

Síntesis de estudios que serán presentados en la Comisión de Agricultura del Senado (Jueves 12 de septiembre 2024)

Contenido

Investigadores/as	2
Introducción	2
Estudios en la Región del Maule (2020-2024).....	5
Estudio 1:.....	5
Metodología	5
Resultados	5
Discusión y Conclusiones	5
Referencia	6
Estudio 2:.....	7
Metodología	7
Resultados	7
Evaluación de Riesgos para la Salud:.....	7
Discusión y Conclusiones:	8
Referencia	8
Estudio 3 (Resultados preliminares)	9
Metodología	9
Resultados	9
Concentraciones de Metabolitos DAPs.....	12
Síntomas de Depresión (CES-D)	12
Afecto Positivo y Negativo (PANAS).....	12
Análisis de Regresión Múltiple	14
Análisis de estimación de ecuaciones generalizadas (GEE)	14
Conclusión	15
Referencias.....	16

Estudios realizados en la Región de Coquimbo.....	19
Contexto del problema	20
Diagnóstico de la situación de exposición	20
Estudio de campo y diseño experimental	20
Resultados	21
Conclusiones generales	23
Estudio 2.....	24
Antecedentes	24
Objetivos del Estudio	24
Métodos	24
Resultados.....	25
Composición de la Comunidad de Insectos	25
Riqueza y Abundancia de Insectos	25
Impacto de los Pesticidas en la Diversidad de Insectos	25
Estacionalidad de la Abundancia de Insectos	26
Discusión	26
Conclusión	26

Investigadores/as

- Universidad Católica del Maule: Dra. Natalia Landeros, Dr. Boris Lucero, Dr. Rodrigo de Oliveira, Dr. Cristian Valdés y Dra. Liliana Zúñiga-Venegas
- Universidad Católica del Norte: Dra. Flora Pancetti
- Pontificia Universidad Católica de Chile: Dra. Sandra Cortés
- Universidad de Chile: Dra. María Teresa Muñoz-Quezada
- Red de Investigadores de Plaguicidas: Dra. Sandra Cortés, Dra. Liliana Zúñiga-Venegas, Dr. Boris Lucero, Dra. Floria Pancetti y Dra. María Teresa Muñoz-Quezada

Introducción

Los agro-tóxicos o plaguicidas son ampliamente usados a nivel mundial para el control de diversas plagas (Chrustek et al., 2018). En su mayoría, son productos químicos que no solo se aplican en la agricultura, si no también se utilizan en empresas productoras de ganado, jardines privados, áreas públicas, entre otros, con el fin de eliminar organismos indeseables o mejorar la producción agrícola

y ganadera (Muñoz-Quezada et al., 2014). Dada su composición química, pueden absorberse al contacto con la piel, ser inhalados, o ingeridos a través de matrices ambientales como agua, tierra y aire o alimentos como frutas y hortalizas (Boedeker et al., 2020). Al ser usados sin las debidas medidas de protección personal ni capacitación o cuando no se alerta a la población de su aplicación en zonas colindantes a viviendas, escuelas o entornos de trabajo, pueden provocar intoxicaciones agudas con síntomas como irritación de la piel, náuseas, mareos, dolor de cabeza, debilidad muscular, y convulsiones, y en dosis altas, pueden provocar coma, paro cardio-respiratorio e incluso la muerte (Thundiyil et al., 2008). Por otro lado, las intoxicaciones crónicas en dosis bajas a lo largo del tiempo podrían generar problemas neurológicos, trastornos neuroconductuales, trastornos del sueño, malformaciones congénitas, anomalías músculo-esqueléticas, alteraciones endocrinas, genotoxicidad, daño renal y cáncer, entre otras (Alavanja et al., 2012; Mackenzie Ross et al., 2010; Panis et al., 2022; Parks et al., 2019; Zúñiga-Venegas et al., 2022).

En una revisión sistemática (Boedeker et al., 2020), se reportó una estimación de la distribución mundial de intoxicación aguda no intencional por plaguicidas. Se estimó que aproximadamente 385 millones de casos de IAPP ocurren anualmente en todo el mundo, incluidas alrededor de 11.000 muertes y que un 44% de los agricultores se intoxican anualmente por plaguicidas de forma no intencionada. Las poblaciones más afectadas son aquellas que trabajan en la aplicación de estos plaguicidas, personas con enfermedades crónicas y niños/as que viven cerca de predios agrícolas o hijos/as de agricultores/as, quienes, debido a su edad o condición, ven afectada su calidad de vida (Lucero & Muñoz-Quezada, 2021; Zúñiga et al., 2021; Zúñiga-Venegas et al., 2022). Dentro de estos plaguicidas, los insecticidas organofosforados (OPs) y piretroides son los más usados para el control de plagas agrícolas y ganaderas y son los que más preocupan por su efecto neurotóxico y genotóxico en las personas expuestas. Su uso indebido es sumamente peligroso para la salud y provoca daños en el sistema nervioso (Chrustek et al., 2018; Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2022; Mackenzie Ross et al., 2010; Muñoz-Quezada et al., 2019; van den Dries et al., 2020; van Wendel et al., 2016).

A nivel nacional, la tasa de incidencia acumulada de intoxicaciones agudas por plaguicidas para el año 2012 fue de 2,7 por 100 mil habitantes, presentándose las más altas tasas de intoxicaciones en las regiones de Arica-Parinacota, O'Higgins, Tarapacá y Maule (Muñoz-Quezada et al., 2019). A su vez, la Región del Maule es una de las regiones con mayor porcentaje de población dedicada a la agricultura. En Chile, y en particular en la región del Maule, se han reportado casos de intoxicación que ameritan un seguimiento. Por otro lado, según el Servicio Agrícola Ganadero (SAG, 2019), la región del Maule es la segunda región donde se venden más plaguicidas en Chile (15,7%), después de la región vecina de O'Higgins (51,2%), lo que concentra en esta área de la macrozona centro sur la mayor cantidad de venta de plaguicidas, ambas regiones son las mayores productoras agrícolas del país. Al mismo tiempo, en la Región del Maule, los insecticidas clorpirifós y diazinón son los más vendidos. Es relevante mencionar que Zúñiga et al (2015) evidenciaron en una muestra de chilenos que poseen un genotipo menos eficiente para metabolizar el plaguicida clorpirifós, existiendo susceptibilidad genética de mayor riesgo en población chilena de desarrollar algún problema de salud por exposición reiterada a este agro-químico.

En la región del Maule, estudios previos han reportado recientemente la presencia de metabolitos de OPs, como metil paratión, diazinón y clorpirifós, piretroides como la cipermetrina y el herbicida 2,4-D (Muñoz-Quezada et al., 2020; 2019), y metabolitos dialquifosforados (DAPs) asociados a la

presencia de OPs (Muñoz-Quezada et al 2019; 2014; 2012) en la orina de niños pertenecientes a comunidades escolares de la provincia de Talca. La presencia de estos metabolitos se asoció principalmente al consumo de vegetales de la escuela con estos residuos y a vivir o estudiar cerca de predios agrícolas que los aplican. En el estudio realizado en escuelas de la comuna de Talca y San Clemente (Muñoz-Quezada et al., 2019) además se evidenció que si bien realizar una intervención educativa sobre exposición a plaguicidas aumentó la percepción de riesgo a plaguicidas de los escolares y apoderados, los niveles de metabolitos de estos agroquímicos no disminuyeron posterior a dicha intervención educativa, aludiendo a la variable exposición ambiental y la presencia de estos residuos en la fruta de consumo en la escuela como los principales riesgos.

Un estudio realizado en la región del Maule con una muestra de 114 trabajadores agrícolas (Muñoz-Quezada, 2017), encontró que un 56% presentó síntomas de intoxicación reciente con OPs. Además, se encontró una asociación positiva entre el diagnóstico de ansiedad y el trabajo como aplicador, género femenino y educación secundaria incompleta o menos. Los plaguicidas informados más utilizados fueron: 17% metamidofós (OP altamente peligroso), 47,4 % clorpirifós y 35% herbicidas. Otro estudio reportó que los trabajadores expuestos a plaguicidas presentan menor desempeño en la comprensión verbal, velocidad de procesamiento, capacidad cognitiva general más descendida y deterioro cognitivo (Muñoz-Quezada, et al., 2016) luego de ajustar por variables de confusión. Además, en los trabajadores agrícolas se observa mayor presencia de polineuropatía periférica (Grillo et al., 2020).

