

UNIVERSIDAD DE CONCEPCION
FACULTAD DE INGENIERIA AGRÍCOLAS



**FUNGICIDAS SINTÉTICOS UTILIZADOS EN LA AGRICULTURA,
IMPACTOS NEGATIVOS Y ALTERNATIVAS NATURALES**

SILVANA TERESITA MEDINA PÉREZ.

HABILITACIÓN PROFESIONAL
PRESENTADA A LA FACULTAD DE
INGENIERÍA AGRÍCOLA DE LA
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN,
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL

CHILLÁN-CHILE

2022

**FUNGICIDAS SINTÉTICOS UTILIZADOS EN LA AGRICULTURA,
IMPACTOS NEGATIVOS Y ALTERNATIVAS NATURALES**

Aprobado por:

Pedro Aqueveque Muñoz
Profesor de Biología, Mg. D.
Profesor Asociado

Profesor Guía

Natalia Valderrama Valdés
Ingeniero Civil en Industria Forestal Mg.
Profesor Asistente

Profesor Asesor

Luis Seminario Salas
Ingeniero en Industrias Alimentarias
Profesor Asistente

Profesor Asesor

Christian Folch Cano
Profesor de Química y Ciencias Naturales. Dr.
Profesor Asociado

Director de Departamento

María Eugenia González
Ingeniero Agrónomo, Ph. D.
Profesor Asociado

Decana

ÍNDICE DE MATERIAS

	Página
RESUMEN	1
SUMMARY	3
1. INTRODUCCIÓN.....	4
2. OBJETIVOS	7
2.1. Objetivo General	7
2.2. Objetivos Específicos	7
3. MARCO TEÓRICO	8
3.1. Historia de los fungicidas	8
3.1.1. Orígenes de los fungicidas	8
3.1.2. Mezcla de burdeos	10
3.1.3. Fungicidas de cobre fijo.....	12
3.1.4. Renacimiento del azufre y caldo sulfocálcico	12
3.1.5. Tratamiento de semillas	13
3.1.6. Mercurio Orgánico	13
3.2. Fungicidas.....	14
3.2.1. Generalidades de los fungicidas	14
3.2.2. Fungicidas de contacto.....	15
3.2.3. Fungicidas sistémicos	21
3.3. Forma de interacción de los fungicidas sintéticos en el hongo	24
3.3.1. Inhibición de la respiración	24
3.3.2. Inhibición de la división celular y mitosis	24
3.3.3. Inhibición de la síntesis de ácidos nucleicos	24
3.3.4. Inhibición de la biosíntesis de aminoácidos y proteínas	25
3.3.5. Inhibición de la biosíntesis de la membrana de la pared celular ..	25

	Página
4. DISCUSIÓN.....	26
4.1. Daños producto del uso de fungicidas sintéticos	26
4.1.1. En el medio ambiente.....	26
4.1.2. A los seres humanos.....	27
4.1.3. Normativas sobre plaguicidas de uso agrícolas en Chile	30
4.1.4. Alternativas naturales	33
5. CONCLUSIONES.....	39
6. LITERATURA CITADA	40

ÍNDICE DE TABLAS

Página

Tabla 1. Fungicidas orgánicos de contacto utilizados en la actualidad.	18
Tabla 2. Fungicidas inorgánicos de contacto utilizados en la actualidad. ...	20
Tabla 3. Fungicidas orgánicos sistémicos, utilizados en la actualidad	22
Tabla 4. Fungicidas orgánicos sistémicos, utilizados en la actualidad.	23
Tabla 5. Fungicidas utilizados en Chile.	32

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

Figura 1. Destino medio ambiental de plaguicidas.	27
Figura 2. Clasificación de plaguicidas según rangos toxicológicos....	29

**FUNGICIDAS SINTÉTICOS UTILIZADOS EN LA AGRICULTURA, LAS
CONSECUENCIAS NEGATIVAS DE SU USO Y ALTERNATIVAS
NATURALES**

SYNTHETIC FUNGICIDES USED IN AGRICULTURE, THE NEGATIVE
CONSEQUENCES OF ITS USE AND NATURAL ALTERNATIVES

Palabras claves: Hongos fitopatógenos, toxicidad, sistémicos, de contacto, control alternativo.

RESUMEN

Los plaguicidas son aquellas sustancias químicas formuladas para controlar, prevenir o erradicar agentes o biotipos que pueden causar un daño en nuestros cultivos o sus productos. Los fungicidas son sustancias que se utilizan como terapia para el control de enfermedades fungosas, al inhibir o eliminar al agente fitopatógeno, debido a su alta capacidad de penetración. En el transcurso del tiempo, investigadores se han enfocado en encontrar la fórmula correcta, para hacer frente a estos organismos que debilitan el crecimiento de las plantas y perjudica la condición de los productos. Mediante la presente investigación se describirán los fungicidas sintéticos utilizados en la agricultura, las consecuencias negativas de su uso y las alternativas naturales, utilizando un estudio exploratorio con una búsqueda de información en fuentes secundarias tales como Tesis de grado, Investigaciones, publicaciones y artículos de divulgación. Destaca la efectividad de los fungicidas, no obstante, los riesgos de intoxicaciones de personas, su evidente daño al medio ambiente

y la aparición de organismos resistentes, hace atractivo el uso de alternativas como el uso de variedades resistentes, aplicación de concentrados de agentes activos de plantas y compuestos antagónicos, alternativas naturales y amigables con el medio ambiente.

SYNTHETIC FUNGICIDES USED IN AGRICULTURE, THE NEGATIVE CONSEQUENCES OF ITS USE AND NATURAL ALTERNATIVES

Key words: Phytopathogenic fungi, toxicity, systemic, contact, alternative control.

SUMMARY

Pesticides are those chemical substances formulated to control, prevent or eradicate agents or biotypes that can cause damage to our crops or their products. Fungicides are substances that are used as a therapy for the control of fungal diseases, by inhibiting or eliminating the phytopathogenic agent, due to its high penetration capacity. Over time, researchers have focused on finding the correct formula to deal with these organisms that weaken plant growth and damage the condition of products. Through this research, synthetic fungicides used in agriculture, the negative consequences of their use and natural alternatives will be described, using an exploratory study with a search for information in secondary sources such as Graduate Thesis, Research, publications and popular articles. The effectiveness of fungicides stands out, despite the risks of poisoning people, their evident damage to the environment and the appearance of resistant organisms, makes the use of alternatives such as the use of resistant varieties, application of concentrates of active plant agent's attractive and antagonistic compounds, natural alternatives and friendly with the environment.

1. INTRODUCCIÓN

Los plaguicidas se definen como aquellas sustancias formuladas solas o en mezcla y se destinan para prevenir, destruir o controlar cualquier plaga. Se utilizan como parte del tratamiento químico preventivo o curativo, que según su acción biológica puede corresponder a bactericidas, herbicidas, bactericidas, nematocidas e insecticidas utilizados para la protección de los cultivos (Latorre, 2004). Entre estos, los fungicidas son sustancias que se utilizan como terapia para controlar enfermedades causadas por hongos, inhibiendo o eliminando al agente fitopatógeno, debido a su alta capacidad de penetración (Ramírez, 2018).

Los hongos a nivel mundial causan enfermedades fitopatógenas de pre y poscosecha en cultivos de importancia agrícola (frutales, hortalizas, cultivos tradicionales, industriales). Ocasiona pérdidas significativas producto del detrimento que estas provocan al crecimiento y desarrollo de las plantas hospedantes (Juárez-Becerra *et al.*, 2010). Por el gran número de especies de hongos existentes, es altamente probable que una especie pueda ser afectada por una enfermedad fungosa, y a su vez un hongo pueda atacar una gran diversidad de plantas (Estada y Ramírez 2019).

Destaca que su ciclo de vida depende de un huésped, aunque tiene la habilidad de sobrevivir en el suelo como saprofito, su daño puede ser local o generalizado y los síntomas generalmente son necrosis, atrofia, hipertrofia,

clorosis y marchitez, con la disminución del vigor y en casos extremos la muerte de la planta (Latorre, 2004).

En las últimas décadas, los productores han utilizado fungicidas sintéticos como herramienta principal, estimando en más de 23 millones de kilos utilizados anualmente en todo el mundo, aceptando que la producción y comercialización de frutas y verduras es posible gracias al uso de fungicidas (Ragsdale y Sisler, 1994).

A pesar de ser necesarios, la utilización de plaguicidas se encuentra en un escenario con normas cada vez más restrictivas. Consumidores exigentes y demandantes de productos inocuos, una mayor información asociada a la toxicología, mediciones de los efectos, exigen una estricta regulación de los plaguicidas, debido a los graves efectos a la salud humana y al medio ambiente (Mangas, 2016).

Este escenario acrecienta la búsqueda de alternativas seguras, con un bajo riesgo a salud de las personas y que sea respetuoso con el medio ambiente. Se han reportado algunos resultados satisfactorios utilizando biocontrol o microorganismos antagonistas como *Coniothyrium minitans*, *Trichoderma hamatum* (Fiume y Fiume, 2005; Rabendran *et al.*, 2006). Se suma el uso de compuestos naturales como el acetaldehído, hexano, jasmonatos, gluconatos, aceites esenciales y extractos de plantas que son utilizados para la mitigación de plagas fúngicas (Tripathi y Dubey, 2004).

