

# UNIVERSIDAD DE CHILE



**FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS Y PECUARIAS  
ESCUELA DE POSGRADO Y POSTÍTULO**

## **EVALUACIÓN DE EXPOSICIÓN Y ESTIMACIÓN DEL RIESGO POR INHALACIÓN DE PLAGUICIDAS EN LA COMUNA DE MOLINA, REGIÓN DEL MAULE**

**NATALIA ELENA MARTÍNEZ MUÑOZ**

**Tesis para optar al Título Profesional de Médico Veterinario y Magíster en Ciencias  
Animales y Veterinarias.**

**Santiago- Chile  
2018**

# UNIVERSIDAD DE CHILE



**FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS Y PECUARIAS  
ESCUELA DE POSGRADO Y POSTÍTULO**

## **EVALUACIÓN DE EXPOSICIÓN Y ESTIMACIÓN DEL RIESGO POR INHALACIÓN DE PLAGUICIDAS EN LA COMUNA DE MOLINA, REGIÓN DEL MAULE**

**NATALIA ELENA MARTÍNEZ MUÑOZ**

**Tesis para optar al Título Profesional de Médico Veterinario y Magíster en Ciencias  
Animales y Veterinarias.**

**DIRECTORES DE TESIS: DR. CHRISTOPHER HAMILTON-WEST M.  
DRA. SANDRA CORTÉS ARANCIBIA.**

**PROYECTO FONDAP Nº15130011  
VRI-UC INICIO Nº9/2014**

**Santiago- Chile  
2018**

A mi madre Lucía, no hay nada en el mundo más blando que el agua, sin embargo, solo ella puede moldear la roca dura y fuerte, gracias a ti, soy yo.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco la fortuna de poder escribir esto, de poder estar aquí, ahora. Con todo lo que creo que es “bueno” y “malo”. Todo el camino que he recorrido que hicieron que hoy sea una versión de mí que acepto, respeto y que me motiva a mejorar.

A mis padres, Lucía y Hernán, que quiero que sepan que aún recuerdo las tarjetas en mis primeros cumpleaños y despertarme en mi día cantando, y como haya sido nuestra historia agradezco quienes somos, como los he amado en todo estos años y su amor que he recibido de vuelta.

A Felipe, gracias por darme la libertad para amarte y por haberme dado una familia, con el Quentin incluido. En la luz y en la oscuridad, en el sol o en la tormenta, nada puede rompernos.

A mis amigos que saben quiénes son, que los vea poco o mucho siempre es igual, es difícil encontrar personas que se alegren con tus logros, como no estar agradecida hasta el infinito de ustedes.

De la misma manera deseo dar mis más sinceros agradecimientos a quienes me formaron, apoyaron y contribuyeron en la realización de esta tesis y en mi formación y desarrollo profesional. Gracias a mis profesores guías, Dr. Christopher Hamilton-West y Dra. Sandra Cortés por apoyarme, corregirme y alentarme a hacerlo cada vez mejor. Gracias Fran por tu motivación y ejemplo, gracias Coni Miranda, por ser una mujer y profesional impresionante y por tu constante preocupación. A todos ustedes, les expreso una profunda admiración.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>I. RESUMEN</b> .....	<b>1</b>
<b>II. SUMMARY</b> .....	<b>2</b>
<b>III. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>3</b>
<b>IV. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>5</b>
1. Plaguicidas .....	5
a. Efectos de plaguicidas en salud humana .....	6
b. Dispersión y destino de plaguicidas .....	7
2. Situación Nacional.....	8
3. Cohorte MAUCO .....	10
4. Resumen de plaguicidas analizados.....	11
<b>III. HIPÓTESIS</b> .....	<b>15</b>
<b>IV. OBJETIVO GENERAL</b> .....	<b>15</b>
<b>V. OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	<b>15</b>
<b>VI. MATERIAL Y MÉTODOS</b> .....	<b>16</b>
5. Zona de estudio .....	16
6. Toma de muestra y extracción/análisis químico .....	16
7. Objetivo específico 1. Caracterizar las concentraciones de plaguicidas en el aire de la comuna de Molina, Región del Maule.....	19
8. Objetivo específico 2. Caracterizar la exposición por inhalación a plaguicidas en personas residentes de la comuna de Molina, Región del Maule.....	20
9. Objetivo específico 3. Establecer y analizar el riesgo para la salud poblacional por inhalación de plaguicidas en la comuna de Molina, Región del Maule.....	23
<b>VII. RESULTADOS</b> .....	<b>26</b>
10. Generalidades.....	26
11. Objetivo específico 1: Caracterizar las concentraciones de plaguicidas en el aire de la comuna de Molina, Región del Maule.....	26
12. Objetivo específico 2: Caracterizar la exposición por inhalación a plaguicidas en personas residentes de la comuna de Molina, Región del Maule.....	33
13. Objetivo específico 3: Establecer y analizar el riesgo para la salud poblacional por inhalación de plaguicidas en la comuna de Molina, Región del Maule.....	33
<b>VIII. DISCUSIÓN</b> .....	<b>37</b>
<b>IX. CONCLUSIONES</b> .....	<b>44</b>
<b>X. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>46</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Identificación de periodos muestreados .....	18
<b>Tabla 2.</b> Fuente ExpoFIRST, basado en Manual de Exposición de la USEPA (2011). .....	22
<b>Tabla 3.</b> Nivel Aceptable para el Operador (AOEL) y clasificación de cáncer. ..	24
<b>Tabla 4.</b> Concentración de herbicidas detectados, estación y punto de muestreo.....	27
<b>Tabla 5.</b> Concentración de insecticidas detectados, estación y punto de muestro.....	29
<b>Tabla 6.</b> Concentración de fungicida detectado, estación del año y periodo de muestreo.....	31
<b>Tabla 7.</b> Concentración de plaguicidas utilizados, Dosis Diaria Promedio Inhalada (ADD) y Cociente de Peligro (HQ) para riesgos no carcinogénicos calculados para diferentes grupos de edades. ....	34
<b>Tabla 8.</b> Índice de Peligrosidad (HI) para grupo de triazinas y organofosforados para diferentes grupos de edades. ....	35
<b>Tabla 9.</b> Dosis Diaria Promedio Potencial de por Vida (LADD) e Incremento del Riesgo de Cáncer durante la Vida (LCR) para compuestos posiblemente carcinogénicos.....	36

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ubicación espacial de los lugares muestreados. ....	17
<b>Figura 2.</b> Discos PAS-PUF instalado en cámara de acero inoxidable.....	18
<b>Figura 3.</b> Estaciones de monitoreo por herbicida y estación del año. ....	28
<b>Figura 4.</b> Estaciones de monitoreo por insecticida y estación del año. ....	30
<b>Figura 5.</b> Estaciones de monitoreo de fungicidas y estación del año.....	32

## I. RESUMEN

El uso de plaguicidas en la agricultura para el control de plagas ha generado múltiples beneficios para la producción de alimentos, aumentando la eficiencia de los cultivos y su conservación. Sin embargo, estos compuestos pueden dispersarse en el aire, pudiendo ser inhalados por personas que viven en zonas cercanas a campos agrícolas, lo que constituye una amenaza para la salud pública. A pesar de que instituciones gubernamentales controlan la autorización de uso y aplicación de estos compuestos en nuestro país, el monitoreo para evaluar el destino de estos aún es limitado. Debido a lo mencionado, se llevó a cabo este estudio, cuyos objetivos fueron analizar la presencia de plaguicidas en aire en la zona urbana de la comuna de Molina y evaluar la exposición a éstos, determinando el riesgo crónico en la salud de las personas por inhalación. Para esto se realizó un monitoreo ambiental de plaguicidas en 6 estaciones en la comuna de Molina, Región del Maule, entre los meses de octubre de 2015 y agosto de 2016. Se detectaron 5 herbicidas (atrazina, metolaclo, pendimetalina, simazina y terbutilazina), 3 insecticidas (clorpirifos, dimetoato, diazinon) y 1 fungicida (tebuconazol). Para los tres grupos de edad analizados (1-6 años, 6-12 años y 12-70 años), el riesgo de efectos no carcinogénicos expresado como Cociente de Peligro (HQ) fue menor a 1 para todos los plaguicidas. Asimismo, se estimó la exposición acumulativa para las familias de plaguicidas organofosforados y triazinas, mediante el Índice de Peligrosidad Crónica (HI), el cual resultó menor a 1 para las dos familias evaluadas. Los cocientes de peligro más altos fueron obtenidos para diazinon ( $1,4E-02$ ) y clorpirifos ( $3,0E-03$ ). La evaluación de riesgos carcinogénicos para los 4 plaguicidas clasificados como posibles carcinógenos no alcanzaron un nivel de riesgo para la población de Molina, siendo la pendimetalina el compuesto de mayor preocupación. Cabe destacar que la exposición en niños de 1 a 6 años fue mayor en todas las evaluaciones con relación a los otros grupos de edad analizados. Los resultados de este estudio demuestran la presencia de diferentes grupos de plaguicidas en el aire de la comuna de Molina y entregan una metodología de análisis de riesgos para los peligros que afectan la salud de la población.

**Palabras claves:** Plaguicidas, Análisis de riesgo, Índice de Peligro, Incremento del Riesgo de Cáncer.

## II. SUMMARY

The use of pesticides has generated multiple benefits on the food's production and agriculture industry in Chile, increasing the efficiency and conservation of crops. However, these chemical compounds can disperse in the air and be inhaled as a side effect, threatening the health of people living near agricultural fields. Despite the control of the government institutions over the authorization of pesticides usage and application in our country, the tracking of the compound's destination is still limited. This study aims to analyze the presence of pesticides, evaluate the exposure and estimate the chronic risk on public health by inhalation of them in the urban area of Molina, Maule Region. For this purpose, environmental monitoring was carried out in six stations in Molina between October of 2015 and August of 2016, detecting five herbicides (atrazine, metalochlor, pendimethalin, simazine and terbutilazine), three insecticides (chlorpyrifos, dimethoate, diazinon) and one fungicide (tebuconazole). Three age groups were analyzed (1-6 years, 6-12 years and 12-70 years), finding that the risk of non-carcinogenic effects expressed as Hazard Quotient (HQ) was less than 1 for all pesticides and age groups. Additionally, the cumulative exposure was estimated for organophosphorus and triazine pesticides using the chronic Hazard Index (HI), which was less than 1 for the two families of evaluated pesticides. Among the compounds, the highest hazard quotient value was found for diazinon ( $1.4E-02$ ) and chlorpyrifos ( $3.0E-03$ ). The evaluation of Lifetime Cancer Risk for the four pesticides classified as possible carcinogens did not reach a level of risk. However, the pendimethalin was the most worrisome compound. It should be noted that the exposure in children aged 1 to 6 years was higher than the other age groups in all the evaluations. The results of this study demonstrate the presence of different groups of pesticides in the air of the Molina district and provide a risk analysis methodology for the assessment of hazards that affect the public health.

**Keywords** : Pesticides, risk assessment, Hazard Index, Lifetime Cancer Risk.

### **III. INTRODUCCIÓN**

Los plaguicidas son sustancias ampliamente utilizadas en agricultura, para impedir, destruir, atraer, repeler o combatir cualquier plaga, ya sea en plantas o animales, en cualquier etapa del proceso productivo. Desde su ingreso al mercado, pasada la segunda guerra mundial hasta la actualidad, una amplia variedad de plaguicidas han sido utilizados, mejorando el rendimiento de los cultivos en 35% a un 42%. Actualmente, en nuestro país existe una amplia variedad de compuestos autorizados para uso y comercialización con diversos objetivos; registrándose a la fecha 1.221 formulaciones correspondientes a 380 principios activos, comercializándose anualmente un total de 38.864.057 Kg o Lt de productos o formulaciones, según el último informe de ventas del Servicio Agrícola y Ganadero del año 2012.

No obstante, a pesar de sus grandes beneficios, si estas sustancias no son utilizadas en las dosis y frecuencias indicadas, pueden generar efectos adversos al medio ambiente y a la población, siendo la inhalación de estos compuestos cuando están contenidos en el aire, una fuente importante de exposición para las personas. Esto último puede ocurrir, ya que, al aplicar un plaguicida, este puede viajar a través del aire debido a sus propiedades químicas de volatilización y condiciones ambientales presentes, pudiendo alcanzar grandes distancias llegando a lugares no objetivo e incluso a las personas.

En Chile existen antecedentes de uso de plaguicidas y de su presencia en diferentes matrices ambientales. Sin embargo, existe limitada información sobre los niveles ambientales de estos contaminantes en aire, por lo que se hace necesaria la realización de monitoreos ambientales que entreguen información relevante, para entender los perfiles de uso de plaguicidas y los posibles riesgos que pueden presentar estos compuestos a la población habitante de la zona.

El siguiente estudio, evaluó la presencia de plaguicidas de uso habitual en el aire de la comuna de Molina, Región del Maule, y la exposición humana a estos plaguicidas, determinando el riesgo por inhalación para la salud de la población expuesta en la comuna de Molina. Esta información sirve de base para la caracterización ambiental de la Cohorte MAUCO, primera en Chile en estudiar la relación entre enfermedades crónicas y exposición ambiental.

## IV. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 1. Plaguicidas

Los plaguicidas son definidos como cualquier sustancia destinada a impedir, destruir, atraer, repeler o combatir cualquier plaga, incluidas las especies indeseadas de plantas o animales, durante la producción, almacenamiento, transporte, distribución y elaboración de alimentos, productos agrícolas o piensos; o que pueda administrarse a los animales para combatir ectoparásitos (Codex Alimentarius, 2017). Estas sustancias químicas han sido utilizadas en todo el mundo, principalmente después de la Segunda Guerra Mundial, con el descubrimiento de algunos compuestos orgánicos con buena actividad insecticida o herbicida (Zhang *et al.*, 2011). En la actualidad, el uso de plaguicidas, ha generado un aumento en el rendimiento de los cultivos, previniendo la pérdida de estos en un 35 a 42% (Gutiérrez *et al.*, 2015). A nivel mundial, la utilización de estos plaguicidas ha aumentado en 50 veces desde 1950 y se estima que actualmente se utilizan alrededor de 2,64 millones de toneladas de plaguicidas industriales por año (Atwood y Paisley-Jones, 2017).

En Chile, también son extensamente utilizados, existiendo a la fecha 1.221 formulaciones de plaguicidas para uso agrícola autorizadas (SAG, 2017a) y vendiéndose anualmente 38.864.057 Kg o Lt de sustancias activas (SAG, 2012). Las vías de exposición a plaguicidas en humanos incluyen la ingestión, inhalación y exposición cutánea. A pesar de que la ingestión de alimentos y agua es la vía principal de exposición a plaguicidas, la inhalación desde el aire ambiental podría ser una vía importante, sobre todo en zonas agrícolas (Millet, 2008; Yusà *et al.*, 2009).

