

Original

Vías de exposición a plaguicidas en escolares de la Provincia de Talca, Chile



María Teresa Muñoz-Quezada^{a,*}, Boris Lucero^{a,b,c}, Verónica Iglesias^d y María Pía Muñoz^d

^a Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Católica del Maule, Talca, Chile

^b Programa de Doctorado en Psicología, Facultad de Ciencias Sociales, Universidad de Chile, Santiago, Chile

^c Centro de Investigación de Vulnerabilidades y Desastres Socionaturales (CIVDES), Universidad de Chile, Santiago, Chile

^d Escuela de Salud Pública, Facultad de Medicina, Universidad de Chile, Santiago, Chile

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Recibido el 26 de junio de 2013

Aceptado el 10 de enero de 2014

On-line el 21 de febrero de 2014

Palabras clave:

Exposición ambiental

Plaguicidas

Organofosforados

Piretrinas

Compuestos organoclorados

Fungicidas

Niños

R E S U M E N

Objetivo: Describir la concentración de plaguicidas en diferentes matrices ambientales en dos períodos de tiempo (baja y alta producción agrícola local) y estimar la asociación entre la presencia de residuos de plaguicidas en las matrices y su uso en el hogar con variables sociodemográficas de escolares de la Provincia de Talca.

Métodos: Estudio de diseño transversal en 190 escolares. Se encuestó a las familias para conocer el consumo de vegetales de los escolares en la escuela y en el hogar, el uso de plaguicidas en el hogar y otras variables sociodemográficas. También se midieron los residuos de plaguicidas en vegetales y agua consumidos por los escolares y en el suelo de 14 escuelas.

Resultados: La matriz vegetal presenta la mayor concentración de residuos en ambos períodos de tiempo, tanto en escolares urbanos como rurales. Los residuos de plaguicidas más frecuentes en los vegetales fueron clorpirifos, difenilamina, pirimetanil y tiabendazol. En los hogares se usan principalmente piretroides y organofosforados en la época de verano. Se encontraron residuos de plaguicidas peligrosos, como azinfos metil y dimetoato, en vegetales consumidos por los escolares en las escuelas y hogares, y de organoclorados en el suelo de algunas escuelas.

Conclusiones: Se sugiere elaborar propuestas de prevención y control de la exposición a plaguicidas en la población escolar, y evaluar los efectos en la salud de los escolares.

© 2013 SESPAS. Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.

Exposure pathways to pesticides in schoolchildren in the Province of Talca, Chile

A B S T R A C T

Keywords:

Environmental exposure

Pesticides

Organophosphates

Pyrethrins

Organochlorine compounds

Fungicides

Children

Objective: To describe pesticide concentrations in distinct environmental matrices at two time points (low and high seasons in local agricultural production) and to estimate the association between the presence of pesticide residues in matrices and the use of pesticides in the home with the sociodemographic variables of schoolchildren in the Province of Talca, Chile.

Methods: A cross-sectional study was conducted in 190 schoolchildren. Families were surveyed about their children's vegetable consumption in school and at home, the use of pesticides in the home, and other sociodemographic variables. Additionally, we measured pesticide residues in vegetables and water consumed by the schoolchildren and in the soil of 14 schools.

Results: At both time points, the vegetable matrix had the highest pesticide concentration, both in urban and rural schoolchildren. The most common pesticide residues in vegetables were chlorpyrifos, diphenylamine, pyrimethanil, and thiabendazole. In the home, pyrethroid and organophosphate pesticides were mainly used in summer. Dangerous pesticide residues such as azinphos methyl and dimethoate were found in vegetables consumed by the children in schools and households, and organochlorines were found in the soil in some schools.

Conclusions: Pesticide exposure should be limited and the health effects related to pesticide exposure should be assessed in the school population.

© 2013 SESPAS. Published by Elsevier España, S.L. All rights reserved.

Introducción

Los plaguicidas son compuestos químicos que permiten controlar la producción agropecuaria y forestal, eliminando plantas,

hongos, animales, insectos, parásitos y microorganismos que pueden producir pérdidas económicas o riesgo en la salud. No obstante, su uso inadecuado puede provocar contaminación ambiental y daños a la salud, en ocasiones irreversibles.

La exposición aguda a plaguicidas ocurre principalmente en el ámbito ocupacional, pero la población general también se ve afectada por la contaminación de alimentos, del hogar y el ambiente, o por vivir cerca de predios agrícolas¹⁻⁵; merecen especial

* Autora para correspondencia.

Correo electrónico: mtmunoz@ucm.cl (M.T. Muñoz-Quezada).

atención los infantes y escolares por su mayor vulnerabilidad al riesgo ambiental, debido a su mayor tasa de respiración y menor capacidad de destoxicación⁶. Estudios en niños y niñas expuestos a organofosforados y organoclorados demuestran dañinos efectos cognitivos y neuroconductuales, desarrollo de neoplasias, y efectos endocrinos y fisiológicos⁷⁻¹⁴.

