

Residuos de fitosanitarios en los productos hortícolas

Su aplicación correcta, de acuerdo con la Buena Práctica Agrícola, no ocasiona daños a la salud

El Codex Alimentarius define como "residuo de plaguicida" a «toda sustancia presente en un producto alimenticio destinado al hombre o a los animales como consecuencia de la utilización de un plaguicida». Puesto que el término "plaguicida" deriva de plaga y este vocablo suele asociarse corrientemente a parásitos animales (plaga de insectos, de ácaros, de ratas...), el término "fitosanitario" ofrece un contexto más general para los residuos, englobando también los fungicidas y herbicidas, entre otras sustancias.

● Miguel Roca. AgrEvo Ibérica, S.A.

Una vez queda aceptada la necesidad (demostrada) de los productos fitosanitarios para asegurar la disponibilidad de alimentos de origen vegetal a precios asequibles para toda la población, se deduce la posibilidad de que, en la cosecha, queden restos de los productos aplicados. En muchos de los casos no existen o existen en cantidades tan minúsculas que las modernas técnicas analíticas no pueden cuantificar (así, por ejemplo, en el año 1997 no se cuantificaron residuos en el 38% de las frutas, 76% de las hortalizas, 80% de los cereales y 93% del conjunto de girasol, patata, legumbres y almendra seca, como porcentajes de las muestras analizadas bajo el Programa Nacional de Vigilancia de Residuos de Productos Fitosanitarios en Origen, 1997).



Todo lo natural, por el mero hecho de serlo, no es necesariamente inocuo.



La posibilidad de que haya restos de fitosanitarios en los vegetales es muy pequeña.

Cuando existen están en proporciones muy bajas: así, 1 ppm (una parte por millón) es un residuo relativamente "alto" y, sin embargo, representa un miligramo de producto en un millón de miligramos del vegetal consumible tratado (manzana, hoja de lechuga, grano de trigo...), es decir, un miligramo en un kilo, equivalente a un metro comparado con la distancia entre Almería y San Sebastián.

Por pequeño que sea el residuo, es preceptivo, no obstante, calcular su riesgo potencial para los consumidores de vegetales tratados (que somos todos) y sólo cuando las autoridades responsables de la salud de los consumidores han confirmado que el contenido en residuos determinado por la aplicación correcta de producto en cuestión (si lo hay) está muy alejado del umbral de riesgo para los consumidores, autorizarán el uso del producto.

En otras palabras :

1. No debe aplicarse en un cultivo producto alguno que no esté autorizado, por carecer de una evaluación de riesgo para el consumidor por efecto de los posibles residuos depositados.
2. Cuando existe una autorización de un producto en un cultivo es porque han sido descartados (por las autoridades) los posibles riesgos inaceptables para los consumidores presentados por los po-

sibles residuos, en el supuesto de uso correcto del producto, tal como indica la etiqueta, razón por la cual el usuario debe observar estrictamente las indicaciones de la misma.

Así pues, en el caso de los productos fitosanitarios, residuos no es sinónimo de riesgo, porque existe una investigación rigurosa que aporta estudios que permiten una evaluación del riesgo, lo cual constituye una disciplina científica.

Respetando la cultura actual de consagración de lo natural, los consumidores modernos debemos ser conscientes de que todo lo natural, por el mero hecho de serlo, no es necesariamente inocuo. Los vegetales contienen multitud de sustancias que las plantas fabrican para defenderse de sus enemigos, cuyas repercusiones últimas para nuestro organismo desconocemos (con algunas excepciones, como las setas venenosas).

Inconscientemente, confiamos en que el consumo de vegetales por decenas de generaciones de seres humanos constituye garantía suficiente de seguridad. Y probablemente es así, pero lo cierto es que esa seguridad está basada en la experiencia y no en el conocimiento detallado de las propiedades tóxicas de muchas sustancias vegetales naturales que ingerimos en la dieta en pequeñas cantidades, conocimiento que sí tenemos en el caso de los productos fitosanitarios y que nos permite evaluar su riesgo de modo riguroso y exacto.

Dinámica de los residuos en la planta

Cuando se aplica por algún procedimiento un producto sobre un cultivo establecido, el producto se deposita sobre su superficie pero no totalmente (indicativamente, en un 70%, por ejemplo), pues hay derivas hacia la atmósfera y hacia el suelo.