## **a. Efectos de plaguicidas en salud humana**

A pesar de sus efectos beneficiosos para el control de plagas y su extensa aplicación, estos compuestos pueden llegar a generar efectos indeseables tanto para el medio ambiente, como para la salud pública, especialmente en poblaciones de riesgo, quienes son los que manipulan, aplican o viven cerca de zonas agrícolas, así como embarazadas y niños en crecimiento (Driver *et al.*, 2016). En el medio ambiente pueden llegar a estimular la resistencia genética por parte de las plagas, así como bioacumularse o movilizarse grandes distancias a través de suelo, agua o aire; pudiendo también, de esa manera, alcanzar otros organismos que no eran su objetivo inicial, o de manera no intencional, llegar a los seres humanos generando problemas para la salud (Tadeo *et al.*, 2008). En la salud de las personas pueden generar efectos agudos y crónicos; entendiendo por agudos aquellas intoxicaciones vinculadas a una exposición de corto tiempo con efectos sistémicos o localizados, entre los cuales pueden encontrarse mareos, dolores de cabeza, vómitos y hasta la muerte; y por crónicos, aquellas manifestaciones o patologías vinculadas a la exposición a bajas dosis por largo tiempo, las cuales, pueden causar problemas reproductivos, efectos en el sistema inmune, alteraciones endocrinas, cáncer, entre otros (del Puerto Rodríguez *et al.*, 2014).

Según el estudio de Gutiérrez *et al.* (2015), durante el periodo del 2006 al 2015, el Centro de Información Toxicológica de la Pontificia Universidad Católica de Chile (CITUC), organización orientada a entregar asesoría toxicológica frente a casos de emergencias toxicológicas y químicas, recibió 22.951 llamados relacionados con intoxicación por plaguicidas. De estos casos, un 30% tuvo relación con plaguicidas de uso agrícola. La principal familia de plaguicidas involucrada fueron los inhibidores de acetilcolina (AChE) con un 29,3% del total, seguido por superwarfarínicos (29%) y piretroides (28%). Entre los inhibidores de AChE, los organofosforados predominaron con 86,1% de los casos. Asimismo, desde el año 2012 al 2015, 2.553 casos fueron confirmados por intoxicación

aguda a plaguicidas local o sistémica, de los cuales el 50% correspondió a exposición ocupacional (MINSAL, 2015). Cabe mencionar que en Chile, el impacto que tiene la exposición crónica a plaguicidas asociada a enfermedades crónicas es desconocido. Sin embargo, la exposición a los plaguicidas organofosforados en general se ha asociado cada vez más con la reducción en el rendimiento cognitivo, conductual y motor de las personas (Muñoz-Quezada *et al.*, 2016), enfermedades neurodegenerativas, varios tipos de cánceres, enfermedades respiratorias entre otros (Cortés *et al.*, 2018). Por lo que un tipo de exposición crónica puede ser significativa en la salud de los trabajadores agrícolas, así como también, poblaciones que viven cercanas a campos agrícolas.

### **b. Dispersión y destino de plaguicidas**

El desplazamiento de los plaguicidas a través de compartimentos ambientales puede ser determinado por diversos procesos físicos, químicos y biológicos que regulan la movilidad y degradación de estos (Arias-Estévez *et al.*, 2008). En el estudio de Brady y Weil (2000), se describe que cuando un plaguicida es aplicado a un cultivo, aproximadamente el 1% alcanza el objetivo, mientras que el 25% es retenido en el follaje, el 30% llega al suelo y el 44% restante es exportado a la atmósfera y a los sistemas acuáticos por escorrentía y lixiviación. El movimiento de plaguicidas a través del aire, en el momento de su aplicación o poco después, hacia áreas no previstas, se le denomina “deriva de pulverización de plaguicidas”. Esta deriva puede ser en forma de niebla, partículas o vapor, volatilizándose posterior a la aplicación en los suelos y las hojas, y por la erosión del viento levantando partículas de plaguicidas del suelo arrastrándolos a la atmósfera (USEPA, 2017a). Se estima que las pérdidas de pesticidas a través de la deriva de la pulverización pueden variar entre el 1% y el 30% de las cantidades aplicadas (Millet, 2008).

Existen bastantes estudios de análisis de ocurrencia de estos compuestos en el aire, principalmente en los últimos años, los cuales son presentados en el anexo

1 (ANEXOS). Para realizar este tipo de monitoreos, existe una variedad de técnicas disponibles, dentro de las cuales destaca el muestreo pasivo de aire, el cual utiliza principalmente métodos de concentración de compuestos que se encuentran en el aire mediante el uso de trampas por donde pasa el aire, y la extracción de plaguicidas en estas se realiza a través de la metodología sólido-líquido (Millet, 2008). Estos muestreadores de aire pasivo (PAS), permiten un muestreo integrativo a gran escala en lugares donde los muestreadores activos no serían prácticos durante largos periodos de tiempo (Pozo *et al.*, 2004). Por lo que, estos equipos se despliegan generalmente en muchos lugares de muestreo en paralelo y sirven como un método de exploración de bajo costo y simple para la comparación semi-cuantitativa de la contaminación en varios sitios (Pozo *et al.*, 2006; Adu-Kumi *et al.*, 2012) aplicados para monitoreo a escala local, nacional, continental e incluso a escala global (Pozo *et al.*, 2006; Devi *et al.*, 2011).

## **2. Situación Nacional**

El área agrícola en Chile comprende el 21,2% de su territorio (Banco Mundial, 2018) y representa un foco de producción, principalmente, para la elaboración de alimentos primarios de alta calidad (ACHIPIA, 2014). A partir de la década de los 80 se comenzó a impulsar a Chile como potencia exportadora de productos silvoagropecuarios en los mercados internacionales, lo cual incluyó una intensificación en su producción agrícola mediante la utilización de nuevas tecnologías y productos fitosanitarios, tales como insecticidas, herbicidas y fungicidas (ODEPA, 2014).

En relación con la regulación de plaguicidas en Chile, la importación para uso agrícola es normada por el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), mediante la Resolución Exenta 1557/2014, y sus modificaciones (Resolución 1.400/2015, 1.208/2016 y 5.482/2016), las cuales establecen la base para su control y autorización (SAG, 2017b). A diferencia de la autorización para uso agrícola, la

autorización para uso doméstico se encuentra normada por el Instituto de Salud Pública de Chile (ISP), dando cumplimiento al Decreto Supremo 157/05 que instruye que todos los productos de uso sanitario y doméstico deben ser evaluados para ser autorizados y registrados en el Registro Nacional de Productos (ISP, 2017).

Respecto al control de residuos de plaguicidas, en alimentos se sigue la normativa para los Límites Máximos de Residuos (LMR) de plaguicidas del “Codex Alimentarius”, código que fue creado en la década de los 60 por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), el cual tiene por principal objetivo velar por la salud de la población en general a través de normas, guías y manuales de procedimientos armonizados que garanticen la seguridad alimentaria y protejan la salud de los consumidores (Codex Alimentarius, 2016). Los límites definidos se encuentran en la Resolución Exenta n°33/2010 (MINSAL, 2010). Por otra parte, la regulación de agua potable se encuentra definida en el Reglamento Sanitario de los Alimentos (RSA) y las instituciones encargadas de su control y fiscalización son la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) a través de la NCH 409:2005 (INN, 2005) y el Ministerio de Salud (Secretarías Regionales Ministeriales de Salud), a través del decreto N° 735/1969 y sus modificaciones. Dichos requisitos de calidad exigidos definen límites máximos sólo para los siguientes plaguicidas: DDT+DDD+DDE; 2,4-D, Lindano, Metoxicloro, Pentaclorofenol.

En relación con los contaminantes en aire, estos son regulados por el Ministerio del Medio Ambiente a través de la Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente (Ley N° 19.300, modificada por la ley N° 20.417/2010), que establece en su artículo 32, la existencia de dos tipos de normas de calidad ambiental: primarias y secundarias. Teniendo las primarias atribuciones en todo el territorio nacional y las secundarias siendo de carácter local. Las normas mencionadas abarcan MP2.5, MP10, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO y plomo, no considerando plaguicidas como contaminante ambiental (MMA, 2017).

Complementariamente a los antecedentes en el mundo y en Chile del amplio uso de plaguicidas y sus posibles efectos en la salud de las personas, existen estudios relacionados con efectos agudos y crónicos debido al uso de organofosforados en zonas rurales del país (Muñoz-Quezada *et al.*, 2016; Corral *et al.*, 2017); alteraciones en animales experimentales (Espinoza-Navarro *et al.*, 2017), presencia de plaguicidas en aguas (Baez *et al.*, 1996; Kogan *et al.*, 2007; Suárez *et al.*, 2013), en suelos (Flores *et al.*, 2009; Muñoz-Quezada *et al.*, 2014) y en matrices alimentarias (Muñoz-Quezada *et al.*, 2014; Elgueta *et al.*, 2017; Fuentes *et al.*, 2010). Sin embargo, la información relacionada con niveles ambientales en Chile es casi desconocida, existiendo a la fecha un estudio de Pozo *et al.* (2016), quien realizó una descripción de ocurrencia ambiental del insecticida organofosforado, clorpirifos, en la Región de la Araucanía, detectando concentraciones en el aire de diez a miles de  $\text{pg}/\text{m}^3$  (~20-14 600).

### **3. Cohorte MAUCO**

La cohorte MAUCO es un estudio epidemiológico, proyecto central del Centro Avanzado de Enfermedades Crónicas (ACCDIS), financiado con el apoyo del Fondo para Centros de Investigación en el Programa de Áreas Prioritarias (FONDAP) de la Comisión Nacional Chilena de Investigación Científica y Tecnológica (CONICYT). Su objetivo es estudiar en un total de 10 mil habitantes durante 10 años, los mecanismos causales involucrados en la ocurrencia de las enfermedades cardiovasculares y cáncer, contemplando aplicar encuestas y toma de muestras biológicas y ambientales, que permitirán dar cuenta de los factores de riesgo y protectores que predisponen al desarrollo de estas enfermedades de manera de extrapolarlo a otras poblaciones del país y desarrollar estrategias aplicables mediante políticas públicas (Ferrecio *et al.*, 2016).

MAUCO se encuentra en la comuna de Molina, Región del Maule, cuya principal actividad es agrícola, con un 33,6% de su población rural, la más alta a nivel

nacional. Según el censo agropecuario del año 2007 la producción agrícola la región del Maule se caracteriza principalmente por viñas (30%), frutales (27%) y plantaciones forestales (20%); otros cultivos incluyen cultivo de forraje, semillas, cereales y *berries* (INE, 2007). Similar a la información recabada de las autoridades municipales de la comuna, como informa Cortés *et al.* (2018). No se dispone de sus datos locales de ventas, sin embargo, se sabe que el 26,6% de los plaguicidas vendidos en el país son comercializados en la Región del Maule, de los cuales el 50% corresponde a fungicidas; 29,4% a insecticidas; 12,7% a herbicidas; y 7,9% a otros productos (SAG, 2012). Existen antecedentes de factores de riesgo para la población de Molina, destacando por poseer una Tasa Nacional de Mortalidad Estandarizada (RME) caracterizada por enfermedades crónicas no transmisibles como diabetes, enfermedades cardiovasculares y cáncer, entre otros (Ferrecio *et al.*, 2016).

Parte del estudio en MAUCO, pretende elaborar un mapa de las exposiciones ambientales de los habitantes de Molina, a cargo de la Dra. Sandra Cortés, financiado por la Vice-rectoría de Investigación Proyecto Inicio de la Pontificia Universidad Católica de Chile, quien en colaboración con la Dra. Karla Pozo de la Universidad Católica de la Santísima Concepción/Universidad de Siena, durante el año 2015 al 2016 se realizó un monitoreo del aire de la zona de Molina para diferentes plaguicidas (atrazina, metolacoloro, pendimetalina, simazina, terbutilazina, clorpirifos, dimetoato, diazinon, tebuconazole) donde a continuación, se presentan sus principales características.

#### **4. Resumen de plaguicidas analizados**

A continuación, se describen brevemente las características principales de estos compuestos detectados, para más detalle se puede ver el Anexo 3 (ANEXOS):

##### **a. Herbicidas**

Un herbicida se define como una sustancia activa o preparación fitosanitaria que es capaz de matar o prevenir el desarrollo, de plantas indeseadas. Se utilizan

para eliminar o controlar la emergencia de “malas hierbas” que compiten con el cultivo por nutrientes, agua y luz. Los compuestos que se analizarán son:

1) Atrazina: es un herbicida, perteneciente al grupo químico de las triazinas, con acción sistémica selectiva con actividad residual foliar, introducido en el mercado mundial en el año 1957, se utiliza principalmente en cultivos de maíz, pino y eucaliptus. En la Unión Europea no se encuentra aprobado su uso desde el año 2004, en Chile se cuenta con 10 formulaciones autorizadas por el SAG para uso agrícola, en formato de principio activo solo y en asociación con metolacloro (SAG, 2017a; University of Hertfordshire, 2017).

2) Metolacloro: es un herbicida de preemergencia, del grupo químico de las cloroacetamidas, usado para controlar malas hierbas en una variedad de situaciones. Puede ser utilizado en muchos cultivos hortícolas y frutales, fue introducido al mercado mundial en el año 1976. Actúa inhibiendo la división y elongación celular, reduciendo la germinación de las semillas. En la Unión Europea su uso no está autorizado. En Chile cuenta con tres formulaciones comerciales autorizadas por el SAG para uso agrícola, una como principio activo solo y otras dos en asociación; con atrazina (para uso en maíz) y prosulfocarb (para uso en trigo y triticale) (SAG, 2017a; University of Hertfordshire, 2017)

3) Pendimetalina: Herbicida perteneciente al grupo químico de las dinitroanilinas, utilizado para controlar la mayoría de las gramíneas anuales y malas hierbas comunes en una amplia variedad de cereales, frutales y hortalizas. Fue introducido en el comercio mundial en el año 1974. Su uso no se encuentra aprobado en la Unión Europea. En Chile se cuenta con seis formulaciones comerciales autorizadas por el SAG para uso agrícola (SAG, 2017a; University of Hertfordshire, 2017).

4) Simazina: es un herbicida, del grupo químico de las triazinas, que actúa en el suelo y que se utiliza para controlar la mayoría de las gramíneas anuales en germinación, principalmente frutales en nuestro país y las malas hierbas de hoja ancha. Fue introducido en el comercio mundial en el año 1960, posee un modo de acción selectivo y sistémico, inhibiendo la fotosíntesis. Su uso

no se encuentra permitido en la Unión Europea. En Chile se encuentran autorizadas siete formulaciones comerciales para uso agrícola (SAG, 2017a; University of Hertfordshire, 2017).

5) Terbutilazina: es un herbicida, del grupo químico de las triazinas, utilizado para el control de pasto y malezas de hoja principalmente en frutales, posee un amplio espectro de acción inhibiendo la fotosíntesis. En Chile se cuenta con cuatro formulaciones autorizadas para uso y comercialización (SAG, 2017a; University of Hertfordshire, 2017).

