

EXPOSICIÓN A PLAGUICIDAS ORGANOCOLORADOS EN NIÑOS INDÍGENAS DE POTAM, SONORA, MÉXICO

Cejudo, E. A. L., Meza, M. M. M., Balderas, C. J. J., Mondaca, H. I., Rodríguez, R. R.,
Renteria, M. A. M., Félix, F. A.

Instituto Tecnológico de Sonora, 5 de Febrero 818 sur, Zona Centro, CP 85000. Cd. Obregón, Sonora, México.

Correo electrónico: mmeza@itson.mx.

RESUMEN

La principal actividad en el sur de Sonora es la agricultura, donde por muchos años se han usado de manera irracional e indiscriminada una amplia diversidad de plaguicidas, incluyendo compuestos prohibidos en otros países. Debido a la falta de datos sobre residuos de plaguicidas en muestras biológicas y ambientales de residentes de la etnia yaqui el objetivo de éste estudio fue evaluar la exposición de niños a p,p'-DDT, p,p'-DDE, p,p'-DDD, α , β -endosulfan y lindano para conocer los niveles basales de la población a éstos tóxicos. Se realizó un estudio transversal incluyendo niños de Potam (alta exposición) y niños de Cd. Obregón (baja exposición). Se analizaron muestras de sangre para determinar éstos plaguicidas mediante cromatografía de gases. El 100% de las muestras tuvo niveles detectables de p,p'-DDE, en un rango de 0.3-4.3 g/L, lindano sólo estuvo presente en el 33.33% de los niños de Potam con valores entre 0.7 ± 0.2 g/L. El endosulfán se encontró en ambas comunidades, pero los niveles mas altos fueron para los niños de Potam en el rango de no detectable (ND) hasta 2.8 g/L.

La concentración en suelo para el DDT total (Σ pp-DDT, pp-DDE, pp-DDD) estuvo en el rango de ND hasta 36.60 g/Kg. También se encontró una asociación estadísticamente significativa entre los niveles de p,p'-DDE en la sangre y el consumo de alimentos marinos. La presencia de éstos agroquímicos en ambas comunidades muestra la alta residualidad y biodisponibilidad de éstos compuestos en el ambiente a través de diferentes rutas de exposición a la población.

Palabras clave: plaguicidas, bioacumulación, niños.

INTRODUCCIÓN

A través de muchos años se han utilizado una gran cantidad de plaguicidas para el control de plagas que afectan la agricultura (Burgos *et al.*, 2005). Estos se pueden definir como aquella sustancia o mezcla de sustancias, ingredientes activos, cuyo principal objetivo es prevenir, destruir o mitigar cualquier plaga, ya sea debida a insectos, roedores, hongos, nemátodos, algas u otras formas de plantas terrestres o acuáticas, animales, bacterias o virus; además cabe incluir también los productos que favorecen y regulan la producción vegetal, con

excepción de los nutrientes y los destinados a la corrección del suelo. A veces de manera incorrecta, el término plaguicida se utiliza para referirse únicamente a insecticidas, sin tener en cuenta que también incluye a los herbicidas, fungicidas, molusquicidas u otras sustancias para el control de plagas (Pastor, 2002). Los plaguicidas se conocen desde la antigüedad, aunque fue entre los años 20-30 del siglo XX, especialmente a partir de la Segunda Guerra Mundial, cuando su empleo se extendió exponencialmente (Pitarch, 2001). El rápido desarrollo de la química orgánica el impresionante aumento de la población mundial, fueron los factores que más contribuyeron en su amplio uso y desarrollo de nuevos plaguicidas sintéticos para el control de plagas agrícolas y vectores transmisores de enfermedades. La acumulación de las evidencias encontradas de sus efectos a la salud, los ha colocado en una categoría de sustancias denominadas contaminantes orgánicos persistentes, mejor conocidos como COPs ó por sus siglas en inglés POPs, sus características físico-químicas es que son compuestos químicos resistentes a la degradación fotolítica, biológica, química, tienen una baja presión de vapor y baja solubilidad en agua. Además, los COPs son altamente solubles en grasas y presentan características de alta toxicidad y son teratogénicos, presentando así un alto riesgo a la salud humana. Pueden alterar funciones biológicas normales, incluyendo la actividad natural de las hormonas y otros mensajeros químicos. Al ser los COPs solubles en grasas, se pueden acumular en los tejidos adiposos de los mamíferos y luego se biomagnifican; lo que significa que sus concentraciones pueden aumentar en cientos ó miles de veces, a medida que van subiendo en la cadena alimenticia. Entre estas sustancias se encuentran los plaguicidas organoclorados, los bifenilos policlorados y las dioxinas. Los plaguicidas

