

# Residuos de plaguicidas organofosforados en la cadena productiva del brócoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) y coliflor (*Brassica oleracea* L. var. *botrytis*) en Colombia: aproximación a un perfil de riesgo

Organophosphorus pesticide residues in the production chain of broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) and cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. *botrytis*) in Colombia: approach to risk profile

JAVIER FRANCISCO REY<sup>1, 2</sup>  
ÁNGELA MARIA OTALVARO<sup>1</sup>  
MARÍA PATRICIA CHAPARRO<sup>1</sup>  
LENA PRIETO<sup>1</sup>  
ALFREDO LÓPEZ<sup>1</sup>



**Brócoli y coliflor recientemente cosechados.**

Foto: H. Ulbing

## RESUMEN

Las crucíferas son afectadas por problemas fitosanitarios, que derivan en el uso de plaguicidas como medida de manejo. Se realizó una recopilación de información científica y técnica sobre la presencia de residuos de plaguicidas organofosforados en alimentos y sobre los efectos en salud asociados a este, también se consideró la cadena productiva del brócoli y el coliflor en Colombia, además, se realizó una aproximación a la caracterización del riesgo que este peligro representa para los consumidores del país, siguiendo la metodología FAO para la elaboración de perfiles de riesgo en inocuidad de alimentos. Se encontró que en Colombia los plaguicidas organofosforados más empleados son: paratión, metamidofos, diazinón, clorpirifos y malatión, por lo cual podrían estar presentes como residuos en las crucíferas estudiadas. Dentro de la revisión no se encontró información asociada específicamente a la concentración de residuos de plaguicidas organofosforados en brócoli y coliflor para Colombia. El riesgo para la población se determinó utilizando datos de concentración de residuos en brócoli de estudios realizados en México y Ecuador, y la información del uso de plaguicidas, correspondiente a los reportes de Corpoica. Los datos sobre el consumo, se extrajeron de la ENSIN 2005. El riesgo

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería de Alimentos, Universidad de La Salle, Bogotá (Colombia). ORCID Rey, J.F.: 0000-0002-9235-9752; ORCID Otalvaro, A.M.: 0000-0003-0922-007X; ORCID Chaparro, M.P.: 0000-0003-4576-5405; ORCID Prieto, L.: 0000-0002-9696-8440; ORCID López, A.: 0000-0003-4270-9790

<sup>2</sup> Autor para correspondencia. [jrey@unisalle.edu.co](mailto:jrey@unisalle.edu.co)

en inocuidad determinado para el peligro en el alimento estudiando fue bajo, aclarando que la estimación realizada considera únicamente la presencia de residuos de diazinón y clorpirifos en las matrices estudiadas. Es necesario aclarar que se trata de una aproximación al perfil de riesgo trabajada con los dos plaguicidas descritos y específicamente en brócoli y coliflor.

**Palabras clave adicionales:** poscosecha, crucíferas, inocuidad, medidas sanitarias y fitosanitarias.

## ABSTRACT

Crucifers are affected by phytosanitary problems, derived during the use of pesticides as a management strategy. Scientific and technical information on the presence of residues of organophosphorus pesticides in foods was compiled, along with the associated health effects. The production chain for broccoli and cauliflower in Colombia was also considered to characterize the risk of this danger to consumers, following the FAO methodology for creation of risk profiles in food safety. It was found that, in Colombia, the most commonly used organophosphorus pesticides are parathion, methamidophos, diazinon, chlorpyrifos and malathion, which could be present as residues in the studied crucifers. Within the review, there was no information specifically associated with the concentration of organophosphorus pesticide residues in broccoli and cauliflower from Colombia. The risk for the population was determined using residue concentration data in broccoli from studies reported in Mexico and Ecuador and information on the use of pesticides from Corpoica reports. The consumption data were extracted from ENSIN 2005. The safety risk determined for the studied food hazard was low, showing that the estimation only considered the presence of diazinon and chlorpyrifos residues in the studied matrices. It is necessary to note that this is an approximate risk profile for the two pesticides described and; specifically, in broccoli and cauliflower.

**Additional key words:** postharvest, cruciferous, innocuous, sanitary and phytosanitary measures.

Fecha de recepción: 02-08-2017 Aprobado para publicación: 30-01-2018

## INTRODUCCIÓN

Los organofosforados son los plaguicidas de más uso para el control de plagas en Colombia, junto con carbamatos y bupiridilos (Cárdenas *et al.*, 2010). En el caso del cultivo de crucíferas el Instituto Colombiano Agropecuario (Colombia) permite la aplicación de los siguientes organofosforados: Paration, Metamidofos, Diazinon, Clorpirifos y Malation (ICA, 2017). Estos empezaron a usarse con más frecuencia después de la prohibición de los plaguicidas organoclorados y han resultado ser eficaces y económicos (Pérez *et al.*, 2009); sin embargo, aunque son menos persistentes en el ambiente, representan un riesgo para la salud humana (Brotons, 2004).

La Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica, 2009) en Colombia, informó que

los productores de las hortalizas como repollo, brócoli, coliflor y col china, realizan aplicaciones indiscriminadas de organofosforados para evitar el rechazo en los mercados (Arévalo *et al.*, 1997) llegando a efectuarse hasta 16 aplicaciones durante el ciclo vegetativo del cultivo. Situación que deriva en la presencia de residuos de estas sustancias en los productos que pasan a los consumidores. En México por ejemplo, en un estudio que se realizó sobre brócoli al momento de la cosecha, se estableció la presencia de residuos de malatión, diazinón y clorpirifos en el 70, 65 y 43%, respectivamente, para las muestras analizadas (Pérez *et al.*, 2009).

Los organofosforados junto con los carbamatos y los bupiridilos con frecuencia están asociados a casos de

intoxicación debido a la fosforilación de su ingrediente activo y la inactivación de la enzima acetilcolinesterasa (AChE) que ayuda a la desactivación de la acetilcolina en el sistema nervioso (Cárdenas *et al.*, 2010). Se ha encontrado que la mayor cantidad de residuos de estas sustancias se encuentran en la grasa y los tejidos musculares y no en el hígado (Zrostlíková *et al.*, 2002).

Algunos estudios han asociado la exposición a organofosforados con dolores de cabeza, alergias, náuseas, efectos psicológicos adversos, incremento en la frecuencia de cáncer, anormalidades cognitivas y neurocomportamentales, teratogenicidad, inmunotoxicidad y alteraciones endocrinas (Yu *et al.*, 2016).

En este sentido resulta importante conocer el tipo de compuestos que son usados, su vía de ingreso al organismo y tiempo de evolución para poder definir medidas de gestión que permitan reducir el riesgo que los residuos de estas sustancias presentes en los alimentos podrían representar para los consumidores. Este trabajo buscó identificar los plaguicidas organofosforados aplicados a brócoli y coliflor en Colombia, para estimar si los niveles de estos residuos representan un riesgo para la población.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Un perfil de riesgo implica la recopilación de información acertada sobre una cuestión en inocuidad y su objetivo principal es fortalecer la gestión del riesgo ayudando a tomar nuevas medidas.

El proceso para el desarrollo de este documento, siguió el protocolo Codex Alimentarius (2007) para el análisis de riesgos en inocuidad de alimentos, y consta de tres etapas:

- Descripción del alimento implicado y del peligro.
- Identificación de los posibles riesgos basados en el análisis de las publicaciones científicas disponibles en medio digitales o impreso.
- Características del producto/peligro que podrían repercutir en la disponibilidad y viabilidad de opciones de gestión de riesgos.

La información que debe contener un perfil de riesgo incluye según el Codex Alimentarius (2007): descripción del peligro, descripción del alimento o alimentos

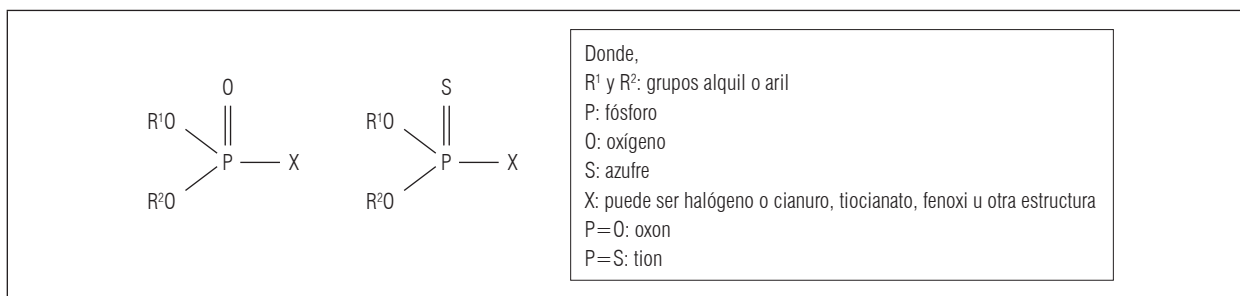
implicados, la identificación del peligro en la cadena productiva, la frecuencia, distribución y niveles de presencia del peligro en el alimento objeto de estudio, la identificación de posibles riesgos basada en el análisis de las publicaciones científicas disponibles en los últimos años, la naturaleza de los valores (sanitarios, económicos, culturales, etc.) que se encuentran en riesgo, la distribución del riesgo (quién: lo produce, se beneficia de él, lo padece), las características del producto/peligro que podrían tener consecuencias en la disponibilidad y viabilidad de opciones de gestión del riesgo, las prácticas actuales de gestión de riesgo relacionadas con el peligro, el conocimiento público de los posibles riesgos, información sobre medidas de gestión (control) del riesgos, las preguntas cuya respuestas podría solucionarse con una evaluación de riesgos, la identificación de vacíos de información científica que pueden impedir/limitar una evaluación de riesgos y las repercusiones de la gestión de riesgos en los acuerdos internacionales (ejemplo: Acuerdo de medidas sanitarias y fitosanitarias-MSF).

En ese sentido, se consultó documentos científicos para determinar el riesgo en salud que implica la presencia de residuos de organofosforados en brócoli y coliflor consumidos en Colombia. Se debe aclarar que se trabajó con el peor escenario posible razón por la cual no se tuvo en cuenta el factor de absorción, además de contemplar el brócoli como único vehículo de exposición.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los organofosforados son ésteres del ácido fosfórico o sus derivados como amidas o tioles. La estructura química (Fig. 1) en forma general se observa un grupo fosfato o derivado fosfato unido a una molécula orgánica.