#### **b. Insecticidas Organofosforados**

Los compuestos organofosforados son ésteres del ácido fosfórico y de sus derivados, que comparten como característica farmacológica la acción de inhibir enzimas con actividad esterásica, más específicamente de la acetilcolinesterasa en las terminaciones nerviosas, generando una acumulación de acetilcolina y como consecuencia, alterando el funcionamiento del impulso nervioso. Estos compuestos son liposolubles y volátiles, características que facilitan su absorción. Su toxicidad es variable (I, II, III), y los efectos farmacológicos varían de acuerdo con el grado de toxicidad y la vía de entrada en el organismo (Fernández *et al.*, 2010).

1) Clorpirifos: utilizado en una amplia variedad de cultivos de hortalizas, legumbres y frutales (University of Hertfordshire, 2017). Cuenta con 23 formulaciones autorizadas por el SAG para uso agrícola, dentro de estas tiene asociación con dimetoato y cipermetrina, existen 4 cuatro formulaciones para uso doméstico autorizadas por el ISP (ISP, 2017; SAG, 2017a).

2) Dimetoato: utilizado en una amplia gama de frutales, hortalizas y leguminosas. Se encuentra aprobado en la Unión Europea y Estados Unidos (University of Hertfordshire, 2017), en Chile posee cinco formulaciones autorizadas por el SAG para uso agrícola, dos de estas es en formulación junto a clorpirifos y existen tres formulaciones para uso doméstico autorizadas por el ISP (ISP, 2017; SAG, 2017a).

3) Diazinon: es un insecticida organofosforado de uso general cuya introducción en el mercado mundial fue en 1953. En la Unión Europea su uso no está autorizado y en Chile cuenta con seis formulaciones autorizadas para uso agrícola y dos formulaciones autorizadas por el ISP para uso doméstico (ISP, 2017; SAG, 2017a; University of Hertfordshire, 2017).

### **c. Fungicidas**

Los fungicidas son sustancias tóxicas que se emplean para impedir el crecimiento o eliminar los hongos y mohos perjudiciales para las plantas, los animales o el hombre.

1) Tebuconazole: es un fungicida del grupo de los triazoles, ingresó al mercado mundial en el año 1988, tiene acción sistémica interrumpiendo la función de la membrana, inhibiendo la biosíntesis de esteroides. En Estados Unidos está autorizado bajo el programa RUP y en Chile, el SAG, autoriza 49 formulaciones como principio activo único o en combinación con otros plaguicidas agrícolas; dentro de estos se encuentran fenhexamida; carbonato dibásico de cobre; carbendazima; trifloxistrobina; prothioconazol; kresoxim-metilo; carbendazima; clorotalonilo; propinoconazol, permetrina; sulfato tribásico de cobre; carbonato dibásico de cobre; fluoripam; azoxistrobina; fluoxastrobina y existen nueve formulaciones autorizadas por el ISP para uso doméstico (ISP, 2017; SAG, 2017a; University of Hertfordshire, 2017).

En función de los antecedentes presentados, es necesario analizar la exposición a plaguicidas en el aire y que efectos crónicos puede provocar en la salud de poblaciones rurales, por lo que a través de una metodología validada a nivel internacional, se trabajó con las directrices de la evaluación de riesgos, la cual consiste en una evaluación científica, sistemática y estructurada de los efectos adversos para la salud, conocidos o potenciales, resultantes de la exposición humana a peligros transmitidos a través de su ambiente, de esta manera, entrega una posición en respuesta a un riesgo determinado para la salud de la población (OMS, 2007).

### **III.HIPÓTESIS**

La salud de los habitantes de la comuna de Molina, Región del Maule, está en riesgo debido a la exposición por inhalación de plaguicidas de uso habitual en la zona.

### **IV. OBJETIVO GENERAL**

Establecer el riesgo en la salud, debido a la exposición por inhalación a plaguicidas en los habitantes de Molina, Región del Maule.

### **V. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- 1.** Caracterizar las concentraciones de plaguicidas en el aire de la comuna de Molina, Región del Maule.
- 2.** Caracterizar la exposición por inhalación a plaguicidas en personas residentes de la comuna de Molina, Región del Maule.
- 3.** Establecer y analizar el riesgo para la salud poblacional, por inhalación a plaguicidas en la comuna de Molina, Región del Maule.

## VI. MATERIAL Y MÉTODOS

### 5. Zona de estudio

La localidad de Molina se ubica en la provincia de Curicó, Región del Maule, de la zona central de Chile, situada a una altitud de 243 msnm, distante a 48 km al norte de la ciudad de Talca y a 14 km al sur de la ciudad de Curicó. Posee una superficie de 1.552 km<sup>2</sup> y una población de 38.521 habitantes (INE, 2002), de la cual el 33,6% es rural y el 66,4% corresponde a población urbana, los principales núcleos urbanos son Molina y la localidad de Lontué. Su principal actividad económica es la industria vitivinícola, sin embargo, también destaca la industria frutícola con la producción de manzanas, peras y kiwis (BCN, 2015). Respecto a sus condiciones meteorológicas, otoño e invierno son caracterizados por bajas temperaturas, con un incremento de las lluvias y mala calidad del aire; verano es caracterizado por altas temperaturas, baja probabilidad de lluvias y mejor calidad del aire (Cortés *et al.*, 2018).

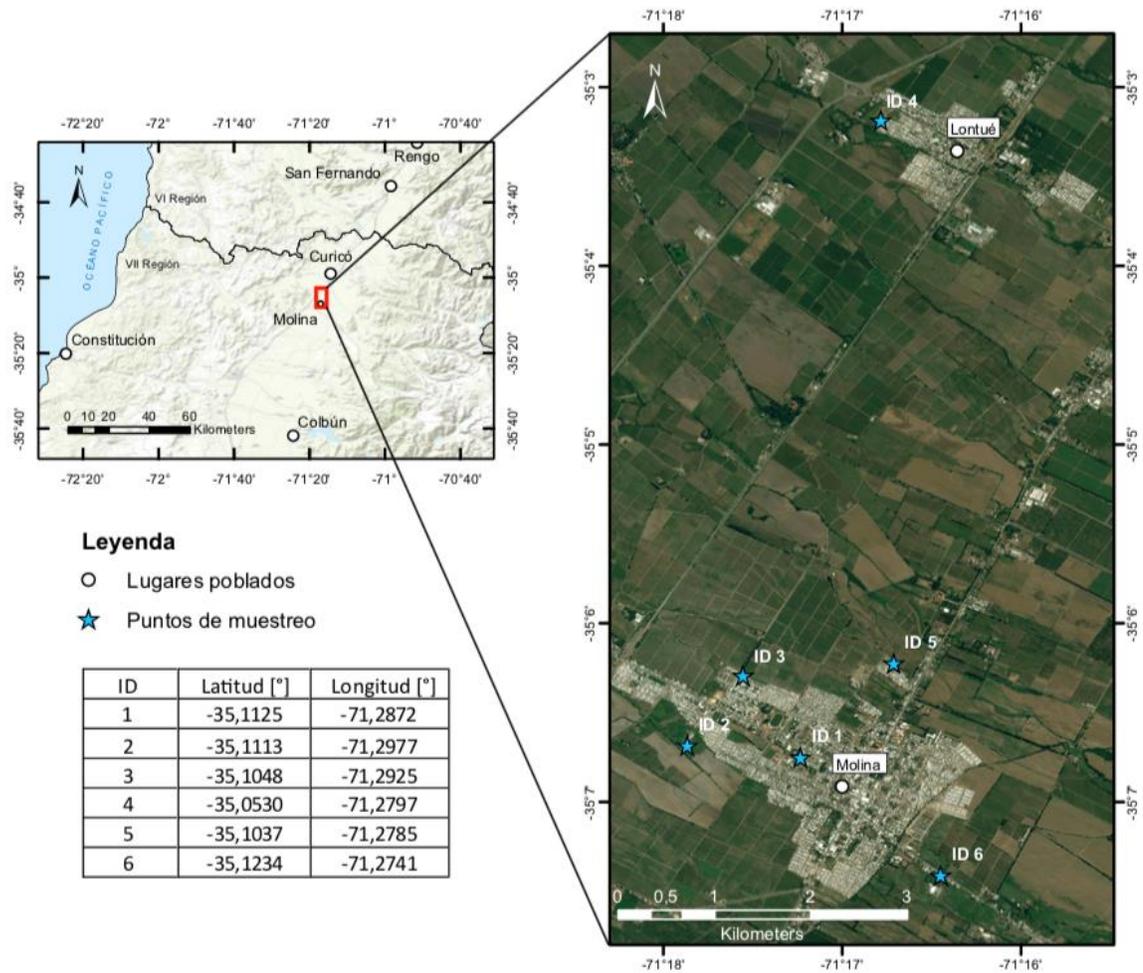
### 6. Toma de muestra y extracción/análisis químico

Los discos PAS-PUF se localizaron en seis sitios a través de un muestro sistemático considerando el territorio urbano de la comuna de Molina (Imagen 1), de manera de representar la exposición de la población urbana de la comuna. Los muestreadores fueron desplegados durante la temporada 2015-2016, puestos de 1,5 a 2 metros de altura desde el suelo. El tiempo de muestreo consistió en cuatro periodos a lo largo de un año como se puede ver en la **Tabla 1**. El tiempo de despliegue se encontró dentro de los rangos establecidos y comprobados en el estudio de (Melymuk *et al.*, 2014) el cual tiene el rango de meses (1-4 meses).

Durante los tiempos de medición, los discos PAS-PUF (14 cm de diámetro, 1,35 cm de espesor, 4,40 gramos de peso, 365 cm<sup>2</sup> de superficie, 207 cm<sup>3</sup> de volumen y una densidad de 0,0213 g cm<sup>-3</sup>), fueron instalados en cámaras de acero

inoxidable con áreas exteriores de 30 centímetros de diámetro, donde el aire fluye a través de un espacio de 2,5 centímetros (Figura 2). Estas cámaras proporcionan protección contra precipitaciones, luz solar UV, deposición de partícula y la dependencia de la velocidad del viento del muestreo ( Pozo *et al.*, 2004; Estellano *et al.*, 2012).

**Figura 1.** Ubicación espacial de los lugares muestreados.



**Tabla 1.** Identificación de periodos muestreados

Periodo	Fecha inicio	Fecha término	días
1 (primavera)	29-10-2015	29-12-2015	62
2 (verano)	30-12-2015	07-03-2016	69
3 (otoño)	08-03-2016	06-05-2016	60
4 (invierno)	07-05-2016	18-08-2016	104

**Figura 2.** Discos PAS-PUF instalado en cámara de acero inoxidable.



Las muestras de disco PAS-PUF fueron almacenadas en las dependencias de la Facultad de Ciencias de la Universidad Católica de la Santísima Concepción y posteriormente enviadas para su análisis a *RECETOX, Faculty of Science, Masaryk University Brno, Czech Republic*. La extracción de los discos de PAS-PUF se realizó en dicho laboratorio, mediante el sistema Soxhlet durante 24 horas usando éter de petróleo y el análisis instrumental se realizó por cromatografía de gases con espectrometría de masas (GC-MS) (Estellano *et al.*, 2012).

Con los resultados entregados por el laboratorio (concentración de plaguicida por cada muestra), se trabajó para el desarrollo de este trabajo de tesis.

## **7. Objetivo específico 1. Caracterizar las concentraciones de plaguicidas en el aire de la comuna de Molina, Región del Maule.**

Para obtener las concentraciones de cada compuesto en el aire, las concentraciones acumuladas en los discos PAS-PUF (ng/muestreador) fueron divididas por su volumen de aire efectivo ( $V_{air}$ ). El cálculo de  $V_{air}$  para cada sitio se desprendió de la siguiente ecuación (1) de Kosikowska y Biziuk (2010).

$$V_{air} = (K'_{PSM-A}) \times (V_{PSM}) \times \{1 - \exp([-K_A/K'_{PSM-A} \times 1/D_{film}]t)\}$$

Donde:

$V_{air}$ : Volumen de aire por muestra

$K'_{PSM-A}$ : Coeficiente de partición (Media de aire en muestreador pasivo (PSM), basado en coeficiente de partición con octanol)

$V_{PSM}$ : Volumen de PSM ( $\text{cm}^3$ )

$K_A$ : Coeficiente de transferencia de masa de aire (cm/s)

$D_{film}$ : Espesor de película efectivo

$t$ : Tiempo (días)

Esta ecuación integra las características fisicoquímicas de los diferentes plaguicidas (coeficiente de partición octanol-aire KOA), las características de los PAS-PUF (dimensiones, volumen, etc.), con el tiempo de despliegue (en días) y la temperatura media de cada sitio de muestreo.

Para la obtención del coeficiente de partición ( $K'_{PSM-A}$ ), se utilizaron los datos obtenidos desde la regresión de tipo  $\log(KOA) = A + B/T$  informado en el trabajo

de Yao *et al.* (2007), (donde T es la temperatura en grados kelvin, A y B coeficientes utilizados de la regresión) que corresponden al logaritmo del coeficiente de reparto octanol-aire (LogKOA) calculado a 20° y 25° para cuatro plaguicidas de uso habitual: Dacthal, Clorotalonil, Clorpirifos y Trifuralin. Esta información fue extrapolada para las temperaturas promedio de los 4 periodos muestreados. La información meteorológica fue extraída desde Curicó (Estación General Freire), ubicada a 13 kilómetros de Molina, donde las variaciones de temperaturas mínimas y máximas, así como las variaciones estacionales en temperatura, fueron similares a la comuna de Molina.

Para la obtención de los valores finales, en el caso de clorpirifos se utilizaron los volúmenes calculados a través del estudio de Yao *et al.* (2007) y para los otros compuestos se utilizó el criterio de tomar el promedio del volumen calculado de los cuatro compuestos mencionados anteriormente.

Finalmente, las concentraciones de plaguicidas individuales fueron obtenidas de la cantidad en el disco PAS-PUF (ng/muestra) dividido por el volumen de aire efectivo (Vair), de manera de obtener la concentración efectiva en el tiempo muestreado.

## **8. Objetivo específico 2. Caracterizar la exposición por inhalación a plaguicidas en personas residentes de la comuna de Molina, Región del Maule.**

Para evaluar el riesgo para la salud debido a la exposición por inhalación a plaguicidas, se utilizó el software de la USEPA (United States Environmental Protection Agency): Exposure Factors Interactive Resource for Scenarios Tool (ExpoFIRST), segunda versión. Este software permite evaluar diferentes escenarios de exposición, el cual utiliza los datos del Manual de factores de exposición de la USEPA: Edición 2011 (EFH) (USEPA, 2011) y permite la flexibilidad en el diseño de los escenarios, automatizando la documentación de

algoritmos, parámetros de exposición y estimación de dosis de exposición. Para el caso de esta tesis, se trabajaron dos escenarios para la evaluación de exposición i) utilizando el promedio del total de concentraciones de plaguicidas detectadas durante el periodo muestreado; ii) utilizando la máxima concentración detectada de cada plaguicida. Para la evaluación de riesgos no carcinogénicos, se analizaron tres grupos de la población (1-6 años); (6-12 años) y (12-70 años).