Chile es un país con cultivos agrícolas. La región con mayor porcentaje de población rural en ocupaciones agrícolas y de ganadería es la Región del Maule, con un 34% de habitantes en zonas rurales. En un estudio previo realizado en esta región reportamos que el consumo de alimentos contaminados con organofosforados era el principal factor de riesgo de la alta concentración de metabolitos de estos compuestos en orina⁵.

El propósito de este artículo es describir la concentración de plaguicidas en diferentes matrices ambientales (agua, suelo y vegetales) en dos períodos de tiempo (baja y alta producción agrícola local), y estimar por separado la asociación entre la presencia de residuos de plaguicidas en las matrices y su uso en el hogar con las variables sociodemográficas de escolares de la Provincia de Talca, Chile, para establecer antecedentes que permitan sustentar políticas públicas que regulen la exposición a plaguicidas en la población.

Materiales y método

Estudio transversal para el que se seleccionaron aleatoriamente 190 escolares de ambos sexos, de 6 a 12 años de edad, de 14 escuelas municipales (seis urbanas y ocho rurales) de nivel socioeconómico bajo, de cuatro comunas: Talca (valle central), San Clemente (precordillera), Empedrado (costera-forestal) y Maule (valle central) de la Provincia de Talca, en la Región del Maule, Chile. Esta muestra participó en un estudio previo en el cual se evaluó la presencia de metabolitos organofosforados en orina y los factores de riesgo asociados⁵.

El muestreo se realizó en diciembre de 2010 (verano), período de mayor actividad agrícola local, y mayo de 2011 (otoño), temporada de baja producción. En verano, la edad promedio fue de $8,6 \pm 1,6$ años, con similar proporción de niños (49,5%) y niñas (50,5%). Un 63,7% pertenecía a escuelas rurales. Un 14,7% residía en Empedrado, un 35,8% en Talca, un 27,9% en San Clemente y un 21,6% en Maule. Un 67,8% de padres y un 72,1% de madres tenían 8 años o más de estudios. Un 44,2% de padres y un 16,3% de madres trabajaban en labores agrícolas. En otoño, la muestra fue de 181 escolares y la ocupación en trabajo agrícola descendió al 39,2% en los padres y el 9,4% en las madres. Los participantes firmaron un consentimiento informado, aprobado por los Comités de Ética de la Facultad de Medicina de la Universidad de Chile y de la Universidad Católica del Maule.

Como variable respuesta se consideró la presencia de residuos de plaguicidas en el suelo de las escuelas, el agua y los vegetales que consumen los escolares según el tipo de residuo y su uso en el hogar según el tipo de plaguicida (variable dicotómica por matriz: 1 = presente y 0 = ausente).

Se aplicaron dos cuestionarios para recopilar información sociodemográfica (comuna, ubicación geográfica de la vivienda, edad y sexo del niño, años de estudios y ocupación agrícola o no agrícola de los padres); tipo de plaguicida usado en el hogar (constatando en el envase del producto su compuesto activo) y los vegetales frescos consumidos durante 4 días antes de la medición, tipo de vegetal y proveedor de los productos (no se indagó sobre la frecuencia ni la cantidad de alimento consumido). Se realizó un estudio piloto de los cuestionarios para evaluar la pertinencia del lenguaje y las categorías de respuesta. En ambos períodos se tomaron muestras de vegetales (2 kg de cada vegetal): en verano y otoño 14 muestras de vegetales de las escuelas, y en otoño 54 muestras de los proveedores de los hogares. La concentración de residuos organofosforados de

los vegetales recolectados en cada escuela fue asignada a los escolares que reportaron su consumo. En los vegetales consumidos en el hogar, para el estudio se adquirieron a los mismos proveedores las mismas frutas o verduras consumidas en los días previos. Se tomaron 14 muestras de suelo (una por escuela) y 38 de agua. El agua provenía de una matriz central según comuna. En las comunidades con proveedores locales, se tomó una muestra representativa de cada una. Las muestras de suelo (2 kg de tierra de diferentes puntos del patio de la escuela a no más de 10 cm de profundidad) y agua (2 litros por escuela y algunos hogares) se recolectaron sólo en verano.

Todas las muestras se enviaron al laboratorio Andes Control en Chile, en bolsas o botellas plásticas esterilizadas, conservadas a 4 °C en neveras separadas, y se utilizó el método modular de análisis de multiresiduos de plaguicidas en frutas, hortalizas, suelo y agua, basado en el método QuEChERS para extracción de plaguicidas^{15,16}. Las muestras fueron homogeneizadas separadamente en licuadora, para obtener la alícuota analítica y la contramuestra, que se trató según normas internas estándar. El producto se extrajo con acetonitrilo y se secó con MgSO₄ para eliminar el agua residual. El extracto se limpió mediante dispersión de amina secundaria primaria junto con anhídrido MgSO₄. Los extractos se concentraron y analizaron por cromatografía de gases-espectrometría de masas. Se determinó el análisis de 278 materias activas de plaguicidas con un límite de detección de 0,01 mg/kg de producto. El laboratorio notificó los tipos de plaguicidas presentes en las muestras y la cuantificación del residuo encontrado, y también las matrices sin residuos. Para el muestreo se siguieron procedimientos del Codex Alimentarius¹⁷ y el Servicio Agrícola Ganadero chileno¹⁸.