Por otro lado, Corral et al (2017), observaron deterioro de las funciones cognitivas en trabajadores agrícolas y en habitantes de zonas rurales agrícolas de Coquimbo, en comparación con un grupo no expuesto. Las áreas cognitivas afectadas fueron las funciones ejecutivas, la fluidez verbal y la memoria visual y auditiva.

La siguiente síntesis tiene como objetivo evidenciar estudios recientes realizados tanto en la región del Maule como en la de Coquimbo sobre la exposición a plaguicidas y su relación con la salud de las personas, principalmente en poblaciones ocupacionales o rurales expuestas. Algunos estudios presentan resultados preliminares y están en proceso de elaboración del manuscrito, mientras que otros ya han sido publicados. En consecuencia, se anexará la fuente pertinente según corresponda.

Este archivo comparte una síntesis de los estudios realizados en la Región del Maule y la Región de Coquimbo liderado por investigadores e investigadoras de la Universidad Católica del Maule, Universidad de Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile y Universidad Católica del Norte, y por investigadores de la Red de Investigadores de Plaguicidas (RIPLAG). Primero se presentarán los estudios recientes en la Región del Maule y en segundo lugar de la Región de Coquimbo.

En otro archivo, se entregan los resultados del estudio de la Dra. Liliana Zúñiga con las recomendaciones para reducir la exposición ocupacional a plaguicidas organofosforados en trabajadores mediante instrumentos validados en la Región del Maule.

Estudios en la Región del Maule (2020-2024)

Estudio 1:

El estudio titulado "Genotoxicity and Reproductive Risk in Workers Exposed to Pesticides in Rural Areas of Curicó, Chile: A Pilot Study" (Landeros et al., 2022), tuvo como objetivo principal evaluar el daño genotóxico y el riesgo reproductivo en trabajadores agrícolas expuestos a pesticidas en áreas rurales de Curicó, una región agrícola tradicional en Chile. Este estudio piloto buscó determinar si los riesgos genotóxicos y reproductivos estaban incrementados en un grupo de trabajadores agrícolas en comparación con un grupo urbano no expuesto.

Metodología

El estudio fue de diseño transversal y comparó dos grupos de adultos de entre 19 y 66 años: un grupo de trabajadores agrícolas expuestos a pesticidas ($n = 30$) en áreas rurales de Curicó (Los Niches y Sarmiento) y un grupo urbano no expuesto ($n = 30$) de la ciudad de Curicó. Los trabajadores rurales incluían pilotos de fumigación aérea y trabajadores agrícolas estacionales expuestos a mezclas de pesticidas durante la fumigación terrestre y la manipulación de cultivos. Las muestras de sangre se recolectaron durante la temporada primavera-verano, cuando la aplicación de pesticidas es mayor.

Resultados

El análisis citogenético mostró que los trabajadores agrícolas expuestos tenían una frecuencia significativamente mayor de células binucleadas con micronúcleos (BNMN) en comparación con el grupo no expuesto. La frecuencia media de BNMN en el grupo expuesto fue de 17.1 ± 4.9 , mientras que en el grupo no expuesto fue de 4.2 ± 2.5 . Además, se observaron mayores frecuencias de puentes nucleoplásmicos (NPB) y gemación nuclear (NBUD) en el grupo expuesto, lo que indica un daño genético considerable. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas en el índice de división nuclear (NDI) entre los grupos.

En cuanto a los problemas reproductivos, el estudio reveló que las mujeres expuestas a pesticidas tenían un riesgo 40 veces mayor de sufrir problemas reproductivos en comparación con las mujeres no expuestas ($OR = 40.32$). Entre las mujeres expuestas, se documentaron casos de abortos espontáneos, malformaciones congénitas y problemas de infertilidad, mientras que en el grupo no expuesto solo se reportó un aborto espontáneo.

Discusión y Conclusiones

Los resultados de este estudio piloto sugieren que la exposición ocupacional a pesticidas en trabajadores agrícolas en Curicó está asociada con un aumento significativo en el daño genotóxico y en el riesgo de problemas reproductivos, especialmente en mujeres. Estos hallazgos son consistentes con estudios previos realizados en otras regiones de Chile y en países en desarrollo con modelos productivos similares y falta de políticas regulatorias adecuadas.

El estudio destaca la necesidad de implementar medidas de salud pública y políticas que protejan a los trabajadores agrícolas en Chile, especialmente considerando que muchas de las trabajadoras en este sector son mujeres en edad fértil. Además, se sugiere la necesidad de investigaciones adicionales con tamaños de muestra más grandes para corroborar estos hallazgos y mejorar la vigilancia en esta región agrícola.

Este estudio contribuye a la creciente evidencia sobre los riesgos asociados con la exposición a pesticidas en poblaciones rurales y subraya la importancia de desarrollar políticas basadas en evidencia local para proteger la salud de los trabajadores agrícolas en Chile.

Referencia

Landeros, N., Duk, S., Márquez, C., Inzunza, B., Acuña-Rodríguez, I. S., & Zúñiga-Venegas, L. A. (2022). Genotoxicity and Reproductive Risk in Workers Exposed to Pesticides in Rural Areas of Curicó, Chile: A Pilot Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(24), 16608. <https://doi.org/10.3390/ijerph192416608>

Estudio 2:

El estudio "First measurement of human exposure to current use pesticides (CUPs) in the atmosphere of central Chile: The case study of Mauco cohort" [Primera medición de la exposición humana a pesticidas de uso actual en la atmósfera del centro de Chile: El estudio de caso de la cohorte Mauco] de Cortés et al (2020), se centró en medir la presencia de pesticidas en el aire de la región de Molina, en el centro de Chile, una zona conocida por su intensa actividad agrícola. Este estudio, parte de la cohorte MAUCO, es pionero en evaluar la exposición humana a pesticidas de uso actual en esta región, con el objetivo de comprender mejor los riesgos asociados a la salud humana, especialmente en una población rodeada por actividades agrícolas intensivas.

Metodología

Para este estudio, se desplegaron muestreadores de aire pasivos (PUF-PAS) en seis sitios dentro de la región de Molina entre octubre de 2015 y agosto de 2016. Se analizaron un total de 38 pesticidas mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). Sin embargo, solo se detectaron nueve pesticidas, entre los que destacaron clorpirifos (CPF), diazinón, atrazina, dimetoato, metolaclo, simazina, terbutilazina, tebuconazol y pendimetalina. Estos pesticidas fueron elegidos para su análisis debido a su amplio uso en la agricultura de la región.

Resultados

Los resultados mostraron que el CPF fue el pesticida más abundante en la atmósfera de Molina, con concentraciones en el aire que oscilaron entre 444 y 14,624 picogramos por metro cúbico (pg/m^3). Pendimetalina también presentó concentraciones elevadas, alcanzando hasta $14,927 \text{ pg}/\text{m}^3$. Estos niveles son significativamente más altos que los reportados en otros estudios realizados en diferentes partes del mundo, lo que resalta la intensidad del uso de pesticidas en esta región agrícola de Chile.

El análisis de trayectorias del viento reveló que la mayoría de los pesticidas detectados provienen de fuentes locales, lo que sugiere que las actividades agrícolas cercanas son la principal fuente de exposición. Sin embargo, se identificaron contribuciones secundarias de regiones adyacentes al sur, este y oeste de Molina, especialmente durante las estaciones de primavera y verano, cuando la evaporación del suelo seguida del transporte atmosférico parece ser un mecanismo significativo de dispersión de estos contaminantes.

Evaluación de Riesgos para la Salud:

La evaluación de riesgos para la salud se centró en la inhalación de los pesticidas detectados, utilizando la metodología de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US-EPA). Los resultados indicaron que, en general, los índices de riesgo (HQ) calculados no superaron el valor de referencia de 1, lo que sugiere que, para la mayoría de la población, no existe un riesgo significativo debido a la inhalación de pesticidas en Molina. Sin embargo, **el grupo de niños menores**

de 12 años mostró un mayor riesgo, especialmente los niños de entre 1 y 6 años, quienes presentaron los valores de dosis diarias inhaladas (ADD) más altos, alcanzando hasta 3.1×10^{-6} mg/kg/día en el escenario más pesimista para la pendimetalina.