Para las evaluaciones crónicas de riesgo no carcinogénico, se aplicó la ecuación de la USEPA (USEPA, 2018):

$$ADD: \frac{C_{air} \times InhR \times ET \times EF \times ED}{1.440 \left( \frac{min}{día} \right) \times AT \times BW}$$

Donde:

ADD: Dosis diaria promedio inhalada (mg/kg/día)

C<sub>air</sub>: Concentración de cada plaguicida en el aire (ng/m<sup>3</sup>)

InhR: Tasa de inhalación por hora (m<sup>3</sup>/h)

ET: Tiempo de exposición (minutos/día)

EF: Frecuencia de exposición (días/año)

ED: Duración de la exposición (años)

BW: Peso corporal (Kg)

AT: Tiempo ponderado (días)

En ambos escenarios se consideraron parámetros de exposición entregados por la USEPA, a través de su software, donde en el escenario promedio, la tasa de inhalación y tiempo de exposición se utilizó el valor promedio de la tabla. En el escenario menos favorable, donde se utilizaron las máximas concentraciones de plaguicidas detectadas, se utilizaron los percentiles 95 de tasas de inhalación y tiempo de exposición, para los cálculos de la ecuación. Los valores de los grupos

poblacionales utilizados para el cálculo de ADD y LADD se pueden apreciar en la **Tabla 2**.

**Tabla 2.** Fuente ExpoFIRST, basado en Manual de factores de exposición de la USEPA (2011).

	Grupo población	Tasa Inhalación (m <sup>3</sup> /día)	Peso corporal (Kg)	ET (min/día)	EF (día/año)	ED (años)	AT (días)
Escenario menos favorable	1 a 6 años	14	16,2	357	365	5	1.825
	6 a 12 años	17,48	35,9	405	365	6	2.190
	12 a 70 años	21,13	79,20	435	365	58	21.170
Escenario promedio	1 a 6 años	9.44	16,2	138,36	365	5	1.825
	6 a 12 años	13	35,9	151	365	6	2.190
	12 a 70 años	16	79,20	134,49	365	58	21.170

Basado en la clasificación de cáncer para plaguicidas, desarrollada por USEPA (2017b) (**Tabla 3**), de los 9 plaguicidas estudiados: dimetoato, metolacoloro, pendimetalina y tebuconazol, se clasifican como posibles carcinógenos, los que fueron analizados para ese riesgo.

Para la evaluación crónica de riesgo carcinogénico, se aplicó la siguiente ecuación para obtener la Dosis Diaria Promedio Potencial de por Vida o Potencial Lifetime Average Daily Dose (LADD) (USEPA, 2018):

$$LADD: \frac{C_{air} \times InhR \times ET \times EF \times ED}{1.440 \left( \frac{min}{día} \right) \times LT \times BW}$$

Donde el cálculo es prácticamente el mismo que ADD, exceptuando que AT es reemplazado por LT (Lifetime), el cual corresponde a la esperanza de vida (días). LT es calculado como 70 años multiplicado por 365 días/año.

### **9. Objetivo específico 3. Establecer y analizar el riesgo para la salud poblacional por inhalación de plaguicidas en la comuna de Molina, Región del Maule.**

Luego de realizada la estimación de las dosis de inhalación para distintos tipos de efectos en salud, se realizó la caracterización del tipo de efectos en salud. Para riesgos no carcinogénicos se utilizó el Cociente de Peligro o Hazard Quotient (HQ), como un descriptor del riesgo, cuyo cálculo se presenta a continuación (USEPA, 1998)

$$HQ = \frac{ADD}{AOEL}$$

El nivel de riesgo del cociente se estableció en 1, por lo que un valor de HQ mayor a 1 indicaría que puede existir un riesgo potencial en la salud de las personas, y un valor menor indicaría que el nivel de exposición de la población a estos compuestos se encuentra dentro de los límites permitidos sin presentar problemas a la salud. Los Niveles Aceptables de Exposición para el Operador o Acceptable Operator Exposure Level (AOEL) basados en la exposición crónica por inhalación a partir del uso ocupacional de plaguicidas, se seleccionaron como los valores de referencia basados en salud para los compuestos objetivo y se recuperaron de las bases de datos de la Unión Europea (EU, 2018). Los valores de AOEL para los diferentes plaguicidas se pueden ver en la **Tabla 3**.

Para algunos grupos de plaguicidas es posible evaluar su efecto acumulativo. En esos casos el Índice de Peligrosidad Crónico o Hazard Index (HI) es calculado con la siguiente ecuación (USEPA, 1998):

$$HI = \sum HQ$$

Donde HI consiste en la suma de los cocientes de peligros (HQ) calculados en plaguicidas con modos de acción similar, como es el caso de los organofosforados y las triazinas.

**Tabla 3.** Nivel Aceptable para el Operador (AOEL) y clasificación de cáncer.

Plaguicida	AOEL (mg/kg/día)	Clasificación de cáncer
Atrazina	0,01	No es probable que sea carcinogénico para humanos.
Clorpirifos	0,001	Grupo E-Evidencia de no carcinogenicidad para humanos.
Diazinon	0,0002	No es probable que sea carcinogénico para humanos.
Dimetoato	0,001	Grupo C-Posible carcinogénico para humano.
Metolacoloro	0,15	Grupo C-Posible carcinogénico para humano.
Pendimetalina	0,17	Grupo C-Posible carcinogénico para humano.
Simazina	0,05	No es probable que sea carcinogénico para humanos.
Terbutilazina	0,0032	Grupo D-No clasificable como carcinógeno para humanos.
Tebuconazol	0,03	Grupo C-Posible carcinogénico para humano.

El Incremento del Riesgo de Cáncer de por Vida (Lifetime cancer risk, LCR) se calculó usando la siguiente ecuación (USEPA, 1998):

$$LCR = LADD \times CSF$$

Donde LADD (mg/kg/día) es la dosis promedio potencial de por vida y LCR es Cancer slope factor o Factor de pendiente de cáncer, el cual para posibles carcinógenos varía entre  $>0,01$  y  $0,1$ , para este caso se utilizará un enfoque conservador de  $0,1$  para los compuestos, tal como se describe en el estudio de López *et al.* (2017).

El Incremento del Riesgo de Cáncer de por Vida (LCR) es el límite superior de la probabilidad de que una persona va a contraer cáncer (ya sea tratable ó letal) durante su vida entera, entre todas las personas expuestas de por vida a una concentración promedio del contaminante, y por encima de la probabilidad basal normal de contraer cáncer. El límite de riesgo considerado como límite de preocupación y para tomar medidas de gestión es un valor de uno en un millón, ó  $1 \times 10^{-6}$  o menos.

## VII. RESULTADOS

### 10. Generalidades

De un total de 38 plaguicidas analizados, 9 fueron detectados. Entre ellos, 5 herbicidas, 3 insecticidas y 1 fungicida. Los herbicidas detectados: atrazina, metolacoloro, simazina, pendimetalina y terbutilazina, fueron encontrados 98,3% de las muestras. De estos compuestos, pendimetalina obtuvo los mayores niveles de concentración en el aire ( $14.926,8 \text{ pg/m}^3$ ). En el caso de los insecticidas, 3 fueron detectados: clorpirifos, diazinon y dimetoato, los cuales fueron encontrados en el 88,9% de las muestras. Entre estos, clorpirifos y diazinon obtuvieron las más altas concentraciones,  $14.624,4 \text{ pg/m}^3$  y  $13.472,3 \text{ pg/m}^3$  respectivamente. De los fungicidas, solo fue detectado tebuconazol, con una frecuencia de aparición de 100% y una concentración más alta de  $662,86 \text{ pg/m}^3$ .

### 11. Objetivo específico 1. Caracterizar las concentraciones de plaguicidas en el aire de la comuna de Molina, Región del Maule.

Como se puede observar en la **Tabla 4**, de los herbicidas detectados: atrazina y metolacoloro obtuvieron sus mayores concentraciones en los períodos de primavera-verano, alcanzando  $2.099,52 \text{ pg/m}^3$  y  $402,7 \text{ pg/m}^3$ , respectivamente. Por otro lado, simazina, pendimetalina y terbutilazina tuvieron mayor presencia en la temporada otoño-invierno, alcanzando  $110,2 \text{ pg/m}^3$ ,  $14.936,8 \text{ pg/m}^3$  y  $26,09 \text{ pg/m}^3$ , respectivamente.

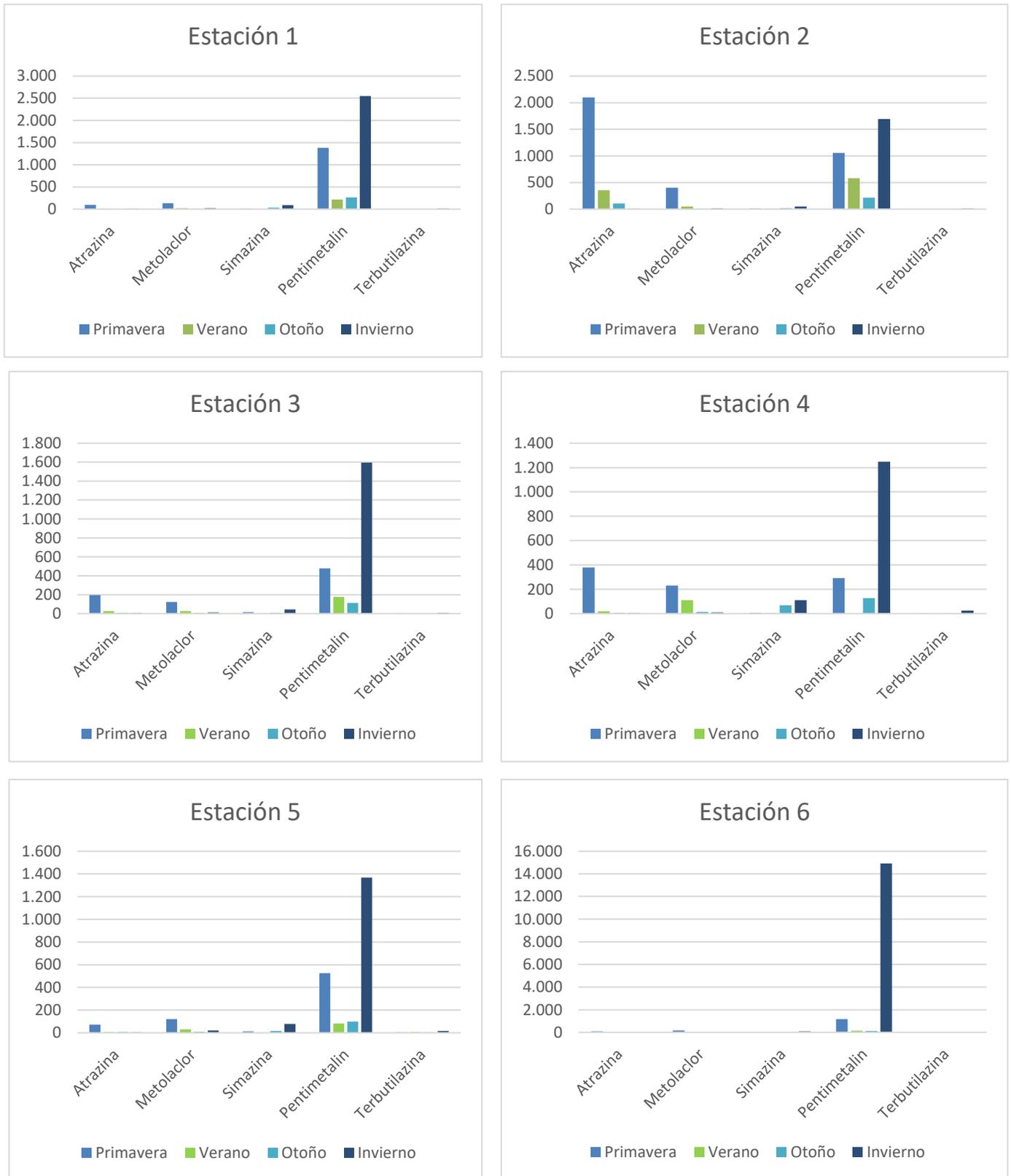
**Tabla 4.** Concentración de herbicidas detectados, estación y punto de monitoreo.

Punto de monitoreo	Estación	Atrazina (pg/m <sup>3</sup> )	Metolaclor (pg/m <sup>3</sup> )	Simazina (pg/m <sup>3</sup> )	Pendimetalina (pg/m <sup>3</sup> )	Terbutilazina (pg/m <sup>3</sup> )
1	Primavera	98,83	132,76	9,69	1.381,65	3,00
2	Primavera	2.099,52	402,70	11,01	1.057,14	2,46
3	Primavera	196,68	121,94	16,47	477,92	2,75
4	Primavera	380,08	231,59	7,08	292,56	0,84
5	Primavera	72,77	120,96	11,80	526,11	3,54
6	Primavera	84,57	170,62	18,68	1.175,14	1,57
1	Verano	10,16	25,47	ND*	216,50	2,43
2	Verano	354,80	50,07	6,58	581,79	1,10
3	Verano	28,18	27,18	4,15	177,40	2,67
4	Verano	19,27	111,11	3,86	ND*	1,53
5	Verano	7,58	30,47	2,67	82,98	6,10
6	Verano	8,82	50,07	6,49	148,79	1,43
1	Otoño	3,79	7,34	36,29	264,91	1,97
2	Otoño	105,37	6,84	19,50	216,66	0,74
3	Otoño	8,42	4,58	7,78	114,24	1,43
4	Otoño	6,35	13,29	69,43	127,53	2,12
5	Otoño	6,01	7,68	16,30	97,99	3,99
6	Otoño	6,80	11,47	19,20	125,56	4,68
1	Invierno	10,58	22,27	91,25	2.550,97	14,37
2	Invierno	5,71	15,16	51,02	1.693,84	9,91
3	Invierno	5,25	12,74	44,61	1.594,72	8,51
4	Invierno	3,64	9,39	110,20	1.247,79	26,09
5	Invierno	3,50	21,57	77,26	1.367,32	16,30
6	Invierno	5,01	9,94	79,88	14.926,80	7,78
Valor min.		3,50	4,58	0,00	0,00	0,74
Valor máx.		2.099,52	402,70	110,20	14.926,80	26,09

\*ND: concentraciones no detectadas

En la figura 3, se puede observar que las mayores concentraciones de atrazina y metolacloro se obtuvieron en la zona de muestreo número 2, así como simazina y terbutilazina alcanzaron su mayor concentración en la zona de muestreo número 4. Por su parte, pendimetalina alcanzó su mayor nivel en la zona 6, presentando concentraciones 10 veces más altas que los demás herbicidas detectados.

**Figura 3.** Estaciones de monitoreo por herbicida y estación del año.



Las concentraciones detectadas de insecticidas se muestran en la **Tabla 5**. La presencia estacional de estos compuestos fue variada y presente a lo largo del año. Clorpirifos alcanzó su mayor concentración en la estación de muestreo número 6 durante el invierno, como se puede observar en la figura 4, con una concentración de 14.624,4 pg/m<sup>3</sup>. Sin embargo, su presencia fue alta también en primavera. Diazinon, por su parte, presentó sus mayores concentraciones durante la primavera en la estación de muestreo número 6, donde alcanzó el valor más alto de 13.472,3 pg/m<sup>3</sup>, coincidente con la concentración detectada más alta de clorpirifos. Dimetoato, por su parte, obtuvo una detección de tipo residual, con bajas concentraciones a lo largo del año, siendo la mayor de 28,02 pg/m<sup>3</sup> en la zona de muestreo número 4 en la estación de otoño.