El análisis de los datos se basó en estadísticos descriptivos y medidas de frecuencia. Para identificar las variables sociodemográficas asociadas con los residuos de plaguicidas más frecuentemente encontrados en las frutas consumidas se elaboraron modelos de regresión logística para cada período de tiempo, seleccionando las variables por eliminación hacia atrás. Los modelos finales mantuvieron aquellas variables con un valor en la prueba z de $p \leq 0,10$. El mismo procedimiento se utilizó para evaluar la asociación entre el uso de plaguicidas en el hogar y las variables sociodemográficas medidas en los escolares. El software estadístico utilizado fue STATA 11.0.

Resultados

Resultados en verano (mayor producción agrícola)

En ocho de las 14 escuelas se encontraron residuos de organofosforados (diazinón y clorpirifos) en manzanas y naranjas. En nueve escuelas se encontraron residuos de difenilamina, y en cinco residuos de pirimetanil. Durante los 4 días anteriores a la medición, un 43,7% (n=83) consumió frutas con residuos de clorpirifos, un 72% (n=136) con difenilamina, un 40,2% (n=76) con pirimetanil, un 20% (n=38) con residuos del fungicida tiabendazol, un 8,4% (n=16) con diazinón y un 15,8% (n=30) con lambda cihalotrin.

La **tabla 1** describe las concentraciones de residuos encontrados en la fruta analizada según comuna, escuela y tipo de fruta en la época de verano y otoño.

El fungicida difenilamina fue el más frecuente en las muestras de frutas, seguido del clorpirifos y el pirimetanil. Aplicando los hallazgos de residuos de plaguicidas en la fruta al consumo de ésta recogido en la encuesta alimentaria, un 65% (n=124) de los escolares consumió fruta con más de un tipo de plaguicida.

La **tabla 2** muestra la concentración de residuos de plaguicidas en el suelo de las escuelas en verano. El azufre es el residuo más frecuente; además, en dos escuelas se halló organoclorado (DDE-pp). En las muestras de agua no se encontraron residuos.

Tabla 1 Concentraciones de residuos de plaguicidas (en mg/kg de fruta detectados por muestra de la escuela) que presentaron las frutas analizadas en las escuelas en época de verano (mayor producción agrícola) y otoño (menor producción agrícola), según comuna, ubicación geográfica y tipo de fruta

Comuna/ubicación geográfica	Vegetal	Frutas recolectadas en verano							Frutas recolectadas en otoño						
		Clorpirifos	Diazinón	Difenilamina	Pirimetamil	Tiabendazol	Lambda cihalotrin	Fosmet	Iprodiona	Difenilamina	Pirimetamil	Tiabendazol			
Empedrado/urbano	Naranja	0,11	-	-	-	-	-	-	0,12	-	-	0,41			
Empedrado/rural	Manzana	-	0,01	0,26	-	-	-	-	-	0,09	-	0,44			
Talca/rural	Manzana	-	-	0,23	-	-	-	-	0,10	0,03	-	-			
Talca/urbano	Manzana	-	-	0,77	-	0,25	-	-	0,53	0,53	-	-			
San Clemente/urbano	Manzana	-	-	0,02	0,01	-	-	-	0,01	0,01	-	-			
San Clemente/rural	Manzana	-	-	0,01	0,01	-	-	-	-	-	-	-			
San Clemente/rural	Manzana	-	-	0,65	0,01	0,15	-	-	-	-	-	0,63			
Talca/rural	Manzana	-	-	3,89	-	-	-	0,06	-	-	-	-			
Maule/rural	Manzana	0,03	-	1,11	0,01	-	0,01	-	0,02	0,02	-	0,93			
Maule/urbano	Manzana	0,01	-	2,01	-	-	0,01	-	-	-	-	-			
Talca/urbano	Naranja	0,06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Talca/urbano	Naranja	0,04	-	-	-	-	-	-	0,68	0,68	-	0,01			
Maule/rural	Naranja	0,16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Talca/rural	Naranja	0,11	-	-	-	-	-	-	0,45	0,45	-	-			

-: residuo de plaguicida no detectado en la matriz vegetal.

0,01: límite de detección por residuo de plaguicida. El laboratorio informa que el residuo está presente, pero con la mínima concentración detectable.

Tabla 2

Concentraciones de residuos de plaguicidas (en mg/kg de fruta detectados por muestra de la escuela) que presentaron las muestras de suelo analizadas, según escuela y comuna en época de verano

Comuna/ubicación	Azufre	Linuron	Cipermetrina	DDE-pp
Empedrado/urbano	-	-	-	-
Empedrado/rural	-	-	-	-
Talca/rural	0,50	-	0,16	-
Talca/urbano	0,01	0,01	-	-
San Clemente/urbano	0,10	-	-	0,01
San Clemente/rural	0,10	-	-	-
San Clemente/rural	-	-	-	0,01
Talca/rural	0,01	-	-	-
Maule/rural	0,01	-	-	-
Maule/urbano	0,30	-	-	-
Talca/urbano	-	-	-	-
Talca/urbano	0,10	-	-	-
Maule/rural	-	-	-	-
Talca/rural	0,10	-	-	-

-: residuo de plaguicida no detectado en la matriz de suelo.

