. Fundamentals of Applied Acarology. 2016. 1-470 p.
- [7] Horikoshi RJ, Bernardi D, Bernardi O, Malaquias JB, Okuma DM, Miraldo LL, et al. Effective dominance of resistance of *Spodoptera frugiperda* to Bt maize and cotton varieties: implications for resistance management. *Sci Rep*. 2016;6(September):34864.
- [8] Molenaar ND. Genetics, thrips (*Thrips tabaci* L.) resistance and epicuticular wax characteristics of nonglossy and glossy onions (*Allium cepa* L.). Vol. 45, Dissertation Abstracts International, B (Sciences and Engineering). 1984. p. 1075B.
- [9] Sato ME, Veronez B, Stocco RSM, Queiroz MC V., Gallego R. Spiromesifen resistance in *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae): Selection, stability, and monitoring. *Crop Prot* [Internet]. 2016 Nov 1 [cited 2017 Nov 12];89:278-83. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261219416302034>
- [10] Intacta-RR2-Pro. Refugio [Internet]. Web Page. Uruguay: Monsanto Uruguay; 2023 [cited 2023 Jul 24]. Available from: <https://www.intactarr2pro.uy/es-uy/practicas-de-manejo/refugio.html>
- [11] Uruguay M. Intacta RR2 Pro; Refugio. [Internet]. Uruguay: Bayer Corporation Inc.; 2021 [cited 2023 Sep 4]. Available from: <https://www.intactarr2pro.uy/es-uy/practicas-de-manejo/refugio.html>



Docente Titular Agregado 3, de Entomología General, Entomología Aplicada y Manejo Integrado de Plagas, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Central del Ecuador. Vocal por Ecuador de la Sociedad Latinoamérica de Acarología-SLA; Vocal de la Sociedad Entomológica Ecuatoriana-SEE; Miembro de la Organización Internacional de Control Biológico-IOCB.

Obtuvo su doctorado en la Escuela Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"-ESALQ, de la Universidad de San Pablo-USP, Brasil. Su Maestría en Ciencias en Fitoprotección la hizo en la Universidad de las Fuerzas Armadas (tesis en el Centro Internacional de Agricultura Tropical-CIAT). Tiene una Especialización en Floricultura, por la Universidad Central del Ecuador.

Su línea actual de investigación principal es la Determinación de la acarofauna del Ecuador, complementaria con la temática de su tesis doctoral, que abarcó la determinación de la acarofauna del Centro-Norte del Ecuador, en las provincias de Esmeraldas, Manabí, Pichincha, Cotopaxi, Sucumbíos, Orellana y

Napo. Adicionalmente realiza investigación en alternativas sintéticas y biológicas para el manejo de plagas agrícolas, así como en la sistemática de artrópodos agropecuarios. Ex docente de grado en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de las Fuerzas y en la Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas de la Universidad de las Américas. Ha sido docente de posgrado en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, sede Ibarra y en la Universidad Politécnica Salesiana. Consultor nacional en temas de plagas agrícolas y conferencista internacional en temas de Uso racional de insumos agrícolas dentro de Buenas Prácticas Agrícolas.

Entre sus publicaciones consta como autor y coautor de 8 libros y 33 artículos científicos. Ha ocupado el cargo de Director de la Carrera de Agronomía de la Fac. de CC. Agrícolas, UCE, abril 2014 a febrero de 2017; ha sido electo Representante Docente electo por la Carrera de Agronomía, al Consejo Directivo de la Facultad de CC. Agrícolas, UCE; y, actualmente electo, Representante Docente al Honorable Consejo Universitario de la UCE.

Carlos Alberto Ortega-Ojeda
Docente Universidad Central del Ecuador.