El enlace oxón, presente en la estructura (Fig. 1), es un potente inhibidor de algunas esterases y de la enzima colinesterasa que es esencial para el funcionamiento normal del sistema nervioso del cuerpo humano, de los animales mamíferos, aves e insectos. Esta estructura química se hidroliza fácilmente en condiciones alcalinas, por lo que se hace necesario el reemplazo del átomo de oxígeno por un átomo de azufre, dando lugar a los tiones que también inhiben la enzima colinesterasa penetrando capas o membranas biológicas más rápidamente que los oxones (Wood, 2000).



**Figura 1. Fórmulas generales de los compuestos organofosforados (tomado de Wood, 2000).**

En Colombia los plaguicidas organofosforados son usados en agricultura para mejorar la calidad y cantidad de los alimentos, para eliminar insectos (nivel doméstico) y en salud pública, para el control de vectores los cuales son transmisores de enfermedades. Este uso puede conducir a efectos adversos como la contaminación ambiental y la toxicidad para los seres humanos (Fernández *et al.*, 2010). La principal fuente de contaminación por organofosforados proviene de la aplicación de insecticidas a los cultivos durante el desarrollo de actividades agrícolas (Nivia, 2000).

En cuanto al cultivo de crucíferas en Colombia, según Agronet para el año 2014 se registraron 804,80 ha de brócoli y 517,70 ha de coliflor, con una producción de 17.023,10 y 11.266,30 t, respectivamente. Y dado que en los últimos años el consumo de estos vegetales ha experimentado un fuerte aumento al reconocerles importantes efectos benéficos para la salud de las

poblaciones que los consumen, se justifica el desarrollo de estudios enfocados a determinar la inocuidad de estos productos (Villatoro, 2011).

Según la Encuesta Nacional de la Situación Nutricional Ensin del 2010 (ICBF, 2010), en Colombia el consumo de verduras cocidas no es usual puesto que solo se consume una vez por semana para el 47,8% de los entrevistados (Tab. 1). Por ejemplo, Galindo (2015) determinó el número de porciones de brócoli que se consumen semanalmente en la ciudad de Bogotá encontrando un 67,3% de no consumo para el grupo de personas entre edades de 15 a 39 años (Tab. 2). A pesar de lo mencionado por la Ensin 2005 (ICBF, 2006) donde el brócoli se encuentra dentro las hortalizas más consumidas en Colombia (Tab. 3).

Los plaguicidas organofosforados usados en cultivos de crucíferas en Colombia se presentan en la tabla 4.

**Tabla 1. Frecuencia de consumo de verduras cocidas en Colombia (tomado de ICBF, 2010).**

Práctica de alimentación	Frecuencia de consumo diario	Frecuencia de consumo semanal	Frecuencia de consumo mensual	No. consumo usual
Verduras cocidas	9,6%	47,8%	7,6%	35,1%

**Tabla 2. Distribución semanal de porciones consumidas de brócoli en Bogotá (Colombia) (basado en Galindo, 2015).**

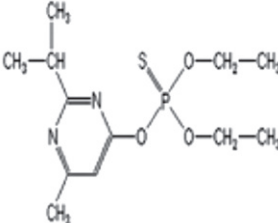
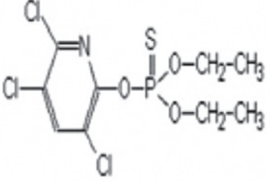
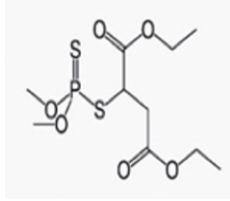
Porciones	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12 o más
Porcentaje	67,3	20,0	8,7	3,4	1,6	1,0	0,7	0,7	0	0,3	0	0	0	0

**Tabla 3. Indicadores de consumo de brócoli y coliflor consumidas en Colombia, 2005 (adaptado de ENSIN 2005; ICBF, 2006).**

Verduras	Mediana	Q1:25%	Q3:75%	IQR	Personas <sup>∞</sup> (%)	Media <sup>∞</sup>	DS <sup>∞</sup>
(19)Brócoli <sup>1</sup>	32,0	16,0	48,0	32,0	0,5	32,1	18,8
(20)Coliflor	27,0	15,0	40,5	25,5	0,5	32,1	18,8

<sup>1</sup> El brócoli pertenece al grupo de las 10 verduras con consumos más altos en cantidad, medidos en gramos diarios. Las verduras están organizadas de mayor a menor de acuerdo al número de personas que las consumen. IQR: Rango intercuartílico; Personas<sup>∞</sup> (%): porcentaje de personas que consumen el alimento; Media<sup>∞</sup>: media ponderada; DS<sup>∞</sup>: desviación estándar de la media ponderada.