organoclorados (POCs) se empezaron a utilizar por primera vez en México en 1945 con la introducción del DDT, utilizado para el control de vectores de enfermedades, lo que generó su utilización extensiva a partir de 1956 en todo el país. La utilización del DDT fue suspendida en el año 2000, cuando es sustituido por piretroides. Este plaguicida fue ampliamente utilizado en comunidades endémicas de paludismo en México, y dada su persistencia, ahora lo encontramos en diferentes matrices ambientales, tales como sedimentos de lagunas costeras (González et al., 2002), suelos (Helling et al., 1991), y alimentos (Albert, 1996; Valenzuela et al., 2006) junto con sus metabolitos DDE y DDD, además, la exposición a los mismos constituye un serio riesgo para la salud. La principal actividad económica de la región del sur de Sonora es la agricultura, debido a esto durante muchos años se han utilizado grandes cantidades de plaguicidas de manera irracional, por lo tanto existe una exposición ambiental y ocupacional crónica a estas sustancias, incrementando el riesgo para sus habitantes (Pérez-Maldonado et al., 2010). En este escenario, es necesaria la evaluación de la exposición de éstas sustancias en niños y en el ambiente en que viven, considerando que ellos son una de las poblaciones mas susceptibles; la ingestión e inhalación de suelo y polvo contaminados, así como la ingestión de alimentos se consideran potenciales rutas de exposición a los plaguicidas organoclorados, incluyendo la leche materna donde éstos se bioacumulan. Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue determinar el nivel de exposición que tienen los niños a los plaguicidas organoclorados: el DDT y sus metabolitos (DDE y DDD), lindano y endosulfán, mediante su cuantificación en muestras de suelo y en suero sanguíneo, abordando el tema desde sus antecedentes históricos, características y propiedades así

como sus impactos en el medio ambiente y la salud; ya que a pesar que su uso ha sido prohibido y restringido, aún se pueden encontrar en el ambiente y en organismos vivos, dada su persistencia y capacidad de bioacumulación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio: Pótam, Sonora, se consideró como una comunidad de alta exposición a POCs, su principal actividad económica es la agricultura además de su ubicación geográfica. Esta comunidad pertenece al municipio de Guaymas, ubicada al suroeste del estado de Sonora a 70 Km de Cd. Obregón. Cuenta con 5, 782 habitantes. Se seleccionó Cd. Obregón, Sonora; por ser una comunidad de menor exposición (CME). En ésta última solo se tomaron muestras de sangre de niños para utilizarlos como población de referencia. Muestreo de suelo: En la comunidad de Pótam, se ubicaron de manera estratégica 12 sitios de muestreo apoyados con el mapa obtenido con el programa Google Earth, 2009, los puntos de muestreo se marcaron en el mapa y se obtuvieron las coordenadas geográficas teóricas latitud norte y longitud oeste de cada uno de ellos. Dentro de la comunidad cada uno de los puntos se ubicó con ayuda de un equipo GPS (Global Positioning System), registrando las coordenadas reales y tomando las muestras acorde a la metodología NMX-AA-132-SCFI-2006. Se recolectaron aproximadamente 500 g de suelo utilizando bolsas de papel etiquetadas y se colocarán dentro de una bolsa de plástico para su traslado al laboratorio, almacenándose en un congelador a una temperatura de -20°C hasta su análisis. Reclutamiento de los participantes; éste se realizó en coordinación con la Secretaría de Salud, invitando a los padres de familia con niños de 6 a 12 años de edad a participar en