Diversos factores configuran el depósito inicial, como la dosis, la naturaleza química de la sustancia activa, el tipo de formulación, el tamaño de gota o partícula, el tipo de superficie vegetal, la relación superficie/peso de los frutos, las condiciones climáticas en la aplicación y la técnica utilizada en la aplicación.

Así, por ejemplo, de modo general, una superficie lisa retendrá proporcionalmente menos depósito que una pelosa; una superficie grande y tortuosa (lechuga) retendrá proporcionalmente más que una superficie esférica (manzana); un fruto hueco (pimiento) más que uno macizo (tomate).

El depósito inicial constituye un residuo del producto original que está sujeto a factores que condicionan su permanencia, de modo que irá progresivamente desapareciendo de la superficie vegetal, bien por eliminación o degradación, bien porque penetra más o menos en el interior de los tejidos vegetales y allí queda sujeto igualmente a fenómenos de evolución.

En consecuencia, residuo no sólo es el depósito de la sustancia

original sino aquello en que se convierte que pueda tener significación toxicológica y se encuentra en cantidades significativas. En efecto: aunque los procesos degradativos son, en general, detoxificadores, hay casos en que la sustancia original se convierte en otra con relevancia toxicológica (por ejemplo, paratión en paraoxón, malatión en malaoxón).

Los factores de desaparición del depósito de la superficie vegetal son numerosos y su interacción es compleja. Por otro lado, la permanencia del depósito y, en definitiva, de los residuos constituye un conflicto de intereses: de una parte, es deseable una permanencia prolongada para mantener la actividad sobre el parásito, pero no tan prolongada como para constituir un problema para el consumidor.

Algunos factores son típicos del producto como la dosis (que, a su vez, depende del parásito a combatir), la naturaleza química de la sustancia activa y algunas de sus características físico-químicas (como su tensión de vapor o su solubilidad en agua) o el tipo de formulación (sobre el cual se puede actuar para prolongar la permanencia del depósito). Otros factores son ambientales, como el viento o la lluvia, que propician una desaparición mecánica del depósito. Existen factores físicos como la volatilización y la solubilización, que actúan en interacción con los anteriores. Otros están relacionados con características del órgano vegetal tratado, como su forma y tamaño, formaciones epidérmicas (rugosidades) y composición química de la epidermis. Y, muy importante, la velocidad de crecimiento del órgano, la cual determinará una eliminación aparente del depósito (residuo) por "dilución" o desprendimiento.

Finalmente, habrá una degradación de la sustancia activa en el propio depósito externo, o en el interior de los tejidos si aquella ha logrado penetrar en los mismos. Los factores de degradación externa son generalmente ambientales (oxígeno, luz, agua...), mientras que en el interior de los tejidos los efectos degradativos se deben preferentemente a factores bioquímicos (enzimáticos).

La velocidad de degradación depende de la estabilidad química de la sustancia activa frente a los factores degradativos y de la temperatura. Los fenómenos degradativos convierten a la sustancia activa original en otra u otras sustancias llamadas metabolitos, denominándose metabolismo a este proceso.

Existen dos tipos de metabolismo: primario y secundario. En el primario, la sustancia activa se convierte ("se parte") en metabolitos libres ("trozos" que, en muchos casos, se parecen a ella estructuralmente), los cuales conviven con los restos sin transformar de la propia sustancia activa. En el secundario, la propia sustancia activa o sus metabolitos libres se unen a sustancias propias de las plantas, constituyendo los residuos conjugados.

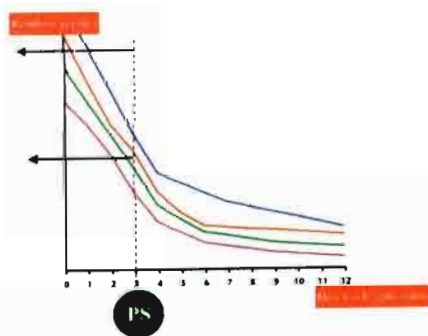
El proceso degradativo puede continuar dando metabolitos cada vez más simples hasta una mineralización total en forma de agua, anhídrico carbónico, etc., o convirtiéndose en residuos ligados (formando parte del propio edificio vegetal), los cuales se piensa que en general pierden toda actividad biológica.

Los procesos descritos se desarrollarán con preferencia en el caso de que la sustancia activa haya logrado penetrar en mayor o menor grado en los tejidos vegetales. Para ello, deberá cruzar la capa de cera que protege los órganos vegetales (hojas, frutos) y alcanzar las paredes celulares, pudiendo entonces penetrar en los sistemas vasculares y ser transportada en el interior de los mismos. Ello dependerá, fundamentalmente, de las propias características físico-químicas de la sustancia activa.