Específicamente, los pesticidas como el diazinón, el CPF y la pendimetalina presentaron los valores más altos de HQ, con 1.4×10^{-2} , 3×10^{-3} y 1.8×10^{-5} , respectivamente. Estos valores, aunque no exceden el umbral crítico, destacan la preocupación sobre la exposición crónica de los niños a estos compuestos, ya que los niños tienen una menor capacidad de desintoxicación y una mayor relación inhalación/peso corporal en comparación con los adultos.

Discusión y Conclusiones:

Los hallazgos de este estudio subrayan la importancia de monitorear y evaluar los pesticidas en el aire, particularmente en regiones con intensa actividad agrícola como Molina. Aunque los riesgos calculados para la inhalación no alcanzaron niveles críticos para la mayoría de la población, la exposición continua, especialmente en niños, podría tener efectos adversos a largo plazo, incluyendo posibles riesgos carcinogénicos. Aunque el estudio no encontró un riesgo significativo de cáncer asociado a los pesticidas analizados, se sugiere que más investigaciones son necesarias para evaluar completamente las diferentes rutas de exposición, incluyendo la ingesta de alimentos y la exposición dérmica, que podrían contribuir significativamente a la carga total de pesticidas en el cuerpo humano.

En resumen, este estudio proporciona una valiosa línea base para futuras investigaciones y políticas públicas orientadas a la protección de la salud en comunidades expuestas a pesticidas. La identificación de grupos de riesgo, como los niños, es relevante para el diseño de programas de monitoreo y estrategias de intervención que puedan mitigar los efectos de la exposición a pesticidas en estas poblaciones vulnerables. Tanto la EPA como la OSHA sugieren el monitoreo de exposición a este tipo de plaguicidas con el método utilizado por este estudio. Además, la investigación sugiere la necesidad de realizar estudios similares en otras regiones agrícolas de Chile para obtener una visión más completa del impacto de los pesticidas en la salud pública.

Referencia

Cortés, S., Pozo, K., Llanos, Y., Martínez, N., Foerster, C., Leiva, C., Ustáriz, J., Příbylová, P., Klánová, J., & Jorquera, H. (2020). First measurement of human exposure to current use pesticides (CUPs) in the atmosphere of central Chile: The case study of Mauco cohort. *Atmospheric Pollution Research*, 11(5), 776-784. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2019.12.023>

Estudio 3 (Resultados preliminares)

Exposición a plaguicidas y síntomas de ansiedad y depresión en población ocupacional de la región del Maule, Chile (Lucero, B., Muñoz-Quezada et al., en revisión)

Metodología

Este estudio cuantitativo y longitudinal evaluó la relación entre la exposición a plaguicidas organofosforados y la sintomatología de ansiedad y depresión en trabajadores agrícolas de la región del Maule, Chile. La muestra incluyó 79 trabajadores (41 expuestos y 38 no expuestos), pareados por edad, sexo y nivel educativo. La exposición se midió mediante concentraciones de metabolitos organofosforados dialquilfosfatos (DAPs) en muestras de orina recolectadas durante los períodos de mayor uso de plaguicidas en 2022 y 2023. La sintomatología de ansiedad y depresión se evaluó con la Escala CES-D (depresión) y el cuestionario PANAS afecto positivo y negativo (ansiedad y depresión), ambos instrumentos validados en Chile. Se realizaron análisis de regresión múltiple y ecuaciones de estimación generalizadas (GEE) para determinar la asociación entre la exposición y los síntomas de salud mental, ajustando por factores de confusión.

Resultados

A continuación, se presenta en la tabla 1 las características sociodemográficas que contempla ambos años, en términos de porcentajes para las variables dicotómicas y media para las variables continuas, del grupo de trabajadores expuestos y no expuestos

Tabla 1. Características sociodemográficas de los trabajadores evaluados con todas las mediciones de exposición y efecto.

Variable	EXPUESTOS N=41	NO EXPUESTOS N=38
Edad (años)	54 (± 10)	54 ($\pm 8,3$)
Hombres	88%	90%
Estudios secundarios incompletos o menos	39%	31%
Ingreso per capita	\$86.564 (± 48.527)	\$127.878 (± 64.266)
Casado o convive con una pareja	51%	68%
consumo de alcohol	56%	59%
consume tabaco	10%	28%
Depresión (diagnosticado)	17%	5%
Ansiedad (diagnosticado)	15%	0%

Con respecto a los trabajadores agrícolas o expuestos, un 54% aplica plaguicidas organofosforados en el hogar y 44% usa a veces o no usa el Equipo de Protección Personal al momento de aplicar plaguicidas. La tabla 2 muestra el porcentaje de trabajadores que aplican plaguicidas según compuesto activo

Tabla 2. Porcentaje de trabajadores que aplican plaguicidas según el compuesto activo durante los años 2022-2023

Plaguicidas más usados	Porcentaje de aplicadores (n=41)
Metamidofos	46%
Clorpirifos	40%
Metomilo	19%
Lambda Cihalotrina	17%
Benomyl	16%
Carbofuran	14%
Paraquat	12%
Diazinon	11%
Glifosato	5%
Mancozeb	5%
Azinfos metil	5%
Deltametrina	5%
Oxifluorfen	5%
Imidacloprid deltametrina	4%
Pirimicarb	4%
Cadusafos	4%
Profenofos	3%
Aclonifeno	3%
Fluazifop butilo	1%
Cletodima	1%
Clorantraniloprole	1%
imidacloprid	1%
Pedimetalino	1%

Metolacloro	1%
Cipermetrina	1%
Avermectis	1%
Boscalid piraclostrobin	1%
Indoxacarb	1%
Beta ciflutrina	1%
Aldicarb	1%

La tabla 2 muestra que los plaguicidas más utilizados por los trabajadores son principalmente insecticidas y, en menor medida, herbicidas y fungicidas. El plaguicida más aplicado es el Metamidofos, un insecticida organofosforado, con un 46% de trabajadores que lo utilizan. Le sigue Clorpirifos, otro insecticida organofosforado, con un 40%. Otros insecticidas también destacados son el carbamato Metomilo (19%) y el piretroide Lambda Cihalotrina (17%).

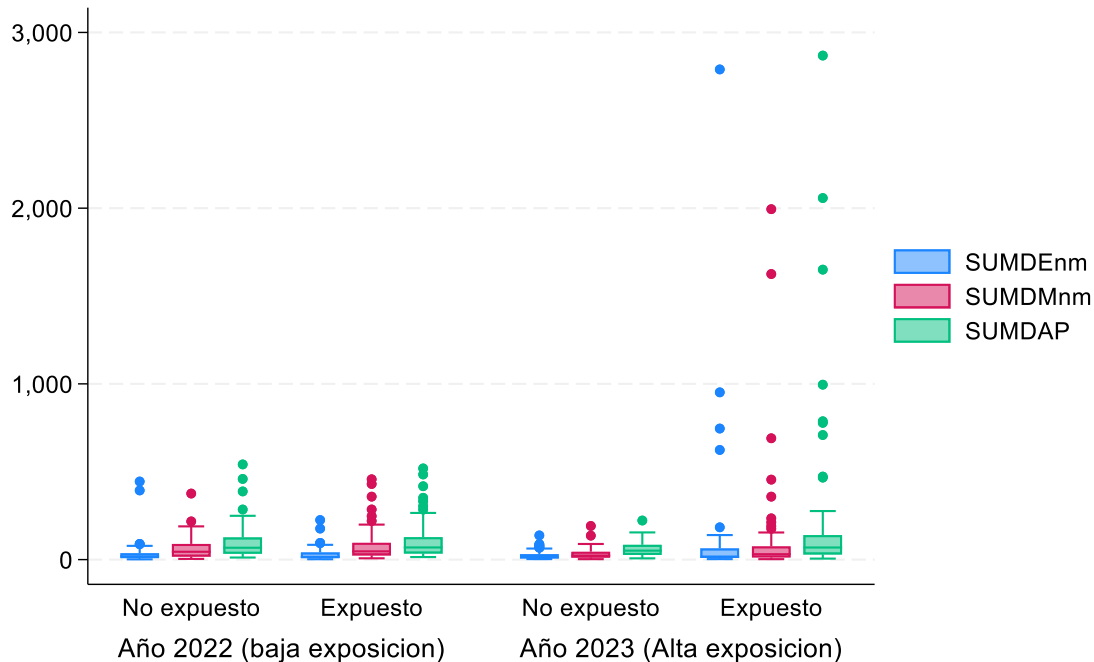
Entre los herbicidas, los más utilizados son Glifosato y Paraquat, aunque solo por un 5% y 12% de los trabajadores, respectivamente. En cuanto a fungicidas, el Benomyl es el más frecuente, con un 16%.