Según la información publicada por la Organización Mundial de la Salud, aproximadamente 3 millones de personas se intoxican por exposiciones a plaguicidas en todo el mundo, de las cuales 2 millones fueron por suicidio, 700.000 por intoxicaciones en el trabajo y 300.000 de forma accidental, con 220.000 casos fatales (OMS, 1992). Respecto a las intoxicaciones crónicas, estudios recientes evidencian los efectos dañinos a nivel citogenético, efectos teratogénicos, alteraciones neuroconductuales y cognitivas, efectos endocrinos e inmunológicos en trabajadores agrícolas, temporeros, e hijos de trabajadores agrícolas (Muñoz, 2011).

Las personas se exponen al efecto de los fungicidas por varias vías, a nivel digestivo cuando son ingeridos a través de alimentos contaminados, o por vía respiratoria, ocular o dermal mediante el aire al exponerse directa o indirectamente, siendo necesario conocer los efectos de los fungicidas en la salud (Benítez, 2012).

El imazalil (IMZ), el clorotalonil (CTL) y el carbendazim (CBZ) son ejemplos de fungicidas de amplio espectro usados significativamente en agricultura, detectados en productos vegetales, en el suelo, el agua e incluso en organismos acuáticos (Pinnock *et al.*, 2014).

Considerando lo expuesto, el siguiente documento profundizará en los daños y efectos que pueden provocar en el medio ambiente y en la salud de las personas los fungicidas sintéticos utilizados en la agricultura.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Describir los principales fungicidas sintéticos utilizados en la agricultura, las consecuencias negativas de su uso y las alternativas naturales.

2.2. Objetivos Específicos

- Describir los orígenes y utilidad de los fungicidas sintéticos.
- Describir los daños que producen fungicidas sintéticos en la agricultura, en el medio ambiente y las personas.
- Identificar alternativas naturales para controlar enfermedades fungosas.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Historia de los fungicidas

3.1.1. Orígenes de los fungicidas

Se desconoce la fecha y lugar exacto en donde se utilizó por primera vez un fungicida. Sin embargo, se puede verificar que el antiguo testamento hace referencia a diferentes hongos que provocan enfermedades en las plantas como los tizones, mohos y mildius (Agrios, 1999).

En el siglo VIII a. C., en los poemas de Homero describían entre sus relatos al azufre como agente purificador para eliminar a los hongos (Puerto *et al.*, 2014). Dioscórides, físico griego, durante el primer siglo de la era cristiana, abogó por el uso dermatológico de ungüentos de azufre (Mercant, 2008).

Desde el periodo grecorromano hasta avanzado el siglo XVII, existen diversas referencias que mencionan el uso de materiales extraños y brebajes para poder controlar insectos y hongos en las plantas, destacando el estiércol, la orina de los animales, la cal y uso de cenizas (Agrios, 1999). Los hongos se reconocieron como entidades que causan enfermedades en el año 1087, producto de experimentaciones controladas en trigo. Prevost demostró que “el carbón cubierto” era provocado por un hongo, quien además lo controló con una solución de cobre. Este descubrimiento no se aprovechó hasta los años 1815-1855, por los hermanos Tulasne y De Bary, quienes realizaron estudios sobre la biología de los hongos, descubriendo la naturaleza parasitaria de las royas y los carbones (Collard, 1985).

Respecto a los productos aplicados para controlar los hongos, desde la época de Bary, Pasteur y Horsfall (1956), se conocían seis productos químicos, de los cuales solo se utilizaron como fungicidas el sulfato de cobre (CuSO_4) y el cloruro de zinc (ZnCl_2) (Sánchez-Saldaña, 2005).

Se han intentado incorporar otros compuestos. En 1733 el agricultor inglés Jethro Tull aplicó salmuera a la semilla de trigo y aunque esta se mantenía limpia, no era apta para la molienda, por lo que este tratamiento fue ineficaz. En 1756, Aucante informó el uso con tratamientos de cal, arsénico y bicloruro de mercurio sin resultados positivos en el control de las manchas del trigo (Woolman y Humphrey, 1924).

Tillet en 1755 realizó un experimento sobre las causas que provoca el tizón en los granos de trigo, sembrando en diferentes parcelas semillas que contenían carbón del trigo. Algunas las trató con cal, considerando que las esporas eran conductoras de la enfermedad (Azcárate y Maldonado, 1992).

En 1761, Schulthess utilizó por primera vez el sulfato de cobre como terapia para enfermedades fúngicas, trabajo validado más tarde por Kuhun, quien utilizó el sulfato de cobre como un fungicida efectivo para semillas (Woolman y Humphrey, 1924).

Aunque Prévost evaluó la viabilidad de esporas del hongo Tizon expuesta a diferentes concentraciones de sulfato de cobre, fue Kuhun en 1866 el pionero en recomendar de forma práctica y específica para el control del moho

inmersión de semillas al 0,5% de sulfato de cobre del grano durante 12 a 14 horas (Agrios, 1999).

Al pasar el tiempo surgieron productos innovadores. A principios del siglo XIX, se utilizó por primera vez el caldo sulfocálcico, producto obtenido del tratamiento térmico de la mezcla de azufre y cal, con acción fungicida utilizado para controlar *Botrytis cinerea* (Montag *et al.*, 2005).

Los primeros reportes sobre el uso del azufre datan de 1834 para controlar el enrollamiento de las hojas del durazno y en 1946 el oídio en viñedos

Duchatel en 1850 demostró que el azufre en polvo se podía aplicar a las hojas de vid humedecidas con rocío.

A mediados del siglo XIX el azufre, es considerado un fungicida aplicable solo o en mezcla como caldo sulfocálcico en árboles frutales, vides y cultivos para controlar el oídio y el enrollamiento foliar en duraznero, mientras que el sulfato de cobre fue utilizado para controlar el carbón volador (*Ustilago tritici*) (Agrios, 1999).

3.1.2. Mezcla de burdeos

Alrededor de 1870 se introdujo en un cargamento de patrones resistente a *Phylloxera*, el hongo responsable del Mildiú de la vid (*Plasmopara vitícola*) desde Estados Unidos a Francia, provocando grandes pérdidas (Martínez, 2018). El profesor de la Universidad de Bordeaux, Pierre Millardet observó y experimentó en 1885 las propiedades fungicidas del sulfato de cobre mezclado con cal apagada (Roca *et al.*, 2017). Tres años más tarde se descubrió una

mezcla satisfactoria, el Caldo Bordelés, este proceso se mejoró con una formulación compuesta de 1 kilo de sulfato de cobre y 1 kilo de óxido de calcio mezclado en 100 litros de agua (proporción 1:1:100) extendida que salvó a la industria de vinos en Francia (Millardet y Gayon, 1887). Para muchos el Caldo Bordelés es considerado el primer plaguicida preparado, de amplio espectro utilizado para controlar enfermedades fungosas en frutales, como la cloca en duraznero, cáncer en manzano, cáncer bacterial en cerezo, peste negra en nogal y mildiu en vides, su acción es preventiva (Cruz, 2004).

En la línea de los tratamientos para controlar hongos en la madera, destacó el método de Bouchiere, que consistía en tratar los postes del sistema de conducción de vides con sulfato de cobre, disminuyendo la incidencia de moho y conservando así la madera (Recalde, 2019).

Desde la época de Millardet hasta 1958, el Caldo Bórdales era considerado un fungicida universal, situación que se mantuvo hasta la introducción de los fungicidas de cobre fijo. A continuación, en España surgió el Eau Celeste, y en Delaware el carbonato de cobre disuelto en solución de Carbonato de amonio como nueva mezcla de Burdeos recomendada para el control de *Botrytis cinerea*. A pesar de la preparación del Caldo Bordelés empleado con otras fórmulas, el ingrediente activo de sulfato de cobre y calcio ha permanecido inalterable.

3.1.3. Fungicidas de cobre fijo

Debido a que algunas formulaciones de Caldo Bordelés perjudicaban el follaje de muchas plantas, generó el interés por crear una forma menos tóxica de Cu, surgiendo los fungicidas de cobre fijo. Estos compuestos destacan del caldo bordelés al ser compatibles con la generalidad de los agroquímicos, tienen un pH neutro, se formulan con adherentes, humectantes y su contenido de cobre es mayor (50 al 53 % de cobre por kilo). Son utilizados frecuentemente en cultivos y estados fenológicos sin riesgo de fitotoxicidad, ya que tiene mayor adherencia en las plantas tratadas y su menor tamaño de partícula hace que las dosis a aplicar sean menores (Navarrete, 2005).

Dentro de estos destacan: Sulfato de tetramin cúprico - Oleato de cobre - Oxido cuproso - Sulfato tribásico de cobre - Oxiclорuro de cobre - Hidróxido cúprico - Quinoleato de cobre - Acetoarceñiato de cobre (Latorre, 2004).

3.1.4. Renacimiento del azufre y caldo sulfocálcico

El caldo sulfocálcico introducido en California se aplicó con éxito en la lucha contra el "Sellado de San José" en los duraznos, utilizándose en 1880 como un spray para controlar el enrollamiento de hojas de duraznos (Agrios, 1999). En 1902 se descubrió un caldo sulfocálcico diluido usado con seguridad en aplicaciones estivales para sarna de manzana (*Venturia inaequalis*). Por consiguiente, el caldo sulfocálcico sustituyó la mezcla de burdeos en frutales y cultivos (Whetzel, 1918). Poco después, Farley en 1923 en Nueva Jersey sacó la cal de la mezcla seca, probando una preparación de azufre mojable

por la adición de cal hidratada y caseinato de calcio, descubriendo los fungicidas de azufre humectables (Sabino *et al.*, 2007).