**Tabla 5.** Concentración de insecticidas detectados, estación y punto de monitoreo.

Punto de monitoreo	Estación	Clorpirifos (pg/m <sup>3</sup> )	Diazinon (pg/m <sup>3</sup> )	Dimetoato (pg/m <sup>3</sup> )
1	Primavera	840,24	2.483,04	3,00
2	Primavera	6.258,02	2.601,05	3,54
3	Primavera	1.339,13	1.214,48	2,11
4	Primavera	678,32	2.571,54	ND*
5	Primavera	1.290,99	2.315,86	4,43
6	Primavera	7.527,13	13.472,30	0,59
1	Verano	443,66	1.196,96	1,05
2	Verano	870,58	6.676,27	ND*
3	Verano	694,79	772,54	ND*
4	Verano	362,46	1.392,48	ND*
5	Verano	749,21	691,47	ND*
6	Verano	824,54	1.864,59	0,81
1	Otoño	1.495,45	1.068,51	6,30
2	Otoño	2.207,77	1.442,74	6,55
3	Otoño	1.451,20	1.078,36	4,28
4	Otoño	4.335,91	812,46	28,02
5	Otoño	1.982,13	1.324,56	6,55
6	Otoño	1.774,18	3.299,09	5,42
1	Invierno	2.914,84	279,88	ND*
2	Invierno	4.397,38	364,42	1,95
3	Invierno	2.789,20	297,37	ND*

4	Invierno	3.140,99	1.102,02	3,47
5	Invierno	3.718,93	276,38	ND*
6	Invierno	14.624,40	2.720,06	22,74
Valor min.		362,46	276,38	ND*
Valor máx.		14.624,40	13.472,30	28,02

\*ND: concentraciones no detectadas

**Figura 4.** Estaciones de monitoreo por insecticida y estación del año.

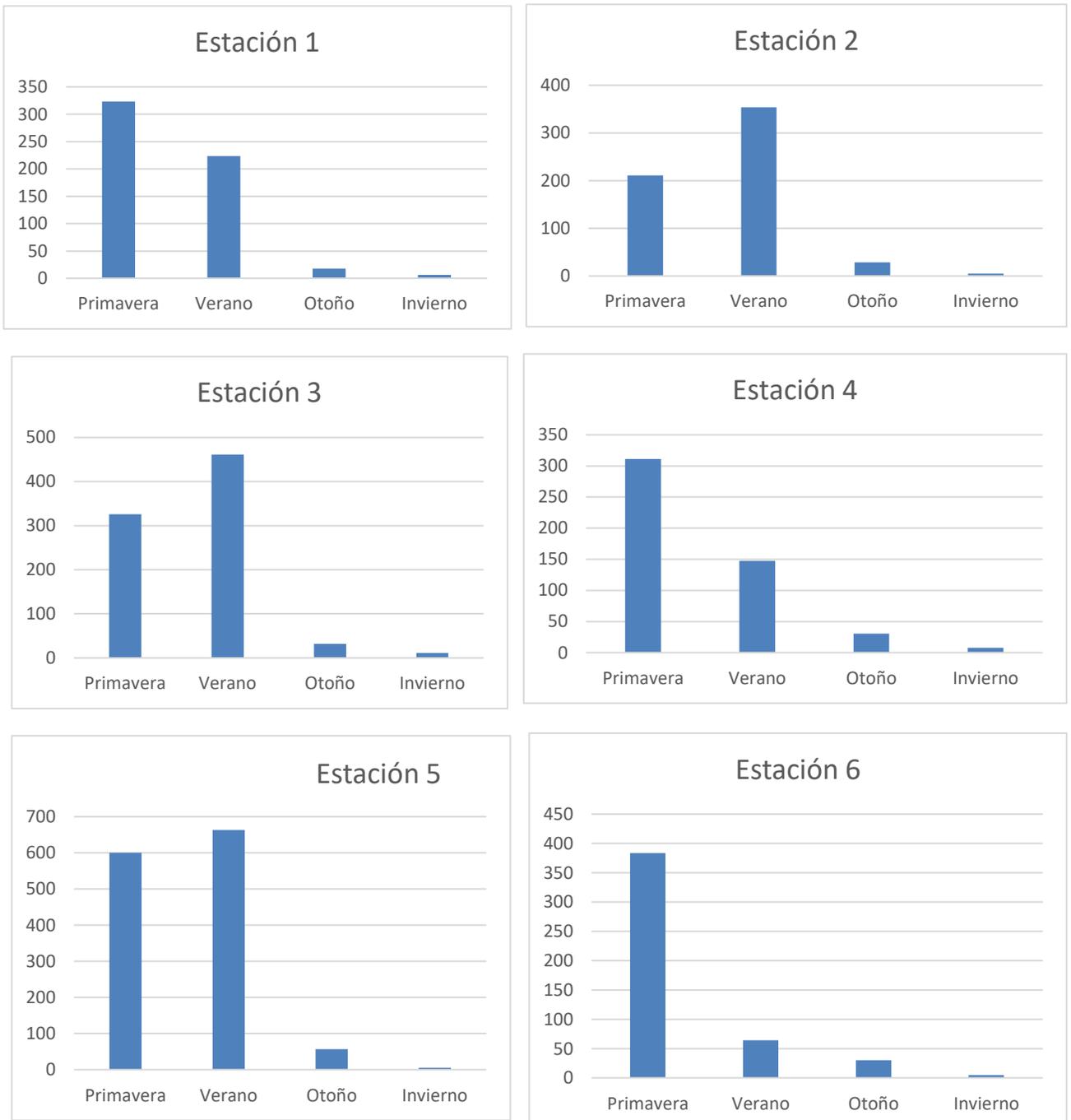


En relación con los fungicidas analizados (**Tabla 6**), solo fue detectado tebuconazol, el cual mostró una clara tendencia de uso en primavera-verano, alcanzando concentraciones similares en ambas estaciones. Su concentración más alta detectada fue de 662,86  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , detectada en la zona de muestreo número 5, como se puede observar en figura 5.

**Tabla 6.** Concentración de fungicida detectado, estación del año y punto de monitoreo.

Punto de monitoreo	Estación	Tebuconazol ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
1	Primavera	323,04
2	Primavera	210,94
3	Primavera	325,99
4	Primavera	311,24
5	Primavera	599,86
6	Primavera	383,52
1	Verano	223,66
2	Verano	353,84
3	Verano	461,14
4	Verano	147,36
5	Verano	662,86
6	Verano	64,38
1	Otoño	17,63
2	Otoño	28,90
3	Otoño	32,06
4	Otoño	30,38
5	Otoño	57,12
6	Otoño	30,43
1	Invierno	6,09
2	Invierno	5,28
3	Invierno	11,52
4	Invierno	7,75
5	Invierno	5,31
6	Invierno	4,55
Valor min.		4,55
Valor máx.		662,86

**Figura 5.** Estaciones de monitoreo de fungicidas y estación del año.



## **12. Objetivo específico 2. Caracterizar la exposición por inhalación a plaguicidas en personas residentes de la comuna de Molina, Región del Maule.**

Con base en la información analizada, se calcularon las dosis de inhalación para los compuestos detectados. Como se puede observar en la **Tabla 7**, la dosis diaria inhalada más alta calculada entre los plaguicidas es el de pendimetalina, con  $3,1E-06$  mg/kg/día, el cual corresponde al escenario menos favorable evaluado. Por su parte, las dosis de inhalación más bajas entre los compuestos diana fueron las cantidades promedio inhaladas de dimetoato con  $2,4E-10$  mg/kg/día y terbutilazina con  $3,0E-10$  mg/kg/día. En general, las dosis de inhalación fueron notoriamente mayores en niños de 1 a 6 años, siguiendo los de 6 a 12 años y finalmente los adultos. De igual manera para el cálculo de LADD, el cual se presenta en la **Tabla 9**, el valor más alto fue obtenido para pendimetalina con  $8,35E-07$  mg/kg/día y el LADD más bajo fue obtenido para el compuesto dimetoato con  $8,22E-11$  mg/kg/día.

## **13. Objetivo específico 3. Establecer y analizar el riesgo para la salud poblacional por inhalación de plaguicidas en la comuna de Molina, Región del Maule.**

El riesgo calculado para los diferentes compuestos se puede observar en la **Tabla 7**, donde se observa que ninguno de los compuestos objetivo informó un cociente de peligro (HQ) mayor a 1, lo que indica que no habría riesgos significativos por inhalación de pesticidas en la población de la comuna de Molina durante el período muestreado.

Los mayores HQ calculados se encontraron para diazinon con un  $1,4E-02$ , clorpirifos con  $3,0E-03$ . El nivel de riesgo establecido es mayor en niños de 1 a 6 años y menor para el grupo de 12 a 70 años.

**Tabla 7.** Concentración de plaguicidas utilizados, Dosis Diaria Promedio Inhalada (ADD) y Cociente de Peligro (HQ) para riesgos no carcinogénicos calculados para diferentes grupos de edades.

Plaguicida	Concentración	1-6 años		6-12 años		12-70 años	
		ADD (mg/kg)	HQ <sub>AOEL</sub>	ADD (mg/kg)	HQ <sub>AOEL</sub>	ADD (mg/kg)	HQ <sub>AOEL</sub>
Atrazina	Promedio	8,2E-09	8,2E-07	5,4E-09	5,4E-07	2,7E-09	2,7E-07
	Máximo 147,2 2.099,5	4,4E-07	4,4E-05	2,9E-07	2,9E-05	1,7E-07	1,7E-05
Clorpirifos	Promedio	1,6E-07	1,6E-04	1,0E-07	1,0E-04	5,1E-08	5,1E-05
	Máximo 2.779,6 14.624,4	3,0E-06	3,0E-03	2,0E-06	2,0E-03	1,2E-06	1,2E-03
Diazinon	Promedio	1,2E-07	6,0E-04	7,8E-08	3,9E-04	3,9E-08	2,0E-04
	Máximo 2.138,3 13.472,3	2,8E-06	1,4E-02	1,8E-06	9,2E-03	1,1E-06	5,4E-03
Dimetoato	Promedio	2,4E-10	2,4E-07	1,5E-10	1,5E-07	7,7E-11	7,7E-08
	Máximo 4,2 28,0	5,8E-09	5,8E-06	3,8E-09	3,8E-06	2,3E-09	2,3E-06
Metolacoloro	Promedio	3,8E-09	2,5E-08	2,5E-09	1,6E-08	1,2E-09	8,3E-09
	Máximo 67,4 402,7	8,4E-08	5,6E-07	5,5E-08	3,7E-07	3,2E-08	2,2E-07
Pendimetali na	Promedio	7,1E-08	4,2E-07	4,6E-08	2,7E-07	2,3E-08	1,4E-07
	Máximo 1.268,6 14.926,8	3,1E-06	1,8E-05	2,0E-06	1,2E-05	1,2E-06	7,1E-06
Simazina	Promedio	1,7E-09	3,4E-08	1,1E-09	2,2E-08	5,5E-10	1,1E-08
	Máximo 30,1 110,2	2,1E-08	4,2E-07	1,4E-08	2,7E-07	8,1E-09	1,6E-07
Terbutilazini a	Promedio	3,0E-10	9,3E-08	1,9E-10	6,0E-08	9,7E-11	3,0E-08
	Máximo 5,3 26,1	5,4E-09	1,7E-06	3,6E-09	1,1E-06	2,1E-09	6,6E-07
Tebuconazol	Promedio	1,0E-08	3,3E-07	6,5E-09	2,2E-07	3,3E-09	1,1E-07
	Máximo 179,4 662,9	1,4E-07	4,6E-06	9,1E-08	3,0E-06	5,3E-08	1,8E-06

La exposición acumulada se estimó utilizando un enfoque de índice de peligrosidad crónico (HI) para los plaguicidas que tienen un modo de acción común como fueron el grupo de las triazinas que incluyen: atrazina, simazina y terbutilazina; y organofosforados que incluyen: clorpirifos, diazinon y dimetoato. Como se muestra en la **Tabla 8**, ninguno de los índices de riesgo calculados alcanzó el nivel de preocupación de 1, sin embargo, los organofosforados estuvieron más cerca de alcanzarlo con 1,7E-02 en niños de 1 a 6 años.

**Tabla 8.** Índice de Peligrosidad (HI) para grupo de triazinas y organofosforados para diferentes grupos de edades.

		1-6 años	6-12 años	12-70 años
		HI	HI	HI
Triazinas	Promedio	9,50E-07	6,2E-07	3,1E-07
	Máximo	4,6E-05	3,0E-05	1,8E-05
Organofosforados	Promedio	7,5E-04	4,9E-04	2,5E-04
	Máximo	1,7E-02	1,1E-02	6,6E-03

El Incremento del riesgo de cáncer a lo largo de la vida calculado para la población osciló entre 8,22E-12 para dimetoato y 8,35E-08 para pendimetalina (**Tabla 9**). El valor referencial de alerta sobre el riesgo de cáncer que es adoptado en muchos países a menudo ocurre cuando el riesgo estimado alcanza 1E-6 (1/1.000.000), indicando que existe la probabilidad de un caso de cáncer en un millón de personas, por lo que ningún compuesto alcanzó este nivel de preocupación.

**Tabla 9.** Dosis Diaria Promedio Potencial De Por Vida (LADD) e Incremento del Riesgo de Cáncer durante la Vida (LCR) para compuestos posiblemente carcinogénicos.

Plaguicida	Nivel	LADD (mg/kg)	LCR
Dimetoato	Promedio	8,22E-11	8,22E-12
	Máximo	2,51E-09	2,51E-10
Metolacloro	Promedio	1,32E-09	1,32E-10
	Máximo	3,36E-08	3,36E-09
Pendimetalina	Promedio	2,48E-08	2,48E-09
	Máximo	8,35E-07	8,35E-08
Tebuconazol	Promedio	3,50E-09	3,50E-10
	Máximo	5,54E-08	5,54E-09

## VIII. DISCUSIÓN

El monitoreo de aire pasivo constituye una importante herramienta para el análisis de contaminantes en aire, siendo altamente efectiva a nivel costo-beneficio, debido a que puede ser utilizada a gran escala y prescindir de energía eléctrica para su utilización (Pozo *et al.*, 2016). Sin embargo, en Chile existen pocos estudios que utilicen este tipo de muestreadores, y menos aún para compuestos de uso tan habitual como lo son los plaguicidas. Quizás, porque en Chile actualmente no existe la capacidad analítica para la detección de plaguicidas en este tipo de muestreadores. Debido a esto, las muestras del presente estudio fueron enviadas a un laboratorio en República Checa, donde se analizaron los filtros de poliuretano para 38 posibles plaguicidas (ANEXOS 2), para los cuales se encontraba implementada la metodología de análisis, por lo que no se pudo considerar a la totalidad de plaguicidas que se comercializan y probablemente utilizan en la región del Maule (SAG, 2012). Debido a lo anterior, es posible que este estudio no considere la totalidad de plaguicidas presentes en aire de la zona estudiada. No obstante, los resultados obtenidos constituyen información valiosa sobre la dispersión, uso y estacionalidad de estos compuestos en el aire, así como también un avance importante en la evaluación de la exposición de las personas a estos plaguicidas.