La exposición a plaguicidas fue significativamente mayor ($p < 0,001$) en el periodo de mayor exposición a plaguicidas entre los trabajadores expuestos (mediana = 71,3 nmol/L; RI =34-141 nmol/L) que los no expuestos (mediana=50 nmol/L; RI=10-82 nmol/L). La figura 1 muestra un gráfico de cajas donde se observa la diferencia en la exposición en la mediana de las concentraciones urinarias de metabolitos de dialquifosfatos (DAPs) de plaguicidas medidos en el año 2022 y 2023 en las muestras de orina de cada uno de los participantes.

Entre los herbicidas, los más utilizados son Glifosato y Paraquat, aunque solo por un 5% y 12% de los trabajadores, respectivamente. En cuanto a fungicidas, el Benomyl es el más frecuente, con un 16%.

La exposición a plaguicidas fue significativamente mayor ($p < 0,001$) en el periodo de mayor exposición a plaguicidas entre los trabajadores expuestos (mediana = 71,3 nmol/L; RI =34-141 nmol/L) que los no expuestos (mediana=50 nmol/L; RI=10-82 nmol/L). La figura 1 muestra un gráfico de cajas donde se observa la diferencia en la exposición en la mediana de las concentraciones urinarias de metabolitos de dialquifosfatos (DAPs) de plaguicidas medidos en el año 2022 y 2023 en las muestras de orina de cada uno de los participantes.

Figura 1. Medianas de concentraciones DAPs medidos en los años 2022 (baja exposición) y 2023 (alta exposición) entre trabajadores agrícolas y no agrícolas del estudio



El análisis de los datos reveló diferencias significativas entre los grupos de trabajadores expuestos y no expuestos en términos de concentraciones de metabolitos dialquilsulfatos (DAPs) y síntomas de salud mental, particularmente durante el año de mayor exposición (2023).

Concentraciones de Metabolitos DAPs

Los trabajadores expuestos presentaron concentraciones significativamente más altas de DAPs en la orina en comparación con los no expuestos. La mediana de la concentración de DAPs en los trabajadores expuestos fue de 71,3 nmol/L (rango intercuartílico [RI] = 34-141 nmol/L) en 2023, mientras que en los no expuestos la mediana fue de 50 nmol/L (RI = 10-82 nmol/L). Este aumento en la concentración de DAPs fue estadísticamente significativo ($p < 0.001$), lo que sugiere una mayor exposición a plaguicidas entre los trabajadores agrícolas durante el año de alta exposición.

Síntomas de Depresión (CES-D)

En el análisis de la sintomatología depresiva, los trabajadores expuestos mostraron un puntaje CES-D significativamente más alto en 2023 en comparación con 2022, reflejando un aumento en los síntomas depresivos. La prueba U de Mann-Whitney indicó que no hubo diferencias significativas en los puntajes CES-D entre los grupos expuesto y no expuesto en 2022 ($z = -1.457$, $p = 0.1452$). Sin embargo, en 2023, aunque se observó un aumento en los puntajes CES-D en los trabajadores expuestos, esta diferencia tampoco fue estadísticamente significativa ($z = -1.325$, $p = 0.1852$). Aun así, la tendencia sugiere que la exposición elevada podría estar relacionada con un aumento en los síntomas depresivos.

Afecto Positivo y Negativo (PANAS)

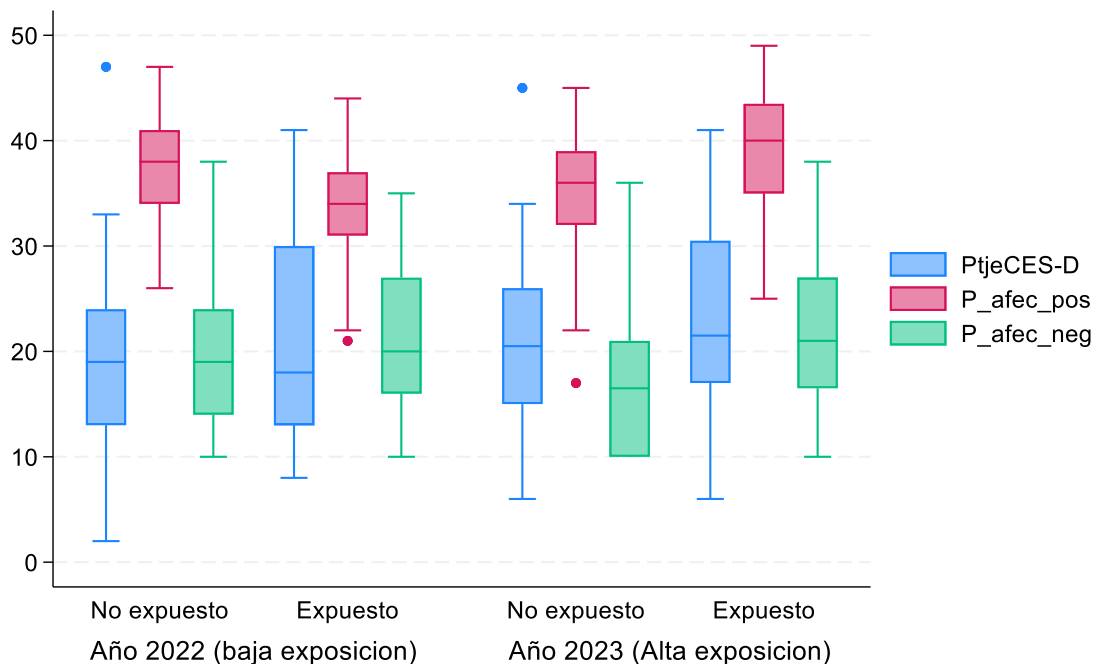
En cuanto al afecto positivo, los resultados mostraron que en 2022 (baja exposición), el grupo no expuesto tenía un puntaje significativamente más alto que el grupo expuesto ($z = 3.968$, $p < 0.001$). En 2023 (alta exposición), esta tendencia se invirtió, con el grupo expuesto mostrando un afecto positivo significativamente más bajo ($z = -4.340$, $p < 0.0001$). Esto indica que la alta exposición a

plaguicidas en 2023 pudo haber contribuido a una disminución del afecto positivo entre los trabajadores agrícolas.

En cuanto al afecto negativo, la prueba U de Mann-Whitney mostró que no hubo diferencias significativas en 2022 ($z = -1.450$, $p = 0.1471$), pero en 2023, el afecto negativo fue significativamente mayor en el grupo expuesto ($z = -3.875$, $p < 0.0001$). Esto sugiere que la alta exposición a plaguicidas en 2023 estuvo asociada con un incremento en el afecto negativo, lo cual podría estar relacionado con un mayor estrés o ansiedad.

La figura 3 muestra las medianas de la sintomatología de depresión y ansiedad (alto afecto positivo simultaneo a bajo afecto negativo), a través del puntaje CED-D, Panas afecto positivo y Panas afecto negativo del grupo de expuestos como no expuestos en el año de baja (2022) y alta exposición (2023) a plaguicidas

Figura 3. Medianas de síntomas de depresión y ansiedad en trabajadores expuestos y no expuestos a plaguicidas en 2022 y 2023



La figura sugiere que la exposición a plaguicidas está asociada con un aumento en los síntomas de depresión (puntajes CES-D) y en el afecto negativo, especialmente en los años de mayor exposición (2023). Por otro lado, el afecto positivo no parece estar significativamente afectado por la exposición. La mayor variabilidad y la presencia de valores extremos en el grupo expuesto indican que algunos individuos podrían estar particularmente afectados por la exposición a plaguicidas en términos de su salud mental.

Análisis de Regresión Múltiple

El cuestionario vinculado a la sintomatología de depresión fue el único modelo significativo. El análisis de regresión múltiple para 2023 (Tabla 3), ajustado por variables como la creatinina, sexo, ingreso per cápita y depresión preexistente, mostró que la suma de metabolitos dialquifosforados tenía un coeficiente positivo y significativo ($\beta = 0.006574$, $p = 0.001$). Esto indica que por cada unidad adicional de la suma de metabolitos dialquifosforados, se esperaba un aumento de 0.006574 en el puntaje CES-D, lo cual refuerza la relación entre la exposición a plaguicidas y un aumento en los síntomas depresivos.

