

Los átomos en la agricultura: Técnicas nucleares en la investigación de plaguicidas de difusión controlada

Las investigaciones que se llevan a cabo en los Laboratorios de Seibersdorf en virtud de proyectos conjuntos FAO/OIEA promueven el desarrollo de fórmulas de plaguicidas más eficaces, seguras y menos nocivas para el medio ambiente

por **Manzoor Hussain**

Tradicionalmente, el problema de la lucha contra las plagas agrícolas se ha abordado con el desarrollo de plaguicidas nuevos y más potentes. Sin embargo, el uso de plaguicidas no siempre produce la reacción biológica deseada porque no se aplican al objetivo en cantidades óptimas y en el momento preciso.

Cuando se difunde un plaguicida en el medio ambiente, la mayor parte se pierde antes de llegar a su objetivo. Esta pérdida se debe a factores físicos que lo alejan del punto de aplicación, y a la descomposición química. Las pérdidas físicas se deben a la evaporación, al escurrimiento de la superficie de los animales, plantas y suelos, y a la fijación al suelo o la lixiviación. La descomposición química puede deberse a la fotodegradación y la hidrólisis o a rutas biológicas en los microorganismos. De ahí que algunos plaguicidas se descompongan rápidamente, mientras que otros resultan más persistentes y pueden desplazarse del lugar de la aplicación y causar posibles efectos secundarios nocivos, así como contaminación ambiental.

Un mayor conocimiento del público sobre la posibilidad de que los plaguicidas persistentes ocasionen daños a la salud humana y el medio ambiente ha puesto más de relieve la necesidad de eliminar gradualmente estos compuestos y desarrollar plaguicidas más selectivos y menos persistentes. El costo del desarrollo de nuevos plaguicidas ha aumentado y en la actualidad puede ascender a 20 millones de dólares de los Estados Unidos o más. A su vez, este costo se transfiere al consumidor. Como los plaguicidas menos persistentes requieren una aplicación más frecuente, su utilización puede tener un costo prohibitivo, en especial para los países en desarrollo.

Fórmulas de plaguicidas de difusión controlada

En vista del costo y las limitaciones del diseño de nuevos plaguicidas, la industria y los científicos se han dedicado a mejorar la efectividad de los plaguicidas

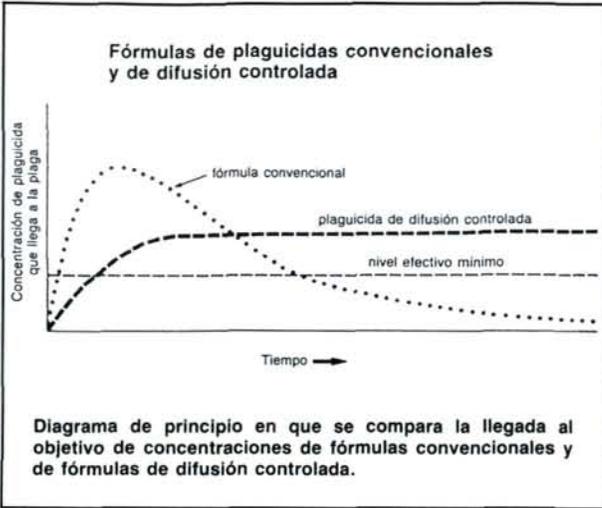
tanto nuevos como viejos. Una forma eficaz de reducir las pérdidas de plaguicidas en el medio ambiente es la utilización de la tecnología de la difusión controlada. En la fórmula de plaguicida de difusión controlada se combinan un plaguicida y un depósito (por lo general una matriz a base de polímeros) para que el plaguicida llegue al objetivo a intervalos controlados durante un período determinado.