3.1.5. Tratamiento de semillas

El formaldehído en una solución al 40% conocida como formalina, desarrolla por Bolley en 1897 como un tratamiento aplicado a las semillas para evitar la mancha de trigo (*Triticum aestivum*). Este método se aplicó en forma estándar en las semillas durante muchos años; sin embargo, implicó mojar y luego secar las semillas, un procedimiento desordenado que Darnell-Smith en 1915 en Australia mejoró utilizando un polvo de carbonato de cobre seco (Covacevich, 2003).

3.1.6. Mercurio Orgánico

El primer tratamiento de semillas con mercurio orgánico fue realizado por Riehm durante 1913 en Alemania, utilizando sales orgánicas de mercurio como fungicidas (Ferreira *et al.*, 2010).

Los tratamientos formulados con mercurio orgánico en semillas iban a ser de uso estándar, hasta que apareció el ditiocarbamato y otros compuestos orgánicos, donde se reportaron casos de graves intoxicaciones asociadas a este compuesto (PNUMA, 2005).

3.2. Fungicidas

3.2.1. Generalidades de los fungicidas

Los fungicidas son plaguicidas formulados por sustancias o materias activas que actúan sobre las funciones vitales de los hongos, que producen enfermedades en los cultivos, y se utilizan para poder prevenir, controlar y erradicar enfermedades causadas por hongos (Vásquez, 2013).

La fungitoxicidad, se refiere a la letalidad producto de la interferencia que ejerce un fungicida sobre un proceso enzimático indispensable del hongo. Esta sensibilidad de un hongo a un fungicida de un plaguicida o concentración de un fungicida es aquella que mide el crecimiento y produce la muerte del hongo (Carbonero y García, 1975). Esta se mide a través de la concentración inhibitoria (CI50), la cual cuando tiende a valores mayores debido al uso repetido de un fungicida producto de estrategias de control de un patógeno, lo que es índice de insensibilidad del hongo a un fungicida o resistencias (Reis *et al.*, 2010).

Los fungicidas selectivos no fitotóxicos deben actuar sobre los sistemas enzimáticos del patógeno y no sobre la planta huésped. Otros actúan alterando la estructura celular por una acción físico-química selectiva sobre la membrana de los hongos (Rodríguez-Pedroso *et al.*, 2011). Así, algunos fungicidas que tienen la estructura molecular típica de los tensoactivos alteran la permeabilidad de la membrana celular, lo que produce una degradación de la estructura de la célula (Ávila, 2010). Los procesos relacionados a los

metabolismos energéticos sobre todo inhiben la respiración mitocondrial, y la producción de ATP por varios fungicidas. (Beltrán-García *et al.*, 2006).

Otro mecanismo de los fungicidas implica inhibir las células pépticas del hongo, las cuales son necesarias para causar la infección en los tejidos de la planta. Se sabe que la resistencia natural de muchas especies vegetales frente a hongos patógenos se debe a la presencia en ella de inhibidores de enzimas pectolíticas, y que la abundancia de calcio capaz de formar pectato cálcico insoluble aumenta la resistencia. Otros fungicidas lo que hacen inhibir la biosíntesis de algún metabolito indispensable para el desarrollo de los hongos (Rodríguez y Prado, 2005).

Los hongos causan alrededor del 75% de enfermedades en las plantas y cada especie de plantas está sujeta al menos a una enfermedad fungosa, en ocasiones, entre 10 a 50 especies de hongos diferentes pueden infestar a un huésped. Casi todas las enfermedades de las plantas pueden ser controladas con el uso de fungicidas. Este tipo de agroquímicos diseñados para combatir diversos tipos de patologías causadas por hongos, se pueden clasificar según su localización en fungicidas de contacto y sistémicos (Ávila, 2010)

3.2.2. Fungicidas de contacto

Los fungicidas de contacto son plaguicidas que una vez aplicados no penetran los tejidos vasculares de la planta, inhiben la germinación de esporas y la penetración en los tejidos del huésped. La mayoría de estos productos son directamente fitotóxicos y ejercen una acción local, desprotegiendo los

órganos con posterioridad al tratamiento (Lagunas, 2014). Se clasifican según su mecanismo de acción o la forma que el producto ataca al hongo. Estos serán unisitio, los cuales tienen un lugar de acción específico o un solo sitio de acción en célula fúngica o célula en una sola estructura (Agrovoy,2019), donde pueden surgir resistencias de los hongos al fungicida. Los multisitio son fungicidas que tienen múltiples sitios de acción en la célula fúngica (Agrovoy,2019), para así atacar simultáneamente diferentes estructuras enzimáticas de la célula fúngica, mecanismo que puede manejar la resistencia de los hongos a los fungicidas.

Las ftalamidas son compuestos derivados del ácido ftálico, muy utilizados por su gran eficacia y baja toxicidad para animales. Reaccionan con grupos-tiol desnaturalizando proteínas y provocando la muerte del hongo (Mansilla, 2017).

Los dialquilditiocarbamatos son moléculas que inhiben el sistema enzimático esencial en la cadena respiratoria; los dimetilditiocarbamatos que contienen cobre, permiten la penetración en el hongo inhibiendo las enzimas de radical metálico y sulfhidrúlicas interfiriendo la respiración. Por último, los etilen-bisditiocarbamato inhiben las enzimas sulfhidrúlicas e impiden la respiración (Gepp y Mondino, 2011). Estos se formulan como: sal sódica (Nabam), complejo con manganeso (Maneb), complejo con zinc (Zineb), o mezcla de complejos zinc y manganeso (Mancozeb), que actúan desnaturalizando proteínas del hongo y generando su muerte (Carbonero y García, 1975).

Los fungicidas orgánicos de contacto y sus respectivos grupos químicos controlan en mayor proporción a organismos fitopatógenos como *B. cinerea*, *Phytophthora infestans* y *Alternaria spp.* (Molina *et al.*, 2006). Se puede apreciar que mayormente son altamente tóxicos y altamente tóxicos (Tabla 1), con excepción de los aceites (Monoterpenos Monocíclicos) y Quinonas (Diatinon). Los daños provocados en su mayoría son en medios acuáticos, se recomienda no verter o aplicar cerca de cuerpos de agua.

Tabla 1. Fungicidas orgánicos de contacto utilizados en la actualidad.

Grupo Químico y Compuesto	Organismos afectados	Daños que provocan	Nombre Comercial
Activo			
Estañados (Trifenil Hidróxido de estaño y el Trifenil acetato de Estaño)	<i>P. infestans</i> , <i>Alternaria spp.</i> , <i>Helminthosporium spp.</i> , <i>Cercospora beticola</i> , <i>Ramularia spp.</i> , <i>Glomerella cingulata</i> , <i>P. grisea</i>	Es extremadamente tóxico para anélidos e insectos y altamente tóxico para anfibios. Su toxicidad varía de alta a extremada para peces, moluscos y zooplancton y de 20% ligera a moderada para crustáceos. Este compuesto actúa como disruptor endocrino.	Brest 500 S.C., Duter
Ditiocarbamatos (Etilen - bis ditio carbamato, Tiram tetrametil, dimetil- ditiocarbamatos, disulfuro polietilentioramina y zinc, propilen-bisditiocarbamato)	<i>Phytophthora infestans</i> , <i>Botrytis cinérea</i> , <i>Alternaria spp.</i> de	Tóxicos para peces, para personas y son contaminantes de aguas superficiales, aguas subterráneas y de Alcantarillado.	Mancozeb, Manev, Zineb , Metiram, Tiuram, Ferbam Zuram, Propineb. Fungizeb
Aceites (Monoterpenos Monocíclicos)	<i>Erysiphales betae</i> , <i>Erysiphe necator</i> , <i>Botrytis cinerea</i> , <i>Aspergillus niger</i> , <i>Penicillium expansum</i> , <i>Cladosporium herbarum</i> , <i>Rhizopus stolonifer</i> .	Ligeramente tóxicos para peces. Moderada toxicidad en ambiente acuático. Ligeramente tóxico en humanos. Contaminante en cursos de agua.	Trimorex Gold, Kemushi
Ftalimida (Captan, Folpet)	<i>Botrytis cinerea</i> , <i>Plasmopara viticola</i> , <i>Monilla laxa</i> , <i>Wilsonomyces carpophilus</i> , <i>Venturia inaequalis</i> , <i>Venturia pirina</i> , <i>Phytophthora citrophthora</i> ,	Altamente contaminante en cursos de agua. Tóxico para peces. No es tóxico para aves y abejas. Ligeramente tóxico en humanos.	Captan, Folpet.50%, Captafol
Quinonas (Diatinon)	<i>Venturia inaequalis</i>	No tóxico para aves y abejas. Tóxico para peces, Contaminantes en cursos de agua.	Delan WG
Cloronitrilo (Clorotalonilo)	<i>Phytophthora infestans</i> Al, <i>Botrytis cinérea</i> , <i>Alternaria alternata</i> , <i>Monilla laxa</i> , <i>Monillia fructicola</i> , <i>Botrytis cinérea</i> .	Tóxico para peces y organismos acuáticos. No es tóxico para las abejas. No tóxico para las aves. Ligeramente tóxico en humanos.	Clorotalonil 720, Clorotalonil 50% SC.
Sulfamidas (Diclofluanida)	<i>Septoria spp.</i> , <i>Mucosphaerella spp.</i> , <i>oidius mildius</i>	Tóxico para mamíferos. Alta toxicidad en peces y organismos acuáticos. Ligera toxicidad en aves, abejas y lombrices.	Euparen
Quinolininas (Quinoxifeno)	<i>Oidio</i>	Tóxico para invertebrados acuáticos. No tóxico para peces, aves y abejas.	Quintec
Dicarboximidinas (Iprodione, Procimidone, Vinclozolin, Clozolate, Diclozoline)	<i>Botrytis cinerea</i> , <i>Monilla laxa</i> , <i>Penicillium spp</i> , <i>Alternaria solani</i> .	Ligeramente tóxico para humanos y animales. No es considerado un fungicida fitotóxico, es recomendable no aplicar cerca de algún cuerpo de agua.	Iprodione 50 WP, Procimidone, Vinclozolin, Clozolate, Diclozoline.