**Tabla 4. Organofosforados destinados a crucíferas en Colombia (tomado de Pesticide Properties Database (PPDB), 2016).**

Propiedades	Diazinón (II)	Clorpirifos (III)	Malatión (III)
Fórmula química	C <sub>12</sub> H <sub>21</sub> N <sub>2</sub> O <sub>3</sub> PS	C <sub>9</sub> H <sub>11</sub> C <sub>6</sub> N <sub>3</sub> PS	C <sub>10</sub> H <sub>19</sub> O <sub>6</sub> PS <sub>2</sub>
Punto de fusión (°C)	No aplica	41,5	-20
Punto de ebullición (°C)	Se descompone antes de ebullición	Se descompone antes de ebullición	Se descompone antes de ebullición
Punto de degradación (°C)	140	170	174
Densidad (g mL <sup>-1</sup> )	1,11	1,51	1,23
Solubilidad en agua a 20°C (mg L <sup>-1</sup> )	60 (moderado)	1,05 (baja)	148 (moderado)
Presión de vapor a 25°C (mPa)	11,97 (volátil)	1,43 (volátil)	3,1 (volátil)
Constante de Henry a 20°C	6,10 × 10 <sup>-02</sup> (volátil)	2,8 × 10 <sup>-4</sup> (volátil)	4,80 × 10 <sup>-05</sup> (volátil)
Coefficiente de partición octanol-agua Log (Kow)	3,69	4,3	2,75
Estado físico	Líquido incoloro a marrón oscuro	Cristales coloreados café	Líquido claro a ámbar
Efectos conocidos sobre salud	Neurotóxico, irrita la piel y los ojos, inhibidor de colinesterasa	Neurotóxico, afecta reproducción, sensibiliza la piel	Neurotóxico e inhibidor de colinesterasa
Estructura química			

En una investigación realizada en el estado de Punjab en la India, se tomaron 50 muestras de coliflores de zonas de cultivo intensivo de hortalizas con el fin de determinar la magnitud y la frecuencia de contaminación con plaguicidas. El 42% de las muestras se encontraron contaminadas con cantidades bajas pero medibles de residuos. Entre los tres principales grupos de químicos, los organofosforados fueron los contaminantes dominantes seguidos por los organoclorados y piretroides. Sin embargo, ninguna de las muestras encontradas, contenían concentraciones que superaran sus respectivos Límite Máximo Residuales (LMR) (Mandal y Singh, 2010).

En otro estudio realizado por Charan *et al.* (2010) sobre el monitoreo de residuos de plaguicidas en granjas de vegetales en la región este de la India, de un total de 182 muestras de seis vegetales diferentes, cerca del 40,11% estaban contaminadas de residuos de plaguicidas y un 35,62% de las muestras contaminadas excedían los valores de LMR. Para el caso del coliflor, se encontraron residuos de metilparatión que variaron entre concentraciones no detectables y 0,33

$\mu\text{g g}^{-1}$  (cuatro muestras lo superaron) siendo  $0,2 \mu\text{g g}^{-1}$  el valor del LMR. También la concentración de quinolfos varió entre no detectable y  $0,44 \mu\text{g g}^{-1}$ , siendo  $0,25 \mu\text{g g}^{-1}$  el valor del LMR superado por dos de las muestras y endosulfano con valores entre  $0,04$  y  $1,25 \mu\text{g g}^{-1}$  siendo  $1,0 \mu\text{g g}^{-1}$  el valor del LMR (superado por una muestra).

En México, en el 2009, se desarrolló un estudio asociado a la determinación del contenido de residuos de organofosforados en brócoli mediante cromatografía líquida. En total se analizaron 23 sitios de producción, encontrando que en la mayoría de estos se realizan entre una y cuatro aplicaciones de estos productos durante el ciclo de cultivo, que derivan en la presencia de residuos de malatión, diazinón y clorfeninfos en 70, 65 y 43% de las muestras respectivamente. En cuanto a la concentración de los residuos en el brócoli, ésta fue de 5,78; 2,67 y  $1,16 \text{ mg kg}^{-1}$  para clorfeninfos, malatión y diazinón, respectivamente, seguidos por fentión y etión que registraron concentraciones de  $0,041$  y  $0,024 \text{ mg kg}^{-1}$  (Pérez *et al.*, 2009).

**Tabla 5. Residuos de organofosforados en brócoli y coliflor producidos de modo convencional en Estados Unidos (tomado del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 2008)).**

Vegetal	Clorpirifos ( $\mu\text{g}/100$ g de producto)	Dianizon ( $\mu\text{g}/100$ g de producto)	Malatión ( $\mu\text{g}/100$ g de producto)	Metamidofos ( $\mu\text{g}/100$ g de producto)
Brócoli	3,8	1,1	3,2	
Coliflor			0,2	0,7

Otra información acerca del contenido de residuos de organofosforados en brócoli y coliflor fue obtenida del Programa de Datos sobre Plaguicidas (PDP) del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) para el año 2008. El estudio se hizo para los vegetales nacionales obtenidos de modo convencional, sin encontrar residuos de estas sustancias (Tab. 5).

Igualmente, en un estudio realizado en Ecuador, se analizaron 30 muestras de brócoli, de las cuales seis presentaban residuos de plaguicidas no permitidos según la legislación de ese país. Sin embargo, los límites de cuantificación para metomil, carbofuran, carbarilo y profenofos en brócoli son inferiores a los límites máximos permisibles según otras legislaciones (Pazmiño *et al.*, 2015). En otro estudio, desarrollado en este mismo país en brócoli se encontró que de 72 muestras analizadas, 41 presentaban residuos de algún tipo de plaguicidas y específicamente siete de estas muestras contenían residuos de organofosforados, cuatro resultaron positivas para clorpirifos con concentraciones que variaban entre 31,34 y 184,3  $\text{ng g}^{-1}$  y tres fueron positivas para boscalid con concentraciones entre 20,47 y 69,09  $\text{ng g}^{-1}$  (Pazmiño *et al.*, 2015).