el proyecto e informándoles a los mismos el objetivo del estudio, además de explicarles la importancia social del mismo. La participación fue completamente voluntaria, seleccionando 15 niños de la comunidad de Pótam y 15 niños de Cd. Obregón, en el periodo de marzo-abril del 2010. Para su selección, se consideraron los siguientes criterios de inclusión; niños en un rango de edad de 6 a 12, que por lo menos tuvieran cinco años de residencia en la comunidad, además de la obtención de las formas de consentimiento firmadas por los niños y sus padres. También se aplicaron cuestionarios con el fin de obtener datos importantes de los niños como; tiempo de residencia, tiempo de lactancia, consumo de alimentos marinos, peso, altura y condiciones generales de salud para posteriormente relacionarlos con las concentraciones de plaguicidas en suero sanguíneo. El muestreo de sangre; se realizó mediante punción venosa cubital, por personal de la secretaría de salud y asistencia de Cd. Obregón, ésta se colectó en tubos estériles vacutainer con capacidad de 7 ml sin anticoagulante, una vez tomadas las muestras se transportaron en hieleras a una temperatura aproximada de 5 °C al laboratorio de toxicología ambiental del ITSON, para realizar la separación del suero sanguíneo. Las muestras se dejaron reposar a temperatura ambiente hasta que se formaron dos fases. Posteriormente éstas fueron centrifugadas durante 12 min a 3500 rpm para separar el coágulo con la ayuda de un hisopo estéril, transfiriendo el suero sanguíneo a viales de 4 ml debidamente etiquetados, almacenándolos en un ultracongelador REVCO a -40 °C hasta su análisis. La extracción de residuos de POCs en suelo; se llevó a cabo mediante la técnica de dispersión de matriz en fase sólida, de acuerdo al procedimiento reportado por Valenzuela, et al. (2006) realizando las modificaciones acorde a Osorio (2008).

La extracción de los plaguicidas de suero sanguíneo se llevó a cabo mediante la extracción líquido-líquido de acuerdo a metodología de Dale *et al.*, (1976). Se tomaron 300 μ l de suero sanguíneo y se colocaron en tubos de 15 ml con tapón de rosca, adicionando 5 ml de n-hexano, agitando la mezcla en vortex durante un minuto, y transfiriendo el sobrenadante a otro tubo (éste procedimiento se repitió 4 veces). El extracto total obtenido (20 ml) se evaporó en un rotavapor N-EVEP-111 con corriente de aire puro hasta sequedad a una temperatura no mayor a 40° C y finalmente las muestras se reconstituyeron con 100 μ l de n-hexano, colocando las mismas en insertos de 100 μ l, y éstos últimos en viales color ámbar para su análisis. Las muestras fueron analizadas en un cromatógrafo de gases (CG) Agilent Technologies 7890A (Network GC system) equipado con un automuestreador 7683B y un detector de microcaptura de electrones (μ ECD). Las condiciones cromatográficas utilizadas fueron: Tcolumna 110 °C/1 min---> 15°C/1 min---->280 °C, la columna usada fué un DB-5 30 m x 0.25 mm y 0.25 μ m, la temperatura del inyector de 270 °C, la del detector de 340 °C, con un flujo de helio de 2.3 ml/min como gas de arrastre. Para realizar el análisis cualitativo; se compararon los tiempos de retención de cada uno de los estándares de los POCs con los tiempos de retención obtenidos para los picos en los cromatogramas de las muestras. El análisis cuantitativo; se realizó comparando el área bajo la curva de los picos de los estándares de cada plaguicida organoclorado obtenido en el cromatograma con el área bajo la curva de los picos de plaguicidas detectados en los cromatogramas de las muestras reales. Para el control de calidad de los análisis; se hicieron las extracciones en lotes de 10 muestras incluyendo un duplicado de extracción de una muestra adicionada con la solución de 0.01 μ g/ml (como control