0,01: límite de detección por residuo de plaguicida. El laboratorio informa que el residuo está presente, pero con la mínima concentración detectable.

Un 35,8% (n = 68) de las madres reportaron haber aplicado plaguicidas durante los 4 días anteriores a la medición en el hogar. Un 10% (n = 19) utilizó organofosforados (fenitrotión), un 23% (n = 44) piretroides (permetrina, transflutrina, aletrina y tetrametrina) y un 2,6% (n = 5) otros tipos de plaguicidas.

Al evaluar la relación entre los residuos más frecuentes en la fruta (clorpirifos, difenilamina y pirimetamil) y las distintas variables sociodemográficas, sólo se evidenció una relación significativa con la ubicación geográfica (tabla 3).

Los residuos de clorpirifos en la fruta se asociarían a vivir en zonas urbanas, y los residuos de difenilamina y pirimetamil a vivir en zonas rurales (tabla 3). La *odds ratio* (OR) de consumir fruta de la escuela con clorpirifos es 5,9 veces mayor en los escolares urbanos que en los rurales. Por otro lado, para el consumo de frutas con difenilamina es 5 veces mayor en los escolares rurales que en los urbanos, y con pirimetamil es 1,9 veces mayor.

En relación al uso de plaguicidas en el hogar, sólo se observó asociación con la variable comuna. En Empedrado, Talca y Maule la asociación con el uso de plaguicidas fue mayor respecto a San Clemente (Empedrado, OR: 4,8, intervalo de confianza del 95% (IC95%): 1,7-13,7; Talca, OR: 3,4, IC95%: 1,4-8,1; Maule, OR: 3,4, IC95%: 1,3-8,9). En un 17% de los hogares de los escolares de San Clemente, un 50% de los de Empedrado, un 59% de los de Talca y un 59% de los de Maule se aplicaron plaguicidas durante los 4 días anteriores a la medición.

Resultados en otoño (menor producción agrícola)

En la tabla 1 se describe la concentración de residuos de plaguicidas encontrados en las frutas consumidas en la escuela en otoño según comuna, ubicación geográfica y tipo de fruta. La difenilamina, el pirimetamil y el tiabendazol fueron los fungicidas hallados con mayor frecuencia.

Once de las muestras tomadas en el hogar y la escuela presentaban organofosforados: seis contenían clorpirifos (de las cuales dos también azinfosmetil), cuatro fosmet y una dimetoato. Además, 25 muestras presentaban residuos de difenilamina, 12 de pirimetamil y 17 de tiabendazol, entre otros residuos menos frecuentes.

La tabla 4 muestra el porcentaje de escolares que en otoño consumió algún vegetal en la escuela o el hogar, clasificado según residuos, grupo químico y tipo de plaguicida.

Los fungicidas difenilamina y tiabendazol, y el insecticida clorpirifos, fueron los residuos más frecuentes en los vegetales consumidos (sobre el 50%). Un 12% (n = 22) no consumió vegetales con

Tabla 3

Asociación entre la concentración de residuos de plaguicidas en las frutas consumidas por los escolares en ambos períodos (verano y otoño) y variables sociodemográficas

Residuo ^a /variable	Consumo de fruta en la escuela en verano				Consumo de fruta en la escuela y el hogar en otoño			
	Coef.	OR	p	IC95%	Coef.	OR	p	IC95%
Clorpirifos								
- Ubicación geográfica ^b	-1,72	0,17	< 0,001	0,09-0,34	-0,91	0,40	0,010	0,20-0,80
- Estudios padre ^c					-0,75	0,46	0,32	0,23-0,93
Difenilamina								
- Ubicación geográfica ^b	1,64	5,16	<0,001	2,61-10,19				
- Comuna ^d :					1,34	3,81	0,008	1,42-10,20
Talca					2,41	11,20	<0,001	3,29-38,29
San Clemente					0,12	1,12	0,812	3,29-38,29
Maule								
Tiabendazol								
- Comuna ^e :								
Empedrado					3,74	42,10	<0,001	5,20-341,80
Talca					0,02	1,02	0,946	0,45-2,29
San Clemente					0,90	2,46	0,038	1,05-5,77
Pirimetanil								
- Ubicación geográfica ^b	0,65	1,93	0,039	1,03-3,61	0,82	2,28	0,018	1,15-4,51
- Comuna ^e :								
Empedrado					1,34	3,84	0,011	1,36-10,70
Talca					1,36	3,93	0,002	1,67-9,19
San Clemente					-0,40	0,63	0,338	0,25-1,60

OR: odds ratio; IC95%: intervalo de confianza del 95%.

^a Residuo de plaguicida: presente = 1, ausente = 0.^b Ubicación geográfica: urbano = 0, rural = 1.^c Estudios padre: 0 = ≥ 8 años, 1 = < 8 años.^d Comuna de referencia: Empedrado.^e Comuna de referencia: Maule.

residuos y el 85% de los escolares (n = 155) consumió algún vegetal en el hogar con más de un residuo.