Fuente: Servicio Agrícola y Ganadero, 2020.

Respecto a los fungicidas de contacto inorgánicos, destaca el uso de azufre para prevenir enfermedades de hongos epifitos. Mientras que los fungicidas desarrollados a partir de sulfato de cobre se utilizan para combatir hongos endófitos, en donde el ion cúprico penetra la espora alterando el metabolismo, sustituyendo así metales de metaloenzimas e inactivándolas (Mansilla, 2017). Controlan principalmente a organismos como *Uniciluna necátor*, *Venturia inaequalis*, *B. cinerea*, *Rhizopus ssp*, entre otros. Los daños producidos por este tipo de fungicidas son principalmente producidos en los cuerpos de agua altamente tóxicos para peces. Se recomienda utilizar este tipo de fungicidas con debida protección personal por la toxicidad que puede producir al contacto, como muestra la tabla N°2.

Tabla 2. Fungicidas inorgánicos de contacto utilizados en la actualidad.

Grupo Químico y Compuesto Activo	organismos afectados	Daños que provocan	Nombre Comercial
Azufrados (azufre, polisulfuro de calcio, sulfuro de magnesio).	<i>Uncinula necator</i> , <i>Pseudoperonospora cubensis</i> , <i>Venturia inaequalis</i> .	Altamente contaminantes en cuerpos de agua. Por otra parte, la exposición de las personas al momento de utilizar este fungicida es altamente peligrosa, por esto se recomienda utilizar un debido equipo de protección personal para evitar contacto con el químico.	Acoidal Flo, Acoidal WG, Azufre Floable AN 600, Azufre Landia 350 Extra, Azufre Landia Aereo, Azufre Mojable WP.
Cúpricos (oxicloruro de cobre, hidróxido de cobre, sulfato de cobre, caldo de bordelés).	<i>Pseudomonas syringae pv.syringae</i> , <i>Brotytis cinerea</i> , <i>Corineum beijerinckii</i> , <i>Taphrina deformans</i> , <i>Erysipthe necator</i> , <i>Rhizopus spp</i> , <i>Aspergillusniger</i> , <i>Cladosporium spp</i> .	Altamente tóxicos para peces y organismos acuáticos. Medianamente toxico para aves. Potencialmente toxico para abejas. Contaminante de aguas subterráneas, superficiales y alcantarillado. ligeramente toxico en humanos.	Agrocopper SP, Biocopper 56, Citrus Cobre, Cobre Premium, Cupro Bodoles Agropec, Coprodul WG, Cusdust Plus.

Fuente: Servicio Agrícola y Ganadero, 2020.

3.2.3. Fungicidas sistémicos

Los fungicidas sistémicos tienen acción preventiva y curativa, penetran los tejidos de las plantas a través de raíces y hojas (Latorre, 2004). Una vez son adsorbidos en el interior de la planta, son trasladados a través del sistema vascular y movilizado internamente por diversos órganos. Los ingredientes activos actúan sobre sitios específicos de las células del hongo, induciendo la formación de razas resistentes si se aplican con mucha frecuencia (Ayala *et al.*, 2014).

Los fungicidas sistémicos no solo protegen de los ataques fúngicos, sino que también curan o inhiben una infección establecida. Son una excelente herramienta de control, atacando al patógeno de manera específica, lo cual reduce el riesgo de contaminación por la frecuente aplicación de plaguicidas.

Los fungicidas sistémicos son de origen orgánico, empleados para controlar *Pyricularia grisea*, *Rhizoctonia solani*, *B. cinerea*, *Rhynchosporium secalis*, entre otros. Dentro de los daños producidos principalmente se asocia a su alta toxicidad en organismos acuáticos y altamente contaminantes en cuerpos de agua como se puede observar en la tabla N°3.

Tabla 3. Fungicidas orgánicos sistémicos, utilizados en la actualidad

Grupo Químico y Compuesto Activo.	Organismos afectados	Daños que provocan	Nombre Comercial
Metil bencimidazol carbamatos (bencimidazoles, metil tiofanato, tiofanato, carbendazimas)	<i>Botrytis cinerea, Fusarium spp, Rhizoctonia solani, Helminthosporium solani, Penicillium spp, Sclerotinia spp.</i>	No es toxico para aves y abejas. Altamente toxico para peces. Ligeramente toxico en humanos. Contaminantes en cuerpos de agua.	Tecto 500SC , BemomyI 50% WP Polyben 50 WP.
Inhibidores de la biosíntesis del ergosterol (IBE). (triazoles, imidazoles, Pirimidinas, Piperazina)	<i>Uncinula necator, Venturia spp, Podosphaera leucotricha, Mycosphaerella graminicola, Septoria triticc, Rhynchosporium secalis.</i>	No es toxico para aves y abejas. Altamente tóxico en peces. Ligeramente toxico para humanos. Contaminantes en cuerpos de agua.	Baytan 150 FS, Trifmine 30 WP,
Estrobilurinas (azoxystrobin, kresoximil - metil, trifloxistrobin)	<i>Drechslera teres, Puccinia coronata, Puccinia hordei, Rhynchosporium secalis, Puccinia sorghi, Colletotrichum graminicola, Uromyces appendiculatus.</i>	Moderadamente tóxico para peces. Muy tóxico para organismos acuáticos. Moderadamente toxio para aves. No toxico para abejas. Ligeramente toxico para humanos. Contaminantes en cuerpos de agua.	Amistar XTRA
Guanidinas (Dodina)	<i>Venturia inaequalis, Venturia pyrina, Taphrina deformans, Spilocaea oleaginea, Pseudomonas syringae pv. Suringar.</i>	Ligeramente toxico en humanos, toxico para peces. Baja toxicidad para aves. No toxico para abejas.	Syllit 400 SC, Efuz+C5:F9ine 65 WP, Consul 65 WP, Dodine 65WP.
Anilino pirimidinas (Pirimetaniolo, Ciprodinilo, fludioxinilo)	<i>Botrytis Cinerea, Penicillium spp, Penicillium expansum, Neofabrea alba.</i>	Moderadamente tóxico a peces, tóxico para otros organismos acuáticos. No tóxico para aves y abejas.	BonnuS 400 SC, Pyrepost 400 SC, Inspire Super, Pyriclan 400 SC.
Antibióticos que inhiben la síntesis de proteínas. (Blasticidin S Kasugamicina)	<i>Pyricularia grisea</i>	-----	-----

Fuente: Servicio Agrícola y Ganadero, 2020.

Tabla 4. Fungicidas orgánicos sistémicos, utilizados en la actualidad.

Grupo Químico y Compuesto Activo.	Organismos afectados	Daños que provocan	Nombre Comercial
Inhibidores de la síntesis de fosfatidilcolina edinfenfos, iprobenfos: inhibidores de la síntesis de fosfatidilinositol: validamicina A)	<i>Pyricularia grisea, Rhizoctonia solani</i>	-----	-----
Hidroxianilidas (Fenhexamida)	<i>B. cinerea.</i>	No toxico para aves. Moderadamente toxico para peces y organismos acuáticos. No toxico para abejas. Modernamente toxico para humanos.	Fenhexamid 500SC
Inhibidores de biosíntesis de melaninas	<i>Pyricularia grisea, Colletotrichum lagenarium, S. lindemuthianum, Triciclazol, piroquilon, KTU 3616</i>	-----	-----
Fungicidas que inhiben la respiración afectando la fosforilación oxidativa. (nitrofenol)	<i>Uncinula necator, damping-off, Pythium, oidios, Fusarium, Botrytis, Alternaria, Colletotrichum, Phytophthora.</i>	-----	-----
Inhibidores de la respiración en el complejo II. (carboximidaz, Thiazolcarbanilidas)	<i>Rhizoctonia (Corticium), Puccinia, Tilletia, Ustilago, Helminthosporium, Rhizoctonia, Ustilago, Sphaerotheca reillians y Tilletia caries</i>	-----	-----
Oxazolidindiona	<i>P. viticola, P. infestans, A. solani, Puccinia, Septoria, P. teres</i>	-----	-----
Tiazinas (Atriazina)	<i>Alternaria solani, Botrytis cinerea</i>	Ligeramente tóxico para peces, moderadamente tóxico para microcrustáceos acuáticos. Ligeramente tóxico para aves y abejas.	Anilazina

Fuente: Servicio Agrícola y Ganadero, 2020.

3.3. Forma de interacción de los fungicidas sintéticos en el hongo

Entre los modos de acción de los fungicidas de acción con sitios específicos, los principales procesos fisiológicos que se ven afectados son:

3.3.1. Inhibición de la respiración

Podemos mencionar dos familias de químicos, como lo son: Las carboxamidas, las cuales afectan el proceso respiratorio del hongo, impidiendo la germinación de esporas, y las estrobilurinas, que actúan inhibiendo el transporte mitocondrial de electrones. Además, a estas últimas se le consideran inhibidores colaterales de la quinona, mientras que las carboxamidas inhiben a la enzima succinato deshidrogenasa (MaCallan, 1967).