positivo), una muestra blanco (control negativo) y un blanco de reactivo. Para las muestras de suelo los lotes fueron por cada 6 muestras. Análisis estadístico: Los datos obtenidos fueron capturados en el programa Excel 2003, para las variables como la edad, peso, talla, índice de masa corporal (IMC), duración de lactancia, frecuencia de consumo de alimentos marinos (CAM), niveles de plaguicidas en suelo y suero sanguíneo se utilizó la estadística descriptiva. Para variables dicotómicas como el sexo y uso de lindano se usaron porcentajes para el análisis. La comparación entre las concentraciones de plaguicidas en el suero sanguíneo de ambas comunidades; Pótam y Cd. Obregón, se llevó a cabo mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para datos con distribución no normal. Finalmente se utilizó un análisis de regresión múltiple para estudiar la relación de los niveles en sangre de DDT y DDE, con el consumo de alimentos marinos y los niveles de estos plaguicidas en el suelo. En este análisis se utilizaron como covariables la edad, el tiempo de lactancia y el índice de masa corporal (IMC). Se emplearon los paquetes estadísticos Statgraphic plus y MINITAB.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se observa que los niños de ambas comunidades fueron comparables respecto a la distribución por sexo, índice de masa corporal (IMC), tiempo de lactancia y consumo de alimentos marinos (CAM). La edad, peso y talla presentaron diferencia estadística significativa ($p < 0.05$). Lo anterior difiere a lo reportado por Herrera-Portugal *et al.*, (2008), donde se encontró solamente diferencia significativa en la duración de la lactancia y la frecuencia de consumo de alimentos marinos ($p < 0.001$).

Tabla 1. Características de los niños participantes de ambas comunidades de estudio.

Variable	CME (n=15)	CAE (n=15)	p-value
	Obregón	Pótam	
	Media ± DE	Media ± DE	
Edad (años) *	8.60 ± 1.72	10.80 ± 0.41	0.0000
Peso (Kg) *	31.13± 5.82	40.44 ± 7.20	0.0006
Talla (m) *	1.32 ± 0.10	1.45 ± 0.04	0.0001
IMC (Kg/m ²)	17.88± 2.99	19.10 ± 2.90	0.2666
Lactancia (meses)	9.73 ± 10.89	15.60 ± 12.17	0.0982
Sexo			
Hombres	53.04%	60.00%	
Mujeres	46.66%	40.00%	
CAM (días/semana)	0.86±0.681	1.15 ± 1.06	0.3936

DE (Desviación estándar), CME (Comunidad de menor exposición); CAE (Comunidad de alta exposición); CAM (Consumo de alimentos marinos). (*) $p < 0.05$

Tabla 2. Niveles de plaguicidas en suelo de Pótam, Sonora.

Nombre del		Promedio ± DE		MHPPE (2009)	
Compuesto	N	(µg/Kg de suelo)	Rango	MPC (µg/Kg)	IV (mg/Kg)
Lindano	12	0.50 ± 0.1	N. D-0.6	230.0	1.2
α-Endosulfán	12	1.42 ± 0.6	N.D-2.7	1.00	4.0
β-Endosulfán	12	0.50 ± 0.4	N.D-0.9	14.0	NE
ΣEndosulfán		1.92 ± 0.9	N.D-3.5	NE	NE
p, p'-DDD	12	7.03 ± 4.4	0.6-24.8	2.0	34.0
p, p'-DDE	12	23.14 ± 3.8	0.72-54.2	1.0	2.3
p, p'-DDT	12	4.05 ± 5.6	0.2-17.6	9.0	1.7
ΣDDTs		34.21 ± 13.7	0.92-96.6	NE	NE

N.D: No detectado MHSPE: Ministry of Housing, Physical Planning and the Environment (Holanda, 2009). MPC: Maximum permissible concentration; IV: Intervention Value (MHSPE, 2009). NE: No especificado