Al evaluar las variables asociadas, se determinó que la OR de consumir fruta con residuos de clorpirifos en otoño es 2,5 veces mayor en los escolares urbanos que en los rurales, y 2,2 veces mayor si los padres tienen menos de 8 años de estudios (tabla 3).

Por otro lado, la OR de consumir vegetales con difenilamina es 2,9 veces mayor en los escolares urbanos que en los rurales, y 3,8 veces mayor en los escolares de Talca y 11,2 en los de San Clemente (comuna de referencia: Empedrado).

Respecto al consumo de vegetales con tiabendazol, resulta 42 veces mayor en los escolares de Empedrado y 2,5 veces mayor en los de San Clemente, en comparación con los de Maule.

Finalmente, el residuo pirimetanil en las frutas y verduras se asociaría a vivir en zonas rurales, de Empedrado y Talca (referencia:

comuna de Maule). La OR de consumir frutas con pirimetanil es 2,3 veces mayor en los escolares rurales que en los urbanos, y 3,8 veces mayor en los de Empedrado y 3,9 veces mayor en los de Talca comparados con los de Maule.

No se observó asociación significativa entre el uso de plaguicidas en el hogar y las variables sociodemográficas de los escolares en este período.

Discusión

El organofosforado clorpirifos y los fungicidas difenilamina, tiabendazol y pirimetanil son los residuos de plaguicidas más frecuentes en los vegetales que consumen los escolares en las escuelas y el hogar, en época de alta y baja producción agrícola. Todas las concentraciones de residuos de plaguicidas

Tabla 4

Proporción de escolares que en otoño consumió alguna fruta o verdura con residuos de plaguicidas en la escuela o el hogar, con su respectiva clasificación química

Residuo	Fruta o verdura con el residuo	Grupo químico	Tipo de plaguicida	Escolares N (%)
Difenilamina	Manzana roja, verde y fuji, tomate, pera	Amina aromática secundaria	Fungicida	128 (70,3)
Tiabendazol	Manzana verde, fuji y roja, tomate	Bencimidazoles	Fungicida	98 (53,8)
Clorpirifos	Tomate, naranja, mandarina	Organofosforado	Insecticida	94 (51,6)
Pirimetanil	Manzana roja, verde y fuji, tomate	Anilino pirimidina	Fungicida	86 (47,2)
Fosmet	Manzana roja, pera	Organofosforado	Insecticida	35 (19,2)
Tebuconazol	Tomate	Triazol	Fungicida	27 (14,8)
Difeconazol	Tomate, manzana roja	Triazol	Fungicida	22 (12,9)
Miclobutalino	Tomate	Fenilpirrol	Fungicida	22 (12,9)
Azufre	Tomate, lechuga costina y milanesa	Azufre	Fungicida	16 (8,7)
Metalaxil	Escarola	Acilalaninas	Fungicida	16 (8,7)
Azinfos metil	Naranja	Organofosforado	Insecticida	15 (8,2)
Iprodiona	Kiwi	Dicarboximidias	Fungicida	13 (7,1)
Buprofezin	Tomate	Tiadazina	Insecticida	6 (3,3)
Fenhexamida	Kiwi	Hidro xialidinas	Fungicida	5 (2,7)
Lambda cihalotrin	Tomate	Piretroides	Insecticida	4 (2,2)
Triadimenol	Tomate	Triazol	Fungicida	4 (2,2)
Carbaril	Manzana fuji	Carbamato	Insecticida	4 (2,2)
Dimetoato	Pera	Organofosforado	Insecticida	3 (1,6)
Ciprodinil	Tomate	Anilino pirimidina	Fungicida	3 (1,6)
Fludioxonil	Tomate	Fenilpirrol	Fungicida	3 (1,6)
Captan	Pera	Phthalamidas	Fungicida	2 (1,1)

están dentro del límite exigido para los alimentos en Chile¹⁹. Al consultar a los proveedores de los hogares sobre el origen de los vegetales, informan de que en verano son productos locales y en otoño provienen del norte del país, con consumo y presencia de residuos en los vegetales en ambos períodos.

En un 36% de los hogares se aplican plaguicidas en verano, porcentaje que disminuye al 25% en otoño. Los piretroides son los más utilizados, seguidos de los organofosforados. Su uso en verano se debe principalmente a las plagas de insectos que aparecen en las comunas agrícolas-urbanas y forestales. Los piretroides son de baja toxicidad, pero en dosis altas pueden provocar alteraciones en el sistema nervioso. Su efecto crónico, aun cuando sigue en estudio, se ha asociado con trastornos locomotores y polineuropatía²⁰, toxicidad en la reproducción, alteraciones endocrinas y retraso en la maduración cerebral en ratas expuestas^{21,22}, supresión inmunitaria y carcinogénesis²³, pero aún no hay suficiente evidencia para clasificarlo como tal.

La mayoría de las escuelas presentaron residuos de azufre en el suelo por su cercanía a viñedos y su ubicación en una zona volcánica. Los valores encontrados de azufre (fungicida), linuron (herbicida) y cipermetrina (piretroide) están dentro de la normativa chilena exigida. En dos escuelas se encontraron residuos del organoclorado DDE-pp, que está prohibido en Chile desde 1984²⁴ por su alta toxicidad, con comprobados efectos cancerígenos, mutaciones genéticas y daños neurológicos^{7,8,25}. Su presencia en bajas concentraciones se debería a su persistencia en el ambiente.