La difusión controlada de plaguicidas a partir de sustratos susceptibles a la biodegradación no es nuevo en la naturaleza. Muchas de las plantas superiores han desarrollado sistemas para controlar la vegetación competitiva adyacente mediante un fenómeno conocido por "alelopatía". Por ejemplo, la ausencia de plantas indeseables alrededor de las matas de arándano a raíz de inundaciones de las ciénagas de arándano se atribuye a compuestos herbicidas que se producen en las hojas y se incorporan a la superficie del suelo por lixiviación con el agua. Los mecanismos naturales de difusión controlada producen glucósidos no activos del elemento fitotóxico. Por tanto, es preciso que ocurra una mayor degradación hidrolítica para que se observe el efecto herbicida prescrito. Esto demuestra la forma en que la naturaleza utiliza los sistemas biodegradables de difusión controlada para mantener las concentraciones químicas fitotóxicas.

En los últimos treinta años la industria farmacéutica ha desarrollado con éxito el concepto de difusión controlada de ingredientes biológicamente activos para lograr un uso eficaz y seguro de las drogas y los medicamentos.

La tecnología de la difusión controlada ofrece la oportunidad de mejorar la eficacia de los plaguicidas al protegerlos de las pérdidas ambientales. La cantidad que se disipa en el medio ambiente es sustituida por la cantidad que libera la fórmula hasta lograr un equilibrio. (Véase el gráfico adjunto.) El objetivo es que el plaguicida llegue al lugar de destino a un nivel efectivo y constante durante un período determinado de antemano. La efectividad de la fórmula debe perdurar durante toda la etapa de crecimiento del cultivo, pero no debe llegar al cultivo siguiente en niveles inaceptables.

El Sr. Hussain es Jefe de la Sección de Productos Agroquímicos de los Laboratorios de Seibersdorf, en las cercanías de Viena.



En el caso de una fórmula convencional, el plaguicida se difunde en un período corto para lograr una concentración mayor que el nivel óptimo necesario. A medida que se pierde en el ambiente, la cantidad efectiva se agota rápidamente hasta quedar por debajo del nivel efectivo mínimo. En tal caso sólo se pueden lograr niveles efectivos prolongados repitiendo las aplicaciones.

Un plaguicida puede quedar físicamente atrapado dentro de una matriz inerte como el polímero, o puede unirse químicamente a ésta. El sistema resultante contiene el plaguicida, que puede liberarse por diferentes medios como la difusión, la erosión, la hidratación, la hidrólisis, la biodegradación, la ruptura mecánica y otros. La tasa de difusión depende de la naturaleza del sistema de difusión controlada que se utilice, del mecanismo de difusión de que se trate, y de las propiedades físico-químicas del plaguicida.

Fórmulas de plaguicidas de difusión controlada

Las fórmulas de plaguicidas de difusión controlada pueden dividirse en cuatro categorías principales, a saber:

Deposito de membrana polimérica. Estos incluyen las microcápsulas y las microbandas.

- Las *microcápsulas* pueden ser difundidas en forma de aerosol y por lo general el diámetro de sus partículas oscila entre 5 y 50 micrones. Están compuestas por un núcleo líquido de plaguicida rodeado por una pared polimérica (1).

- *Microbandas*. Este es un sistema tipo emparedado en que el agente activo está contenido en una capa central que constituye el depósito, y rodeado, por encima y por debajo, de dos capas protectoras (2).

Matriz que contiene un plaguicida atrapado físicamente. En este caso, el plaguicida se dispersa o disuelve en una matriz polimérica. Las matrices pueden ser de caucho, cloruro de polivinilo (PVC), mezcla de yeso y cera, resinas acrílicas y de poliéster, acetato de polivinilo (PVA), celulosa, almidón y geles como el alginato y la lignina (3).

Plaguicidas con enlace covalente. En este sistema se combinan por enlace covalente el plaguicida y el polímero que, mediante la disociación (hidrólisis) libera el plaguicida. Los plaguicidas que contienen monómeros también pueden polimerizarse mediante una polimerización adicional (4).

Sistema de gránulos revestidos con plaguicida. Consiste en gránulos de arcilla u otro mineral de aproximadamente 1 mm de diámetro, impregnados con un plaguicida y revestidos con una película de polímeros.

La película de polímeros controla la liberación del plaguicida (5).