Tabla 3. Resultados del análisis de regresión multivariado entre la exposición a metabolitos dialquifosforados y la sintomatología de depresión y ansiedad en 2023, ajustado por covariables ($r^2 = 0,367$)

Variable	Coficiente	Error Estándar	Valor t	P> t	Intervalo de Confianza [95%]
Suma Diaquifosforados nmol/L	0.006574	0.001874	3.51	0.001	0.002869 – 0.010279
Creatinina nmol/L	0.0454254	1.362562	0.03	0.973	-2.649304 – 2.740155
Sexo (1= mujer, 2= hombre)	-3.825372	2.006538	-1.91	0.059	-7.793688 – 0.142943
Ingreso per cápita	-0.0000403	0.0000105	-3.82	0.000	-0.0000612 – -0.0000195
Estado civil (0= soltero, separado o viudo; 1= casado o conviviente)	-1.928907	1.30219	-1.48	0.141	-4.504238 – 0.6464245
Depresión (diagnosticado)	10.28261	1.986049	5.18	0.000	6.354816 – 14.2104

Otras variables significativas incluyeron el ingreso per cápita ($\beta = -0.0000403$, $p < 0.0001$), donde mayores ingresos se asociaron con una disminución en los síntomas depresivos, y la depresión preexistente ($\beta = 10.28$, $p < 0.0001$), que fue un fuerte predictor de un mayor puntaje CES-D. El sexo mostró un efecto marginalmente significativo ($\beta = -3.825$, $p = 0.059$), sugiriendo una posible menor susceptibilidad de los hombres a presentar síntomas depresivos, aunque este resultado no alcanzó la significancia estadística convencional.

Análisis de estimación de ecuaciones generalizadas (GEE)

En este modelo, solo la suma de metabolitos dietilfosforados en orina y la sintomatología de depresión del CES-D fue significativo. El análisis GEE (Tabla 4) muestra que la exposición a metabolitos dietilfosforados está significativamente asociada con un aumento en los síntomas depresivos, con un coeficiente de 0.0037 ($z = 2.06$, $p = 0.039$), lo que sugiere que un incremento en los niveles de estos metabolitos se relaciona con un incremento en el puntaje CES-D. Además, la depresión preexistente (DEPRE) es un predictor altamente significativo de los síntomas depresivos, con un coeficiente de 5.364759 ($z = 3.19$, $p = 0.001$), indicando que aquellos con un historial de depresión tienden a tener puntajes CES-D más altos.

Tabla 4. Resultados del modelo ecuaciones de estimación generalizadas (GEE) para la exposición a plaguicidas dietilfosforados y sintomatología de depresión, ajustado por variables (años 2022 y 2023)

Variable	Coficiente	Error Estándar	z	P> z	Intervalo de Confianza [95%]
Suma Dietilfosforados nmol/L	0.0037878	0.0018384	2.06	0.039	0.0001846 – 0.007391
Creatinina nmol/L	-1.163194	0.8460118	-1.37	0.169	-2.821347 – 0.4949586
Sexo (1= mujer, 2= hombre)	-5.71053	2.72048	-2.10	0.036	-11.04257 – -0.3784887
Depresión (diagnóstico)	5.364759	1.683691	3.19	0.001	2.064785 – 8.664732
Consumo problemático de alcohol	0.2275187	0.2143343	1.06	0.288	-0.1925689 – 0.6476063

La variable sexo también tiene un efecto significativo, donde ser hombre está asociado con un puntaje CES-D significativamente más bajo, con un coeficiente de -5.71053 ($z = -2.10$, $p = 0.036$), lo que sugiere que los hombres experimentan menos síntomas depresivos en comparación con las mujeres.

Por otro lado, ni los niveles de creatinina (coeficiente = -1.163194, $z = -1.37$, $p = 0.169$) ni el consumo de alcohol (coeficiente = 0.2275187, $z = 1.06$, $p = 0.288$) mostraron asociaciones significativas con los síntomas depresivos en esta muestra.

En conjunto, el modelo es estadísticamente significativo (Wald $\chi^2(5) = 24.75$, $p = 0.0002$), lo que respalda la relevancia de las variables consideradas en la predicción de los síntomas depresivos en la población estudiada.

Conclusión

En conjunto, estos resultados indican que la exposición a plaguicidas organofosforados a partir de la identificación de los metabolitos de dialquilfosforados en orina de los participantes tiene un impacto negativo significativo en la salud mental, particularmente en términos de aumento de síntomas depresivos y afecto negativo, especialmente durante períodos de alta exposición.

El estudio también identificó que factores como la depresión preexistente y el nivel socioeconómico desempeñan roles críticos en la modulación de estos síntomas, subrayando la importancia de considerar estas variables en futuras investigaciones y en la formulación de políticas. Aunque el modelo estadístico explicó una parte significativa de la variabilidad en los síntomas depresivos, es probable que otros factores no modelados también influyan en la salud mental de los trabajadores. Los resultados refuerzan la importancia de brindar apoyo psicológico a los trabajadores que ya presentan condiciones de salud mental preexistentes y detectar a tiempo a los trabajadores que podrían desarrollar dichos síntomas a través del biomonitoreo y cuestionarios de tamizaje.

Los hallazgos subrayan la importancia de monitorear la exposición a plaguicidas y de implementar medidas de protección más efectivas para salvaguardar la salud mental de los trabajadores agrícolas, prohibir de forma efectiva los plaguicidas más peligrosos, además de realizar el biomonitoreo ambiental y la evaluación de residuos de estos plaguicidas en la fruta y verdura de consumo para evaluar a exposición de las poblaciones en riesgo.

Referencias

Alavanja, M. C., & Bonner, M. R. (2012). Occupational pesticide exposures and cancer risk: a review. *Journal of Toxicology and Environmental Health. Part B, Critical reviews*, 15(4), 238–263. <https://doi.org/10.1080/10937404.2012.632358>

Boedeker, W., Watts, M., Clausing, P., & Marquez, E. (2020). The global distribution of acute unintentional pesticide poisoning: estimations based on a systematic review. *BMC Public Health*, 20(1), 1875. <https://doi.org/10.1186/s12889-020-09939-0>

Chrustek, A., Hołyńska-Iwan, I., Dziembowska, I., Bogusiewicz, J., Wróblewski, M., Cwynar, A., & Olszewska Słonina, D. (2018). Current research on the safety of pyrethroids used as insecticides. *Medicina (Kaunas, Lithuania)*, 54(4), 61. <https://doi.org/10.3390/medicina54040061>

Corral, S. A., de Angel, V., Salas, N., Zúñiga-Venegas, L., Gaspar, P. A., & Pancetti, F. (2017). Cognitive impairment in agricultural workers and nearby residents exposed to pesticides in the Coquimbo Region of Chile. *Neurotoxicology and teratology*, 62, 13–19. <https://doi.org/10.1016/j.ntt.2017.05.003>

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2022). Pesticides use, pesticide trade and pesticides indicators. Global, regional and country trends, 1990-2020. <https://www.fao.org/3/cc0918en/cc0918en.pdf>

Grillo Pizarro, Á., Achú Peralta, E., Muñoz-Quezada, M. T., & Lucero Mondaca, B. (2018). Exposición a plaguicidas organofosforados y polineuropatía periférica en trabajadores de la región del Maule, Chile [Exposure to organophosphate pesticides and peripheral polyneuropathy in workers from Maule Region, Chile]. *Revista Española de Salud Pública*, 92, e201803006

Lucero, B., & Muñoz-Quezada, M. T. (2021). Neurobehavioral, neuromotor, and neurocognitive effects in agricultural workers and their children exposed to pyrethroid pesticides: A review. *Frontiers in Human Neuroscience*, 15, 648171. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2021.648171>

Mackenzie Ross, S. J., Brewin, C. R., Curran, H. V., Furlong, C. E., Abraham-Smith, K. M., & Harrison, V. (2010). Neuropsychological and psychiatric functioning in sheep farmers exposed to low levels of organophosphate pesticides. *Neurotoxicology and Teratology*, 32(4), 452–459. <https://doi.org/10.1016/j.ntt.2010.03.004>

