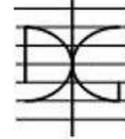




UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



DEPARTAMENTO  
DE INGENIERÍA DE  
LA CONSTRUCCIÓN  
Y DE PROYECTOS DE  
INGENIERÍA CIVIL

# **MU PRL** | Máster Universitario en Prevención de Riesgos Laborales

## **TRABAJO FIN DE MÁSTER CURSO ACADÉMICO 2021/2022**

**Efecto de la racionalización de las aplicaciones de fitosanitarios en cítricos sobre el riesgo de exposición de los trabajadores.**

**Autora: Laura Pedraz Valls**

**Tutora: Coral Ortiz Sánchez**

**Cotutoras: Patricia Chueca y Cruz Garcerá**

**Valencia, abril de 2022**

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN Y  
PROYECTOS DE INGENIERÍA CIVIL

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

## AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi especial agradecimiento a mi tutora Coral Ortiz, quien me ha ayudado a dar todos los pasos para realizar este trabajo con un grado de implicación excepcional.

Por supuesto también quiero agradecer el apoyo brindado por el Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA), especialmente a Patricia Chueca y Cruz Garcerá, que junto a todo su equipo me permitieron participar en el proyecto europeo PERFECT LIFE: Pesticide Reduction using Friendly and Environmentally Controlled Technologies (ref. LIFE17/ENV/ES/000205). Durante la parte experimental, me acogieron en su investigación haciéndome sentir una más de su equipo en el trabajo de campo, ofreciéndome una experiencia que se extiende mucho más allá de este trabajo.

Por último, me gustaría hacer reconocimiento a todas las personas que este Máster en Prevención de Riesgos Laborales me ha permitido conocer, tanto a nivel académico como profesional y personal, quienes de una manera u otra han aportado su esencia a este Trabajo Fin de Máster.

## RESUMEN

La aplicación de productos fitosanitarios para el control de plagas y enfermedades en los cultivos es necesaria para mantener un nivel productivo adecuado para alimentar a la población, ya que esto todavía no es posible empleando únicamente las técnicas de control no químico actualmente disponibles. No obstante, un uso inadecuado de los productos fitosanitarios puede tener efectos adversos tanto para las personas como para el medio ambiente.

Este trabajo se enmarca dentro del proyecto europeo PERFECT LIFE (PEsticide Reduction using Friendly and Environmentally Controlled Technologies (ref. LIFE17/ENV/ES/000205)) financiado por el programa LIFE de la Comisión Europea (2018-2022) en el que participa el IVIA (Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias) entre otros socios. A través de este proyecto se busca la reducción de la contaminación ambiental por pesticidas y sus metabolitos asociados en el aire mediante la utilización de herramientas de ajuste de la dosis y técnicas de reducción de la deriva, disminuyendo de esta forma el riesgo para el aplicador y las personas circundantes.

El objetivo del presente trabajo fue determinar la reducción de la exposición a producto fitosanitario de un trabajador durante una aplicación optimizada en plantaciones de cítricos, donde se ha empleado una dosificación ajustada a las necesidades del tratamiento teniendo en cuenta la vegetación y parcela a proteger, la plaga a controlar y el producto fitosanitario a utilizar, y se ha configurado el equipo para maximizar la deposición del producto en la vegetación de manera que se reduzca el exceso de producto que puede llegar tanto al medio ambiente como al ser humano, frente a una aplicación convencional, donde los parámetros tanto de la aplicación como de la configuración del equipo se establecen en base a tradiciones y creencias empíricas.

Para ello se realizaron ensayos de campo donde se realizaron mediciones indirectas de la exposición dérmica analizando el pesticida depositado sobre el mono de protección de los diferentes grupos de trabajadores considerados. También se estimó la deriva depositada en el suelo mediante el uso colectores horizontales de papel secante y la deriva atmosférica empleando colectores verticales de hilos de nylon. Los datos obtenidos se analizaron para cada trabajador mediante análisis de varianza múltiple y se determinó la parte del cuerpo que mayor exposición sufre. Los resultados mostraron que con la aplicación del tratamiento fitosanitario optimizado se reduce la deposición de materia activa más de un 80 % tanto para el trabajador que aplica el tratamiento como para los trabajadores que se encuentran en la zona.

**Palabras clave:** Turboatomizador, exposición dérmica, materia activa, deriva, pulverizador hidroneumático.

## RESUM

L'aplicació de productes fitosanitaris per al control de plagues i malalties als cultius és necessària per mantenir un nivell productiu adequat per alimentar la població, ja que això encara no és possible emprant únicament les tècniques de control no químic actualment disponibles. No obstant, un ús inadequat dels productes fitosanitaris pot tenir efectes adversos tant per a les persones com per al medi ambient.

Aquest treball s'emmarca dins del projecte europeu PERFECT LIFE (PEsticide Reduction using Friendly and Environmentally Controlled Technologies (ref. LIFE17/ENV/ES/000205)) finançat pel programa LIFE de la Comissió Europea (2018-2022) en què participa l'IVIA (Institut Valencià d'Investigacions Agràries) entre d'altres socis. A través d'aquest projecte es busca la reducció de la contaminació ambiental per pesticides i els seus metabòlits associats a l'aire mitjançant la utilització d'eines d'ajust de la dosi i tècniques de reducció de la deriva, disminuint així el risc per a l'aplicador i les persones circumdants.

L'objectiu del present treball va ser determinar la reducció de l'exposició a producte fitosanitari d'un treballador durant una aplicació optimitzada en plantacions de cítrics, on s'ha emprat una dosificació ajustada a les necessitats del tractament tenint en compte la vegetació i la parcel·la a protegir, plaga a controlar i el producte fitosanitari a utilitzar, i s'ha configurat l'equip per maximitzar la deposició del producte a la vegetació de manera que es redueix l'excés de producte que pot arribar tant al medi ambient com a l'ésser humà, davant d'una aplicació convencional, on els paràmetres tant de l'aplicació com de la configuració de l'equip s'estableixen en base a tradicions i creences empíriques.