3.3.2. Inhibición de la división celular y mitosis

La tubulina es una molécula importante en la formación y segregación de cromosomas en la división celular; se ve afectada, lo que altera la mitosis en su metafase. El huso acromático es distorsionado y la separación del núcleo es suspendida causando la muerte de la célula fungosa. Incluye la familia química de los Bencimidazoles, N-fenil carbatos, benzamidas y las fenilureas (Mansilla, 2017).

3.3.3. Inhibición de la síntesis de ácidos nucleicos

Afectan la síntesis de ARN y ADN, reduciendo la producción de encimas como: la ARN polimerasa y la ADN topoimerasa. Incluye la familia de fenilamidas pirimidias y ácidos carboxílicos (Calvo, 2017).

3.3.4. Inhibición de la biosíntesis de aminoácidos y proteínas

Actúan inhibiendo la biosíntesis de la metionina y la secreción de enzimas hidrolíticas. Incluyen anilino pirimidias y antibióticos (MaCallan, 1967).

3.3.5. Inhibición de la biosíntesis de la membrana de la pared celular

Estos productos alteran la biosíntesis de esteroides, impidiendo que los hongos crezcan por alteración de la permeabilidad de la membrana. Los más importantes son los triazoles, compuestos por un heterociclo con 5 eslabones y 3 átomos de nitrógeno, uno de los cuales se une a un carbono (Thompson, 2002).

A este grupo también pertenecen los imidazoles, las pirimidinas complejas, las piperazinas, morfollinas y guanidinas que tienen un carácter surfactante, se pueden repartir en una interfase agua- lipido y generan una emulsión, alterando la integridad de la membrana y afectando su selectividad (Mansilla, 2017).

4. DISCUSIÓN

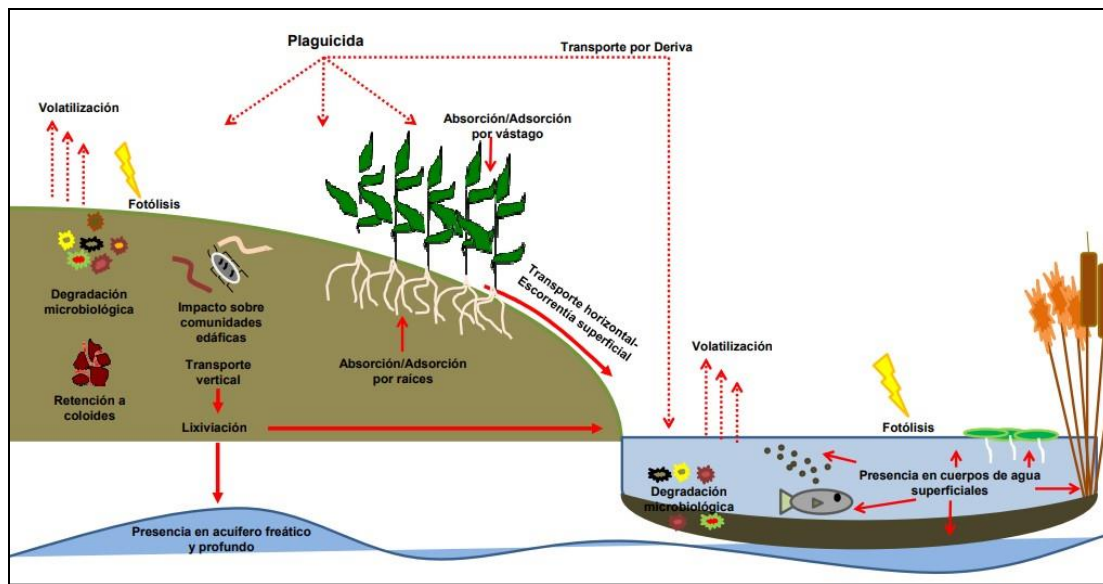
4.1. Daños producto del uso de fungicidas sintéticos

4.1.1. En el medio ambiente

La contaminación ambiental ocurre por aplicaciones directas de fungicidas en los cultivos agrícolas, lavado incorrecto de tanques contenedores, filtraciones en los depósitos de almacenamiento y residuos peligrosos arrojados al suelo, derrames accidentales no contenidos, uso inadecuado de envases empleados para contener agua y alimentos dispersando los residuos peligrosos en el ambiente, que se transforman en contaminantes bióticos y abióticos (Puerto *et al.*, 2014).

Al ser introducidos en el medio ambiente puede seguir diversos caminos, tales como: atmósfera, suelo y agua, pudiendo intercambiarse de un sistema a otro formando un ciclo (Sanhueza, 2010).

La aplicación de plaguicidas sobre el medio ambiente tiene diversos destinos por la aplicación directa o deriva. Puede ser absorbido por los vástagos de plantas y ser transportado verticalmente en el suelo, impactando en los microorganismos del suelo (Figura 1). También puede transportarse horizontalmente por la escorrentía superficial, provocando contaminación en cuerpos de agua superficiales y los seres vivos, llegando a acuíferos freáticos profundos. Al mismo tiempo, la absorción y adsorción de estos plaguicidas por las raíces terminan en acuíferos subterráneos, volatilizándose hacia la atmósfera (Aparicio *et al.*, 2015).



Fuente: Aparicio *et al.*, 2015.

Figura 1. Destino medio ambiental de plaguicidas.

4.1.2. A los seres humanos

El medio ambiente es la principal fuente de exposición a plaguicidas, seguida de la laboral, los cuales formulan, manufacturan, mezclan, transportan, cargan, almacenan o aplican plaguicidas (Lobos, 2018) . Las aplicaciones de plaguicidas son causa de intoxicaciones agudas, además de los trabajadores encargados de aplicar plaguicidas, a aquellos que ven afectados indirectamente por los efectos de la deriva, tales como los trabajadores de temporada (MINSAL, 2014). La probabilidad de sufrir intoxicaciones agudas se suma a las accidentales, que involucra a familias rurales que viven en zonas próximas a una aplicación y que se exponen a los efectos de la deriva en casas, hospitales, colegios u otras zonas sensibles que pueden ver implicados

a niños que viven secano a una unidad productiva que aplica plaguicidas (Mangas, 2016).

La población general que no se encuentra en la zona de aplicación también está expuesta a estos productos, al consumir alimentos que contienen niveles residuales de los alimentos y el agua que ingieren (OMS, 2018). Los plaguicidas entran en contacto con el ser humano a través de las vías de exposición: dérmica, respiratoria, digestiva y ocular, los cuales pueden encontrarse en el aire inhalado, en el agua, en los alimentos y otros medios en donde pueden encontrarse residuos (Puerto *et al.*, 2014).

Los plaguicidas pueden causar toxicidades agudas y crónicas en la salud. Se entiende por agudas a las asociadas a una exposición de corto plazo con efectos sistémicos o localizados y síntomas leves hasta 24 horas de la exposición, que va desde cefaleas y dermatitis hasta aquellos más graves como la pérdida de conciencia y estado de coma (Benítez, 2012).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) establece categorías de clasificación de los plaguicidas, según su toxicidad aguda oral (por ingestión) y/o dermal. Se considera el valor del DL 50 o Dosis Letal Media expresada en mg o ml / kg necesarios para causar la muerte al 50% de ratas en pruebas de laboratorio, para fijar los niveles de riesgo y clasificaciones de peligro que conlleva cada plaguicida en particular (Pina, 2012).

CLASIFICACIÓN DE LA OMS SEGÚN LOS RIESGOS	CLASIFICACIÓN DE PELIGRO	BANDA
Ia Sumamente Peligroso	MUY TÓXICO	
Ib Muy Peligroso	TÓXICO	
II Moderadamente Peligroso	NOCIVO	
III Poco Peligroso	CUIDADO	
IV Producto que normalmente no ofrece peligro		

Figura 2. Clasificación de plaguicidas según rangos toxicológicos.

Los diversos plaguicidas empleados a modo de fungicidas en variables niveles de toxicidad aguda, como el Fenil Mercurio 20-50 mg/kg (Etiqueta roja); Pentaclorofenol 300-500 mg/kg; Sales de CU 500-1000 mg/kg y Ditlocarbamatos >1000 mg/kg (Ferrer, 2003).

Por su parte la toxicidad crónica es la propiedad que posee una sustancia de causar daños a largo plazo, y que se manifiestan producto de una exposición simple o repetida por su uso extendido. Los efectos crónicos de los fungicidas pueden ser neurológicos (daño al sistema nervioso), mutagénicos (daño al material genético transmitido a futuras generaciones), cancerígenos (que pueden causar cáncer), en el sistema reproductor (femenino/masculino) y teratogénicos (daño al embrión /feto). La evidencia indica que el mayor riesgo a los efectos crónicos es producto de inadecuadas aplicaciones o exposiciones durante muchos años (Tellerias y Paris 2008).

4.1.3. Normativas sobre plaguicidas de uso agrícolas en Chile

El decreto de Ley N° 3557 de 1980, del Ministerio De Agricultura establece que la facultad en Chile sobre los plaguicidas de uso agrícola correspondiente al Servicio Agrícola y Ganadero (SAG).

El SAG es el encargado en Chile asignar un número de registro a los plaguicidas agrícolas que están autorizados para utilizarse en dicho país. Este mismo organismo, basándose en el marco legal establecido, debe desarrollar como acción permanente la revisión, mantención y actualización de su normativa, tomando como referencia los Convenios Internacionales suscritos por el Estado de Chile (Agenda Química Internacional), las disposiciones del Código Internacional de Conducta sobre Distribución y Uso de Plaguicidas de la FAO, los acuerdos de armonización regional del grupo de trabajo del Comité de Sanidad Vegetal del Cono Sur (COSAVE), así como de todas las experiencias validadas en el ámbito internacional destinado a fortalecer el control de estos productos (SAG, 2010).