Para el caso de Colombia, en la revisión realizada no se encontraron estudios relacionados con la cuantificación de residuos de organofosforados en brócoli y coliflor.

Un tóxico puede eliminarse sin descomponerse en el organismo, o ser descompuesto en metabolitos, los cuales pueden ser menos tóxicos o más tóxicos que las sustancias originales o pueden depositarse en órganos o tejidos (Agrequima, s.f).

Para determinar los efectos sobre la salud de un plaguicida es importante conocer el tipo de compuesto usado, la vía de ingreso del tóxico y el tiempo de evolución. En los casos de intoxicación aguda el cuadro clínico está conformado por una serie de síntomas característicos que deben ser reconocidos por el profesional de medicina en el servicio de urgencias, para poder brindar un manejo conveniente y oportuno al paciente (Fernández *et al.*, 2010).

La población más susceptible a estos componentes es la infantil, los estudios realizados manifiestan que dosis bajas de plaguicidas organofosforados, afectan el desarrollo del sistema nervioso y las características cerebrales de niños en crecimiento. Los organofosforados que representan mayores riesgos son: metil paratión, dimetoato, clorpirifos, metil pirimifos, y metil azinfos; los cuales representan más del 90% del riesgo total de los insecticidas organofosforados en la dieta de niños e infantes.

En el noreste de la República de China se determinó la concentración de organofosforados en vegetales frescos y se estimó el riesgo potencial que ésta representaba para la salud de los habitantes de la provincia de Jilin. En total se analizaron 214 muestras de siete tipos de vegetales en las áreas productivas de la provincia. Según los resultados el 23,4% de las muestras contenían residuos de organofosforados que superaban los LMR, 68,7% de las muestras contenían organofosforados por debajo de los LMR y solo el 7,9% de las muestras estaban libres de estos contaminantes. Dentro de los residuos de organofosforados identificados estuvieron diazinón, dimetoato, paratión, diclorvos, malatión, entre otros. Se observó que las concentraciones de estas sustancias eran más elevadas para los vegetales de hoja. Encontrando cocientes de riesgo promedio (THQ promedio) menores a uno e índices promedio de peligro (HI prom) para adultos y niños de 0,448 y 0,343, respectivamente, concluyendo que el consumo de estos productos no representaba un riesgo para los habitantes de esta provincia (Yu *et al.*, 2016). En la tabla 6 se encuentran referencias correspondientes a los LMR.

Con la información aportada por Pérez *et al.* (2009) sobre las concentraciones de clorfenvinfos, malatión y diazinón en brócoli para México, en donde un 87% de las muestras de brócoli analizadas presentaron residuos de por lo menos un plaguicida organofosforado; se estableció que las concentraciones estaban por debajo de los límites recomendados, razón por la cual no se consideraron un riesgo para la población, aunque se advierte la necesidad de mantener un control sobre estos residuos para evitar inconvenientes a futuro.

**Tabla 6. Límites máximos de residuos de plaguicidas organofosforados a nivel internacional (basado en Pazmiño *et al.*, 2016 y Pérez *et al.*, 2009).**

Plaguicida organofosforado	OMS LMR (mg kg <sup>-1</sup> )	UE- EFSA LMR (mg kg <sup>-1</sup> )
Diazinón	0,5	0,01
Clorpirifos	2	0,05
Malatión	5	0,02
Metamidofos	-	0,01
Paratión	0,2	0,05

En un estudio realizado en Costa Rica, se determinó la presencia de residuos de diferentes plaguicidas en brócoli y coliflor. En el caso del brócoli se encontró presencia de residuos de carbendazina, clorfenapir, trazas de fenpiroximate, piridaben, espiroclufen, demeton-o-sufoxide y clorpirifos y concentraciones de clorotalonil; pentacloroanilina; hexaclorobenceno clorotalonil de 0,3; 0,08; 0,02; 0,03 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Mientras en el coliflor se encontraron residuos de clorotalonil de 0,03 mg kg<sup>-1</sup> y presencia de metamidofos, carbendazina, carbofuran y triadimenol. Advirtiendo la necesidad de realizar estudios más detallados para determinar el efecto que estos residuos podrían tener sobre la salud de la población expuesta (Fournier *et al.*, 2010).

## Evaluación de la exposición a organofosforados a través de brócoli y coliflor en Colombia

### Estimación de la ingesta diaria

De acuerdo a los reportes de la ENSIN 2010, realizados por el ICBF (2010), el 64,9% de la población colombiana encuestada mencionaron consumir verduras cocidas y 76,9% para el caso de verduras crudas. En ambos casos, la frecuencia de consumo se concentra en las categorías de una a cuatro veces por semana. En contraposición, este reporte reitera el bajo consumo de hortalizas cocidas y crudas en general, para todos los grupos de edades encuestados. Razón por la cual, esta población puede presentar altos riesgos de ingesta de residuos de plaguicidas como los organofosforados.

De acuerdo a lo anterior, para este trabajo se consideraron dos escenarios para aproximarse a la evaluación del riesgo por ingesta de residuos organofosforados presentes en crucíferas, que la población expuesta consume brócoli o coliflor en el caso 1, una vez por semana, y para el escenario 2, cuatro veces por semana.