Per això es van realitzar assaigs de camp on es van fer mesuraments indirectes de l'exposició dèrmica analitzant el pesticida dipositat sobre la roba de protecció dels diferents grups de treballadors considerats. També es va estimar la deriva dipositada a terra mitjançant l'ús col·lectors horitzontals de paper assecant i la deriva atmosfèrica emprant col·lectors verticals de fils de niló. Les dades obtingudes es van analitzar per a cada treballador mitjançant anàlisi de variància múltiple i es va determinar la part del cos que pateix més exposició. Els resultats van mostrar que amb l'aplicació del tractament fitosanitari optimitzat es redueix la deposició de matèria activa més d'un 80 % tant per al treballador que aplica el tractament com per als treballadors que es troben a la zona.

**Paraules clau:** Turboatomitzador, exposició dèrmica, matèria activa, deriva, pulveritzador hidropneumàtic.

## ABSTRACT

The application of phytosanitary products to control pests and diseases in crops is necessary to maintain an adequate production level to feed the population, since this is still not possible using only non-chemical control techniques currently available. However, improper use of plant protection products can have adverse effects both for people and for the environment.

These studies are part of the European project PERFECT LIFE (PEsticide Reduction using Friendly and Environmentally Controlled Technologies (ref. LIFE17/ENV/ES/000205)) financed by the Life program of the European Commission (2018-2022), carried out by the IVIA (Valencian Institute of Agricultural Research) among others. This project seeks to reduce environmental contamination by pesticides and their associated metabolites in the air using dose adjustment tools and drift reduction techniques, thus reducing the risk for the applicator and the surrounding people.

The objective of the present thesis was to determine the reduction of the exposure to a phytosanitary product of a worker during an optimized application in citrus plantations, where a dosage adjusted to the needs of the treatment has been used, taking into account the vegetation and plot to be protected, the pest to be controlled and the phytosanitary product to be used. The equipment has been configured to maximize the deposition of the product on the vegetation so as to reduce the excess of product that can reach both the environment and the human being, compared to an application conventional, where the parameters of both the application and the configuration of the equipment are established based on traditions and empirical beliefs.

To this end, field trials were carried out where indirect measurements of dermal exposure were made by analyzing the pesticide deposited on the protective coveralls of the different workers considered. The drift deposited on the ground was also estimated using horizontal blotting paper collectors and atmospheric drift using vertical nylon thread collectors. The data obtained was analyzed for each worker by multiple variance analysis and the part of the body that suffered the greatest exposure was determined. The results showed that with the application of the optimized phytosanitary treatment, the deposition of active matter is reduced by more than 80 %, both for the worker who applies the treatment and for the workers who are in the area.

**Keywords:** Air blast sprayer, dermal exposure, active ingredient, drift, Hydropneumatics' sprayer

## ÍNDICE DEL PROYECTO

1.	JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO .....	12
2.	ANTECEDENTES .....	12
2.1.	REVISIÓN SOBRE EL SECTOR.....	12
2.1.1.	Cítricos en la Comunidad Valenciana .....	12
2.1.2.	Productos fitosanitarios .....	17
2.1.3.	Equipos de aplicación de productos fitosanitarios .....	20
2.1.4.	Contaminación ambiental por deriva del producto durante la aplicación .....	27
2.2.	NORMATIVA DE SEGURIDAD.....	28
2.2.1.	Legislación para la aplicación de productos fitosanitarios.....	28
2.3.	IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE RIESGOS PARA EL APLICADOR .....	29
2.3.1.	Toxicología laboral .....	30
2.3.2.	Exposición a productos fitosanitarios .....	32
2.3.3.	Medidas preventivas .....	33
2.3.4.	Equipos de protección individual .....	34
2.3.5.	Vigilancia de la salud .....	35
2.3.6.	Enfermedades profesionales relacionadas .....	36
2.3.7.	Siniestralidad.....	37
3.	OBJETIVO.....	40
4.	METODOLOGÍA.....	40
4.1.	PARCELA EXPERIMENTAL .....	40
4.2.	APLICACIONES .....	41
4.2.1.	Tratamiento convencional .....	42
4.2.2.	Tratamiento optimizado.....	42
4.2.3.	Condiciones climáticas .....	43
4.3.	EVALUACIONES.....	44
4.3.1.	Exposición dérmica de trabajadores y aplicador .....	44
4.3.2.	Deriva .....	48
4.4.	ANÁLISIS DE MUESTRAS .....	49
4.4.1.	Materiales .....	49
4.4.2.	Tratamiento de la muestra.....	50
4.4.3.	Proceso de extracción .....	50
4.4.4.	Análisis cromatográfico.....	50

4.5.	ANÁLISIS DE DATOS.....	52
4.5.1.	Condiciones meteorológicas .....	52
4.5.2.	Depósito en colectores.....	53
4.5.3.	Análisis cuantitativo .....	53
4.5.4.	Caracterización del riesgo .....	53
5.	RESULTADOS .....	54
5.1.	CONDICIONES METEOROLÓGICAS .....	54
5.2.	DEPÓSITO EN EL COLECTOR “HILO” (DERIVA ATMOSFÉRICA A 8 m) .....	56
5.3.	DEPÓSITO EN EL COLECTOR “PAPEL” (DERIVA DEPOSITADA A 8 m) .....	57
5.4.	DEPÓSITO EN EL TRABAJADOR APLICADOR .....	58
5.4.1.	Evaluación de la parte del cuerpo expuesta del aplicador.....	59
5.5.	DEPÓSITO EN EL TRABAJADOR DE PIE .....	60
5.5.1.	Evaluación de la parte del cuerpo expuesta del trabajador de pie.....	61
5.6.	DEPÓSITO EN EL TRABAJADOR AGACHADO.....	63
5.6.1.	Evaluación de la parte del cuerpo expuesta del trabajador agachado .....	64
5.7.	ANÁLISIS CUANTITATIVO.....	65
5.8.	CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO .....	66
6.	CONCLUSIONES .....	66
7.	REFERENCIAS .....	67
8.	ANEJOS .....	72
8.1.	EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL .....	72
8.1.1.	Equipos de protección respiratoria .....	72
8.1.2.	Equipos de protección ocular y facial.....	73
8.1.3.	Guantes de protección .....	74
8.1.4.	Ropa de protección .....	74
8.1.5.	Calzado de protección.....	75