La mayor o menor capacidad de penetración y transporte (sistema) en el interior de la planta dependerá, sobre todo, del carácter lipofílico (afinidad por las "grasas") o hidrofílico (afinidad por el agua) de la sustancia activa, así como de su estructura y volumen molecular. También del tipo de formulación, del grado de distribución y morfología del depósito de producto (amorfo o cristalino) sobre la

Fig. 1

Residuos encontrados en 4 ensayos



superficie vegetal, y de factores ambientales como temperatura y humedad. Y, cómo no, de la estructura y composición de la superficie vegetal.

La curva de disipación

De un modo u otro, el depósito inicial de la sustancia activa (residuo inicial) queda sujeto a una sucesión de vicisitudes que, en conjunto, configuran una trayectoria decreciente de los residuos cuya representación gráfica se aproxima típicamente a una función exponencial: es la **curva de disipación** o persistencia. En ella, se pueden separar tres frases:

A. Eliminación inicial rápida de los residuos (depósito) por acciones mecánicas (viento, lluvia).

B. Eliminación más lenta por causas mecánicas (volatilidad, solubilización), o químicas.

C. Fase final, la más lenta por causa de la "protección" de los residuos determinada por factores existentes en el vegetal (ceras, aceites, etc.).

En torno a esta curva típica de disipación existe un gran número de variantes, más o menos alejadas de aquélla.

Se ha considerado el caso de una aplicación de un producto sobre la masa vegetal aérea de un cultivo establecido, pero cualquier otra forma de aplicación (sobre un suelo desnudo, o a través del sistema de riego de goteo, tratamientos de semillas o esquejes...) sobre un cultivo del que se va consumir alguna de sus partes (fresca o transformada) queda automáticamente sujeta a la casuística de la seguridad del consumidor, y los posibles residuos (sujetos a una evolución posiblemente muy distinta de la descrita) deben ser objeto de evaluación de riesgo.



Uno de los factores que configuran el depósito inicial del fitosanitario es el tipo de superficie vegetal.

con sustancias tenidas por inocuas cuando la exposición a ellas supera el umbral de peligro, ya que nada es absolutamente seguro. Por el contrario, es posible tolerar sustancias potencialmente tóxicas si la exposición a los residuos es suficientemente pequeña como para no superar el umbral de peligro.

En el caso de los residuos ¿cómo se determina el **umbral de peligro**? No hay más remedio que recurrir a los animales de laboratorio para identificar qué cantidad de la sustancia en estudio son capaces de soportar en su dieta sin causarles efectos adversos. A tal fin, se aportan a la dieta de varios lotes de animales distintas dosis de la sustancia en estudio, una por cada lote, y esta aportación se hace todos los días de la vida del animal. La dosis máxima de las varias administradas que no causa efectos adversos se toma como base para extrapolar al hombre, tomando un coeficiente de seguridad que es generalmente de 100.

Con ello, hemos llegado a calcular el **umbral de peligro** de los residuos que se denomina **Ingesta Diaria Admisible (IDA)**, la cual expresa la máxima cantidad de miligramos de la sustancia que el hombre puede soportar por cada kilo de peso corporal, cada día de su vida, sin acusar efectos adversos. Cualquier superación de la IDA no garantiza ausencia de efectos adversos. Por lo tanto, la IDA constituye el "techo" de seguridad que en modo alguno se puede exceder.

¿Cómo garantizamos que la IDA no se excede?

Asegurando que la **exposición** a los posibles residuos existentes en las partes vegetales consumibles como consecuencia de la aplicación del producto queda por debajo de la misma.

¿Cómo lo aseguramos?

1. Identificando la **Buena Práctica Agrícola (BPA)** mediante ensayos de eficacia en campo, que permitirán conocer la cantidad máxima de producto que será necesario utilizar para resolver adecuadamente el problema fitosanitario de que se trate, bajo las peores circunstancias. Ello implica realizar suficiente número de ensayos con objeto de asegurar que están comprendidas las circunstancias más desfavorables (más presión de la plaga, más presencia de malas hierbas o de especies más difíciles de combatir, etc.) que requerirán una actuación más contundente (más dosis, más número de aplicaciones, menor separación entre aplicaciones...), lo que determinará una mayor presencia de residuos, de modo que esta última sea difícil de superar en la realidad.