Los plaguicidas de uso agrícola pueden ser insumos útiles que mejorar la productividad de los cultivos, pero en la medida que no se utilicen adecuadamente, pueden provocar efectos negativos en el medio ambiente, en dichos cultivos y en la salud de las personas (ODEPA, 2016).

Todo Plaguicida de Uso Agrícola que se importe, fabrique, exporte, distribuya, venda, comercialice o aplique en Chile, debe estar autorizado por el SAG, junto a su previa evaluación de los antecedentes y documentos establecidos en la normativa nacional para autorizar plaguicidas, relacionado con información

toxicológica, ecotoxicológica, medioambiental, residualidad, entre otros. En la tabla N°4 se muestra algunos fungicidas comercializados en Chile con sus respectivos grupos químicos, empresas que fabrican o los distribuye.

Tabla 5. Fungicidas utilizados en Chile.

Fungicidas utilizados en Chile	Grupo químico	Fabricante / distribuidor
Acoidal Flo	Azufre	Quimetal Industrial S.A
Acoidal WG	Azufre	Quimetal Industrial S.A
Agrocopper SP	Sulfato de cobre pentahidratado	Cia Minera San Geronimo
Azufre Floable AN 600	Azufre	Quimetal industrial S.A/ ANASAC
Azufre Landia 350 Extra	Azufre	Quimetal industrial S.A
Azufre Landia aereo	Azufre	Quimetal industrial S.A
Azufre Polan 800	Azufre	Vesangel S.A. Chile y Cia. Ltda.
Azufre mojable WP	Azufre	Agrogestión Vitra Ltda.
Azufre Ventilado Champion 350	Azufre (DP)	Agrogestión Vitra Ltda.
Azufre Ventilado Monte Urkabe	Azufre	Quimetal Industrial S.A.
Biocopper 56	Sulfato de cobre pentahidratado	Cytozyme Laboratories Inc. Adama Chile S.A.
Caldo Bordelés Valle	Sulfato Cuprocálcico	Industrias Químicas del Valle S.A. / IQV CHILE SPA / Nutrien AG Solution Chile S.A.
Super S WP *	Azufre	New Tech Agro S.A
Thiolux	Azufre (polvo mojable)	Quimetal Industrial S.A.
Thiolux WG	Azufre (granulado dispersable)	Quimetal Industrial S.A.
Tifi Polvo	Trichoderma atroviride Cepa MUCL45632	Agrotecnologías Naturales S.L. (ATENS) / Bioquímica de Productos Naturales Ltda. - In-Pacta SpA
Timorex Gold	Aceite esencial del Árbol del Té (Terpinen-4ol/ γ-Terpineno)	Biomor Israel Ltd./ Stockton Chile Ltda.
Viti-Cup	Hidróxido de Cobre, oxiclورو de cobre	Quimetal Industrial S.A
Rovral 5.5% Dust *	Iprodiona / Azufre /Dicarboximida	FMC Quimica Chile Ltda / Bayer CropScience
Iprodion flo*	Iprodiona /Dicarboximida	AGROSPEC S.A.

(*) Fungicidas con venta restringida por su alta peligrosidad.

Fuente. Servicio Agrícola y ganadero, 2020.

Dentro de las principales empresas fabricantes y distribuidoras de fungicidas dentro de Chile tenemos: Agrospec S.A., Bayer CropScience, Quimetal Industrial S.A., entre otros. Existen tres fungicidas con venta prohibida que su composición principalmente a base de Iprodiona, Azufre y Dicarboximida.

4.1.4. Alternativas naturales

El uso de plaguicidas para controlar hongos y pudriciones en productos como frutas, hortalizas, cereales, cultivos industriales, se realiza mediante aplicaciones de fungicidas, práctica común pero restringida, debido a los efectos que provoca en la salud del ser humano, su influencia en la contaminación ambiental, así como a la resistencia de los microorganismos patógenos a los fungicidas sintéticos (Guédez *et al.*, 2010).

Las alternativas diferentes al control químico son misceláneos y múltiples, destacando el control biológico, uso de extractos vegetales y sales minerales (Hernández-Luzardo *et al.* 2007).

4.1.4.1. Hongos entomopatógenos

El control biológico se realiza con microorganismos antagonistas como bacterias, levaduras y hongos filamentosos. Se utilizada para el control pudriciones postcosecha producidas por hongos como *Penicillium digitatum* y *Penicillium italicum* (Infante *et al.*, 2009).

Entre los hongos más usados está *Trichoderma spp.*, organismo anaeróbico que vive en el suelo que entre sus características destaca su comportamiento saprófito, habita en todas las latitudes, descompone rápidamente la materia

orgánica y tiene una gran capacidad micoparasítica para controlar biológicamente a hongos tales como *Fusarium oxysporum* sp. cubense, *Fusarium roseum*, *Botrytis cinerea*, *Rhizoctonia solani*, *Sclerotium rolfsii*, *Sclerotinia spp.*, *Pythium spp.*, *Phytophthora spp.*, *Alternaria spp.*, entre otros (Infante *et al.*, 2009). Entre las especies que más destacan, están *T. harzianum*, *T. viride*, *T. koningii*, y *T. hamatum*, cuyo éxito se atribuye a su alta capacidad competitiva, y la habilidad para sobrevivir bajo condiciones ambientales desfavorables, una alta eficiencia en la utilización de nutrientes y fuerte agresividad contra hongos fitopatógenos, en la interacción antagonista-patógeno siendo un micoparasito que ejerce una acción quimiotrópica, adhiriéndose a las hifas, enrollándose en ellas y produciendo además enzimas líticas que degradan las paredes celulares del fitopatógeno.

La selección de microorganismos benéficos se basa en la habilidad antagonista para colonizar y superar en la competencia por nutrientes junto a la sobrevivencia y desarrollo en condiciones ambientales desfavorables (Martínez *et al.*, 2013).

4.1.4.2. Resistencia a enfermedades fungosas

Las plantas poseen una diversidad de defensas que pueden expresarse activamente en respuesta al ataque de agentes fitopatógenos en los cultivos agrícolas, que pueden ser estimuladas para producir resistencia contra el ataque de un agente que causa una enfermedad, método utilizado en la gran diversidad de los programas de mejoramiento genético.

Destaca a la hibridación como método de selección de caracteres de resistencia en cultivos hortícolas e industriales que generalmente se enfocan a la resistencia a micosis (Lemus, 2009). Por su parte, en frutales caducos (carozos, pomáceas), de hoja persistente y vides se recomienda el uso de portainjertos resistentes a micosis (Latorre, 2004).

En horticultura, se utiliza el injerto usando patrones silvestres e híbridos con diversos atributos deseables, como la resistencia a enfermedades, para ofrecer a los agricultores plantines que aseguren un mayor establecimiento, sobrevivencia y altos rendimientos.

En términos comerciales, se ha difundido ampliamente el cultivo de plantines de las familias solanáceas (tomate, pimiento) y cucurbitáceas (melón, pepino y sandía) injertados para controlar el ataque de hongos del suelo (Hoyos, 2007). Destacar el cultivo del tomate, el uso de injertos sobre patrones del tipo KNVF, Beaufort y Maxifort donde se evidenciaron resistencias a hongos tales como *Pyrenochaeta lycopersici*, *Verticillium*, *Fusarium* y además Nemátodos (Moreno *et al.*, 2015).

Como hallazgo destaca el conocimiento de mecanismos de defensa de las plantas y el descubrimiento de nuevos compuestos, remarcando las fitoalexinas, que constituye una estrategia de control de los fitopatógenos adaptados a sobrevivir a los pesticidas convencionales. A través de la ingeniería podría actualmente lograrse un resultado similar como introducir genes que codifiquen la síntesis de nuevas fitoalexinas (Agrios, 1999).

El conocimiento de los procedimientos de resistencia se debe a la identificación de varios inductores químicos, los cuales se disponen comercialmente para su uso en la agricultura convencional como una alternativa en el uso de biopesticidas.

El uso de la resistencia a fitopatógenos es una de las alternativas a incorporar en conjunto con otros métodos dentro de una gestión integrada de enfermedades, orientado a un manejo racional, disminución o exclusión del uso de pesticidas químicos (Cano, 2013).

4.1.4.3. Extractos de plantas

El uso de extractos de plantas orientado al control de enfermedades, específicamente de pimienta, ajo, eucalipto, han presentado efectos positivos en el control de enfermedades (Bettioli, 2006).

Destaca el control de *F. oxysporum*, producto del uso de extractos vegetales de hojas sanas de Euphorbiaceae (Celis *et al.*, 2008). Indica la evaluación estos preparados de especies vegetales, resaltando el ajo como aquel que presentó un efecto inhibitor sobre siete especies de hongos (*P. italicum*,

Aspergillus flavus, *Fusarium sp.*, *Rhizoctonia solani*, *Alternaria sp.*, *Colletotrichum sp.* y *Pythium sp.*) y el de cebolla que afectó a *Fusarium sp.*, *Alternaria sp.*, *Colletotrichum sp* y *Pythium sp* (Stauffer *et al.* 2000).

Apunta también que el uso de extractos etanólicos macerados de llantén (*Plantago major*), ruda (*Ruta graveolens*) y helecho (*Pteridium aquilinum*) disminuyeron el desarrollo en 68% de los hongos *Colletotrichum musae* y *Botrytis cinerea* (López *et al.*, 2006).