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Calendario de recolección de cítricos según la variedad y estación del año. ....	14
Figura 2 Ácaro rojo ( <i>P. citri</i> ) adulto. ....	15
Figura 3 Daños producidos por el ácaro rojo .....	15
Figura 4 Araña roja ( <i>T. Urticae</i> ) adulto.....	15
Figura 5 Daños producidos por la araña roja .....	16
Figura 6 Adulto de mosca blanca .....	16
Figura 7 Rama de naranjo afectado por mosca blanca.....	16
Figura 8 Imágenes de la calculadora de recomendación del volumen de caldo en cítricos (CitrusVol).....	20
Figura 9 Tractor aplicando tratamiento fitosanitario en cítricos .....	21
Figura 10 Esquema de las partes de un pulverizador hidroneumático.....	22
Figura 11 Esquema del ventilador de un atomizador .....	22
Figura 12 Influencia del tamaño de gota en el recubrimiento de la hoja .....	23
Figura 13 Boquillas con patrón de aspersión de cono hueco y cono lleno .....	24
Figura 14 Boquilla con patrón de aspersión de espejo .....	24
Figura 15 Boquillas con patrón de aspersión de tipo abanico .....	25
Figura 16 Boquilla con patrón de aspersión descentrado .....	25
Figura 17 Pictogramas de peligro.....	31
Figura 18 Esquema de la utilización de EPI según la tarea .....	34
Figura 19 Tasa de incidencia de EP por sector en España.....	37
Figura 20 Evolución temporal de los índices de incidencia sectoriales .....	38
Figura 21 Índices de incidencia sectoriales de accidentes de trabajo en jornada de trabajo ....	38
Figura 22 Índices de incidencia sectoriales de accidentes de trabajo mortales .....	39
Figura 23 Variación interanual de los índices de incidencia sectoriales de accidentes de trabajo mortales 2020-2019 .....	39
Figura 24 Vista aérea de la parcela experimental.....	40
Figura 25 Adición de pesticida Karate Zion en el pulverizador .....	41
Figura 26 Pulverizador hidroneumático Citfruit 2000 empleado en el ensayo experimental....	42
Figura 27 Tratamiento convencional de pesticida .....	42
Figura 28 Tratamiento optimizado.....	43
Figura 29 Plano del diseño del ensayo.....	44
Figura 30 Imágenes del ensayo .....	45
Figura 31 Aplicador equipado con EPI durante la aplicación.....	45
Figura 32 Muestreo de los monos de los aplicadores.....	46
Figura 33 Recogida de muestras en aplicador y maniqués (trabajadores) .....	46
Figura 34 Maniqués para la evaluación de la exposición dérmica del transeúnte o trabajador colindante.....	47
Figura 35 Esquema del muestreo de los monos de los maniqués (transeúntes).....	47
Figura 36 Colectores de papel de filtro para evaluar pérdidas al suelo.....	48
Figura 37 Hilos de nylon para evaluar las pérdidas al aire.....	48
Figura 38 Recogida e identificación de muestras.....	49
Figura 39 Equipo empleado para el análisis cromatográfico .....	51

Figura 40 Curva de calibración .....	52
Figura 41 Cromatograma .....	52
Figura 42 Materia activa depositada ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) en los colectores “hilo” (deriva atmosférica a los 8 m) según el tratamiento y la repetición de ensayo.....	57
Figura 43 Materia activa depositada ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) en los colectores “papel” (deriva depositada a 8 m) según el tratamiento y la repetición de ensayo. ....	57
Figura 44 Materia activa depositada ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) en el aplicador según el tratamiento y la repetición de ensayo. ....	58
Figura 45 Materia activa depositada ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) en el aplicador según el tratamiento, la parte del cuerpo expuesta y la repetición de ensayo.....	59
Figura 46 Materia activa depositada ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) en el trabajador de pie según el tratamiento y la repetición de ensayo.....	61
Figura 47 Materia activa depositada ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) en el trabajador de pie según el tratamiento, la parte del cuerpo expuesta y la repetición de ensayo. ....	62
Figura 48 Posición de los maniqués respecto al avance del tractor. ....	63
Figura 49 Materia activa depositada ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) en el trabajador agachado según el tratamiento y la repetición de ensayo. ....	63
Figura 50 Materia activa depositada ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) en el trabajador agachado según el tratamiento, la parte del cuerpo expuesta y la repetición de ensayo. ....	64
Figura 51 Máscara filtrante .....	72
Figura 52 Clasificación de los filtros .....	73
Figura 53 Equipo aislante de respiración semiautónomo.....	73
Figura 54 Gafas de seguridad para la aplicación de plaguicidas .....	74
Figura 55 Guantes de protección química para la aplicación de plaguicidas .....	74
Figura 56 Niveles de protección de los buzos para la aplicación de plaguicidas .....	74
Figura 57 Buzo de protección.....	75
Figura 58 Botas de agua para la aplicación de plaguicidas .....	75