El consumo de vegetales es la principal ruta de exposición de una variedad de residuos de fungicidas y organofosforados en los escolares, tanto urbanos como rurales, y en tiempos de menor y mayor productividad agrícola. A través de la encuesta se constató que las frutas eran el principal vegetal consumido, y la mayoría presentaba más de un residuo, combinando insecticidas con fungicidas.

De los fungicidas, los residuos de difenilamina, tiabendazol y pirimetanil fueron los más frecuentes. Los efectos a largo plazo de estos fungicidas han sido escasamente reportados. La difenilamina se usa como preservante de la fruta, y se considera una sustancia tóxica y de riesgo para la salud. Sus efectos carcinógenos se han observado en estudios de laboratorio²⁶, y la exposición ambiental prolongada o repetida puede provocar cáncer de vejiga y de hígado²⁷. Desde el año 2009, la Unión Europea ha estado evaluando su reducción o eliminación de la fruta, debido a sus efectos sobre la salud y el medio ambiente²⁸.

El tiabendazol y el pirimetanil son fungicidas agrícolas contaminantes del medio ambiente²⁹⁻³¹, con efectos de irritación ocular, toxicidad dérmica y por inhalación en intoxicaciones agudas; se desconocen sus efectos a largo plazo en la salud.

De los residuos detectados, los organofosforados son los más peligrosos para la salud. Sus efectos crónicos están vinculados principalmente a daños en el sistema nervioso central, trastornos motores, bajo desempeño cognitivo, dificultades en la memoria de trabajo, déficits de atención y neuroconductuales, genotoxicidad y neoplasias^{7-14,29,31}. El azinfos metil y el dimetoato están clasificados como peligrosos, con grados de toxicidad Ib y II. Afectan el funcionamiento renal, la fertilidad masculina y femenina, y producen mutaciones y malformaciones durante el embarazo^{7,9}, por lo que se considera relevante revisar el uso de estos plaguicidas. En Estados Unidos y la Unión Europea su utilización está regulada estrictamente, con prohibición de uso para el dimetoato^{28,32}.

Respecto a las limitaciones del estudio, no se midieron residuos de plaguicidas en los vegetales que los escolares consumieron en el hogar en el período de alta producción agrícola (verano). Sin embargo, las mediciones en las escuelas y los análisis posteriores en los vegetales que consumían en el hogar indican una exposición constante.

Estos antecedentes indican que debería evaluarse si la exposición crónica a bajas dosis de residuos en los vegetales afecta el desarrollo y la salud de los niños y las niñas, precisando el tipo de plaguicida involucrado y las vías de exposición. Escasas investigaciones asocian los valores de los residuos encontrados en los alimentos con efectos negativos en la salud^{5,10-13,33}.

Con respecto a las acciones de intervención en salud pública, se propone:

- Regular la venta, la aplicación y la presencia de residuos de plaguicidas peligrosos en Chile: si bien las cantidades de residuos encontrados están dentro de la norma chilena, la presencia de organoclorados y la exposición crónica a bajas dosis de plaguicidas peligrosos (como organofosforados y difenilamina) sugieren la necesidad de una revisión de las políticas para regular la venta, la aplicación y la presencia de residuos de plaguicidas en frutas y verduras.
- Promover medidas de comunicación y prevención del riesgo de exposición a residuos de plaguicidas: se requiere informar y educar a la población respecto a la limpieza y la higiene en la manipulación de los vegetales que presumiblemente presentan residuos de plaguicidas, así como sobre el riesgo de su uso en los hogares sin la debida precaución. Por ejemplo, en Estados Unidos se informa anualmente a la población general sobre los productos agrícolas contaminados con organofosforados en un documento denominado *Dirty Dozen*, elaborado por el Environmental Working Group's³⁴ a partir de los datos aportados por el United States Department of Agriculture (USDA)³⁵. Las frutas y las verduras que en el año 2012 incluía esta lista fueron (según el orden de riesgo) las manzanas, los pimientos, los arándanos, el apio, los pepinos, las uvas, las lechugas, las nectarinas importadas, los duraznos (melocotones), las patatas, las espinacas y las fresas. A modo de precaución, recomiendan a los consumidores preferir estos vegetales en su versión orgánica, que en los países desarrollados tienen una alta demanda con la consiguiente disminución en su precio, debido a la mayor información manejada por la población. A la vez, comunican que el lavado de los vegetales no resulta suficiente y que muchos de estos plaguicidas se encuentran en la cáscara, por lo que sugieren consumirlos pelados.
- Control de la exposición a plaguicidas en la población general: es necesario aumentar la fiscalización para el cumplimiento de las normas de aplicación de plaguicidas en faenas agrícolas, medir los residuos de plaguicidas de los productos vegetales ofrecidos en el mercado al menos cada 2 años y vigilar el cumplimiento de los períodos de carencia. Para evaluar estas intervenciones, cada cierto tiempo debería medirse la exposición por medio de biomarcadores (p. ej., monitorizar los metabolitos de organofosforados).