Muñoz-Quezada, M. T., Iglesias, V., Lucero, B., Steenland, K., Barr, D. B., Levy, K., Ryan, P. B., Alvarado, S., & Concha, C. (2012). Predictors of exposure to organophosphate pesticides in schoolchildren in the Province of Talca, Chile. *Environment International*, 47, 28–36. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2012.06.002>

Muñoz-Quezada, M. T., Lucero, B., Iglesias, V., & Muñoz, M. P. (2014). Vías de exposición a plaguicidas en escolares de la Provincia de Talca, Chile [Exposure pathways to pesticides in schoolchildren in the Province of Talca, Chile]. *Gaceta Sanitaria*, 28(3), 190–195. <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2014.01.003>

Muñoz-Quezada, M. T., Lucero, B., Iglesias, V., Muñoz, M. P., Achú, E., Cornejo, C., Concha, C., Grillo, A., & Brito, A. M. (2016). Plaguicidas organofosforados y efecto neuropsicológico y motor en la Región del Maule, Chile [Organophosphate pesticides and neuropsychological and motor effects in the Maule Region, Chile]. *Gaceta Sanitaria*, 30(3), 227–231. <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2016.01.006>

Muñoz-Quezada, M. T., Lucero, B., Iglesias, V., Levy, K., Muñoz, M. P., Achú, E., Cornejo, C., Concha, C., Brito, A. M., & Villalobos, M. (2017). Exposure to organophosphate (OP) pesticides and health conditions in agricultural and non-agricultural workers from Maule, Chile. *International Journal of Environmental Health Research*, 27(1), 82–93. <https://doi.org/10.1080/09603123.2016.1268679>

Muñoz-Quezada, M. T., Lucero, B., Bradman, A., Steenland, K., Zúñiga, L., Calafat, A. M., Ospina, M., Iglesias, V., Muñoz, M. P., Buralli, R. J., Fredes, C., & Gutiérrez, J. P. (2019). An educational intervention on the risk perception of pesticides exposure and organophosphate metabolites urinary concentrations in rural school children in Maule Region, Chile. *Environmental Research*, 176, 108554. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108554>

Panis, C., Kawassaki, A., Crestani, A., Pascotto, C. R., Bortoloti, D. S., Vicentini, G. E., Lucio, L. C., Ferreira, M. O., Prates, R., Vieira, V. K., Gaboardi, S. C., & Candiotta, L. (2022). Evidence on human exposure to pesticides and the occurrence of health hazards in the Brazilian population: A systematic review. *Frontiers in Public Health*, 9, 787438. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.787438>

Parks, C. G., Santos, A., Lerro, C. C., DellaValle, C. T., Ward, M. H., Alavanja, M. C., Berndt, S. I., Beane Freeman, L. E., Sandler, D. P., & Hofmann, J. N. (2019). Lifetime pesticide use and antinuclear antibodies in male farmers from the agricultural health study. *Frontiers in Immunology*, 10, 1476. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2019.01476>

Ramírez-Santana, M., Zúñiga-Venegas, L., Corral, S., Roeleveld, N., Groenewoud, H., Van der Velden, K., Scheepers, P. T. J., & Pancetti, F. (2020). Reduced neurobehavioral functioning in agricultural workers and rural inhabitants exposed to pesticides in northern Chile and its association with blood biomarkers inhibition. *Environmental Health*, 19(1), 84. <https://doi.org/10.1186/s12940-020-00634-6>

Servicio Agrícola Ganadero [SAG]. (2019). [Sales report of pesticides for agricultural use. Year 2019]. Santiago Chile: Servicio Agrícola Ganadero. https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/declaracion_de_ventas_de_plaguicidas_ano_2019_0.pdf

Thundiyil, J. G., Stober, J., Besbelli, N., & Pronczuk, J. (2008). Acute pesticide poisoning: a proposed classification tool. *Bulletin of the World Health Organization*, 86(3), 205–209. <https://doi.org/10.2471/blt.08.041814>

van den Dries, M. A., Lamballais, S., El Marroun, H., Pronk, A., Spaan, S., Ferguson, K. K., Longnecker, M. P., Tiemeier, H., & Guxens, M. (2020). Prenatal exposure to organophosphate pesticides and brain morphology and white matter microstructure in preadolescents. *Environmental Research*, 191, 110047. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110047>

van Wendel de Joode, B., Mora, A. M., Lindh, C. H., Hernández-Bonilla, D., Córdoba, L., Wesseling, C., Hoppin, J. A., & Mergler, D. (2016). Pesticide exposure and neurodevelopment in children aged 6-9 years from Talamanca, Costa Rica. *Cortex*, 85, 137–150. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2016.09.003>

Zúñiga-Venegas, L., Aquea, G., Taborda, M., Bernal, G., & Pancetti, F. (2015). Determination of the genotype and phenotype of serum paraoxonase 1 (PON1) status in a group of agricultural and nonagricultural workers in the Coquimbo Region, Chile. *Journal of Toxicology and Environmental Health. Part A*, 78(6), 357–368. <https://doi.org/10.1080/15287394.2014.982843>

Zúñiga, L., Saracini, C., Pancetti, F., Muñoz, M., Lucero, B., Foerster, C., & Cortés, S. (2021). Pesticide exposure in Chile and population health: urgency for decision making. *Gaceta Sanitaria*, 35(5), 480–487. <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2020.04.020>

Zúñiga-Venegas, L. A., Hyland, C., Muñoz-Quezada, M. T., Quirós-Alcalá, L., Butinof, M., Buralli, R., Cardenas, A., Fernandez, R. A., Foerster, C., Gouveia, N., Gutiérrez Jara, J. P., Lucero, B. A., Muñoz, M. P., Ramírez-Santana, M., Smith, A. R., Tirado, N., van Wendel de Joode, B., Calaf, G. M., Handal, A. J., Soares da Silva, A., ... Mora, A. M. (2022). Health effects of pesticide exposure in Latin American and the Caribbean populations: A scoping review. *Environmental Health Perspectives*, 130(9), 96002. <https://doi.org/10.1289/EHP9934>

Estudios realizados en la Región de Coquimbo

Dra. Floria Pancetti
Laboratorio de Neurotoxicología Ambiental
Facultad de Medicina
Universidad Católica del Norte
Coquimbo, Chile



Doctorado en Ciencias
Biomédicas

PROGRAMA ACREDITADO POR 3 AÑOS
MODALIDAD PRESENCIAL - COQUIMBO - JORNADA DIURNA
DESDE AGOSTO 2023 - HASTA AGOSTO 2026

Contexto del problema

- La región de Coquimbo posee un clima semiárido y posee más de 3 millones de hectáreas destinadas a actividades agrícolas en los valles de Elqui y Limarí, con producción mayoritaria de uvas, limones, naranjas y hortalizas.
- Según el último censo agropecuario, en la región de Coquimbo hay 9.095 trabajadores agrícolas permanentes y 74.384 temporales. De los permanentes, la mayoría son pequeños y medianos productores en sus propios predios familiares y, por lo general, no se encuentran adscritos a programas de vigilancia de exposición a plaguicidas.
- Entre los años 2014-2016, el Instituto de Investigaciones Agropecuaria (INIA) ejecutó el proyecto en el cual se demostró que aproximadamente el 48% de los productores de hortalizas de hoja, entrevistados en la región de Coquimbo, no cuentan con la acreditación SAG de aplicador de plaguicida, de lo que se infiere que no cuentan con el curso de capacitación sobre el uso y manejo seguro de estas sustancias lo que representa un alto riesgo para la salud del aplicador, consumidores y población aledaña.
- La vigilancia de la exposición a plaguicidas en Chile, nace en el año 1993 cuando el Ministerio de Salud conforma la Red Nacional de Vigilancia Epidemiológica en Plaguicidas (REVEP) que recopilaba datos de notificación voluntaria de intoxicaciones. En el año 2004 se promulga el Decreto Supremo 88 que hace obligatoria la notificación a las Secretarías Regionales Ministeriales de Salud. Los aspectos técnicos de cómo debe realizarse la vigilancia está contenida en la Norma Técnica N° 92. En este documento se hace referencia a los indicadores biológicos de exposición a plaguicidas, siendo bastante limitada la cantidad de éstos y aplicables sólo a población laboralmente expuesta. De hecho, para agroquímicos, sólo considera a la familia química de los plaguicidas organofosforados y carbamatos (inhibidores de la enzima acetilcolinesterasa, AChE), estableciendo como indicador biológico la actividad AChE eritrocitaria o de la enzima butirilcolinesterasa (BChE) en plasma, siendo esta última una enzima diferente, pero con similares características catalíticas. En este documento se fija el límite de tolerancia biológica para estos biomarcadores que se establece como el 70% del valor basal de actividad AChE (o BChE) del trabajador. El límite de tolerancia biológica, en este caso, se define como la desviación máxima permisible de la norma de un parámetro biológico inducido por estas sustancias en los seres humanos (www.ispch.cl/actualidad/doc/pres_6.ppt). La Norma Técnica N° 92 a su vez toma estos valores del Título V del Decreto Supremo 594 donde están definidos. Este documento corresponde al Reglamento sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo. Por último, cabe señalar que es el Instituto de Salud Pública (ISP), a través de Laboratorio de Salud Ocupacional, el laboratorio de referencia nacional para la cuantificación de estos indicadores.