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Resumen de protocolos para el perfil del aplicador (conductor del tractor).....	36
Tabla 2 Enfermedades profesionales en el sector agrario.....	37
Tabla 3 Fechas de aplicación de los tratamientos en cada repetición.....	41
Tabla 4 Regresión múltiple de explicación de la variable materia activa depositada ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) en el colector "hilo" en función de los parámetros meteorológicos, intervalos de confianza del 95,0% para los coeficientes en el modelo.....	55
Tabla 5 Regresión múltiple de explicación de la variable materia activa depositada ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) en el colector "papel" en función de los parámetros meteorológicos, intervalos de confianza del 95,0% para los coeficientes en el modelo.....	55
Tabla 6 Regresión múltiple de explicación de la variable materia activa depositada ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) en el colector "aplicador" en función de los parámetros meteorológicos, intervalos de confianza del 95,0% para los coeficientes en el modelo.....	55
Tabla 7 Regresión múltiple de explicación de la variable materia activa depositada ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) en el colector "maniquí adulto" en función de los parámetros meteorológicos, intervalos de confianza del 95,0% para los coeficientes en el modelo. ....	56
Tabla 8 Regresión múltiple de explicación de la variable materia activa depositada ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) en el colector "maniquí niño" en función de los parámetros meteorológicos, intervalos de confianza del 95,0% para los coeficientes en el modelo.....	56
Tabla 9 Análisis de varianza del efecto de los factores tipo de tratamiento (convencional y optimizado) y repetición de los ensayos en la materia activa depositada ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) en los colectores "hilo".....	57
Tabla 10 Análisis de varianza del efecto de los factores tipo de tratamiento (convencional y optimizado) y repetición de los ensayos en la materia activa depositada ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) en los colectores "papel".....	58
Tabla 11 Análisis de varianza del efecto de los factores tipo de tratamiento (convencional y optimizado) y repetición de los ensayos en la materia activa depositada ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) en el aplicador. ....	59
Tabla 12 Análisis de varianza del efecto de los factores tipo de tratamiento, parte del cuerpo expuesta y repetición de los ensayos en la materia activa depositada ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) en el aplicador. ....	60
Tabla 13 Análisis de varianza del efecto de los factores tipo de tratamiento (convencional y optimizado) y repetición de los ensayos en la materia activa depositada ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) en el trabajador de pie.....	61
Tabla 14 Análisis de varianza del efecto de los factores tipo de tratamiento, parte del cuerpo expuesta y repetición de los ensayos en la materia activa depositada ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) en el trabajador de pie.....	62
Tabla 15 Análisis de varianza del efecto de los factores tipo de tratamiento (convencional y optimizado) y repetición de los ensayos en la materia activa depositada ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) en el trabajador agachado. ....	64
Tabla 16 Análisis de varianza del efecto de los factores tipo de tratamiento, parte del cuerpo expuesta y repetición de los ensayos en la materia activa depositada ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) en el trabajador agachado. ....	65

Tabla 17 Valores medios de la materia activa depositada ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) según el trabajador y reducción estimada de la exposición al aplicar tratamiento optimizado. ....	65
Tabla 18 Caracterización del riesgo según el tipo de tratamiento y trabajador estudiado.....	66

## 1. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El uso de productos fitosanitarios, comúnmente llamados plaguicidas, para el control de plagas y enfermedades en los cultivos es necesario para conseguir un nivel productivo adecuado para alimentar a la creciente población mundial, ya que esto todavía no es posible empleando únicamente las técnicas de control no químico actualmente disponibles. Sin embargo, este tipo de sustancias químicas suponen un riesgo tanto para el medioambiente como para las personas, trabajadores o transeúntes, que se encuentran en el lugar de aplicación del tratamiento y alrededores, llegando incluso a la población general, residente o no en zonas rurales, a través de los alimentos, el aire o el agua.

Con el fin de preservar la salud de las personas y el impacto sobre el medio ambiente, desde la Comisión Europea se trabaja para impulsar el uso sostenible de los fitosanitarios. De la misma forma se aplica a nivel español el plan de acción nacional para el uso sostenible de productos fitosanitarios. Para ello toda esta normativa comunitaria y española, fomenta la gestión integrada de plagas y la búsqueda de técnicas más respetuosas con el medio ambiente para el control de plagas. La reducción del uso de pesticidas es una de las propuestas (Reichenberger et al., 2007). En esta línea, Vercruyssen & Steurbaut (2001) proponen el uso de un indicador de riesgo (POCER) para evaluar si las medidas de reducción de fitosanitarios están siendo efectivas.

El presente Trabajo Final de Estudios del Máster de Prevención de Riesgos Laborales de la Universitat Politècnica de València se enmarca dentro de los trabajos desarrollados por el Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias sobre reducción del uso de pesticidas en cítricos, en el marco del proyecto PERFECT LIFE (PEsticide Reduction using Friendly and Environmentally Controlled Technologies (ref. LIFE17/ENV/ES/000205)) financiado por el programa LIFE de la Comisión Europea (2018-2022).

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1. REVISIÓN SOBRE EL SECTOR

#### 2.1.1. Cítricos en la Comunidad Valenciana

##### 2.1.1.1. Datos del sector citrícola

España es el primer país exportador de cítricos para consumo en fresco, siendo el quinto productor a nivel mundial. La Comunidad Valenciana produce cerca del 50% de la producción nacional de cítricos, según los datos ofrecidos por la *Conselleria de Agricultura, Desenvolupament Rural, Emergència Climàtica i Transició Ecològica*, la cosecha de la campaña 2020/2021 concluyó con un total de más de tres millones y medio de toneladas recolectadas (3.508.051 toneladas). Además, actualmente, la superficie dedicada a la citricultura en la Comunidad Valenciana