En esta fase, debe, no obstante, aplicarse el principio de la Lu-

Curva tipo de disipación de residuos

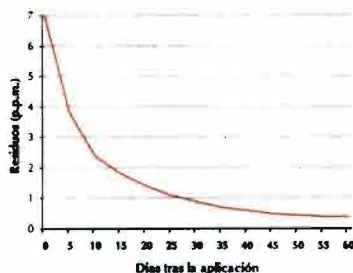


Fig. 2

¿Cómo se garantiza la seguridad del consumidor por efecto de los residuos?

Cuando, como resultado de la evaluación del riesgo, se llegue a la conclusión de que la exposición a la que se puede ver sujeto el consumidor por efecto de la cantidad de residuos existente en alimentos procedentes de cultivos tratados no supera la máxima cantidad de residuos que una persona puede asimilar sin peligro para su salud.

En definitiva, la evaluación del riesgo consistirá en comparar los dos componentes del **riesgo**, a saber: **peligro** ("hazard" para los anglosajones) y **exposición**.

Este concepto es de gran importancia, incluso cultural y educacionalmente, pues implica que puede haber riesgos inaceptables

cha Integrada de utilizar lo mínimo posible productos fitosanitarios, involucrando con prioridad cualquier otro medio de lucha antiparasitaria distinto de la lucha química.

Este concepto (sólo aparentemente contradictorio) de "máximos" y de "mínimos" debe configurar la definición de la Buena Práctica Agrícola para el uso del producto fitosanitario considerado.

2. Realizando el número de ensayos que marca la ley con la BPA más desfavorable identificada, con objeto de conocer mediante métodos analíticos *ad hoc* el contenido de residuos existente en las partes consumibles del vegetal en varios momentos (generalmente 4 ó 5) después de la aplicación del producto (o de la última si fueran varias). Con esos datos, se podrá construir la **curva de disipación de los residuos** que permitirá conocer la evolución de los mismos y, decidido un **plazo de espera, plazo de seguridad o intervalo precosecha**, se podrá conocer el nivel de residuos en el momento más cercano a la aplicación (o a la última aplicación) en que se espera cosechar.

La construcción de la curva de disipación de residuos es preceptiva cuando la BPA determina que la aplicación (o la última aplicación) tenga lugar en presencia de partes vegetales en condiciones de ser consumidas, porque la etiología del parásito exija actuar en esos momentos. En estas condiciones, el **plazo de espera** vendrá condicionado por el máximo plazo que media entre la aplicación (o la última aplicación) y la próxima cosecha comercial (por ejemplo, 3 días en época de recolección del tomate para consumo en fresco).

Cuando la BPA determine que la aplicación se haga fuera de la época de recolección comercial (aplicación de un herbicida pre-emergente, por ejemplo) no tiene sentido, en principio, la curva de disipación, sino el contenido de residuos existente a la cosecha comercial (o a la primera si hay varias).

Si, además en este caso, el momento de la aplicación viene prefijado por el estado fenológico del cultivo (por ejemplo, tamaño guisante en la vid, trigo con dos hojas), o es anterior o simultáneo a la implantación del cultivo (tratamiento de la semilla antes de la siembra, aplicación de un herbicida en preemergencia) tampoco tendrá sentido especificar un plazo de espera, pues el intervalo entre aplicación y cosecha será variable, pero los ensayos indicarán si también es variable el contenido de residuos a la cosecha en función del tiempo transcurrido entre aplicación y recolección, en cuyo caso se tomará como base de exposición la del ensayo (u ensayos) que den la tasa más alta de residuos.

3. Fijando el **Límite Máximo de Residuos (LMR)**, lo cual es responsabilidad de las autoridades competentes. Límite Máximo de Residuos o Tolerancia es la cantidad máxima de residuos fijada por las autoridades competentes y, por lo tanto, permitida por la ley, para un determinado producto agrícola. Se trata de un tope legal de residuos pero no del tope o umbral toxicológico (la IDA), aunque ineludiblemente debe ser inferior a éste para que la seguridad del consumidor quede preservada.

El LMR se calcula como media de los residuos encontrados en los distintos ensayos, realizados de acuerdo con las pautas indicadas en el apartado anterior, incrementada en un factor de seguridad cuya magnitud depende del número de muestras y de la variabilidad de los resultados analíticos, de modo que dicho factor de seguridad será menor cuanto menor sea la citada variabilidad y mayor el número de muestras.

El LMR se expresa en miligramos del producto fitosanitario (sustancia activa) por kilo del órgano vegetal consumible del cultivo que se considere (por ejemplo, miligramos de "X" por kilo de frutos de tomate).