La tabla del ANEXOS 2, muestra una comparación entre la capacidad analítica del laboratorio RECETOX, los plaguicidas detectados en este estudio, los plaguicidas recomendados por el Programa de Desarrollo Local (Prodesal) a los pequeños agricultores de la comuna (Cortés *et al.*, 2018) y los plaguicidas vendidos en mayor cantidad en la región del Maule según la declaración de ventas del SAG (SAG, 2012). Se observa que algunos de los plaguicidas más vendidos en la Región del Maule coinciden con los compuestos detectados en este estudio. Atrazina, por ejemplo, se encuentra dentro de los principales plaguicidas comercializados en la zona, al mismo tiempo que diazinon, clorpirifos

y tebuconazol. Por el contrario, se observa que, de los nueve compuestos detectados en esta tesis, solo dos coinciden con los plaguicidas recomendados por los profesionales del Prodesal a los pequeños agricultores de la comuna. Debido a lo anterior, se puede inferir que existe un grupo de plaguicidas detectados que podrían ser usados en otras prácticas agrícolas no supervisadas por prodesal.

Una gran cantidad de plaguicidas y mezclas de estos son utilizados en la agricultura nacional (Muñoz-Quezada *et al.*, 2016). Esto es concordante con los resultados obtenidos en este trabajo, los cuales informan de una cantidad de plaguicidas coherente con la producción agrícola de la zona. Al respecto se indica que la comuna de Molina tiene 5.173,7 ha. destinadas a viñas, entre viníferas blancas y tintas (SAG, 2016). Asimismo, se indica que la producción de frutales en la zona se encuentra principalmente caracterizada por cerezos, kiwis, manzano verde y peral con 772,9 ha., 506,2 ha., 441 ha. y 404,8 ha., respectivamente (CIREN, 2016); y una producción de hortalizas correspondiente a 256,27 ha., dentro de las cuales se encuentran huertas, choclo, zapallo, brócoli y arvejas (INE, 2007). Cabe destacar que todos los antecedentes de uso de plaguicidas en Chile se encuentran desactualizados, el último informe de ventas de plaguicidas se encuentra actualizado hasta el año 2012 (SAG, 2012). Tampoco se pudieron encontrar registros de cuales compuestos son utilizados en cada zona y como estos son mezclados para su aplicación en la producción agrícola.

De la cantidad aplicada de un plaguicida, en general, solo una porción de este llega a su objetivo, mientras que otra parte del plaguicida puede movilizarse lejos del sitio diana durante el proceso de aplicación o después de ésta (Brady y Weil, 2000). La dispersión de estos compuestos a nivel atmosférico depende de factores ambientales como la temperatura y características del viento, y de propiedades fisicoquímicas de los compuestos (ej. presión de vapor), pudiendo algunos de estos rasgos ser controlados a través de buenas prácticas agrícolas,

las cuales requieren de la capacitación de los aplicadores (USEPA, 2017a). En Chile, el Servicio Agrícola y Ganadero es quien tiene las facultades de fiscalizar la fabricación, importación, distribución, venta y aplicación de plaguicidas, fijando sus procedimientos y sanciones. Adicionalmente a estas funciones, el SAG también establece requisitos y contenidos para los cursos de capacitación de aplicadores de estos compuestos químicos (SAG, 2017b). Sin embargo, a pesar de que existe un control de uso de estos compuestos y capacitación de aplicadores, la volatilización de plaguicidas es inevitable, constituyendo una vía de exposición importante a la población aledaña a las zonas agrícolas. Al respecto, existen diversos estudios que muestran que la proximidad residencial a los lugares de aplicación de plaguicidas agrícolas podría aumentar la exposición de la población a estos compuestos. Por ejemplo, Gunier *et al.* (2011), mostró una correlación entre las concentraciones de clorpirifos, clortal-dimetilo, iprodiona, fosmet y simazina en el polvo de las viviendas y la proximidad de actividades agrícolas (a menos de 1.250 m). Asimismo, el estudio de Bradman *et al.* (2011), mostró que niños que vivían en lugares cercanos a campos agrícolas, a partir de los 12 meses de edad, presentaban concentraciones de metabolitos provenientes de plaguicidas organofosforados (dialquilfosfato) en sus orinas. Estos antecedentes visibilizan la necesidad de que en nuestro país se realice un monitoreo y control de uso de estos compuestos químicos de manera preventiva en el ambiente, así como también en las personas.

La detección de plaguicidas organofosforados es muy común, tanto en nuestro país como en el mundo. En este estudio fueron detectados diazinon y clorpirifos en altas concentraciones, 13.472,3 pg/m<sup>3</sup> y 14.624 pg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Esto es similar a lo encontrado en la Región de la Araucanía, donde la concentración de clorpirifos alcanzó 14.600 pg/m<sup>3</sup> en el periodo de agosto a diciembre (Pozo *et al.*, 2016). En otro estudio realizado en muestras de aceite de oliva chileno, las mayores concentraciones de plaguicidas detectados correspondieron a diazinon y clorpirifos (Fuentes *et al.*, 2010). Así también, en la investigación de Muñoz-

Quezada *et al.*, (2014), se tomaron muestras de aguas, suelos y productos hortícolas, los compuestos más detectados fueron también diazinon y clorpirifos. La presente investigación, entonces, confirma que estos dos compuestos son ampliamente utilizados y de gran preocupación en nuestro país, no solo debido a sus características toxicológicas conocidas, sino que también porque existen numerosos antecedentes de exposición de la población a estos compuestos químicos.

En 1993, el Ministerio de Salud implementó la vigilancia de las intoxicaciones agudas por plaguicidas, notificadas por parte de los Servicios de Salud de manera voluntaria. Pero en el año 2004, esta implementación pasó a ser de carácter obligatorio y con ese fin se creó la Red Nacional de Vigilancia Epidemiológica en Plaguicidas (REVEP), cuyo objetivo es conocer y prevenir el impacto de intoxicaciones agudas por plaguicidas en la salud de la población ocupacional y no ocupacional. Dicha labor se cumple a partir de las notificaciones que realiza cada Servicio de Salud del país a través de un sistema de vigilancia pasiva, que permite a REVEP conocer los casos de intoxicación aguda y desarrollar acciones para controlar e investigar las intoxicaciones. Sin embargo, en el caso de las intoxicaciones crónicas no existen políticas, programas de vigilancia, ni regulaciones al respecto, salvo las medidas derivadas del control en la aplicación de plaguicidas por la población ocupacional y la prohibición y regulación de algunos pesticidas muy peligrosos en nuestro país.

La evaluación de riesgo corresponde a la caracterización de los efectos potencialmente adversos para la salud humana derivados de la exposición a determinados agentes ambientales (OMS, 2007). Esta tesis analizó diferentes tipos de contaminantes potencialmente dañinos para la salud humana. Cuatro de estos plaguicidas; dimetoato, metolacloro, pendimetalina y tebuconazol son clasificados como posiblemente carcinogénicos (USEPA, 2017b), existiendo antecedentes de que metolacloro y tebuconazol pueden generar tumores hepatocelulares. De igual manera, pendimetalina puede generar tumores de

células tiroideas y dimetoato puede provocar tumores hemolinforeticulares, así como también tumores en bazo y piel (Tabla 3). Asimismo, cuatro de estos plaguicidas se encuentran prohibidos en la Unión Europea (EU, 2018). Estos compuestos son: atrazina, simazina, metolacloro y diazinon. Por una parte, atrazina y simazina, del grupo de las triazinas, no se encuentran autorizados debido a su alta probabilidad de lixiviación y percolación hacia aguas subterráneas. Se ha descrito que simazina es el segundo plaguicida más comúnmente detectado en aguas superficiales y subterráneas en Estados Unidos, Europa, Australia, y también en Chile en aguas subterráneas del Valle de Casablanca (Suárez *et al.*, 2013) y en la cuenca del río Traiguén al sur de la Región de la Araucanía (Palma *et al.*, 2004). Por su parte, metolacloro tampoco se encuentra aprobado debido a sus efectos carcinogénicos y alta toxicidad para organismos acuáticos. Finalmente, diazinon, de amplio uso en nuestro país, no está autorizado en Europa, del cual se describen efectos de neurotoxicidad, teratogenicidad, mutagenicidad, disrupción endocrina y genotoxicidad (University of Hertfordshire, 2017).

La hipótesis planteada en el presente estudio se rechaza, ya que no existen riesgos considerados de preocupación necesaria, como para implementar medidas de mitigación para la inhalación de plaguicidas por los habitantes de la comuna de Molina. Estos resultados son similares a lo descrito en otros estudios de similar índole (Coscollà *et al.*, 2017, López *et al.*, 2017). Respecto de los compuestos detectados se presenta otra variable a considerar, correspondiente al efecto acumulativo que se presentó con dos grupos de plaguicidas: las triazinas y organofosforados.

Al igual que en los resultados obtenidos en el presente estudio, Lee *et al.* (2002) describieron mayores riesgos crónicos en niños con cocientes de peligros de 0,3 y 0,02 para clorpirifos y diazinon, respectivamente. Del mismo modo, en una evaluación de riesgos de pesticidas organofosforados realizada en California por Luo y Zhang, (2009), se encontraron las mayores exposiciones de los niños a la

inhalación de plaguicidas para clorpirifos, dimetoato y malation. En el estudio de Li *et al.* (2014), donde también se evaluaron los riesgos frente a la inhalación de plaguicidas en el aire, se obtuvo que, de igual manera, los niños, infantes y bebés tenían la exposición más alta con respecto a otros grupos poblacionales evaluados. De lo anterior se puede interpretar, que existe una clara exposición a estos compuestos para los habitantes de la zona, destacando que los mayores cocientes de peligros se encontraron principalmente para los niños entre 1 y 6 años para plaguicidas organofosforados. Esto se puede explicar debido a que este grupo de la población tienen menor capacidad de desintoxicación y a que su relación tasa de inhalación/peso corporal son más altas (Espinoza-Navarro *et al.*, 2017). Los efectos de los plaguicidas en la salud de la población no ocupacional y en los niños son múltiples y con graves consecuencias para su desarrollo. Estudios demuestran efectos dañinos en el nivel citogenético y de la capacidad reproductiva, efectos teratogénicos en hijos de trabajadores agrícolas, presencia más frecuente de neoplasias infantiles, mayor cantidad de alteraciones neuroconductuales y cognitivas, y efectos endocrinos e inmunotóxicos en niños que provienen de ambientes rurales o hijos de padres de temporeros agrícolas (Muñoz Quezada, 2011). Con los antecedentes descritos, se pueden establecer grupos de riesgo y realizar intervenciones o monitoreo especial en estos.

La presente evaluación de riesgos solo consideró las exposiciones de inhalación. Sin embargo, la dermis, y especialmente la ingestión, son otras vías de exposición que deberían considerarse en futuros estudios. Se estima que la exposición a residuos de plaguicidas a través de la dieta es entre dos y cinco órdenes de magnitud mayor que la exposición al aire (Luo y Zhang, 2009). Entonces, para manejar niveles seguros de exposición para la población, diferentes vías de exposición deben ser consideradas en el análisis de riesgo.

Es necesario discutir algunos aspectos de gran importancia a la evaluación de riesgo realizada en esta tesis. Dentro de las incertidumbres y variabilidades que se pueden presentar con relación al modelo de este estudio, se destaca que,

debido a la ausencia de datos para la población chilena, los parámetros de exposición utilizados en este trabajo están basados en valores tabulados para la población estadounidense, por lo que podría haber variaciones con respecto a parámetros de exposición para la población chilena. También pueden encontrarse incertidumbres asociadas al muestreo y análisis químico de las matrices analizadas, y al cálculo de las concentraciones. Así también, este estudio considera que las concentraciones medidas son iguales a las concentraciones inhaladas por los habitantes y que la emisión de estas fue constante en el tiempo, constituyendo posibles fuentes de incertidumbre.

Se recomienda considerar este estudio como una prueba clara de la exposición de habitantes de zonas rurales a plaguicidas de uso habitual, de manera de poder implementar monitoreos y regulaciones en los sitios donde los plaguicidas son aplicados, como también, en comunidades rurales y ciudades cercanas a las operaciones agrícolas, con el fin de evaluar el uso legal de estos compuestos. También se espera que la metodología utilizada en este trabajo sirva como referencia, constituyendo un avance importante en la evaluación y caracterización de riesgos de exposición a posibles químicos que se pueden generar en la salud de las personas.

## IX. CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio demuestran la presencia de plaguicidas en el aire de la comuna de Molina a través de la detección de estos mediante el monitoreo ambiental.

En este trabajo se presenta un monitoreo de plaguicidas en aire y consecuente análisis de datos contrastados con valores de referencia basados en salud. Los resultados mostraron que la exposición por inhalación a estos compuestos y el riesgo evaluado como cociente de peligro (HQ), no representan una preocupación significativa para la salud humana en la comuna rural de Molina en la Región del Maule. Los compuestos con mayores valores HQ fueron diazinon y clorpirifos.

La exposición acumulativa se estimó para plaguicidas organofosforados y triazinas detectadas, las cuales tienen un modo de acción común. El Índice de Peligro calculado para ellos fue menor a 1, por lo que el riesgo combinado resultante de la exposición a los compuestos se consideró aceptable. Dentro de estos plaguicidas, los compuestos organofosforados diazinon, clorpirifos y dimetoato obtuvieron valores cercanos a la unidad.

De esta misma manera, la evaluación del Incremento del riesgo de cáncer de por vida para los plaguicidas posiblemente carcinogénicos fue inferior a  $1E-6$ , alcanzando el valor más alto para pendimetalina.

Entre los diferentes grupos etarios evaluados en el escenario promedio y peor escenario, los mayores valores de riesgo para los diferentes peligros fueron obtenidos en el grupo de 1 a 6 años.

Debido a que existe evidencia de que la exposición a plaguicidas podría asociarse tanto con el desarrollo de ciertas enfermedades no cancerígenas como cancerígenas, este enfoque podría contribuir a establecer un programa de monitoreo y evaluación de riesgo en poblaciones rurales del país, lo cual aportaría a adoptar un enfoque de prudencia y vigilancia respecto a actividades efectivas o potencialmente peligrosas para la salud de la población.

Más estudios generadores de evidencia fundamental para la vigilancia integral de salud pública son necesarios. De esta manera se podrían identificar cuáles son las diferentes vías de exposición a la población general, así como también poder caracterizar la población a través de la realidad de nuestro país.

## X. BIBLIOGRAFÍA

**AGENCIA CHILENA PARA LA INOCUIDAD Y CALIDAD ALIMENTARIA (ACHIPIA).** 2014. Gestión 2011-2013. 89 p.

**ADU-KUMI S.; KAREŠ J.; LITERÁK J.; BORŮVKOVÁ P.; YEBOAH D.; CARBOO O.; AKOTO G.; DARKO S.; OSAE; KLÁNOVÁ.** 2012. Levels and seasonal variations of organochlorine pesticides in urban and rural background air of southern Ghana. *Environ. Sci. Pollut. R.* 19:1963-1970.