Se asume que el efecto de los extractos vegetales de ortiga (*Urtica dioica*), manzanilla (*Chamaemelum nobile*), lavanda (*Lavandula officinalis*) y chamico (*Datura ferox*), en el control de antracnosis (*Colletotrichum acutatum*), se debe a la existencia de metabolitos secundarios existentes en las especies vegetales, constituyendo en una alternativa de producción limpia que reduzcan la utilización de pesticidas químicos para el control de las enfermedades fúngicas (Villacís-Aldaz *et al.*, 2017).

4.1.4.4. Sustancias de origen natural

El quitosano es una sustancia de origen natural extraída de diversos organismos marinos, insectos y hongos. Se considera biodegradable y biocompatible, sin toxicidad ni efectos secundarios, actuando de forma preventiva (Rodríguez-Pedroso *et al.*, 2009). Este polímero tiene una estructura igual a la pared de hongos, y posee una actividad antifúngica que induce a una respuesta de resistencia en fruta cosechada.

El quitosano ha sido investigado como un agente antifungico en diferentes formas, como: soluciones, películas y materiales. Entre los factores a considerar destaca que inhibe el desarrollo del hongo al poseer una cualidad policatiónica que potencia la acción antifúngica, ya que mayormente las paredes del hongo están cargadas negativamente, inhibe la síntesis de enzimas producidas en los hongos, produciendo compuestos fenólicos y fitoalexinas que forman barreras estructurales que impiden la penetración de dichos hongos en el hospedero (Ayala *et al.*, 2014).

El quitosano ha mostrado efectos antifúngicos para la protección postcosecha de frutilla, tomate y zanahoria contra los hongos transcurridos 6 días y a temperatura ambiente, es considerado un agente idóneo para el biocontrol (Castañeda-Ramírez *et al.*, 2016).

5. CONCLUSIONES

Se reconoce la importancia de las enfermedades fungosas a lo largo de la historia, destacando en diversas épocas los esfuerzos en la investigación y aplicación práctica, de alternativas que solucionen las enfermedades fungosas que dañan directa o indirectamente a la producción agrícola.

Se reconoce que el uso de plaguicidas es considerado una necesidad para la agricultura moderna, sin embargo, si no se regula produce graves efectos a la salud humana y al medio ambiente. Entre los principales peligros destacan en los fungicidas químicos son su alta persistencia en el medioambiente y el daño directo e indirecto a aplicadores, trabajadores agrícolas, y todas las personas que se exponen al efecto de estos compuestos, provocando intoxicaciones agudas y crónicas.

A pesar de que los fungicidas se consideren como un elemento integral de la producción eficiente de alimentos, que actúa rápida, eficiente y viable económicamente, pueden existir poblaciones de hongos capaces de crear resistencia, generando graves problemas a la producción primaria agrícola. Es interesante explorar alternativas naturales, como la incorporación de variedades resistentes, uso de extractos vegetales y compuestos que constituyen en una alternativa limpia, que puede reducir significativamente la utilización de pesticidas químicos para el control de las enfermedades fúngicas.

6. LITERATURA CITADA

1. Agrios, G.N. 1999. Fitopatología. (2a. ed.). UTEHA. Noriega Editores. México D.F., México.
2. Agrovoz 2019. Lanza Tridium, el primer fungicida multisitio para el mercado argentino [en línea]. LaVoz, Argentina. <<https://www.lavoz.com.ar/agro/agricultura/lanzan-tridium-primerfungicida-multisitio-para-mercado-argentino/>>. Consulta: 19 diciembre 2020].
3. Aparicio, V., E. De Gerónimo, K. Hernández, D. Pérez, R. Portocarrero y C. Vidal. 2015. Los plaguicidas agregados al suelo y su destino en el ambiente. Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina.
4. Ávila, M.A. 2010. Situación fitosanitaria y evaluación de productos alternativos y convencionales para manejar *Fusarium oxysporum* en *Vasconcella* sp. Trabajo de graduación, Biólogo del Medio Ambiente. Universidad de Azuay, Facultad de Ciencia y Tecnología, Escuela de Biología del Medio Ambiente. Cuenca, Ecuador.
5. Ayala, A., M. Colina, J. Molina, J. Vargas, D. Rincón, J. Medina, L. Rosales y H. Cárdenas. 2014. Evaluación de la actividad antifúngica del Quitosano

contra el hongo *Mycosphaerella fijiensis* Morelet que produce la Sigatoka negra que ataca el plátano. Rev. Iberoam. Polím. 15(6): 312338.

6. Azcárate, I., L. Maldonado. 1992. La plaga de la langosta y el tizón del trigo en la España ilustrada. LLULL 15(29): 309-330.

7. Beltrán-García, M., T. Ogura-Fujii, G. Manzo-Sánchez y C. Arias-Castro. 2006. Catalasas de hongos fitopatógenos: ¿Factores de virulencia y resistencia a los fungicidas? Rev. Mex. Fitopatol. 24(1): 50-58.

8. Benítez, R.S. 2012. Revisión bibliográfica. Plaguicidas y efectos sobre la salud humana: un estado del arte [en línea]. SERPAJ, Paraguay. <<https://www.serpajpy.org.py/wp-content/uploads/2014/03/Plaguicidas-yefectos-sobre-la-salud-humana1.pdf>>. [Consulta: 21 noviembre 2020].

9. Bettioli, W. 2006. Productos alternativos para el manejo de enfermedades en cultivos comerciales. Fitosanidad 10(2): 85-98.

10. Calvo, A. 2017. Fungicidas sistémicos: trucos para tener éxito en el tratamiento [en línea]. Agroptima. <<https://www.agroptima.com/es/blog/fungicidas-sistemicos/>>. [Consulta: 21 noviembre 2020].

- 11.Cano, M. 2013. Estrategias biológicas para el manejo de enfermedades en el cultivo de fresa (*Fragaria spp.*). Rev. Colomb. Cienc. Hortíc. 2(7): 263-276.
- 12.Carbonero, P., F. García. 1975. Química biológica de los productos fitosanitarios. Monografías N°25. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España.
- 13.Castañeda-Ramírez J., V. Laurel-Ángeles, J. Espinoza-Zamora, R. Salcedo-Hernández, M.E. López-Ramírez y N.M. de la Fuente-Salcido. 2016. Efecto del quitosano para el biocontrol de hongos fitopatógenos identificados molecularmente de frutas y hortalizas en Guanajuato. Investig. Desarro. Cienc. Tecnol. Aliment. 1(2): 207-213.
- 14.Celis, A., C. Mendoza, M. Pachón, J. Cardona, W. Delgado y L.E. Cuca. 2008. Extractos vegetales utilizados como biocontroladores con énfasis en la familia Piperaceae. Una revisión. Agron. Colomb. 26(1): 97106.
- 15.Collard, P. 1985. El desarrollo de la microbiología. Reverté. Barcelona, España.

16. Covacevich, F. 2003. Utilización de formaldehído para la erradicación de hongos micorríticos arbusculares de muestras de suelo. *Cienc. Suelo* 21(1): 9-17.
17. Cruz, M. 2004. El Caldo Bordelés: Preparación y usos. Boletín INIA N°84. INIA Quilamapu. Chillán, Chile.
18. Estada, G.I., M.C. Ramírez. 2019. *Micología general*. Universidad Católica de Manizales. Manizales, Colombia.
19. FAO (Italia). 2015. Código internacional de conducta para la distribución y utilización de plaguicidas. FAO. OMS. Roma, Italia.
20. Ferreira, L.R., R. Durán y M.A. Pallarés. 2010. El mercurio como contaminante ambiental y agente neurotóxico. Universidad de Vigo. Servicio de Publicaciones. Vigo, España.
21. Ferrer, A. 2003. Intoxicación por plaguicidas. *Anales Sis. San. Navarra* 26(Supl. 1): 155-171.
22. Fiume, F., G. Fiume. 2005. Biological control of *Botrytis* gray mould and *Sclerotinia* drop in lettuce. *Comm. Agric. Appl. Biol. Sci.* 70(3): 157168.

23. Guédez, C., L. Cañizález, C. Castillo, R. Olivar y M. Maffei. 2010. Alternativas para el control de hongos postcosecha en naranjas valencia (*Citrus sinensis*). Rev. Soc. Ven. Microbiol. 30(1): 43-47.
24. Hernández-Luzardo, A., S. Bautista-Baños, M. Velázquez-del Valle y A. Hernández-Rodríguez. 2007. Uso de microorganismos antagonistas en el control de enfermedades postcosecha en frutos. Rev. Mex. Fitopatol. 25(1): 66-74.
25. Hoyos, P. 2007. Situación del injerto en horticultura en España: especies, zona de producción de plantas y portainjertos. Horticultura (199): 12-25.
26. Infante, D., B. Martínez, N. González e Y. Reyes. 2009. Mecanismos de acción de *Trichoderma* frente a hongos fitopatógenos. Rev. Prot. Veg. 24(1): 14-21.
27. Juárez-Becerra, G.P., M.E. Sosa-Morales y A. López-Malo. 2010. Hongos fitopatógenos de alta importancia económica. Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos 4(2):14-23.