Éste es el primer estudio realizado en Chile y Latinoamérica que evalúa la concentración de plaguicidas en las matrices suelo, agua, vegetales de consumo individual y su uso en el hogar. Se han determinado la gama de plaguicidas consumidos por los escolares, los residuos más peligrosos y las vías de exposición más relevantes, y se establece la necesidad de generar propuestas de prevención y control de la exposición en la población escolar.

Editor responsable del artículo

Carlos Álvarez Dardet.

Declaraciones de autoría

M.T. Muñoz Quezada, B. Lucero y V. Iglesias concibieron y diseñaron el trabajo. M.T. Muñoz Quezada, B. Lucero y M.P. Muñoz

¿Qué se sabe sobre el tema?

Existen pocos estudios que evalúen la exposición a diversas pesticidas en escolares. Los estudios se concentran en la evaluación de organofosforados y organoclorados. Si bien los pesticidas contribuyen al control de plagas peligrosas, si no se regula la emisión de sus residuos pueden afectar la salud humana y el medio ambiente.

¿Qué añade el estudio realizado a la literatura?

Aporta evidencia sobre las diferentes vías de exposición y la diversidad de pesticidas a que están expuestos los escolares tanto de zonas urbanas como rurales. Los resultados contribuyen a la toma de decisiones sobre la regulación y el control de residuos de plaguicidas en vegetales, hogares y suelo, y al desarrollo de futuras investigaciones sobre los efectos de estos pesticidas en la salud.

participaron en la recolección de los datos. Todos los autores contribuyeron al análisis y la interpretación de los datos, la redacción del manuscrito, la revisión crítica del texto y la aprobación de su versión final.

Financiación

Esta investigación fue financiada por un proyecto de investigación del Fondo Nacional de Investigación en Salud de la Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología (CONICYT) de Chile, FONIS SA10I20001, y por un proyecto NIH Fogarty, N.º D43 TW05746, ITREOH (International Training Research Environmental & Occupational Health), del Instituto Nacional de Salud de Estados Unidos (NIH), proyecto vigente entre Emory University, Atlanta (Estados Unidos), y la Escuela de Salud Pública de la Universidad de Chile.

Conflictos de intereses

Ninguno.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Católica del Maule, la Escuela de Salud Pública de la Universidad de Chile, la Rollins School of Public Health of Emory University y las Direcciones de Administración de Educación Municipal de las comunas de Talca, San Clemente, Maule y Empedrado.