**ARIAS-ESTÉVEZ M.; LÓPEZ-PERIAGO E.; MARTÍNEZ-CARBALLO E.; SIMAL-GÁNDARA J.; MEJUTO J.; GARCÍA-RÍO L.** 2008. The mobility and degradation of pesticides in soils and the pollution of groundwater resources. *Agric. Ecosyst. Environ.* 123:247-260.

**ATWOOD D.; PAISLEY-JONES C.** 2017. Pesticides Industry Sales and Usage: 2008-2012 Market Estimates U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC. 24 p.

**BAEZ M.; RODRIGUEZ M.; LASTRA O.; PENA A.; DELACOLINA C.; RASERO F.** 1996. Pesticide residues in surface waters of the V Region, Chile. Prospective study. *J. Chil.* 41:271-276.

**BANCO MUNDIAL.** 2018. Agriculture and Rural Development. [En línea] <<https://data.worldbank.org/topic/agriculture-and-rural-development?locations=CL>> [consulta: 9-06-2018].

**BIBLIOTECA DEL CONGRESO NACIONAL DE CHILE (BCN).** 2015. Reportes Estadísticos Comunales: Molina. [En línea] <<https://reportescomunales.bcn.cl/2012/index.php/Molina>> [consulta:05-12-2017].

**BRADMAN A.; CASTORINA R.; BOYD BARR D.; CHEVRIER J.; HARNLY M.; EISEN E.; MCKONE T.; HARLEY K.; HOLLAND N.; ESKENAZI B.** 2011. Determinants of organophosphorus pesticide urinary metabolite levels in young children living in an agricultural community. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 8:1061-1083.

**BRADY N.; WEIL R.** 2000. Elements of the nature and properties of soils. 3<sup>rd</sup> Ed. Prentice Hall Upper Saddle River, NJ, USA. 624 p.

**CARRATALÁ A.; MORENO-GONZÁLEZ R.; LEÓN V.** 2017. Occurrence and seasonal distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons and legacy and current-use pesticides in air from a Mediterranean coastal lagoon (Mar Menor, SE Spain). *Chemosphere.* 167:382-395.

**CENTRO DE INFORMACIÓN DE RECURSOS NATURALES (CIREN).** 2016. Catastro frutícola: Principales resultados, Región del Maule. 47 p. [En línea] <<https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2016/08/Catastro-Fruticola-VII-Maule-2016.pdf>> [Consulta:15-01-2018].

**CODEX ALIMENTARIUS.** 1999. ¿Qué es el Codex Alimentarius?. [En línea] <<http://www.fao.org/noticias/1999/codex-s.htm>> [consulta: 15-11-2017].

**CODEX ALIMENTARIUS.** 2017. Residuos de plaguicidas en los alimentos y piensos: glosario de términos. [En línea]<<http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/dbs/pestres/glossary/es/>> [consulta: 12-10-2017].

**CORRAL S.; DE ANGEL V.; SOLOS N.; ZUNIGA-VENEGAS L.; GASPAR P.; PANCETTI F.** 2017. Cognitive impairment in agricultural workers and nearby residents exposed to pesticides in the Coquimbo Region of Chile. *Neurotoxicol. Teratol.* 62:13-19.

**CORTÉS S.; FOERSTER C.; MOLINA L.; FERRECCIO C.** 2018. Occupational and Environmental exposures in a Chilean Agricultural Cohort. *Sci. Total Environ.* (No Publicado).

**COSCOLLA C.; COLIN P.; YAHYAOUI A.; PETRIQUE O.; YUSÀ V.; MELLOUKI A.; PASTOR A.** 2010. Occurrence of currently used pesticides in ambient air of Centre Region (France). *Atmos. Environ.* 44:3915-3925.

**COSCOLLÀ C.; LÓPEZ A.; YAHYAOUI A.; COLIN P.; ROBIN C.; POINSIGNON Q.; YUSÀ V.** 2017. Human exposure and risk assessment to airborne pesticides in a rural French community. *Sci. Total Environ.* 584:856-868.

**COSCOLLÀ C.; MUÑOZ A.; BORRÁS E.; VERA T.; RÓDENAS M.; YUSÀ V.** 2014. Particle size distributions of currently used pesticides in ambient air of an agricultural Mediterranean area. *Atmos. Environ.* 95:29-35.

**DEL PUERTO RODRÍGUEZ A.; SUÁREZ M.; PALACIO D.** 2014. Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. *Rev. Cubana Hig. Epidemiol.* 52:372-387.

**DEVI N.; CHAKRABORTY S.; ZHANG G.; YADAV I.** 2011. Passive air sampling of organochlorine pesticides in a northeastern state of India, Manipur. *J. Environ. Sci.* 23:808-815.

**DRIVER J.; PRICE P.; VAN WESENBEECK I.; ROSS J.; GEHEN S.; HOLDEN L.; LANDENBERGER B.; HASTINGS K.; RASOULPOUR R.** 2016. Evaluation of potential human health effects associated with the agricultural uses of 1, 3-D: Spatial and temporal stochastic risk analysis. *Sci. Total Environ.* 571:410-415.

**ELGUETA S.; MOYANO S.; SEPÚLVEDA P.; QUIROZ C.; CORREA A.** 2017. Pesticide residues in leafy vegetables and human health risk assessment in North Central agricultural areas of Chile. *Food Addit. Contam: Part B.*10:105-112.

**ESPINOZA-NAVARRO O.; PONCE-LAROSA C.; BUSTOS-OBREGON E.** 2017. Organophosphorous Pesticides: Their Effects on Biosentinel Species and Humans. Control and Application in Chile. *Int. J. Morphol.* 35:1069-1074.

**ESTELLANO V.; POZO K.; EFSTATHIOU C.; CORSOLINI S.; FOCARDI S.** 2015. Assessing levels and seasonal variations of current-use pesticides (CUPs) in the Tuscan atmosphere, Italy, using polyurethane foam disks (PUF) passive air samplers. *Environ. Pollut.* 205:52-59.

**ESTELLANO V.; POZO K.; HARNER T.; CORSOLINI S.; FOCARDI S.** 2012. Using PUF disk passive samplers to simultaneously measure air concentrations of persistent organic pollutants (POPs) across the Tuscany Region, Italy. *Atmos. Poll. Res.* 3:88-94.

**EUROPEAN UNION (EU).** 2018. EU pesticides database. [En línea] <<http://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database/public/?event=homepage&language=EN>> [consulta: 8-11-2017].

**FERNÁNDEZ D.; MANCIPE L.; FERNÁNDEZ D.** 2010. Intoxicación por organofosforados. *Med J.* 18:84-92.

**FERRECCIO C.; ROA J. C.; BAMBS C.; VIVES A.; CORVALÁN A.; CORTÉS S.; FOERSTER C.; ACEVEDO J.; HUIDOBRO A.; PASSI A.** 2016. Study protocol for the Maule Cohort (MAUCO) of chronic diseases, Chile 2014–2024. *Bmc Public Health.* 16(1): 122.

**FLORES C.; MORGANTE V.; GONZALEZ M.; NAVIA R.; SEEGER M.** 2009. Adsorption studies of the herbicide simazine in agricultural soils of the Aconcagua valley, central Chile. *Chemosphere.* 74:1544-1549.

**FUENTES E.; BÁEZ M.; DÍAZ J.** 2010. Survey of organophosphorus pesticide residues in virgin olive oils produced in Chile. *Food Addit. Contam.* 3:101-107.

**GOUIN T.; SHOEIB M.; HARNER T.** 2008. Atmospheric concentrations of current-use pesticides across south-central Ontario using monthly-resolved passive air samplers. *Atmos. Environ.* 42:8096-8104.

**GUNIER R.; WARD M.; AIROLA M.; BELL E.; COLT J.; NISHIOKA M.; BUFFLER P.; REYNOLDS P.; RULL R.; HERTZ A.** 2011. Determinants of agricultural pesticide concentrations in carpet dust. *Environ. Health Perspect.* 119:970.

**GUTIÉRREZ W.; CERDA P.; PLAZA-PLAZA J.; MIERES J.; PARIS E.; RÍOS J.** 2015. Caracterización de las exposiciones a plaguicidas entre los años 2006 y 2013 reportadas al Centro de Información Toxicológica de la Pontificia Universidad Católica de Chile. *Rev. Med. Chil.* 143:1269-1276.

**INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS (INE).** 2002. Censo de Población y Vivienda 2002. [En línea] <<http://www.ine.cl/estadisticas/censos/censos-de-poblacion-y-vivienda>> [Consulta:22-11-2017].

**INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS (INE).** 2007. VII Censo Nacional Agropecuario y Forestal, 2007. Cuadro 6: superficie total sembrada o plantada por grupo de cultivos, según región, provincia y comuna.

**INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (INN).** 2005. Norma Chilena 409/1. Of 2005, Agua Potable Parte 1: Requisitos. 9 p.

**INSTITUTO DE SALUD PÚBLICA (ISP).** 2017. Sistema de consulta de productos registrados. Instituto de Salud Pública. [En línea] <<http://registrosanitario.ispch.gob.cl/>> [consulta: 20-11-2017].

**KOGAN M.; ROJAS S.; GOMEZ P.; SUAREZ F.; MUNOZ J.; ALISTER C.** 2007. Evaluation of six pesticides leaching indexes using field data of herbicide application in Casablanca Valley, Chile. *Wat. Sci. Tech.* 56:169-178.

**KOSIKOWSKA M.; BIZIUK M.** 2010. Review of the determination of pesticide residues in ambient air. *Trends Analyt. Chem.* 29:1064-1072.

- KURT-KARAKUS P.; TEIXEIRA C.; SMALL J.; MUIR D.; BIDLAMAN T.** 2011. Current-use pesticides in inland lake waters, precipitation, and air from Ontario, Canada. *Environ. Toxicol. Chem.* 30:1539-1548.
- LEE S.; MCLAUGHLIN R.; HARNLY M.; GUNIER R.; KREUTZER R.** 2002. Community exposures to airborne agricultural pesticides in California: ranking of inhalation risks. *Environ. Health Perspect.* 110 (12):1175-1184.
- LI H.; MA H.; LYDY M.; YOU J.** 2014. Occurrence, seasonal variation and inhalation exposure of atmospheric organophosphate and pyrethroid pesticides in an urban community in South China. *Chemosphere.* 95:363-369.
- LIU L.; TANG J.; ZHONG G.; ZHEN X.; PAN X.; TIAN C.** 2018. Spatial distribution and seasonal variation of four current-use pesticides (CUPs) in air and surface water of the Bohai Sea, China. *Sci. Total Environ.* 621:516-523.
- LÓPEZ A.; YUSÀ V.; MUÑOZ A.; VERA T.; BORRÀS E.; RÓDENAS M.; COSCOLLÀ C.** 2017. Risk assessment of airborne pesticides in a Mediterranean region of Spain. *Sci. Total Environ.* 574:724-734.
- LUO Y.; ZHANG Y.** 2009. Multimedia transport and risk assessment of organophosphate pesticides and a case study in the northern San Joaquin Valley of California. *Chemosphere.* 75:969-978.
- MAJEWSKI M.; COUPE R.; FOREMAN W.; CAPEL P.** 2014. Pesticides in Mississippi air and rain: a comparison between 1995 and 2007. *Environ. Toxicol. Chem.* 33:1283-1293.
- MELYMUK L.; BOHLIN P.; SÁŇKA O.; POZO K.; KLÁNOVÁ J.** 2014. Current challenges in air sampling of semivolatile organic contaminants: sampling artifacts and their influence on data comparability. *Environ. Sci. Technol.* 48:14077-14091.
- MILLET, M.** 2008. Cap. 10: Sampling and Analysis of Pesticides in the Atmosphere. pp. 257-286. **In:** J. L. Tadeo (ed.), *Analysis of pesticides in food and environmental samples.* CRC Press. 367 p.
- MINISTERIO DE SALUD (MINSAL).** 2010. Resolución 33 Exenta: Fija tolerancias máximas de residuos de plaguicidas en alimentos y deja sin efecto la resolución N° 581 Exenta, de 1999, y sus modificaciones. **In:** Ministerio de Salud. Subsecretaría de Salud Pública (ed.) 99 p.
- MINISTERIO DE SALUD (MINSAL).** 2015. Boletín Epidemiológico Trimestral. Intoxicaciones agudas por plaguicidas (IAP) . Situación epidemiológica-sept 2015. Vol 111, no 4. 5 p. [En línea] <[http://epi.minsal.cl/wp-content/uploads/2016/01/REVEP\\_BET4\\_2015.pdf](http://epi.minsal.cl/wp-content/uploads/2016/01/REVEP_BET4_2015.pdf)> [Consulta:16-12-2017].
- MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE (MMA).** 2017. Expedientes electrónicos: Planes y Normas. [En línea] <[http://planesynormas.mma.gob.cl/normas/mostrarCategoria.php?tema\\_ambiental=1](http://planesynormas.mma.gob.cl/normas/mostrarCategoria.php?tema_ambiental=1)> [Consulta:18-12-2017].
- MUÑOZ QUEZADA M.** 2011. Aspectos bioéticos en el control y aplicación de plaguicidas en Chile. *Acta bioeth.* 17:95-104.

**MUÑOZ-QUEZADA M.; LUCERO B.; IGLESIAS V.; MUÑOZ M.** 2014. Exposure pathways to pesticides in schoolchildren in the Province of Talca, Chile. *Gac. Sanit.* 28:190-195.

**MUÑOZ-QUEZADA M.; LUCERO B.; IGLESIAS V.; MUÑOZ M.; ACHÚ E.; CORNEJO C.; CONCHA C.; GRILLO A.; BRITO A.** 2016. Plaguicidas organofosforados y efecto neuropsicológico y motor en la Región del Maule, Chile. *Gac. Sanit.* 30:227-231.

**OFICINA DE ESTUDIOS Y POLÍTICAS AGRARIAS (ODEPA).** 2014. Agricultura Chilena 2014: Perspectivas a mediano plazo. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias. 224 p. [En línea] <<https://www.odepa.gob.cl/odepaweb/servicios-informacion/publica/Agricultura2014.pdf>> [consulta: 23-11-2017]

**ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA (FAO).** 2007. Análisis de riesgos relativos a la inocuidad de los alimentos: guía para las autoridades nacionales de inocuidad de los alimentos. 129 p. [En línea] <<http://www.fao.org/docrep/pdf/010/a0822s/a0822s.pdf>> [consulta: 22-12-2017].

**PALMA G.; SÁNCHEZ A.; OLAVE Y.; ENCINA F.; PALMA R.; BARRA R.** 2004. Pesticide levels in surface waters in an agricultural-forestry basin in Southern Chile. *Chemosphere.* 57:763-770.

**POZO K.; HARNER T.; SHOEIB M.; URRUTIA R.; BARRA R.; PARRA O.; FOCARDI S.** 2004. Passive-sampler derived air concentrations of persistent organic pollutants on a North-South transect in Chile. *Environ.Sci. Technol.* 38:6529-6537.