Se asumió como cantidad de la porción consumida 140 g (ICBF, 2010).

Adicionalmente, la falta de información referente a la concentración de residuos de organofosforados presentes en brócoli y coliflor en Colombia, se asumió el valor reportado por Pérez *et al.* (2009) en cultivos de brócoli establecidos en San Andrés Míxquic (México) y Pazmiño *et al.* (2015). Además, las aplicaciones de organofosforados en San Andrés Míxquic llegaron hasta cuatro en comparación a la cifra manejada en Colombia con 16 aplicaciones en el Oriente Antioqueño (Arévalo *et al.*, 1997), en el control de la polilla dorso de diamante (*Plutella xylostella*).

Con estos supuestos, la ingesta diaria estimada de este residuo se podría calcular con la ecuación:

$$EDI = \frac{C * Co}{BW} \quad (1)$$

Donde:

EDI: ingesta diaria estimada de residuos de diazinón (mg kg<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> de BW)

C: concentración promedio del organofosforado en el alimento (mg kg<sup>-1</sup>), equivalente a 1,16 mg kg<sup>-1</sup> de residuos de diazinón medido por Pérez *et al.* (2009) para brócoli en México y 0,1843 mg kg<sup>-1</sup> de residuos de clorpirifos medidos para brócoli en Ecuador por Pazmiño *et al.* (2015). En el caso del diazinón se observa que esta concentración supera el LMR propuesto por FAO/OMS para estos residuos generando una primera advertencia sobre los productos estudiados (2006).

Co: consumo promedio del alimento por persona y por día (kg d<sup>-1</sup>). Este valor se calculó haciendo dos consideraciones, caso 1: consumo de una porción semanal, caso 2: consumo de cuatro porciones semanales.

Para el caso 1:

$$Co = 140 \text{ (g/porción)} * 1 \text{ (porción/semana)} * 52 \text{ (semana/año)} * 1 \text{ (año/365)} * 1 \text{ (kg/1.000 g)} = 0,02 \text{ kg d}^{-1}.$$

Para el caso 2,

$$Co = 140 \text{ (g/porción)} * 4 \text{ (porción/semana)} * 52 \text{ (semana/año)} * 1 \text{ (año/365)} * 1 \text{ (kg/1.000 g)} = 0,08 \text{ kg d}^{-1}.$$

BW: peso corporal medio (kg), para Colombia se tomará un valor de 65,4 kg.

De esa forma se tienen cuatro valores de EDI, correspondientes al cálculo para los dos pesticidas con las dos condiciones de consumo evaluadas:

Para el caso 1:

$$\text{EDI1diazinón} = 0,02 \text{ (kg d}^{-1}\text{)} * (1,16 \text{ mg kg}^{-1}\text{)} / 65,4 \text{ kg}$$

$$\text{PC} = 0,00035 \text{ mg/(kg d}^{-1}\text{ de BW)}$$

$$\text{EDI1clorpirifos} = 0,02 \text{ (kg d}^{-1}\text{)} * (0,1843 \text{ mg kg}^{-1}\text{)} / 65,4 \text{ kg}$$

$$\text{PC} = 0,000056 \text{ mg/(kg d}^{-1}\text{ de BW)}$$

Par el caso 2:

$$\text{EDI2diazinón} = 0,08 \text{ (kg d}^{-1}\text{)} * (1,16 \text{ mg kg}^{-1}\text{)} / 65,4 \text{ kg}$$

$$\text{PC} = 0,00144 \text{ mg/(kg d}^{-1}\text{ de BW)}$$

$$\text{EDI2clorpirifos} = 0,08 \text{ (kg d}^{-1}\text{)} * (0,1843 \text{ mg kg}^{-1}\text{)} / 65,4 \text{ kg}$$

$$\text{PC} = 0,00023 \text{ mg/(kg d}^{-1}\text{ de BW)}$$

Luego se puede proceder a realizar el cálculo del coeficiente de peligro (THQ), que permite determinar el efecto no-carcinogénico en salud asociado a la exposición al agente químico estudiado y se expresa como la relación de la dosis resultante de la exposición en el sitio (EDI), con la dosis que se cree no causa ningún riesgo o ingesta diaria admisible (IDA) (Darko y Akoto, 2008).

La IDA aceptable para diazinón es de 0,03 mg / (kg d<sup>-1</sup> de BW) y para clorpirifos es 0,01 mg/ (kg d<sup>-1</sup> de BW) según se menciona en Jiménez y Quiroga (2016), entonces THQ se calcula como:

$$\text{THQ} = \frac{\text{EDI}}{\text{ADI}} \quad (2)$$

Para el caso 1:

$$\text{THQ1diazinón} = (0,00035 \text{ mg/(kg d}^{-1}\text{ de BW)}) / (0,03 \text{ mg/ (kg d}^{-1}\text{ de BW)}) = 0,012$$

$$\text{THQ1clorpirifos} = (0,000056 \text{ mg/(kg d}^{-1}\text{ de BW)}) / (0,01 \text{ mg/ (kg d}^{-1}\text{ de BW)}) = 0,006$$