En el Cuadro 2 se muestra el promedio de las concentraciones de POCs en suelo. El p, p'-DDE, y p, p'-DDD se encontraron en el 100% de las muestras de suelo, mientras que el p, p'-DDT y el lindano se presentaron en el 91.7% de las mismas, por otro lado el α y β-endosulfán se detectaron en el 75 y 50% de las muestras de suelo respectivamente. Las concentraciones de POCs (suma de los 6 plaguicidas) encontradas en el suelo de Pótam, fueron desde N. D (no detectado) a 36.6±14.8 µg/Kg. La concentración más baja fue para el lindano (0.50±0.12 µg/Kg) y la más alta para el p, p'-DDE (23.1±3.8 µg/Kg). El total del contenido de lindano

representa el 1.23 % de la suma de POCs, el contenido de endosulfán (equivalente a la suma de α y β endosulfán) y fue de 1.92 µg/Kg que representa el 5.24% de la suma de POCs mientras que el DDT total (suma de p, p'-DDE, p, p'-DDD y p, p'-DDT) fue de 34.22 µg/Kg que corresponde al 93.52%. En el Cuadro anterior al comparar las concentraciones medias encontradas con los valores de las concentraciones máximas permitida (MPC) especificadas por el Ministry of Housing, Physical Planning and the Environment de Holanda (MHPPE, 2009), se encontró que el α-endosulfán excede 0.4 veces la concentración máxima

Tabla 3. Niveles de plaguicidas organoclorados en suero sanguíneo de niños residentes del sur de Sonora.

Nombre del Compuesto	CME (Obregón)		CAE (Pótam)	
	Media ($\mu\text{g/L}$)	Rango	Media ($\mu\text{g/L}$)	Rango
Lindano*	N. D	N. D	0.7 \pm 0.2	N. D-1.0
p, p'-DDD*	0.7 \pm 0.0	N.D-0.7	1.6 \pm 1.00	N. D-3.0
p, p'-DDE	0.8 \pm 0.5	N. D-1.7	1.3 \pm 0.9	0.3-4.3
p, p'-DDT	0.7 \pm 0.3	N. D-1.0	0.8 \pm 0.3	N. D-1.3
Σ DDTs	2.2\pm0.8	N. D-3.3	3.5\pm2.3	N. D-8.7
α -Endosulfán*	0.4 \pm 0.2	N. D-0.6	1.0 \pm 0.9	N. D-1.4
β -Endosulfán	0.5 \pm 0.3	N. D-0.7	0.5 \pm 0.2	N. D -1.3
Σ Endosulfán	0.9\pm0.4	N. D-1.3	1.5\pm1.3	N. D -2.8

(*) $p < 0.05$. N. D: No detectado.

CME: Comunidad de menor exposición; CAE: Comunidad de alta exposición.

permitida (1.0 $\mu\text{g/Kg}$), el p,p'-DDD se encuentra 3.5 veces por arriba de éste valor (2.0 $\mu\text{g/Kg}$) y finalmente el p,p'-DDE rebasó 22 veces la concentración establecida por ésta dependencia (1.0 $\mu\text{g/Kg}$). Es importante mencionar que ninguno de los 6 plaguicidas investigados alcanzó las concentraciones establecidas como valores de intervención (IV) por la misma agencia, este valor representa la concentración a la cual se debe de aplicar una tecnología de remediación del sitio contaminado.

Al comparar los niveles de plaguicidas organoclorados en suero sanguíneo entre los niños de Obregón (CME) y Pótam (CAE) presentados en la Tabla 3 se observa diferencia significativa en las concentraciones de lindano ($p=0.01$), el 33.33% de los niños de la comunidad de Pótam presentaron un promedio de lindano de $0.7 \pm 0.2 \mu\text{g/L}$ en suero, mientras que en los niños de Cd. Obregón éste no fue detectado. También se encontró diferencia significativa en los niveles de p, p'-DDD ($p=0.025$) los niños de la CAE están 2.3