4. Calculando la **Ingesta Diaria Media Teórica** (de residuos) o IDMT como sigue: establecido el LMR del producto fitosanitario para el cultivo que sea y conocida la contribución de la parte consumible



LAMUSA

LA SEMBRADORA DE TODA LA VIDA



EQUIPO DE SIEMBRA COMPACTO
DE PREPARADOR CON TABLA Y MÁQUINA



MÁQUINA REFORZADA
Y CON CAPACIDAD EXTRA DE TOLVA

de ese cultivo (kilos de manzana, de hojas de lechuga, etc.) a la dieta de los ciudadanos (tantos gramos de manzanas por días, tantos gramos de hojas de lechuga por días, etc.), y asumiendo un peso medio de 60 kilos para una persona adulta, es fácil calcular a cuántos miligramos de residuos del producto en cuestión está expuesto el consumidor por kilo de peso corporal vía el alimento procedente del vegetal tratado, lo que se denomina Ingesta Diaria Media Teórica (IDMT), la cual constituye la **exposición** del consumidor a los residuos.

La evaluación del riesgo para el consumidor

Calculada la IDMT (**exposición**), sólo resta compararla con la IDA (**umbral toxicológico**).

Si el producto va a tener uso en varios cultivos comestibles, se establecerá un LMR para cada uso y, por lo tanto, habrá también una IDMT para cada uso. En este caso, se deben sumar todas las IDMT, y la suma que constituye la **exposición total diaria**, es lo que se compara con la IDA.

La autorización del producto en uno o varios cultivos comestibles sólo es posible si la suma de la o las IDMT es inferior a la IDA, con lo que queda garantizada la seguridad del consumidor. En el **cuadro I**, se da un ejemplo en el que la suma de todos los residuos disponibles en la dieta de un determinado producto con uso autori-



Las autoridades competentes son quienes fijan el Límite Máximo de Residuos en cada producto agrícola.

zado en cítricos, frutos de pepita y champiñón sólo "ocupan" el 17,93% de la IDA, umbral toxicológico que es, a su vez, 100 veces menor que el encontrado en los animales empleados en los experimentos de laboratorio, que al mismo tiempo, corresponde a la ingesta diaria más alta de la sustancia que no ha producido efectos adversos.

Los márgenes de seguridad son amplios si se considera, además, prácticamente imposible que una persona esté alimentándose todos los días de su vida simultáneamente con cítricos, frutos de pepita y champiñones que hayan sido tratados con el producto del ejemplo.

Consideraciones finales

Pocas sustancias sintéticas están tan estudiadas como los productos fitosanitarios en cuanto a sus efectos sobre la salud humana.

No existe evidencia epidemiológica de daños a la salud por efecto de los residuos de estos productos utilizados correctamente, de acuerdo con la Buena Práctica Agrícola contenida en la etiqueta.

La evaluación del posible impacto de los residuos (que en muchos casos no son cuantificables) sobre la salud es objeto de un análisis muy riguroso, de modo que mientras adoptar una postura de principio contraria a los residuos es respetable, aunque no se comparta, proclamar que dicha postura se fundamenta en la peligrosidad de los residuos es poco riguroso y rebatible. ■



CUADRO I. CASO REAL DE CÁLCULO DE LA IDMT DE UN PRODUCTO
 IDA = 0,02 mg/kg día → 1,2 mg/día (persona de 60 kg)

DIETA ESPAÑOLA					
Uso autorizado	kg/año	kg/día	LMR (1)	IDMT (2)	% IDA (3)
Cítricos	49,93	0,137	1	0,137	11,4
Frutales pepita	28,32	0,078	1	0,078	6,5
Champiñón	1,31	0,004	0,1	0,0004	0,03

- (1) LMR = Límite Máximo de Residuos.
- (2) IDMT = Ingesta Diaria Media Teórica.
- (3) IDA = Ingesta Diaria Admisible.

Fuente: AgrEvo.

BIBLIOGRAFÍA

- Real Decreto 280/1994 de 18 Febrero y Ordenes Ministeriales posteriores.
- Directiva 96/68/CE de la Comisión.
- Programa Nacional de Vigilancia de Residuos de Productos Fitosanitarios en Origen, 1997. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- Coscollà R. (1993). Residuos de plaguicidas en alimentos vegetales.
- Teruel V. (1996). Lecciones impartidas durante el curso Forcem sobre Registro de Productos Fitosanitarios.