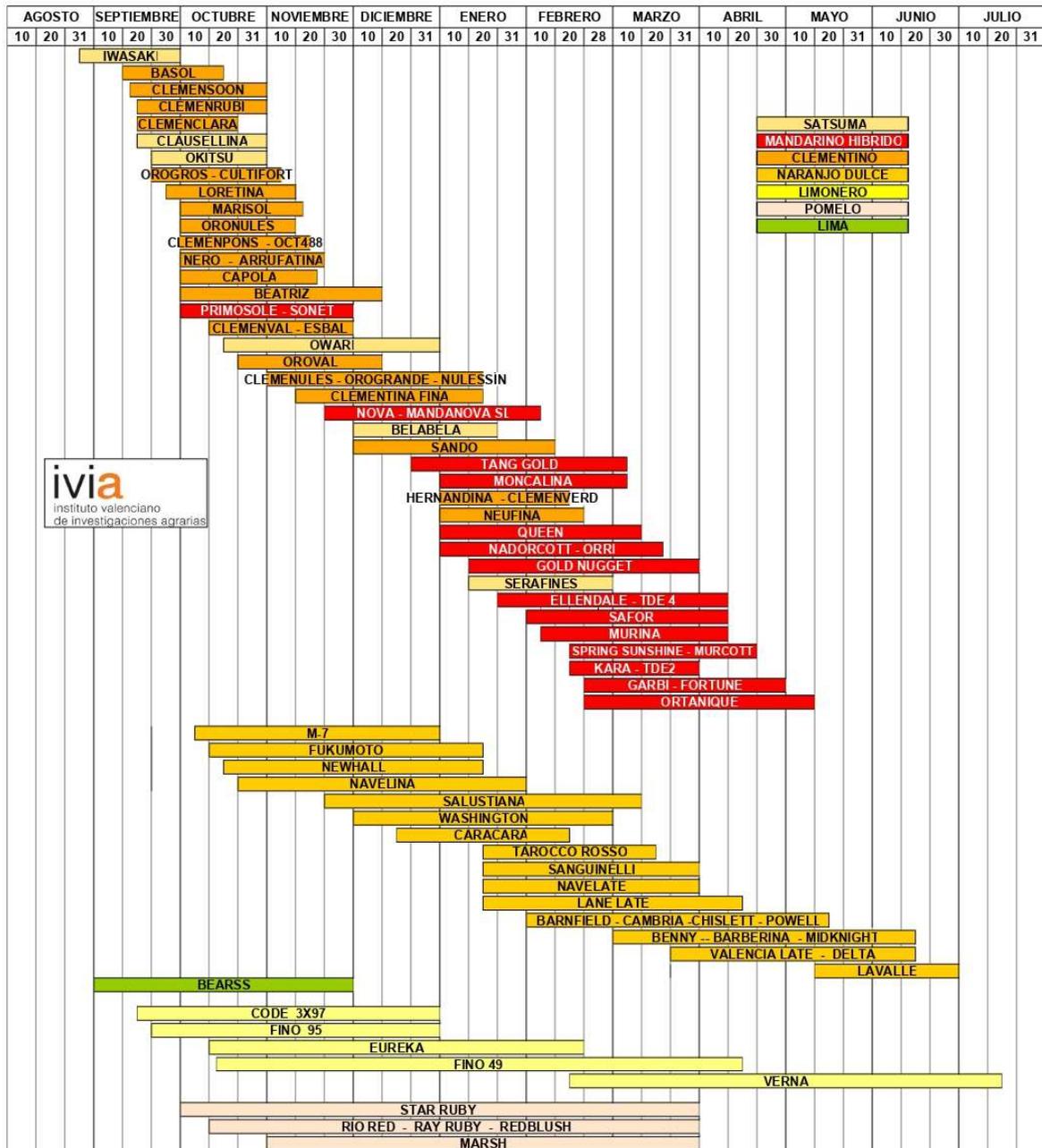
(157.012 hectáreas) supone más del 50% de la superficie citrícola nacional. En estos datos se incluyen diferentes variedades de mandarinas, naranja dulce, limones, pomelos, naranjo amargo y otros cítricos.

Alrededor del 50% de la producción se destina a la exportación, durante la campaña de recolección 2019/2020, la Comunidad Valenciana exportó un total de 1.693.763 toneladas generando unos ingresos de más de 1.500 millones de euros (Conselleria de Agricultura, Desarrollo Rural, Emergencia Climática y Transición Ecológica, 2020). Sin embargo, las importaciones cada vez van ganando terreno al cítrico español y aumentando sus cifras.

### 2.1.1.2. El cultivo de cítricos

Los cítricos son una familia de arbustos y árboles originaria de regiones tropicales y subtropicales de Asia. Se componen de una parte aérea y una subterránea, siendo la aérea donde se encuentran los frutos (Ancillo & Medina, 2015). La familia de los cítricos es variada, con gran facilidad de hibridación. Las variedades más comunes cultivadas en la Comunidad Valenciana se agrupan en: naranjos, clementinas y satsumas, híbridos de mandarino, limoneros y pomelo.

**CALENDARIO DE RECOLECCIÓN DE LOS CÍTRICOS CULTIVADOS EN ESPAÑA**  
Pardo J., Buj A.



Fuente: gipciticros.ivia.es

Figura 1 Calendario de recolección de cítricos según la variedad y estación del año.

2.1.1.3. Plagas del cultivo de los cítricos

A continuación, se van a detallar las plagas más importantes que afectan a los cítricos en la Comunidad Valenciana (Villalba Buendía & Vivas, 1999); (IVIA, 2021):

- Tetraníquidos: existen ácaros como el *P. citri* (ácaro rojo), que se puede encontrar en cualquier parte del árbol, aunque evoluciona más en las partes soleadas y altas. Vive sobre hojas, frutos y ramas verdes. En España existen dos picos de población para esta plaga, uno de agosto a noviembre y otro en primavera, ya que se desarrolla con temperaturas suaves. Este ácaro se alimenta de la clorofila de los tallos, hojas y frutos, así que es el color el que se ve afectado, a pesar de que las características organolépticas del fruto no se vean afectadas. Existen varios ácaros fitoseidos que eliminan la plaga de forma natural, aunque también se puede ejercer el control químico empleando preferentemente ovicidas e impregnando bien las ramas interiores.



Fuente: <http://gipcitricos.ivia.es/>

*Figura 2 Ácaro rojo (P. citri) adulto.*



Fuente: <http://gipcitricos.ivia.es/>

*Figura 3 Daños producidos por el ácaro rojo*

También afecta de forma recurrente el *T. urticae* (araña roja), este tetraníquido se desarrolla en el envés de las hojas o en los frutos principalmente en época primaveral, dado que si el clima es frío suele invernar. Las hojas afectadas por esta plaga toman una coloración amarillenta e incluso pueden caer. Sin embargo, en ciertos frutos pueden ocasionar manchas marrones. Esta plaga debe tratarse nada más aparecen los primeros síntomas con productos acaricidas, específicamente ovicidas y adulticida, ya que conviven simultáneamente en todas las formas.



Fuente: <http://gipcitricos.ivia.es/>

*Figura 4 Araña roja (T. Urticae) adulto*



Fuente: <http://gipcitricos.ivia.es/>

*Figura 5 Daños producidos por la araña roja*

- **Mosca blanca:** es el insecto fitófago al que se le atribuye la plaga de cítricos más extensa e importante en España desde que apareció en 1968 en Málaga. Según se ha comprobado, esta plaga coloniza cualquier especie y variedad de cítrico presente en el territorio español. Habitualmente se desarrolla en el envés de las hojas jóvenes, si las hay. En caso contrario realiza la puesta de huevos en hojas adultas. Todos los estados evolutivos de este insecto coexisten durante todo el año, pero el mayor pico de población se da durante los meses de verano. Los daños ocasionados al árbol se clasifican en directos, ocasionados por la pérdida de savia, y los indirectos, causados por otros agentes biológicos que se desarrollan junto a esta plaga. Existen diferentes depredadores naturales para esta plaga, siendo la solución más viable a este problema, ya que no existe un control químico adecuado que proporcione resultados relevantes. En la actualidad se continúan realizando pruebas para determinar qué plaguicida es el más adecuado para combatir la mosca blanca sin exterminar a los enemigos naturales que conviven con la misma.