Entre las ventajas de las fórmulas de difusión controlada figuran las siguientes:

- Se puede prolongar la duración efectiva de plaguicidas no persistentes.
- La fórmula de difusión controlada permite utilizar menos cantidad de plaguicida durante el mismo período de actividad, lo que disminuye las pérdidas de plaguicida y el número de aplicaciones.
- Se reducen las pérdidas ocasionadas por factores ambientales (evaporación, fotólisis, lixiviación con el agua, degradación debida a factores químicos y microbiológicos) y esto abarata el costo del agente activo.
- Se reduce la contaminación ambiental.
- Se reducen los efectos tóxicos sobre las especies de plantas, mamíferos, aves, peces y otros organismos que no se quiere destruir.
- Los plaguicidas se pueden limitar mejor a las zonas deseadas y se puede mejorar su eficacia.
- Las fórmulas de difusión controlada son más seguras para el personal que debe aplicarlas y manipularlas o para otras personas que entran en contacto con los plaguicidas.

Entre las desventajas de las fórmulas de difusión controlada figuran las siguientes:

- Algunas fórmulas de difusión controlada pueden requerir el uso de equipo de aplicación especializado.
- Pueden ser más costosas debido a gastos de desarrollo especiales y al uso de ingredientes inertes más caros.





Para medir la radiactividad asociada al plaguicida se utiliza un contador de centelleo líquido.

Radiotrazadores en la investigación de plaguicidas

El empleo de radiotrazadores en las investigaciones de plaguicidas es una práctica bien establecida. Esta técnica es uno de los instrumentos más precisos y fiables de que dispone el químico de plaguicidas y se utiliza habitualmente en el análisis cuantitativo y cualitativo de los plaguicidas y sus productos de degradación.

Para elaborar una fórmula de difusión controlada es preciso, como primer paso, realizar un estudio de la tasa de difusión del agente activo en el ambiente al que está destinado (por ejemplo, aire, agua o suelo). Esta información es necesaria y se utiliza para manipular la fórmula a fin de modificar sus características de difusión. Para que el plaguicida alcance el máximo de eficacia debe difundirse a una tasa óptima. La cantidad de plaguicida que se libera en los diversos componentes del medio ambiente (suelo, agua, plantas, peces, etc.) puede determinarse mediante el análisis periódico de muestras ambientales representativas. Las muestras pueden analizarse a base de técnicas analíticas convencionales o técnicas radioanalíticas. Las técnicas radioanalíticas son más sensibles y rápidas porque hay menos necesidad de procesar las muestras.

En un ecosistema agrícola complejo, en que la lucha contra una plaga específica ha de llevarse a cabo sin perjuicio de los demás organismos, la tasa con que se libera el plaguicida de la fórmula puede ser un factor decisivo. Por ejemplo, para combatir las plantas indeseables en un ecosistema arroz-pescado convendría controlar ese tipo de plantas sin causar daño a los peces. Existen muchos herbicidas que, cuando se aplican como fórmulas convencionales en dosis suficientemente elevadas para erradicar las plantas indeseables, también resultan tóxicos para los peces. Sin embargo, con el uso de una fórmula de difusión controlada el herbicida se liberaría en las cantidades necesarias para destruir las plantas indeseables sin causar daño alguno a los peces o demás especies ajenas al objetivo perseguido. Para

alcanzar la tasa de difusión del plaguicida deseada se requiere una hábil manipulación de la fórmula. La liberación del plaguicida de la fórmula en el medio previsto, digamos el agua, se puede medir con precisión utilizando un plaguicida marcado con un isótopo radiactivo como el tritio, el carbono 14, el fósforo o el cloruro 35. La concentración de la radiactividad liberada asociada al plaguicida se mide en un contador de centelleo líquido.