- 28.Lagunas, L. 2014. Desarrollo de metodologías para el análisis de fungicidas en matrices enológicas. Estudios de procesos degradativos e identificación de metabolitos. Tesis doctoral. Universidad de La Rioja, Facultad de Ciencias, Estudios Agroalimentarios e Informática, Departamento de Química, Área de Química Analítica. La Rioja, Argentina.
- 29.Latorre, B. 2004. Enfermedades de las plantas cultivadas. (6a. ed.). Ediciones Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile.
- 30.Lemus, Y. 2009. Genética de la resistencia a las enfermedades en plantas hortícolas. *Temas Cienc. Technol.* 13(39): 41-44.
- 31.Lobos, C.A. 2018. Implementación de protocolo de vigilancia epidemiológica de trabajadores expuestos a plaguicidas según “Resolución N° 140 Exenta” en Agrícola Las Cruzadas LTDA. Trabajo de titulación, Ingeniero en Prevención de Riesgos Laborales y Ambientales. Universidad Técnica Federico Santa María. Viña del Mar, Chile.
- 32.López, A., M. Vélez, M.S. Sánchez, C.R. Bonilla y P.I. Gallo. 2006. Evaluación de extractos vegetales para manejo de hongos patógenos en banano y fresa almacenados. *Acta Agron.* 55(4): 39-44.

- 33.Mangas, I. 2016. El desafío del uso seguro de plaguicidas agrícolas Agron. For. (53): 26-31.
- 34.Mansilla, C.F. 2017. Impacto ambiental de la aplicación de plaguicidas en siete modelos socio-productivos hortícolas del Cinturón Verde de Mendoza. Tesis de grado, Ingeniería en Recursos Renovables. Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ciencias Agrarias. Mendoza, Argentina.
- 35.Martínez, B., D. Infante e Y. Reyes. 2013. *Trichoderma spp.* y su función en el control de plagas en los cultivos. Rev. Prot. Veg. 28(1): 1-11.
- 36.Martínez, C. 2018. La plaga que cambió el mapa del viñedo en España [en línea]. Museo Nacional de Ciencias Naturales, España. <<https://www.mncn.csic.es/es/comunicacion/blog/la-plaga-que-cambio-elmapa-del-vinedo-en-espana>>. [Consulta: 15 diciembre 2020].
- 37.MaCallan, S.A. 1967. History of fungicide. pp: 1-29. In: D.C. Torgerson (Ed.). Fungicides an advanced treatise. Volume I. Agricultural and industrial applications environmental interactions. Academic Press. New York, USA.
- 38.Mercant, J.E. 2008. Historia de la farmacoterapia: Siglos XVIII y XIX. La farmacia monástica de la Real Cartuja de Valldemossa. Tesis doctoral,

Doctor en Medicina y Cirugía. Universitat Autònoma de Barcelona.
Barcelona, España.

- 39.MINSAL (Chile). 2014. Protocolo de vigilancia epidemiológica de trabajadores expuestos a plaguicidas [en línea]. Asociación de Mutuales, Chile. <<https://www.asociaciondemutuales.cl/2014/06/24/ministerio-desalud-actualiza-protocolo-de-vigilancia-epidemiologica-de-trabajadoresexpuestos-a-plaguicidas/>>. [Consulta: 30 noviembre 2020].
- 40.Molina, G., S. Zaldúa, G. González y E. Sanfuentes. 2006. Selección de hongos antagonistas para el control biológico de *Botrytis cinerea* en viveros forestales en Chile. *Bosque* 27(2): 126-134.
- 41.Montag, J., L. Schreiber and J. Schönherr. 2005. An *in vitro* study on the postinfection activities of hydrated lime and lime sulphur against apple Scab (*Venturia inaequalis*). *J. Phytopathol.* 153(7-8): 485-491.
- 42.Moreno, B., S. Contreras y C. Krarup. 2015. Tecnología para mayor sostenibilidad: Uso de injertos en sandía. *Agron. For.* (51): 14-18.
- 43.Muñoz, M.T. 2011. Aspectos bioéticos en el control y aplicación de plaguicidas en Chile. *Acta Bioeth.* 17(1): 95-104.

44. Navarrete, F.G.A. 2005. El cobre como fungicida agrícola. Informe de prácticas profesionales, Ingeniero Agrónomo. Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, División de Ciencias Agronómicas. Zapopan, México.
45. ODEPA (Chile). 2016. Protocolo de agricultura sustentable [en línea]. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias, Chile. <<https://www.odepa.gob.cl/wpcontent/uploads/2017/12/agriculturaSustentable.pdf>>. [Consulta: 29 noviembre 2020].
46. OMS (Suiza). 1992. Consecuencias sanitarias del empleo de plaguicidas en la agricultura. OMS. FAO. Ginebra, Suiza.
47. OMS (Suiza). 2018. Residuos de plaguicidas en los alimentos [en línea]. Organización Mundial de la Salud, Suiza. <<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/pesticide-residues-in-food>>. [Consulta: 21 diciembre 2020].
48. Pina, J.I. 2012. Clasificación toxicológica y etiquetado de productos fitosanitarios. Criterios regulatorios locales e internacionales. Serie de

informes especiales ILSI Argentina. Volumen III. ILSI Argentina. Buenos Aires, Argentina.

49. Pinnock, M.V., E. de la Cruz, K. Solano and O. Ramírez. 2014. Pesticide exposure on sloths (*Bradypus variegatus* and *Choloepus hoffmanni*) in an agricultural landscape of northeastern Costa Rica. *J. Environ. Biol.* 35(1): 29-34.
50. PNUMA (Suiza). 2005. Evaluación mundial sobre el mercurio. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente Productos Químicos. Ginebra, Suiza.
51. Puerto, A.M. del, S. Suárez y D.E. Palacio. 2014. Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. *Rev. Cuba. Hig. Epidemiol.* 52(3): 372-387.
52. Rabendran, N., E.E. Jones, D.J. Moot and A. Stewart. 2006. Biocontrol of sclerotinia lettuce drop by *Coniothyrium minutans* and *Trichoderma hamatum*. *Biol. Control* 39(3): 352-362.
53. Ragsdale, N.N. and H.D. Sisler. 1994. Social and political implications of managing plant diseases with decreased availability of fungicides in the United States. *Annu. Rev. Phytopathol.* 32: 545- 557.

54. Ramírez, L.A. 2018. Exposición a agroquímicos en trabajadores de un cultivo de flores de la Sabana de Bogotá. Trabajo de grado, Enfermería. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, Facultad de Ciencias de la Salud, Programa de Enfermería. Bogotá, Colombia.
55. Recalde, J.I. 2019. Impregnación artesanal de postes [en línea]. INTA, Argentina,
<https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_eeaf_esquel_impregnacion_artesanal_de_postes_de_alambrado_102019.pdf>. [Consulta: 29 noviembre 2020].
56. Reis, E.M., A.C. Reis e M.A. Carmona. 2010. Manual de fungicidas: guía para o controle química de doenças de plantas. (6a. ed.). UPF. Passo Fundo, Brasil.
57. Roca, L.F., J. Romero, C. Agustí, J. Moral y A. Trapero. 2017. El cobre en el control de las enfermedades del olivo. *Phytoma Esp.* (293): 42-44.
58. Rodríguez, J.T., D. Prado. 2005. Microbiología: Lo esencial y lo práctico. Organización Panamericana de la Salud. Ciudad de Guatemala, Guatemala.

59. Rodríguez-Pedroso, A.T., M.A. Ramírez-Arrebato, D. RiveroGonzález, E. Bosquez-Molina, L.L. Barrera-Necha y S. Bautista-Baños. 2009. Propiedades químico-estructurales y actividad biológica de la quitosana en microorganismos fitopatógenos. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 15(3): 307-317.
60. Sabino, H., J. Lavres y M. de Moraes. 2007. Azufre como nutriente y agente de defensa contra plagas y enfermedades. *Informaciones Agronómicas* N°65. International Plant Nutrition Institute. Quito, Ecuador.
61. SAG (Chile). 2010. Informe de venta de plaguicidas de uso agrícola en Chile. Año 2010 [en línea]. Servicio Agrícola y Ganadero, Chile. <https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/declaracion_de_venta_de_plaguicidas_ano_2010.pdf>. [Consulta: 29 noviembre 2020].
62. Sánchez-Saldaña, L., E. Sáenz. 2005. Antisépticos y desinfectantes. *Dermatol. Peru.* 15(2): 82-103.
63. Sanhueza, C. 2010. Contaminación medioambiental por plaguicidas organoclorados y sus efectos en la salud humana en Chile. Teis, Profesor de Enseñanza Media en Historia y Geografía. Universidad del Bío-Bío,

Facultad de Educación y Humanidades, Departamento de Ciencias Sociales, Escuela de Pedagogía en Historia y Geografía. Chillán, Chile.

64. Tellerías, L., E. Paris. 2008. Impacto de los tóxicos en el neurodesarrollo. Rev. Chil. Pediatr. 79(Supl. 1): 55-63.
65. Thompson L. 2002. Antifúngicos. Rev. Chil. Infectol. 19(Supl. 1): S22S25.
66. Tripathi, P., N. Dubey. 2004. Exploitation of natural products as an alternative strategy to control postharvest fungal rotting of fruit and vegetables. Postharv. Biol. Technol. 32(3): 235-245.
67. Vásquez, P.X. 2013. Caracterización y uso del extracto de albahaca como fungicida en bienes patrimoniales maderosos de Quito D.M. Tesis, Químico de Alimentos Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Químicas. Quito, Ecuador.
68. Villacís-Aldaz, L. O. León-Gordon, R. Santana-Mayorga, J. ManguiTobar, G. Carranza and P. Pazmiño-Miranda. 2017. Antifungal (*in vitro*) activity of plant extracts for the control of anthracnose (*Colletotrichum acutatum*). J. Selva Andina Biosph. 5(1): 59-64.

69. Whetzel, H.H. 1918. An outline of the history of phytopathology. WB Saunders. Philadelphia, USA.

70. Woolman, H.M., H.B. Humphrey. 1924. Studies in the physiology and control of bunt, or stinking smut, of wheat. Department Bulletin N°1239. United States Department of Agriculture. Washington D.C., USA.