Fuente: <http://gipcitricos.ivia.es/>

*Figura 6 Adulto de mosca blanca*



Fuente: <http://gipcitricos.ivia.es/>

*Figura 7 Rama de naranjo afectado por mosca blanca*

- **Pulgones:** existen diferentes plagas generadas por pulgones como son el pulgón verde de los cítricos, pulgón del algodón, pulgón verde del melocotonero y pulgón negro de los cítricos. Todas ellas afectan directamente a las diferentes variedades de cítricos existentes en la citricultura valenciana y dependiendo del tipo de pulgón se empleará un aficida diferente. Generalmente estas plagas comienzan a incrementarse durante la primavera, y habitualmente se desarrollan en los brotes más tiernos de los árboles. Los daños ocasionados pueden ser directos, ya que debido a la inserción de saliva en las hojas estas pueden sufrir enrollamientos, o indirectos, a causa de la atracción de otros agentes biológicos que causan daños al árbol.
- **Cochinillas:** las principales plagas son producidas por el piojo blanco, piojo rojo, piojo gris, piojo rojo de california, serpeta gruesa y fina, caparreta negra, caparreta blanca, cochinilla blanda, cotonet y la cochinilla acalanada. Las cochinillas se alimentan de los jugos celulares que succionan cuando introducen sus picos en los tejidos de la planta. Se pueden encontrar en hojas, frutos, tallos o troncos, y generan unas manchas entorno a su posición que provocan la depreciación del fruto. En general se producen varias generaciones anuales, por lo que se pueden considerar plagas relativamente constantes. Las mismas se pueden controlar mediante depredadores que atacan la plaga, aunque en épocas estivales son menos efectivos, o mediante control químico empleando un plaguicida adecuado para cada especie.

También existen otras plagas menos relevantes como la polilla de los cítricos, cacoecia, barrenta, mosquito verde, chinche verde y la mosca del mediterráneo.

## 2.1.2. Productos fitosanitarios

### 2.1.2.1. Definición de producto fitosanitario

Un producto fitosanitario tiene el objetivo de proteger los cultivos de ciertos organismos dañinos (plagas, enfermedades, malas hierbas, etc.), y suele ser un producto químico compuesto por una o varias materias activas y otros ingredientes (coadyuvantes, aditivos, ingredientes inertes, etc.). La preparación de lo que se denomina caldo consiste en diluir en agua el producto concentrado, que contiene la/s materia activa/s, para su posterior aplicación.

Se define como tratamiento fitosanitario la aplicación, generalmente mediante pulverización, de productos fitosanitarios para prevenir o combatir las plagas, enfermedades y/o malas hierbas en los cultivos, introduciéndolo deliberadamente en el ambiente. Algunos productos químicos también se emplean para influir en procesos vitales de los vegetales.

En un tratamiento fitosanitario, además de cumplir con el principal objetivo de contener y eliminar el organismo dañino, se debe tener en cuenta que la aplicación debe hacerse de una forma segura tanto para el aplicador como para el medio ambiente. Para ello se debe aplicar la dosis necesaria del producto adecuado garantizando las condiciones de seguridad y salud para

el aplicador durante la preparación y mezcla del caldo, así como durante la aplicación, y para otras personas susceptibles de quedar expuestas (otros trabajadores de la propia explotación, transeúntes, residentes, etc.), así como el medio ambiente.

### 2.1.2.2. Tipos de productos fitosanitarios

Los productos fitosanitarios se pueden clasificar teniendo en cuenta diferentes aspectos, pero desde el punto de vista toxicológico se destaca (Guillén Enríquez et. al, 2003):

- Según la acción preferente: Dependiendo de la plaga o enfermedad que controlen pueden ser insecticidas, fungicidas, acaricidas, herbicidas, etc.
- Según el grado de toxicidad: Dependiendo de la toxicidad aguda que presenta el producto en base a su dosis letal 50 (DL<sub>50</sub>) son de los siguientes tipos:
  - Nocivo: riesgo de gravedad limitada.
  - Tóxico: riesgo grave, agudo o crónico.
  - Muy tóxicos: riesgo extremadamente grave, agudo o crónico.
- Según el grupo químico: Pueden provocar diferentes efectos para la salud y se clasifican en organoclorados, organofosforados, carbamatos, piretoides, bipiridilos, clorfenoxiacidos, cloro y nitrofenoles, organomercuriales.

### 2.1.2.3. Composición de los productos fitosanitarios

Como se ha comentado anteriormente, el producto fitosanitario se trata de una mezcla de la materia activa con otros ingredientes. Teniendo esto en cuenta, la composición de los fitosanitarios se puede considerar la siguiente (Bartual Sánchez & Berenguer Subils, 1984):

- **Formulación**: son las sustancias que aparecen en proporción fija.
- **Ingrediente activo-técnico**: puede ser un producto orgánico o inorgánico, natural, sintético o biológico, el cual tiene una cierta actividad biocida.
- **Coadyuvantes**: se trata de sustancias que tienen la capacidad de modificar las propiedades físicas y químicas de los ingredientes activos, como por ejemplo serían los tensioactivos, estabilizantes o fluidificantes.
- **Aditivos**: este tipo de sustancias añadidas no tienen influencia en la eficacia de los fitosanitarios, sin embargo, pueden ser añadidas para cumplir prescripciones reglamentarias. Por ejemplo, se destacarían los colorantes o repulsivos.
- **Ingredientes inertes**: cuando estos son unidos a los ingredientes activos, permiten modificar sus características de dosificación o aplicación.
- **Protectores**: en este caso se trata de sustancias que eliminan o reducen los efectos fitotóxicos en ciertas plantas.
- **Sinergistas**: la presencia de estas sustancias aumenta la actividad de las sustancias activas.

- **Coformulantes:** son todos aquellos ingredientes que no sean sustancias activas, ni protectores o sinergistas.
- **Adyuvantes:** el propio usuario mezcla este tipo de sustancia con el producto fitosanitario para mejorar su eficacia u otras propiedades.