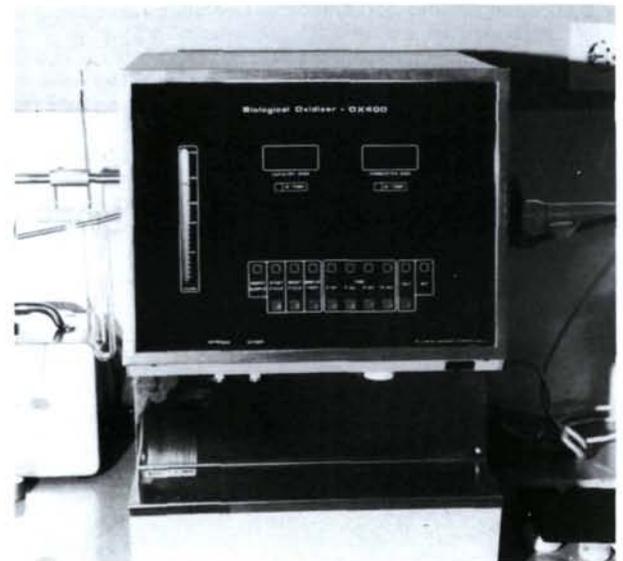
Para estos análisis también se pueden utilizar técnicas químicas analíticas convencionales como la cromatografía. Sin embargo, antes de realizar el análisis por cromatografía a menudo es necesario "limpiar" las muestras que serán analizadas. También se pueden determinar con más rapidez los residuos de plaguicida que quedan en la fórmula mediante la combustión de ésta en una atmósfera con una proporción de oxígeno y dióxido de carbono 14 que pueda ser cuantificada. Por el contrario, los métodos analíticos convencionales no siempre permiten extraer completamente los residuos de un plaguicida sin marcar de la fórmula que se analiza. En la mayoría de los análisis se utilizan técnicas cromatográficas convencionales y técnicas radioanalíticas para que se complementen mutuamente.

Para desarrollar fórmulas de plaguicidas de difusión controlada aceptables es preciso, además de determinar la tasa de difusión, estudiar otros aspectos, a saber:

- la estabilidad de las fórmulas de difusión controlada en las condiciones ambientales previstas y durante el almacenamiento;
- el destino final del plaguicida liberado en el suelo, el agua y otros componentes del medio ambiente;
- la absorción y distribución en los organismos vivos de los plaguicidas difundidos, así como el cambio en los niveles de residuos como resultado de alteraciones en la tasa de difusión.

El uso de técnicas nucleares puede facilitar todos estos estudios.

Los residuos de los plaguicidas radiomarcados en las fórmulas de difusión controlada pueden determinarse mediante la combustión de la fórmula en una atmósfera con una proporción cuantificable de oxígeno y dióxido de carbono 14.



Investigaciones apoyadas por la FAO y el OIEA

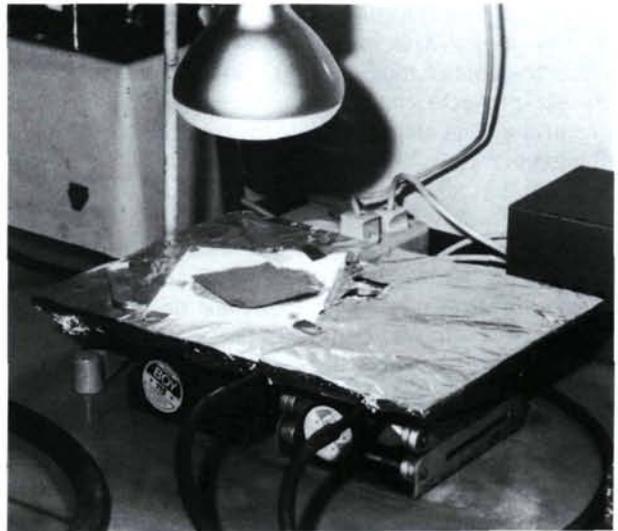
Desde 1983, la División Mixta FAO/OIEA de Técnicas Nucleares en la Agricultura y la Alimentación patrocina programas de investigación coordinados internacionalmente sobre el desarrollo de plaguicidas de difusión controlada. En estos proyectos han participado institutos de investigación de China, Hungría, la India, Indonesia, Malasia, el Pakistán, Filipinas, Tailandia, Tanzania, Bélgica, la República Federal de Alemania, el Reino Unido y los Estados Unidos.