**POZO K.; HARNER T.; WANIA F.; MUIR D.; JONES K.; BARRIE L.** 2006. Toward a global network for persistent organic pollutants in air: results from the GAPS study. *Environ. Sci. Technol.* 40:4867-4873.

**POZO K.; LLANOS Y.; ESTELLANO V.; CORTÉS S.; JORQUERA H.; GERLI L.; ENCINA F.; PALMA R.; FOCARDI S.** 2016. Occurrence of chlorpyrifos in the atmosphere of the Araucanía Region in Chile using polyurethane foam-based passive air samplers. *Atmos. Pollut. Res.* 7:706-710.

**SERVICIO AGRÍCOLA Y GANADERO (SAG).** 2012. Informe de venta de plaguicidas de uso agrícola en Chile, año 2012. Servicio Agrícola y Ganadero, División Protección Agrícola y Forestal. Santiago, Chile. 113 p. [En línea] <[http://www.sag.cl/sites/default/files/declaracion\\_de\\_venta\\_de\\_plaguicidas\\_ano\\_2012.pdf](http://www.sag.cl/sites/default/files/declaracion_de_venta_de_plaguicidas_ano_2012.pdf)> [consulta: 11-08-2017].

**SERVICIO AGRÍCOLA Y GANADERO (SAG).** 2016. Catastro vitícola nacional 2016. 70 p. [En línea] <<https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/catastro2016.pdf>> [Consulta:16-06-2018].

**SERVICIO AGRÍCOLA Y GANADERO (SAG).** 2017a. Listado de plaguicidas autorizados. [En línea] <<http://www.sag.cl/ambitos-de-accion/plaguicidas-y-fertilizantes/78/registros>> [consulta: 19-11-2017].

**SERVICIO AGRÍCOLA Y GANADERO (SAG).** 2017b. Evaluación y autorización de plaguicidas: Antecedentes. [En línea] <<http://www.sag.gob.cl/ambitos-de-accion/evaluacion-y-autorizacion-de-plaguicidas>> [consulta: 18-11-2017].

**SUÁREZ F.; GUZMÁN E.; MUÑOZ J.; BACHMANN J.; ORTIZ C.; ALISTER C.; KOGAN M.** 2013. Simazine transport in undisturbed soils from a vineyard at the Casablanca valley, Chile. *J. Environ. Manage.* 117:32-41.

**TADEO J.; SANCHEZ-BRUNETE C.; GONZÁLEZ L.** 2008. Capítulo 1: Pesticides: Classification and Properties. *In:* Analysis of pesticides in food and environmental samples. CRC Press. pp. 1-34.

**UNIVERSITY OF HERTFORDSHIRE.** 2017. PPDB: Pesticide properties Data Base: A a la Z. [En línea] <<https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/atoz.htm>> [consulta: 06-10-2017].

**UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA).** 1998. Human health risk assessment protocol: chapter 7 risk and hazard characterization. Risk Characterization Region. 6 p. [En línea] <<http://www.columbia.edu/itc/sipa/envp/louchouart/courses/env-chem/Risk%20Characterization%20Region%206.pdf>> [consulta: 26-04-2018].

**UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA).** 2011. Highlights of the Exposure Factors Handbook (2011 Final Report). U.S. Environmental Protection Agency. Washington DC. 1436 p. [En línea] <<https://cfpub.epa.gov/ncea/risk/recordisplay.cfm?deid=236252>> [consulta: 11-04-2018].

**UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA).** 2017a. Pesticide Volatilization. [En línea] <<https://www.epa.gov/reducing-pesticide-drift/pesticide-volatilization>>. [consulta: 18-11-2017].

**UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA).** 2017b. Chemicals evaluated for carcinogenic potential (Annual Cancer Report 2017). 40 p. [En línea] <[http://npic.orst.edu/chemicals\\_evaluated.pdf](http://npic.orst.edu/chemicals_evaluated.pdf)> [Consulta:30-11-2017].

**UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA).** 2018. EXPOBOX: Exposure Assessment Tools by Routes-Inhalation, Calculations. [En línea] <<https://www.epa.gov/expobox/exposure-assessment-tools-routes-inhalation>> [Consulta:30-11-2017].

**WANG, J., BOESCH R.; LI Q.** 2017. A case study of air quality-Pesticides and odorous phytochemicals on Kauai, Hawaii, USA. *Chemosphere.* 189:143-152.

**WOFFORD P.; SEGAWA R.; SCHREIDER J.; FEDERIGHI V.; NEAL R.; BRATTESANI M.** 2014. Community air monitoring for pesticides. Part 3: using health-based screening levels to evaluate results collected for a year. *Environ. Monit. Assess.* 186:1355-1370.

**YAO Y.; HARNER T.; MA J.; TUDURI L.; BLANCHARD P.** 2007. Sources and occurrence of dacthal in the Canadian atmosphere. *Environ. Sci. Technol.* 41:688-694.

**YUSÀ V.; COSCOLLÀ C.; MELLOUKI W.; PASTOR A.; DE LA GUARDIA M.** 2009. Sampling and analysis of pesticides in ambient air. *J. Chromatogr. A.* 1216: 2972-2983.

**YUSÀ V.; COSCOLLÀ C.; MILLET M.** 2014. New screening approach for risk assessment of pesticides in ambient air. *Atmos. Environ.* 96:322-330.

**ZHANG W.; JIANG F.; OU J.** 2011. Global pesticide consumption and pollution: with China as a focus. *Proc. Int. Acad. Ecol. Environ. Sci.* 1:125-144.

## XI. ANEXOS

### Anexo 1

Estudios internacionales de ocurrencia de plaguicidas en aire.

Plaguicida	Promedio	Min-Máx. (pg/m <sup>3</sup> )	Ubicación	Referencia
Atrazina	21	-	Mississippi, USA	Majewski <i>et al.</i> (2014)
	-	<4,5-150	Canadá	Kurt-Karakus <i>et al.</i> (2011)
Clorpirifos	-	59,06- 126,94	China	Liu <i>et al.</i> (2018)
	-	ND-35.000	Hawaii, USA	Wang <i>et al.</i> (2017)
	-	73,2- 4.902,4	España	Carratalá <i>et al.</i> (2017)
	-	3-580	Italia	Estellano <i>et al.</i> (2015)
	-	1,33-210,61	España	Yusà <i>et al.</i> (2014)
	29	-	Mississippi, USA	Majewski <i>et al.</i> (2014)
	-	ND-150.000	California, USA	Wofford <i>et al.</i> (2014)
	-	<0,3-60	Canadá	Kurt-Karakus <i>et al.</i> (2011)
	-	110-97.770	Francia	Coscollà <i>et al.</i> (2010)
	330	-	Canadá	Gouin <i>et al.</i> (2008)
	-	20-14.600	Chile	Pozo <i>et al.</i> (2016)
141 ± 33	-	España	Coscollà <i>et al.</i> (2014)	
Diazinon	-	ND- 27,3	España	Carratalá <i>et al.</i> (2017)
	-	ND – 230	Italia	Estellano <i>et al.</i> (2015)
	-	8,07-176,08	España	Yusà <i>et al.</i> (2014)
	22 ± 1	-	España	Coscollà <i>et al.</i> (2014)
	15	-	Mississippi, USA	Majewski <i>et al.</i> (2014)
	-	ND-172.000	California, USA	Wofford <i>et al.</i> (2014)
	-	<5,7-260	Canadá	Kurt-Karakus <i>et al.</i> (2011)
	-	280-1.490	Francia	Coscollà <i>et al.</i> (2010)
Dimetoato	-	6,77-79,32	España	Yusà <i>et al.</i> (2014)
	4 ± 1	-	España	Coscollà <i>et al.</i> (2014)
	18	-	Mississippi, USA	Majewski <i>et al.</i> (2014)
	-	LD-3	Canadá	Kurt-Karakus <i>et al.</i> (2011)

Metolaclo-ro	-	ND-23.000	Hawái, USA	Wang <i>et al.</i> (2017)
	41	-	Mississippi, USA	Majewski <i>et al.</i> (2014)
	-	<1,2-2.100	Canadá	Kurt-Karakus <i>et al.</i> (2011)
	-	0,12–2.490	Francia	Coscollà <i>et al.</i> (2010)
Pendimetalina	-	ND- 3.309,2	España	Carratalá <i>et al.</i> (2017)
	-	ND – 1.500	Italia	Estellano <i>et al.</i> (2015)
	35	-	Mississippi, USA	Majewski <i>et al.</i> (2014)
	-	<1,2-5.700	Canadá	Kurt-Karakus <i>et al.</i> (2011)
	140	-	Canadá	Gouin <i>et al.</i> (2008)
-	70–117.330	Francia	Coscollà <i>et al.</i> (2010)	
Simazina	18	-	Mississippi, USA	Majewski <i>et al.</i> (2014)
	-	8,92–13,55	España	Yusà <i>et al.</i> (2014)
	59	-	Mississippi, USA	Majewski <i>et al.</i> (2014)
	-	ND- 202,3	España	Carratalá <i>et al.</i> (2017)
	-	7,45–758,60	España	Yusà <i>et al.</i> (2014)
	39 ± 5	-	España	Coscollà <i>et al.</i> (2014)
	18	-	Mississippi, USA	Majewski <i>et al.</i> (2014)

## ANEXO 2

Capacidad analítica laboratorio RECETOX, plaguicidas detectados en el presente estudio, notificación de plaguicidas utilizados en la comuna y plaguicidas más vendidos en la región.

Capacidad RECETOX <sup>1</sup>	Plaguicidas detectados	Plaguicidas usados en Molina <sup>2</sup>	Más vendidos en la región <sup>3</sup>
Acetoclor	Atrazina	Abamectina	Atrazina
Alaclor	Clorpirifos	Dibromuro de diquat	Atrazina-s metolacoloro
Atrazina	Diazinon	Dicloruro de paraquat	Dicloruro de paraquat
Azinfos-metil	Dimetoato	Glifosato	Dicloruro de paraquat-Dibromuro de diquat
Carbaril	Diazinon	Simazina	Glifosato-dimetilamonio
Carbendazima	Dimetoato	Azadiractina	Glifosato-isopropilamonio
Diazinon	Metolacolor	Diazinon	Glifosato-monoamonio
Dimetacolor	Tebuconazol	Disulfoton	Glifosato-potasio
Dimetoato	Terbutilazina	Esfenvalerato	MCPA-dimetilamonio
Disulfoton	Diazinon	Espinosad	Abamectina
Diuron		Imidacloprid	Aceite de linaza
Fenitrotion		Lambda-ciahlotrina	Aceite parafínico
Fenoxaprop etil		Tiametoxam	Clorpirifos
Fenpropimorf		Azoxistrobina	Clorpirifos/dimetoato
Florasulam		Boscalid	Diazinon
Fluroxípir		Ciprodinilo	Metamidofos
Fonofos		Difenconazol	Metam-sodio
Clorpirifos		Difenoconazol	Metidation
Clorsulfuron		Fludioxonilo	Azufre
Clortoluron		Hidróxido de cobre	Caldo bordelés
Isoproturon		Iprodiona	Hidróxido de cobre
Malation		Isopirazam	Mancozeb
Metamitron		Mancozeb	Polisulfuro de calcio
Metazaclor		Mefenoxam	Tebuconazol
Metolacolor		Metalaxilo	
Metribuzin		Óxido cuproso	
Metil Paration		Penconazol	
Pendimetalina		Piraclostrobina	
Fosmet		Sulfato de cobre	
Pirimicarb			
Procloraz			

<sup>1</sup> Capacidad de detección de plaguicidas del laboratorio Recetox, de República Checa.

<sup>2</sup> Descritos por entrevista a Prodesal en el estudio de Cortés *et al.* 2018.

<sup>3</sup> Según informe de ventas del Servicio Agrícola y Ganadero del año 2012.

Propiconazol			
Pirazon			
Simazina			
Tebuconazol			
Temefos			
Terbufos			
Terbutilazina			

### ANEXO 3

Detalle de características fisicoquímicas de los plaguicidas y sus principales características toxicológicas.

Plaguicida	FOSFORADOS			TRIAZINAS				CLORO ACETAMIDAS	DINITROANILINAS
	Diazinon (i)	Clorpirifos (i)	Dimetoato (i)	Atrazina (h)	Simazina (h)	Terbutilazina (h)	Tebuconazol (F)	Metolaclo (h)	Pendimetalina (h)
Masa molecular (g mol <sup>-1</sup> )	304.35	350.58	229.26	215.68	201.66	229.71	307.82	283.8	281.31
Solubilidad en agua (mg/L)	60	1.05	25900	35	5	6.6	36	530	0.33
Presión de vapor a 25°C (mPa)	11.97	1.43	0,247	0.039	0.00081	0.12	1.30 X 10 <sup>-03</sup>	1.7	3.34
Coefficiente de partición octanol-agua (Log P)	3.69	4.7	0.75	2.7	2.3	3.4	3.7	3.4	5.4
Degradación en suelo (días)	9.1	386	2.5	75	60	75.1	63	90	182.3

Plaguicida	FOSFORADOS			TRIAZINAS				CORO ACETAMIDAS	DINITROANILINAS
	Diazinon (i)	Clorpirifos (i)	Dimetoato (i)	Atrazina (h)	Simazina (h)	Terbutilazina (h)	Tebuconazol (F)	Metolaclo (h)	Pendimetalina (h)
Carcinógeno	Posiblemente	No	Posiblemente	NO	Posiblemente	Posiblemente	Posiblemente	Posiblemente	Posiblemente
Mutágeno	Posiblemente	NO	NO	NO	NO	No hay datos	No hay datos	NO	NO
Disruptor Endocrino	Posiblemente	Posiblemente	NO	Posiblemente	Posiblemente	No hay datos	No hay datos	Posiblemente	Posiblemente
Reproducción/problemas de desarrollo	Posiblemente	SI	Posiblemente	Posiblemente	Posiblemente	Posiblemente	SI	Posiblemente	SI
Inhibidor de la colinesterasa	SI	SI	SI	NO	No hay datos	NO	NO	NO	NO
Neurotóxico	SI	SI	Posiblemente	Posiblemente	No hay datos	No hay datos	NO	NO	NO
Irritante de vías respiratorias	SI	NO	NO	SI	NO	SI	NO	NO	SI
irritante piel	SI	NO	NO	SI	Posiblemente	Posiblemente	NO	SI	SI
Otros	IARC Grupo 2A; Efecto estrogénico	Deterioro cognitivo, tóxico cardiovascular	US EPA: Posiblemente carcinogénico; Posible tóxico hepático, Alteración hormonas tiroideas	IARC Grupo 3, Puede causar falla renal, alterar metabolismo de la testosterona, inhibidor de andrógenos	Antecedentes de inducción de actividad aromatasa, incremento de la producción de estrógeno	Efectos en salud al tiempo después		US EPA: Posible carcinógeno humano; Activación del receptor celular X de pregnano	Tóxico para tiroides e hígado; US EPA: Posible carcinogénico