#### 2.1.2.4. Dosis de aplicación del producto

La dosis de fitosanitario se define como una masa o volumen (kg o L) de fitosanitario vinculado a una determinada unidad de referencia, que caracteriza el objetivo de la aplicación por pulverización, por ejemplo, unidad de superficie de suelo (ha) o unidad de volumen de vegetación (m<sup>3</sup>) (Ortiz-Cañavate, 2003). Habitualmente se expresa en kilogramos, litros o mililitros por hectárea (kg/ha, l/ha o ml/ha) (MICEX, 2021).

La dosis está relacionada con la concentración de fitosanitario y el volumen de aplicación como se muestra en la Ecuación 1.

$$D = (C/100) \times S$$

*Ecuación 1*

donde:

D: dosis de fitosanitario [kg o L de fitosanitario por unidad que caracteriza el objetivo, p.ej. hectárea]

C: concentración de fitosanitario [% o kg o L de fitosanitario por hL de caldo]

S: volumen de aplicación [L por unidad que caracteriza el objetivo, p.ej. hectárea]

La concentración no cumple con la definición de la dosis ya que no se relaciona con una cantidad de producto a una unidad objetivo. Para un uso adecuado de los productos fitosanitarios, el aplicador debe conocer al menos dos de los parámetros de la Ecuación 1; sin embargo, la etiqueta del producto suele dar solo recomendación sobre uno de ellos, dejando la determinación del otro en manos del aplicador o responsable de los tratamientos fitosanitarios de la explotación. En concreto, en España y otros países mediterráneos productores de cítricos, las etiquetas suelen indicar la concentración a aplicar, sin indicaciones del volumen de caldo a emplear. Y en caso de dar alguna indicación en este sentido, suelen limitar el volumen máximo y/o dosis máxima de aplicación, expresados por ha, sin tener en cuenta las características ni la cantidad de vegetación objetivo a la que se vaya a dirigir el tratamiento, lo que en muchos casos provoca situaciones en que no es posible aplicar todo el producto que la vegetación requeriría, produciendo posibles problemas de falta de eficacia.

De manera racionalizada, el volumen de aplicación en los tratamientos fitosanitarios depende de las características de la vegetación (densidad, volumen...) del cultivo que se debe proteger, el producto que se aplica y el organismo que se combate. Sin embargo, de manera convencional, con el fin de garantizar el control de la plaga se suelen aplicar volúmenes elevados y fijos, que no tienen en cuenta ninguno de estos parámetros, y que se establecen en base a tradiciones,

costumbres y creencias empíricas. Esto da lugar a sobredosificaciones que pueden producir un incremento de residuos de productos sobre la producción, problemas de resistencias en las plagas a combatir y un incremento de la contaminación ambiental.

Existen herramientas de ajuste del volumen del caldo óptimo (OVRA) a través de las cuales se recomienda el volumen de caldo idóneo para pulverizar, teniendo en cuenta el tipo vegetación, plagas a tratar, características del cultivo y productos a aplicar. La principal herramienta para el cultivo de cítricos es CitrusVol, la cual calcula el volumen de aplicación óptimo (l/ha) de producto fitosanitario para un pulverizador hidráulico de asistencia de aire (CEAM, 2022).

La herramienta CitrusVol está basada en datos científicos obtenidos en laboratorio, cuyo resultado ha dado lugar a modelos que muestran la mínima cantidad e producto necesaria para conseguir la máxima eficacia, y obtenidos en campo, considerando todos los factores que afectan a la aplicación (Garcerá et al., 2011; 2012a; 2012b; 2017a) y ha sido validada en condiciones reales (Fonte et al., 2019; 2021).

Figura 8 Imágenes de la calculadora de recomendación del volumen de caldo en cítricos (CitrusVol).

### 2.1.3. Equipos de aplicación de productos fitosanitarios

Para la aplicación de cualquier producto fitosanitario es necesario emplear maquinaria agrícola específica que garantice que el producto se distribuye correcta y adecuadamente en toda la zona deseada, para lo que deben calibrarse y ajustarse.

Se entiende como equipo de aplicación toda aquella máquina necesaria para realizar el tratamiento con producto fitosanitario, que está formada por distintos elementos y dispositivos para que su funcionamiento sea el indicado.

El objetivo que se quiere cumplir es depositar el producto en los sitios adecuados de la planta, es decir, depositar las gotas de fitosanitario en aquellos lugares que sea necesario para combatir el organismo objetivo.

De manera tradicional, en cítricos se emplean equipos manuales de tipo mochila y equipos de mangueras y pistolas, sobre todo en plantaciones de propiedad individual, de poca superficie, que no están preparadas para su mecanización y los tractores y equipos de pulverización no pueden entrar. En plantaciones de mayor extensión y con suficiente separación entre filas para permitir el paso de maquinaria, se emplean equipos específicos arrastrados y normalmente accionados por un tractor agrícola. En estos equipos, el aplicador es el conductor del tractor, ya que también controla y es el responsable de la aplicación.

En el caso de los cítricos se utilizan tractores estrechos para poder circular entre las filas de árboles, que suelen tener gran porte y dejan poco espacio entre filas colindantes, pudiendo encontrarlos con y sin cabina, Figura 9.

Además, también hay equipos que aplican fitosanitarios en polvo, denominados espolvoreadores, los cuales crean una nube de polvo, que con la ayuda de un flujo de aire se proyecta en el cultivo. En cítricos no se suelen utilizar.



Fuente: itvagricola.es

*Figura 9 Tractor aplicando tratamiento fitosanitario en cítricos*

### 2.1.3.1. Tipos de equipos de aplicación de productos fitosanitarios

Los pulverizadores se emplean para aplicaciones con productos en estado líquido o mezclados con agua, y según su forma de funcionamiento pueden ser de diferentes tipos:

1. **Pulverizador hidráulico.** La pulverización se produce por la presión hidráulica ejercida por una bomba sobre el líquido que al pasar por un orificio estrecho, que se conoce como boquilla, forma de gotas. Ejemplos de estos equipos son los pulverizadores de

barra que habitualmente se utilizan para cultivos bajos y los pulverizadores de mangueras y pistolas.