Se han elaborado y ensayado fórmulas de plaguicidas de difusión controlada para varios ecosistemas agrícolas, entre ellas fórmulas a base de alginatos de insecticidas como DDT, dieldrín y endosulfán; fórmulas de difusión controlada del insecticida carbofuran en varias matrices biodegradables como natrosol, látex, alginato y lignina sulfatada; y fórmulas de difusión controlada de insecticidas piretroides como deltametrín, alfacipermetrín y ciflutrín. Asimismo, se han elaborado y ensayado varios herbicidas para combatir las malezas. Entre estos se incluyen fórmulas a base de alginato, natrosol o látex, de herbicidas como butaclor 2, 4-D, diclobenil, terbutil y tiobencarbo.

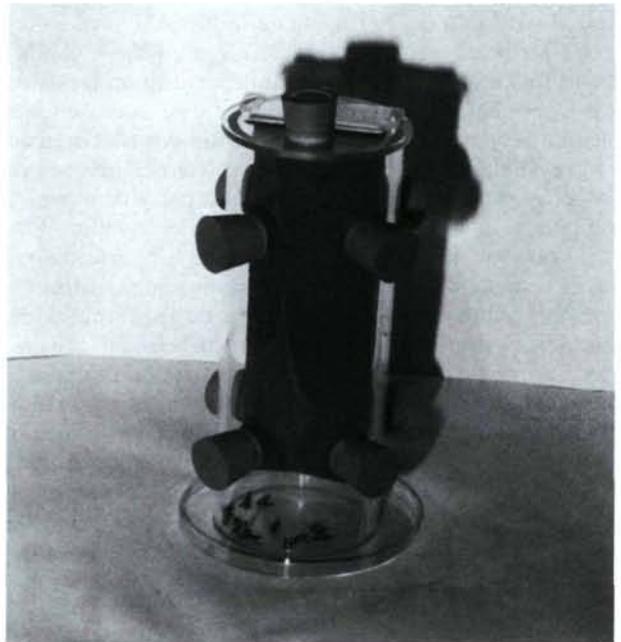
Los resultados obtenidos en estas actividades de investigación indicaron claramente que el desarrollo de fórmulas potencialmente útiles de difusión controlada de algunos de los plaguicidas ensayados era viable y podía propiciar el desarrollo de fórmulas más eficaces, seguras y menos nocivas para el medio ambiente de estos plaguicidas, que se utilizan habitualmente en los países desarrollados y los países en desarrollo.

En la actualidad, la Sección de Productos Agroquímicos de la División Mixta FAO/OIEA lleva a cabo un programa coordinado de investigación titulado "Desarrollo de fórmulas de plaguicidas de difusión controlada mediante el empleo de técnicas nucleares". Este proyecto se inició en 1988 y tiene dos componentes: uno se relaciona con el desarrollo de fórmulas de insecticidas de difusión controlada para la lucha contra la mosca tsé-tsé, y el otro con el desarrollo de fórmulas de herbicidas de difusión controlada para combatir las plantas indeseables en los sembrados de arroz de cáscara y los ecosistemas arroz-pescado. Se han otorgado contratos de investigación a nueve institutos de países en desarrollo y se han concertado acuerdos de investigación con tres institutos del Reino Unido y los Estados Unidos de América.

Lucha contra la mosca tsé-tsé. En algunas regiones de Africa se utilizan pantallas impregnadas con insecticidas para controlar la población de moscas y mantenerlas fuera de las zonas no infestadas. Sin embargo, como las pantallas se encuentran expuestas al medio ambiente, los insecticidas que se emplean en estas pantallas se pierden debido a la fotólisis, la lixiviación con el agua de lluvia y otros efectos ambientales. Esto impone el tratamiento reiterado de las pantallas, lo que hace menos eficaz el control y eleva el costo. El objetivo de la investigación que lleva a cabo la Sección de Productos Agroquímicos es desarrollar fórmulas de difusión controlada con algunos insecticidas seleccionados que prolonguen la vida ambiental de las pantallas impregnadas con insecticidas. La protección del insecticida contra pérdidas debidas a las radiaciones