Para el caso 2:

$$\text{THQ1diazinón} = (0,00144 \text{ mg/(kg d}^{-1}\text{ de BW)}) / (0,03 \text{ mg/ (kg d}^{-1}\text{ de BW)}) = 0,048$$

$$\text{THQ2clorpirifos} = (0,00023 \text{ mg/(kg d}^{-1}\text{ de BW)}) / (0,01 \text{ mg/ (kg d}^{-1}\text{ de BW)}) = 0,023$$

Como los valores de THQ son menores a uno, es poco probable que la exposición de las personas a los residuos de diazinón y a las condiciones evaluadas derive en un riesgo para su salud (Yu *et al.*, 2016). Sin embargo, es necesario aclarar que esto correspondería al efecto de dos plaguicidas, pero en muchas ocasiones en los cultivos se aplica una mayor cantidad de estas sustancias, haciendo necesario determinar el efecto acumulado. Además para esta estimación se consideró únicamente el aporte por consumo de brócoli y coliflor. Este efecto se podría establecer a partir del cálculo del índice de peligro (HI) como se explica a continuación.

El HI determina el riesgo potencial de experimentar un efecto adverso para la salud desde una mezcla de constituyentes químicos dentro de los vegetales (Zheng *et al.*, 2007) y se calcula como:

$$\text{HI} = \sum_{n=1}^i \text{THQ}_n \quad (3)$$

En este caso, HI para los dos escenarios considerados sería:

**Caso 1:**

$$\text{HI1} = \text{THQ1diazinón} + \text{THQ1clorpirifos}$$

$$\text{HI} = 0,018$$

**Caso 2:**

$$\text{HI2} = \text{THQ2diazinón} + \text{THQ2clorpirifos}$$

$$\text{HI2} = 0,071$$

Cuando HI es menor a uno, es poco probable que la exposición genere efectos adversos para la salud de la población expuesta, pero si el HI excede uno, hay una posibilidad de que se presente un efecto adverso para la salud de la población expuesta y la probabilidad incrementa a medida que HI incrementa (Yu *et al.*, 2016).

Para el caso de la exposición a residuos de plaguicidas organofosforados en Colombia a través del consumo de brócoli y coliflor, el índice de peligro HI se calculó



considerando únicamente la exposición a dos plaguicidas debido a la ausencia de datos asociados a las concentraciones de dichos residuos en brócoli y coliflor.

## CONCLUSIONES

En Colombia se utilizan en cultivos de brócoli y coliflor diferentes plaguicidas organofosforados, siendo los de uso más frecuente el paratión, metamidofos, diazinón, clorpirifos y malatión, razón por la cual estos podrían estar presentes como residuos en las crucíferas estudiadas.

Dentro de la revisión realizada no se encontró información asociada específicamente a la concentración de residuos de plaguicidas organofosforados en brócoli y coliflor y al consumo de estas crucíferas para Colombia. En ese sentido, el riesgo para la población se determinó utilizando datos de concentración de estos residuos en brócoli que fueron obtenidos de estudios realizados en México y Ecuador. La información sobre el consumo se extrajo de la ENSIN 2005 (ICBF, 2006), tomando los datos relacionados con hortalizas de modo general. En este escenario el riesgo determinado fue bajo, sin embargo, se aclara que la estimación realizada considera únicamente la presencia de residuos de diazinón y clorpirifos en las matrices estudiadas, quedando por fuera el efecto de los residuos de los otros plaguicidas organofosforados que también pudieran estar en dichas matrices como residuos.

Como recomendación es necesario realizar más estudios que involucren la concentración de organofosforados en otros alimentos, así como un análisis de la dieta total de los colombianos además se hace necesario conocer la concentración de estos plaguicidas a partir de investigaciones nacionales.

## AGRADECIMIENTOS

A la Vicerrectoría de Investigación y Transferencia de la Universidad de La Salle, Bogotá, por la financiación de esta investigación, al programa de Ingeniería de Alimentos de la Universidad de La Salle por el apoyo para sacar adelante la investigación realizada.