Diagnóstico de la situación de exposición

Estudio de campo y diseño experimental

- Para estudiar la situación de exposición a plaguicidas en habitantes de los valles de Elqui y Limarí, reclutamos personas voluntarias (trabajadores agrícolas y población general) de

localidades rurales de los Valles de Elqui y Limarí, sin antecedentes de intoxicaciones y les medimos los biomarcadores sanguíneos y evaluamos su funcionamiento neuroconductual. Estos voluntarios fueron clasificados en tres grupos con diferente tipo de exposición a plaguicidas, un grupo no expuesto o de referencia compuesto por voluntarios de áreas urbanas o localidades rurales no agrícolas, un grupo ambientalmente expuesto que correspondía a habitantes de áreas rurales cercanas a plantaciones y un grupo ocupacionalmente expuesto compuesto por trabajadores agrícolas.

- Ambos grupos de exposición fueron evaluados dos veces, la primera evaluación se realizó en invierno cuando no hay fumigación con plaguicidas organofosforados. La segunda se realizó en primavera durante el período de fumigación.



Resultados

Estudio 1: Cuantificación de biomarcadores de exposición/efecto en sangre (AChE y BChE).

- En una muestra de 78 trabajadores agrícolas de los Valles de Elqui y Limarí se encontró un 23% de prevalencia de inhibición del biomarcador (AChE) por sobre el límite de tolerancia biológica (LTB) declarado en el D.S. 594; lo que indica riesgo para la salud. Cuando se usó BChE como biomarcador, la prevalencia de riesgo en esta cohorte fue de un 15%.

- La situación resultó ser más preocupante aún, dado que en una muestra de población general de zonas rurales agrícolas (n=66), la prevalencia de riesgo producto de la exposición a plaguicidas fue de un 25% (presentaron inhibición de AChE por sobre el LTB). La prevalencia sube a un 30% cuando se usa BChE como biomarcador.
- Se concluye que es necesario obtener la línea base de los niveles de actividad de BChE y AChE para la población chilena

Referencia:

Ramírez-Santana M, Farías-Gómez C, Zúñiga-Venegas L, Sandoval R, Roeleveld N, Van der Velden K, Scheepers PTJ, Pancetti F. Biomonitoring of blood cholinesterases and acylpeptide hydrolase activities in rural inhabitants exposed to pesticides in the Coquimbo Region of Chile. PLoS One. 2018 May 2;13(5):e0196084. doi: 10.1371/journal.pone.0196084.

Estudio 2: Asociación de los biomarcadores con efectos a nivel neuroconductual

- El 24% de la muestra de trabajadores agrícolas presentó deterioro de las funciones neuropsicológicas a nivel basal. Este valor aumentó a un 31% en la época de fumigación. Las áreas cognitivas más afectadas fueron la memoria, las funciones ejecutivas y la psicomotricidad, siendo las mujeres las que presentaron casi 3 veces más riesgo.
- La inhibición de la actividad de BChE en los expuestos ambientales (población general) resultó ser el mejor predictor de bajo rendimiento en pruebas que miden la memoria lógica, auditiva y visual, control inhibitorio de la interferencia cognitiva, habilidades de construcción y planificación, funciones ejecutivas y velocidad motora y coordinación.
- Los resultados fueron coincidentes con un estudio piloto preliminar realizado en las mismas áreas geográficas pero en una muestra diferente. En ese estudio se logró detectar una alta prevalencia de deterioro cognitivo en individuos expuestos de manera crónica a plaguicidas. Los procesos cognitivos evaluados incluyeron memoria, funciones ejecutivas, atención, praxis del lenguaje y visuconstrucción. En comparación con un grupo de expuestos ambientales (población general de zonas rurales agrícolas), los expuestos laborales se desempeñaron significativamente peor en las pruebas que evaluaron función ejecutiva, fluidez verbal y en las pruebas de memoria visual y auditiva. Ambos grupos tuvieron un desempeño peor que un grupo de referencia no expuesto, incluso después de ajustar por edad, sexo y nivel educativo.

Referencias:

Corral SA, de Angel V, Salas N, Zúñiga-Venegas L, Gaspar PA, Pancetti F. Cognitive impairment in agricultural workers and nearby residents exposed to pesticides in the Coquimbo Region of Chile. Neurotoxicol Teratol. 2017 Jul;62:13-19. doi: 10.1016/j.ntt.2017.05.003.

Ramírez-Santana M, Zúñiga-Venegas L, Corral S, Roeleveld N, Groenewoud H, van der Velden K, Scheepers PTJ, Pancetti F. Association between cholinesterase's inhibition and cognitive impairment: A basis for prevention policies of environmental pollution by organophosphate and carbamate pesticides in Chile. Environ Res. 2020 Jul;186:109539. doi: 10.1016/j.envres.2020.109539.

Ramírez-Santana M, Zúñiga-Venegas L, Corral S, Roeleveld N, Groenewoud H, Van der Velden K, Scheepers PTJ, Pancetti F. Reduced neurobehavioral functioning in agricultural workers and rural inhabitants exposed to pesticides in northern Chile and its association with blood biomarkers inhibition. Environ Health. 2020 Jul 22;19(1):84. doi: 10.1186/s12940-020-00634-6.

Estudio 3: Evaluación de la susceptibilidad genotóxica a través de la enzima paraoxonasa plasmática (PON1)

- Se establecieron por primera vez las frecuencias alélicas y genotípicas del polimorfismo PON1_{Q192R}, así como sus actividades catalíticas, para un grupo de trabajadores agrícolas chilenos expuestos ocupacionalmente a pesticidas organofosforados (n=85) y comparados con sujetos no expuestos ocupacionalmente (n=97).
- El alelo Q estuvo representado con mayor frecuencia en la población estudiada (~60%).
- El alelo Q es menos eficiente que el alelo R en metabolizar clorpirifos, el cual es el pesticida organofosforado más utilizado en las áreas geográficas donde se obtuvieron las muestras. Esto sugiere que la población estaría en un riesgo mayor al ser portadora predominantemente del alelo menos eficaz para metabolizar clorpirifos.
- Se observó una gran variabilidad interindividual de la actividad de PON1, lo que sugiere una amplia variación de la susceptibilidad individual al clorpirifos.
- Se determinó que hay significativamente más daño genotóxico en el ADN de individuos expuestos (laborales y ambientales) que no expuestos. No obstante, los polimorfismos PON1 no resultaron ser determinantes para el establecimiento de este *endpoint*.

Referencias:

Zúñiga-Venegas L, Aquea G, Taborda M, Bernal G, Pancetti F. Determination of the genotype and phenotype of serum paraoxonase 1 (PON1) status in a group of agricultural and nonagricultural workers in the Coquimbo Region, Chile. *J Toxicol Environ Health A*. 2015;78(6):357-68. doi: 10.1080/15287394.2014.982843.

Zúñiga-Venegas L, Pancetti FC. DNA damage in a Chilean population exposed to pesticides and its association with PON1 (Q192R and L55M) susceptibility biomarker. *Environ Mol Mutagen*. 2022 Apr;63(4):215-226. doi: 10.1002/em.22485.