veces mas expuestos ($1.6 \pm 1.0 \mu\text{g/L}$) que los niños de la CME ($0.7 \pm 0.00 \mu\text{g/L}$). La exposición al α -endosulfán fue 2.4 veces mayor en los niños de la comunidad de Pótam ($1.0 \pm 0.9 \mu\text{g/L}$) que en los niños de Cd. Obregón ($0.4 \pm 0.2 \mu\text{g/L}$). En contraste con lo anterior, la exposición a p, p'-DDE fue similar en ambas comunidades, con valores de $1.3 \pm 0.9 \mu\text{g/L}$ para Pótam y de $0.8 \pm 0.5 \mu\text{g/L}$ para Cd. Obregón, los niveles de p, p'-DDT en la CAE y la CME fueron de $0.8 \pm 0.3 \mu\text{g/L}$ y $0.7 \pm 0.3 \mu\text{g/L}$ respectivamente. Por último, la concentración de β -endosulfán en la sangre de los niños fue similar con valores de 0.5 ± 0.3 y 0.5 ± 0.2 respectivamente. En estudios realizados por (Meza, 2011) en niños de 7 a 11 años de edad residentes de diferentes comunidades del Valle del Yaqui y Mayo se detectó p,p'-DDE en el 100% de las muestras ($n=153$) con niveles de 0.5 a 10.3 $\mu\text{g/L}$ en suero, la concentración de lindano fue de 0.25 a 1.0 $\mu\text{g/L}$ en el 39.2% de éstas y finalmente el endosulfán en niveles de 0.25 $\mu\text{g/L}$ en el 3.9% de los niños, comportamiento similar al encontrado en ésta investigación.

CONCLUSIONES

La presencia de éstos agroquímicos en ambas comunidades muestra la alta residualidad y biodisponibilidad de éstos compuestos en el ambiente a través de diferentes rutas de exposición a la población. El suelo representa una ruta de exposición muy importante para los residentes de éstas comunidades, ya que estos compuestos pueden contaminar fuentes de agua superficial y subterránea, además de los alimentos.

AGRADECIMIENTOS

Éste trabajo fue apoyado por la SES-PROMEP-2008 a través de la “Red Temática de Investigadores y Cuerpos Académicos Para El Estudio de Contaminantes Emergentes y Su Ecotoxicología”

LITERATURA CITADA

Albert, L. 1996. Persistent pesticides in México. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.* 147: 1-44.

Burgos, A., García, C., Aldana, M., Meza, M. 2005. Detection and Quantification of Insecticides in Shrimp Grown in a Coastal Farm in Sonora, Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology.* 74:335–341.

Helling, C., Kearney, P., Alexander, M. 1991. Behaviour of pesticides in soils. *Adv. Agron.* 23. Pp. 147.

González, F., Cisneros, X., Fuentes, C., Díaz, G., Botello, V. 2002. Pesticides distribution in sediments of a tropical coastal lagoon adjacent to an irrigation district in norwest Mexico. *Environ. Technol.*, 23: 1247-56.

Herrera-Porugal, C., Franco, G., Zelada,

V., Schlottfeldt, Y., Rodríguez, M., Barrientos, H. 2008. Niveles de plaguicidas organoclorados (DDT y DDE) en niños de comunidades endémicas de paludismo en Chiapas, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales.* 4(3): 349-356.

Meza, M, M.M. Informe Técnico Final 2011. SON-FOMIX-CONACYT. “Evaluación del riesgo en salud por exposición a plaguicidas, y As en niños residentes de los Valles del Yaqui y Mayo, Sonora”

Osorio, C. 2008. Determinación de plaguicidas organoclorados en suelo de comunidades rurales del Valle del Yaqui y Mayo Sonora, México. Tesis Lic. en Tecnología de Alimentos, Instituto Tecnológico de Sonora. Pp. 48-49.

Pastor, S. 2002. Biomonitorio de cuatro poblaciones agrícolas Europeas, expuestas a plaguicidas, mediante el ensayo de micronúcleos. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona. Barcelona, España. Pp. 20-28.

Pérez-Maldonado, I., Trejo, A., Ruepert, C., Jovel, R., Méndez, M., Ferrari, M., Saballos-Sobalvarro, E., Alexander, C., Yañez-Estrada, L., López, D., Henao, S., Pinto, E., Díaz-Barriga, F. 2010. Assesment of DDT levels in selected environmental media and biological samples from Mexico and Central America. *Chemosphere* 78:1224-1249.

Pitarch, E. 2001. Desarrollo de metodología analítica para la determinación de plaguicidas organofosforados y organoclorados en muestras biológicas humanas. Tesis doctoral. Universidad de Jaume. Valencia, España. 41-64.