**Conflicto de intereses:** el manuscrito fue preparado y revisado con la participación de los autores, quienes declaran no tener algún conflicto de interés que coloquen en riesgo la validez de los resultados aquí presentados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agrequima. s.f. Uso y manejo responsable de productos para la protección de cultivos. Asociación del Gremio Químico Agrícola. En: <http://agrequima.com.gt/site/wp-content/uploads/2016/12/Presentacion-bas-Us-y-manejo-responsable.pdf>; consulta: septiembre de 2017.
- Arévalo, E., M. Londoño Z., J.E. Jaramillo N., L. Rojas, J. Álvarez, J. Arias y E. Ríos. 1997. Encuesta sobre el conocimiento general de la polilla dorso de diamante por parte de agricultores del Oriente antioqueño, su daño y métodos de control. Proyecto ICA-CORPOICA: Prevalencia y magnitud del daño ocasionado por la polilla dorso de diamante *Plutella xylostella* en cultivos de crucíferas del Oriente antioqueño. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), Rionegro, Colombia.
- Brotóns, M. 2004. Desarrollo y validación de procesos de extracción con dióxido de carbono supercrítico para la determinación de residuos de plaguicidas organofosforados en alimentos de origen vegetal con bajo contenido en agua. Tesis de doctorado. Universidad de Almería, Almería, España.
- Cárdenas, O., E. Silva y J. Ortiz. 2010. Uso de plaguicidas inhibidores de acetilcolinesterasa en once entidades territoriales de salud en Colombia, 2002-2005. *Biomédica* 30, 95-106. Doi: 10.7705/biomedica.v30i1.157
- Charan, P., S. Ali, Y. Kachhawa y K. Sharma. 2010. Monitoring of pesticide residues in farmgate vegetables of central Aravalli region of Western India. *Am-Euras. J. Agric. Environ. Sci.* 7(3), 255-258.
- Codex Alimentarius. 2007. Pesticide residues in food - 2007. FAO; OMS, Ginebra, Suiza.
- Corpoica. 2007. Estrategias de producción limpia de hortalizas. Boletín Técnico. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Mosquera, Colombia.
- Darko, G. y O. Akoto. 2008. Dietary intake of organophosphorus pesticide residues through vegetables from Kumasi, Ghana. *Food Chem. Toxicol.* 46(12), 3703-3706. Doi: 10.1016/j.fct.2008.09.049
- Fernández, D., L. Mancipe y D. Fernández. 2010. Intoxicación por organofosforados. *Rev. Fac. Med.* 18, 84-92.
- Fournier, M., F. Ramírez, C. Ruepert, S. Vargas y S. Echeverría. 2010. Diagnóstico sobre contaminación de aguas, suelos y productos hortícolas por el uso de agroquímicos en la microcuenca de las quebradas Plantón y Pacayas en Cartago, Costa Rica. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA); Universidad Nacional de Costa Rica, Heredia, Costa Rica.
- Galindo, G. 2015. Hábitos de consumo de frutas y hortalizas en personas de 15 a 39 años, habitantes de Bogotá. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

- ICA. 2017. Base de datos, listado de registros nacionales de plaguicidas químicos de uso agrícola. Instituto Colombiano Agropecuario. En: <https://www.ica.gov.co/>; consulta: septiembre, 2017.
- ICBF. 2010. Encuesta nacional de la situación nutricional en Colombia 2010 ENSIN. Instituto Colombiano de Bienestar Familiar, Bogotá, Colombia.
- ICBF. 2006. Encuesta nacional de la situación nutricional en Colombia 2005 ENSIN. Instituto Colombiano de Bienestar Familiar, Bogotá, Colombia.
- Mandal, K. y B. Singh. 2010. Magnitude and frequency of pesticide residues in farmgate samples of cauliflower in Punjab, India. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 85, 423-426. Doi: 10.1007/s00128-010-0107-9
- Nivia, E. 2000. Mujeres y plaguicidas. Una Mirada a la situación actual, tendencias y riesgos de los plaguicidas. Estudio de caso en Palmira, Colombia. Rapalmira, Cali, Colombia.
- Pazmiño, O., M. Flores, J.M. Vallejo, F. Iturra, P. Ramón y L. Medina. 2015. Estudio sobre residuos de plaguicidas en brócoli de exportación y consumo nacional. *Ecuad. Calid. Rev. Cient. Ecuat.* 2(2), 43-49.
- Pérez, M., A. Segura, R. García, T. Colinas, M. Pérez, A. Vázquez y H. Navarro. 2009. Residuos de plaguicidas organofosforados en cabezuela de brócoli (*Brassica oleracea*) determinados por cromatografía de gases. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 25(2), 103-110.
- Pesticide Properties Database (PPDB). 2016. The University of Hertfordshire agricultural substances database: Price list. En: <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/docs/Price.pdf>; consulta: septiembre de 2017.
- USDA. 2008. Maximum residue limits (MRL) Database. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. En: <https://www.fas.usda.gov/maximum-residue-limits-mrl-database>; consulta: octubre 2017.
- Villatoro, M. 2011. Caracterización nutricional y agronómica, análisis de la actividad biológica y selección de crucíferas para uso alimentario. Tesis de doctorado. Instituto de Investigación y Formación Agraria, Pesquera y Alimentaria (IFAPA); Centro Alameda del Obispo de Córdoba; Departamento de Genética, Universidad de Córdoba, Montería, Colombia.
- Wood, H. 2000. Adverse reactions to food and food ingredients. Committee on Toxicity of Chemicals in Food, Consumer Products and the Environment, Londres, UK.
- Yu, R., Q. Liu, J. Liu, Q. Wang y Y. Wang. 2016. Concentrations of organophosphorus pesticides in fresh vegetables and related human health risk assessment in Changchun, Northeast China. *Food Control* 60, 353-360. Doi: 10.1016/j.foodcont.2015.08.013
- Zheng, Y., W. Lan, C. Qiao, A. Mulchandani y W. Chen. 2007. Decontamination of vegetables sprayed with organophosphate pesticides by organophosphorus hydrolase and carboxylesterase (B1). *Appl. Biochem. Biotechnol.* 136(3), 233-241. Doi: 10.1007/s12010-007-9022-x
- Zrostlíková, J., S. Lehotay y J. Hajšlová. 2002. Simultaneous analysis of organophosphorus and organochlorine pesticides in animal fat by gas chromatography with pulsed flame photometric and micro-electron capture detectors. *J. Sep. Sci.* 25, 527-537. Doi: 10.1002/1615-9314(20020601)25:8<527::AID-JSS-C527>3.0.CO;2-S