Se están realizando investigaciones para desarrollar fórmulas de insecticidas de difusión controlada destinadas a la lucha contra la mosca tsé-tsé. Aquí se muestra una pantalla para atrapar moscas tsé-tsé impregnada con un insecticida radiomarcado en el momento en que es irradiada por una lámpara solar de rayos ultravioletas Osram, así como un bioanálisis de la pantalla impregnada con insecticida.



ultravioletas del sol es un objetivo muy importante, ya que se ha comprobado que los insecticidas más eficaces contra la mosca tsé-tsé también resultan muy sensibles a la radiación ultravioleta.

Mediante el empleo de insecticidas marcados con carbono 14 y de técnicas nucleares se pudo demostrar que, si se añaden a las fórmulas de insecticidas algunos de los compuestos químicos que absorben la radiación ultravioleta, éstos logran protegerlas contra las pérdidas por fotólisis.

Otros experimentos han demostrado que la lixiviación de los insecticidas de las pantallas con el agua de lluvia podría reducirse añadiendo aceites a las fórmulas. También resulta conveniente atraer las moscas hacia los objetivos tratados, por lo que en las fórmulas de difusión

controlada se incluirán además productos químicos que se sabe atraen a la mosca tsé-tsé. Se espera que los esfuerzos concertados de los científicos que colaboran en este proyecto coadyuven al desarrollo de fórmulas que prolonguen la actividad de los insecticidas sobre los objetivos y contribuyan de una forma económica, eficiente y aceptable desde el punto de vista ambiental a combatir la mosca tsé-tsé en África.

Lucha contra las plantas indeseables en los ecosistemas arroz-pescado. Las investigaciones sobre el desarrollo de fórmulas de herbicidas de difusión controlada para combatir las plantas indeseables en los sembrados de arroz de cáscara y en los ecosistemas arroz-pescado se realizan en coordinación con institutos de investigación de China, la India, Filipinas, Indonesia, Hungría y Malasia. Las investigaciones iniciales que se han realizado en los Laboratorios de Seibersdorf del OIEA demuestran que es posible preparar fórmulas del herbicida tiobencarbo en una matriz de alginato que contenga caolín como material de relleno. En estos momentos se estudia la tasa de difusión del herbicida marcado con carbono 14 en diferentes fórmulas que contienen diversas proporciones de alginato y caolín. (Véase el gráfico adjunto.)

Los datos reunidos hasta el momento indican que la tasa de difusión del herbicida de la fórmula puede alterarse variando las proporciones de alginato y caolín. Estas fórmulas se prueban actualmente en el invernadero de los Laboratorios de Seibersdorf, así como en los institutos de varios países en desarrollo que cooperan en el proyecto, a fin de comprobar su efecto relativo sobre la germinación y el crecimiento del arroz y de especies de plantas indeseables de importancia económica. Los Laboratorios de Seibersdorf, así como los participantes en el programa coordinado de investigación, realizarán estudios sobre la seguridad relativa de las fórmulas de herbicidas de difusión controlada en relación con los peces. Una fórmula de herbicida de difusión controlada ideal combatirá las plantas indeseables en los sembrados de arroz o en los ecosistemas arroz-pescado sin causar efectos nocivos en las plantas de arroz, los peces o cualquier otro organismo que no se quiera destruir, sin dejar niveles inaceptables de residuos del herbicida o de sus metabolitos.

El rápido surgimiento de la difusión controlada como método científico establecido queda demostrado por el creciente número de publicaciones afines y el número cada vez mayor de simposios que se celebran anualmente sobre este tema. El rápido aumento del número de científicos dedicados a esta esfera llevó a la creación en 1978 de la Sociedad de Difusión Controlada, que en 1984 comenzó a publicar el *Journal of Controlled-Release*. Ya es un hecho ampliamente reconocido que la tecnología de la difusión controlada puede contribuir de manera positiva a solucionar los problemas vinculados a la agricultura y la alimentación.