Conclusiones generales

- En la región de Coquimbo existen niveles de exposición a pesticidas que representan un riesgo desde el punto de vista neurotoxicológico y genotoxicológico tanto para trabajadores agrícolas como para la población general rural. Por lo tanto, la problemática asociada al uso excesivo de plaguicidas y su impacto ambiental y en la salud de la población está saliendo a la luz con evidencias que poseen una sólida base científica.
- Cabe señalar que la cuantificación de las actividades de las colinesterasas en sangre es la metodología más antigua usada hasta nuestros días en programas de vigilancia. Sin embargo, esto constituye un problema colateral que afecta la fidelidad de la estimación de la exposición a agroquímicos ya que este biomarcador detecta indirectamente el efecto de la exposición solo a plaguicidas del tipo organofosforados y carbamatos, dejando fuera del monitoreo la vigilancia de la exposición a otras familias químicas de agroquímicos (i.e. piretroides, neonicotinoides, entre otros ampliamente usados hoy en día). Se hace necesario mejorar las herramientas analíticas para fortalecer los programas de vigilancia.

Estudio 2

El estudio titulado "Insect Community Composition within Two Productive Models of Lettuce Crops Regarding Distinct Pesticide Management" (Araujo et al., 2024) compara la composición y dinámica de las comunidades de insectos en dos sistemas de producción de lechuga en la región de Pan de Azúcar, Coquimbo, Chile. El trabajo se enfoca en evaluar cómo el uso intensivo de plaguicidas en comparación con el manejo integrado de plagas (IPM) afecta la diversidad y abundancia de insectos, con especial énfasis en especies plaga y benéficas.

Antecedentes

El uso de plaguicidas en la agricultura moderna ha sido una práctica común para combatir plagas y aumentar el rendimiento de los cultivos. Sin embargo, su uso intensivo tiene consecuencias negativas tanto para los ecosistemas agrícolas como para la salud humana. Entre los efectos adversos se encuentran la disminución de la biodiversidad, el desarrollo de resistencia en especies plaga y la pérdida de servicios ecosistémicos esenciales como la polinización y el control biológico. En Chile, la región de Coquimbo es una de las principales áreas productoras de lechuga, donde el uso de plaguicidas es generalizado. Este estudio surge en respuesta a la necesidad de entender cómo los diferentes niveles de manejo de plagas impactan la comunidad de insectos en los cultivos de lechuga.

Objetivos del Estudio

El estudio tiene tres objetivos principales:

- Comparar la composición, abundancia y riqueza de las comunidades de insectos entre sitios de manejo convencional (uso intensivo de plaguicidas) y sitios de manejo integrado de plagas (IPM).
- Evaluar las diferencias estacionales en la comunidad de insectos entre los dos tipos de manejo.
- Identificar los efectos del uso de plaguicidas en la diversidad de insectos benéficos y plagas agrícolas.

Métodos

El estudio se realizó en siete sitios de cultivo de lechuga en Pan de Azúcar. Cuatro de los sitios empleaban un manejo intensivo de plaguicidas, con entre 7 y 9 aplicaciones por ciclo de cultivo, mientras que los tres restantes utilizaban manejo integrado de plagas (IPM), con entre 2 y 3 aplicaciones por ciclo. En los sitios IPM, se implementaron prácticas como la diversificación del hábitat y el uso de controles biológicos para minimizar el uso de plaguicidas.

El muestreo de insectos se llevó a cabo entre febrero de 2021 y julio de 2022, utilizando trampas amarillas en dos puntos dentro de cada sitio (en el centro del cultivo y cerca del borde). Estas trampas atraen insectos voladores y permiten recolectar una muestra representativa de las especies presentes. Los insectos recolectados fueron llevados al laboratorio para su identificación taxonómica, primero a nivel de familia y luego a nivel de morfoespecie o especie en el caso de las plagas.

Para el análisis de los datos, se utilizaron modelos lineales generalizados (GLM) para examinar la relación entre el manejo de plaguicidas, el tiempo y la riqueza y abundancia de insectos. Asimismo, se realizaron análisis multivariantes para comparar la composición de las comunidades de insectos entre los sitios de manejo convencional e IPM.

Resultados

Composición de la Comunidad de Insectos

Se identificaron 98 familias de insectos en total, con diferencias significativas entre los sitios de manejo convencional e IPM. En los sitios de manejo intensivo de plaguicidas, las comunidades de insectos estuvieron dominadas por plagas agrícolas como los áfidos (Aphididae), los trips (Thripidae) y los minadores de hojas (Agromyzidae). Estas especies fueron más abundantes en los sitios de manejo convencional debido a la reducción de la biodiversidad y a la presión selectiva de los plaguicidas.

En cambio, los sitios IPM mostraron una mayor diversidad de insectos, incluidas especies benéficas como depredadores y polinizadores. Las familias de insectos en los sitios IPM fueron más equilibradas en términos de abundancia, lo que refleja un ecosistema más estable y funcional, con menos dominancia de especies plaga.

Riqueza y Abundancia de Insectos

Los resultados indicaron que la riqueza de familias de insectos fue significativamente mayor en los sitios IPM que en los sitios convencionales. En promedio, los sitios IPM presentaron 36 familias de insectos, mientras que los sitios convencionales solo mostraron 29 familias. Esta diferencia es estadísticamente significativa ($p = 0.001$), lo que sugiere que el uso reducido de plaguicidas permite una mayor riqueza taxonómica.

En términos de abundancia, los sitios convencionales con uso intensivo de plaguicidas tuvieron un mayor número de insectos, especialmente durante los meses de verano. La abundancia de plagas en estos sitios fue hasta un 70% mayor que en los sitios IPM, lo que se atribuye al efecto disruptivo de los plaguicidas en las comunidades de insectos. En los sitios IPM, aunque también había plagas presentes, la abundancia de estas fue significativamente menor, y las comunidades estaban compuestas por una mayor variedad de especies, lo que contribuyó a un mejor control biológico de las plagas.

Impacto de los Pesticidas en la Diversidad de Insectos

El uso intensivo de plaguicidas en los sitios convencionales no solo aumentó la abundancia de plagas, sino que también redujo la presencia de insectos benéficos, como los depredadores naturales. En los sitios convencionales, las familias de insectos benéficos, como los Syrphidae (moscas de las flores) y los Coccinellidae (mariquitas), fueron menos abundantes debido a la aplicación frecuente de plaguicidas de amplio espectro.

En contraste, los sitios IPM presentaron una mayor diversidad y equidad en la distribución de insectos. El índice de Shannon-Weiner (H') fue significativamente mayor en los sitios IPM (2.71) que en los sitios convencionales (1.87), lo que indica una mayor diversidad de especies en los sistemas IPM. Asimismo, el índice de Simpson (D) reflejó una mayor equidad en la distribución de las especies en los sitios IPM.

Estacionalidad de la Abundancia de Insectos

La abundancia de insectos mostró un marcado patrón estacional, con picos en los meses cálidos (verano) y caídas en los meses fríos (invierno). En los sitios de manejo convencional, la abundancia de plagas fue especialmente alta en verano, lo que sugiere que las plagas proliferan en condiciones de monocultivo con uso intensivo de plaguicidas. En cambio, en los sitios IPM, la abundancia de insectos fue más constante a lo largo del año, lo que refleja un ecosistema más resiliente y menos dependiente de las condiciones estacionales.

Discusión

El estudio demuestra que el manejo intensivo de plaguicidas en los sistemas agrícolas de lechuga tiene efectos negativos sobre la biodiversidad de insectos, favoreciendo el aumento de plagas y reduciendo la presencia de especies benéficas. Por otro lado, el manejo integrado de plagas (IPM) fomenta un mayor equilibrio ecológico, al permitir que los depredadores naturales y otros insectos benéficos controlen las poblaciones de plagas de manera más efectiva.

Estos resultados subrayan la importancia de reducir el uso de plaguicidas en la agricultura y adoptar enfoques de manejo más sostenibles, como el IPM, que no solo mejoran la biodiversidad, sino que también contribuyen a una mayor estabilidad ecológica y una menor dependencia de los productos químicos.

Conclusión

El estudio concluye que los sistemas de manejo integrado de plagas (IPM) son más efectivos para promover la biodiversidad y el control de plagas en cultivos de lechuga. Los sitios IPM mostraron comunidades de insectos más equilibradas y diversas, mientras que los sitios convencionales estuvieron dominados por plagas. El uso excesivo de plaguicidas no solo resulta en una mayor abundancia de plagas, sino que también reduce la abundancia de insectos benéficos, lo que a largo plazo puede comprometer la sostenibilidad agrícola.

Referencia

Araujo, R. de O., Maltés, M., Valencia, A., Salas, C., Melo, C., Muñoz-Quezada, M. T., & Rios, R. S. (en revisión). Insect community composition within two productive models of lettuce crops regarding distinct pesticide management.