Bibliografía

- Vida P, Moretto A. Pesticide exposure pathways among children of agricultural workers. *J Public Health*. 2007;15:289–99.
- Lu C, Barr DB, Pearson MA, et al. Dietary intake and its contribution to longitudinal organophosphorus pesticide exposure in urban/suburban children. *Environ Health Perspect*. 2008;116:537–42.
- Lu C, Kedan G, Fisker-Andersen J, et al. Multipathway organophosphorus pesticide exposures of preschool children living in agricultural and nonagricultural communities. *Environ Res*. 2004;96:283–9.
- Vicente A, Arqués J, Villalbí J, et al. Plaguicidas en la dieta: aportando piezas al rompecabezas. *Gac Sanit*. 2004;18:425–30.
- Muñoz-Quezada MT, Iglesias V, Lucero B, et al. Predictor of exposure to organophosphate pesticides in schoolchildren in the Province of Talca. *Chile Environ Int*. 2012;47:28–36.
- Freeman N. Children's risk assessment. En: Robson M, Toscano W, editores. *Risk assessment for environmental health*. San Francisco: John Wiley; 2007. p. 315–44.
- Alavanja M, Hoppin J, Kamel F. Health effects of chronic pesticide exposure: cancer and neurotoxicity. *Ann Rev Public Health*. 2004;25:155–97.
- Jurewicz J, Hanke W. Prenatal and childhood exposure to pesticides and neurobehavioral development: review of epidemiological studies. *Int J Occup Med Environ Health*. 2008;21:121–32.
- Garry VF. Pesticides and children. *Toxicol Appl Pharmacol*. 2004;198:152–63.
- Bouchard MF, Bellinger DC, Wright RO, et al. Attention-deficit/hyperactivity disorder and urinary metabolites of organophosphate pesticides. *Pediatrics*. 2010;125:e1270–7.
- Bouchard MF, Chevrier J, Harley KG, et al. Prenatal exposure to organophosphate pesticides and IQ in 7-year-old children. *Environ Health Perspect*. 2011;119:1189–95.
- Rauh VA, Pereda FP, Horton MK, et al. Brain anomalies in children exposed prenatally to a common organophosphate pesticide. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2012;109:7871–6.
- Rauh VA, Garfinkel R, Perera FP, et al. Impact of prenatal chlorpyrifos exposure on neurodevelopment in the first 3 years of life among inner-city children. *Pediatrics*. 2006;118:1845–59.
- Eskenazi B, Rosas LG, Marks AR, et al. Pesticide toxicity and the developing brain. *Basic Clin Pharmacol Toxicol*. 2008;102:228–36.
- Lehotay SJ, de Kok A, Hiemstra M, Van Bodegraven P. Validation of a fast and easy method for the determination of residues from 229 pesticides in fruits and vegetables using gas and liquid chromatography and mass spectrometric detection. *JAOAC Int*. 2005;88:595–614.
- Schenck FJ, Hobbs JE. Evaluation of the quick, easy, cheap, effective, rugged, and safe (QuEChERS) approach to pesticide residue analysis. *Bull Environ Contam Toxicol*. 2004;73:24–30.
- Organización Mundial de la Salud/Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Comisión del Codex Alimentarius. Manual de procedimiento. Roma: Italia; 2011. 231 p. (Consultado el 10/05/2013.) Disponible en: ftp://ftp.fao.org/codex/Publications/ProcManuals/Manual_20s.pdf
- Mejías J, Jerez J. Guía para la toma de muestras de residuos de plaguicidas. Agua, sedimento y suelo. Santiago: Ministerio de Agricultura, Servicio Agrícola Ganadero; 2006. 37 p. (Consultado el 10/05/2013.) Disponible en: <http://www.sag.cl/sites/default/files/GUIA%2520TOMA%2520MUESTRAS%2520PLAGUICIDAS.pdf>
- Ministerio de Salud (MINSAL). Fija tolerancias máximas de residuos de plaguicidas en alimentos y deja sin efecto la resolución exenta n.º 581, de 1999, y sus modificaciones. Resolución exenta n.º 33. Santiago: Ministerio de Salud; 2010. 156 p. (Consultado el 10/05/2013.) Disponible en: http://webhosting.redsalud.gov.cl/transparencia/public/minsal/normativa_a7c-2.html
- Starr JM, Scollon EJ, Hughes MF, et al. Environmentally relevant mixtures in cumulative assessments: an acute study of toxicokinetics and effects on motor activity in rats exposed to a mixture of pyrethroids. *Toxicol Sci*. 2012;130:309–18.
- Liu J, Yang Y, Zhuang S, et al. Enantioselective endocrine-disrupting effects of bifenthrin on hormone synthesis in rat ovarian cells. *Toxicology*. 2011;290:42–9.
- Nasuti C, Carloni M, Donatella F, et al. Effects of early life permethrin exposure on spatial working memory and on monoamine levels in different brain areas of pre-senescent rats. *Toxicology*. 2013;303:162–8.
- George J, Shukla Y. Pesticides and cancer: insights into toxicoproteomic-based findings. *J Proteomics*. 2011;74:2713–22.
- Servicio Agrícola Ganadero (SAG). Prohíbe la importación, fabricación, venta, distribución y uso de plaguicida DDT: Resolución n.º 639. República de Chile: Diario Oficial; 1984.
- Roberts JR, Karr CJ. Pesticide exposure in children. *Pediatrics*. 2012;130:1765–88.
- Santovito A, Cervella P, Delpero M. Micronucleus frequency in human lymphocytes after exposure to diphenylamine in vitro. *Mutat Res*. 2012;747:135–7.
- Zhou W, Zhu L, Li Z, et al. Formation and cytotoxicity of a new disinfection by-product (DBP) phenazine by chloramination of water containing diphenylamine. *J Environ Sci*. 2012;24:1217–24.
- Unión Europea. Reglamento (UE) N.º 73/2013 de la comisión de 25 de enero de 2013 por el que se modifican los anexos I y V del Reglamento (CE) n.º 689/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo, relativo a la exportación e importación de productos químicos peligrosos. Diario Oficial de la Unión Europea. 26 enero 2013; p. 11–16. (Consultado el 10/05/2013.) Disponible en: <http://www.boe.es/doue/2013/026/L00011-00016.pdf>
- Vindas R, Ortiz F, Ramírez V. Genotoxicidad de tres plaguicidas utilizados en la actividad bananera de Costa Rica. *Rev Biol Trop*. 2004;52:601–9.
- Penagos H, Ruepert C, Partanen T, et al. Pesticide patch test series for the assessment of allergic contact dermatitis among banana plantation workers in Panama. *Dermatitis*. 2004;15:137–45.
- Coleman MD, O'Neil JD, Woehrling EK, et al. A preliminary investigation into the impact of a pesticide combination on human neuronal and glial cell lines in vitro. *PLoS One* [edición electrónica]. 2012;7:e42768 (Consultado el 10/05/2013.) Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3411844/>
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Fourth national report on human exposure to environmental chemicals. 2009. 529 p. (Consultado el 10/05/2013.) Disponible en: <http://www.cdc.gov/exposurereport/pdf/FourthReport.pdf>
- Akoto O, Andoh H, Darko G, et al. Health risk assessment of pesticides residue in maize and cowpea from Ejura, Ghana. *Chemosphere*. 2013;92: 67–73.
- EWG. EWG's 2012 shopper's guide to pesticides in produce; 2012. (Consultado el 10/05/2013.) Disponible en: <http://www.ewg.org/foodnews/summary/>
- USDA. Food safety and inspection service (FSIS); 2012. (Consultado el 10/05/2013.) Disponible en: <http://www.fsis.usda.gov/Home/index.asp>