2. **Pulverizador hidroneumático o hidráulico asistido por aire.** La pulverización se produce por pulverización hidráulica pero las gotas tras formarse, son transportadas mediante una corriente de aire turbulenta generada por un ventilador. Habitualmente se utilizan para cultivos de crecimiento vertical, tipo cítricos, frutales, viña..., mediante un arco de pulverización. Este arco de pulverización puede ser circular, produciendo una pulverización radial, o en forma de torre, produciendo un perfil de pulverización vertical. También existen equipos de barra con asistencia de aire que dirigen las gotas hacia la vegetación.

Se generan unas gotas que quedan suspendidas en el aire y pueden resultar peligrosas para el operador (conductor del tractor) si la exposición no se efectúa con las medidas de seguridad necesarias.

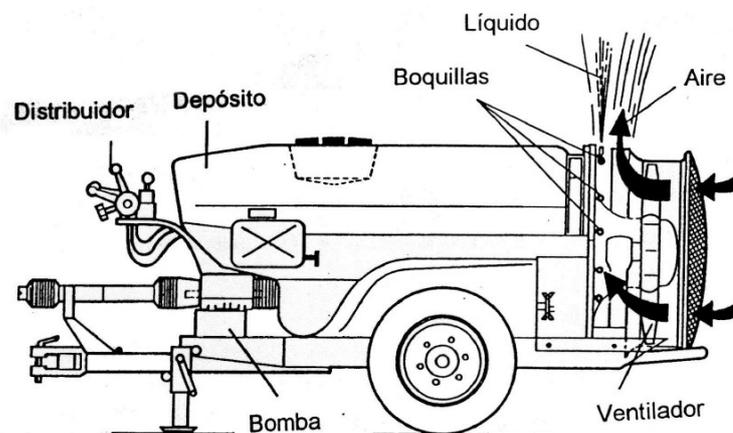


Figura 10 Esquema de las partes de un pulverizador hidroneumático

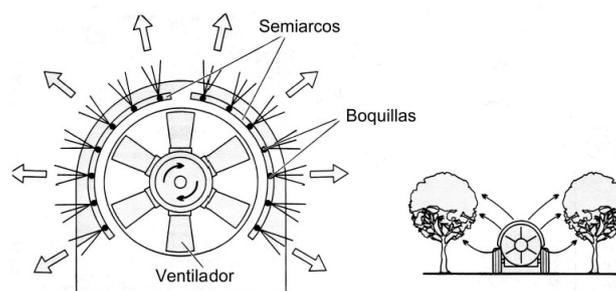


Figura 11 Esquema del ventilador de un atomizador

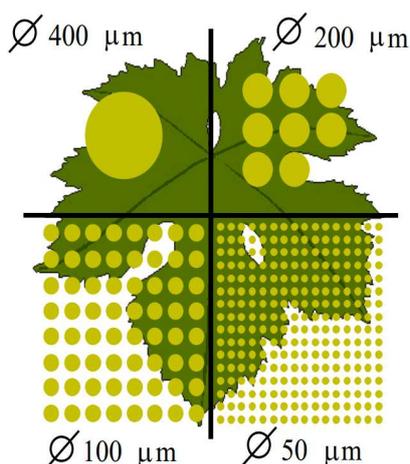
Según se observa en las anteriores figuras, una vez se realiza la mezcla en el depósito de la materia activa diluida en agua, esta es impulsada por la bomba hacia el distribuidor que dirige el fluido por las tuberías hasta las boquillas. Al generar una corriente de aire con el ventilador, hace que las gotas que salen por las boquillas se transporten a una

mayor velocidad y a una distancia superior, y al ser una corriente de aire turbulenta, mueve la vegetación y permite la penetración de la pulverización.

3. **Pulverizador neumático.** La pulverización no se produce por presión de una bomba sobre el líquido, si no por la fuerza de un flujo de aire producido por un ventilador sobre un chorro de líquido que sale de la boquilla y lo rompe en gotas.
4. **Pulverizador centrífugo.** La formación de las gotas se produce por la fuerza centrífuga que genera un objeto que rota a gran velocidad sobre el líquido que llega por medio de una boquilla.

### 2.1.3.2. Boquillas de pulverización hidráulica

En pulverización hidráulica el tamaño de las gotas depende de la boquilla que se emplee y de la presión de trabajo, ya que el tamaño de las gotas es menor cuanto mayor es la presión de trabajo. Las gotas pueden tener diámetros menores de  $90\ \mu\text{m}$  y mayores de  $600\ \mu\text{m}$ . Tal y como se muestra en la Figura 12, dada una misma cantidad de líquido, el recubrimiento varía en función del tamaño de la gota.



Fuente: catedrasyngenta.upc.edu

Figura 12 Influencia del tamaño de gota en el recubrimiento de la hoja

Las boquillas se ubican en los distribuidores y son el elemento más importante a tener en cuenta en la calidad de la pulverización. Se trata de elementos que pueden ser contruidos en diferentes materiales (cerámica, acero inoxidable, plástico...).

Es conveniente que previo a la boquilla se disponga de un sistema antigoteo para evitar pérdidas de producto una vez hemos dejado de pulverizar, pero sigue quedando presión en el circuito hidráulico.

Existe una clasificación internacional de las boquillas hidráulicas en función del tamaño de gotas que producen y el potencial que tienen para producir deriva (Doble et al., 1985; Southcombe et al., 1997). En realidad, las boquillas no producen un tamaño uniforme de gotas, sino que producen un espectro de tamaños de gotas, definido por el *diámetro medio volumétrico* (VMD, del inglés Volume median diameter), que es el diámetro de las gotas en el que el 50 % del

volumen de pulverización está en gotas más grandes y el 50 % del volumen está en gotas más pequeñas, y por *el rango de gotas*, que es un término que abarca el diámetro de gota por debajo del cual se contiene el 90, el 50 y el 10% del volumen de pulverización.

Las boquillas más empleadas se pueden clasificar según la forma del chorro como:

- Cónicas o de turbulencia: generan mayor turbulencia y gotas más finas, logrando una mayor cobertura del cultivo. Pueden ser de cono hueco o lleno, y se emplean generalmente en las aplicaciones de insecticidas o fungicidas para aplicación foliar.



Fuente: aerocampo.com

*Figura 13 Boquillas con patrón de aspersión de cono hueco y cono lleno*

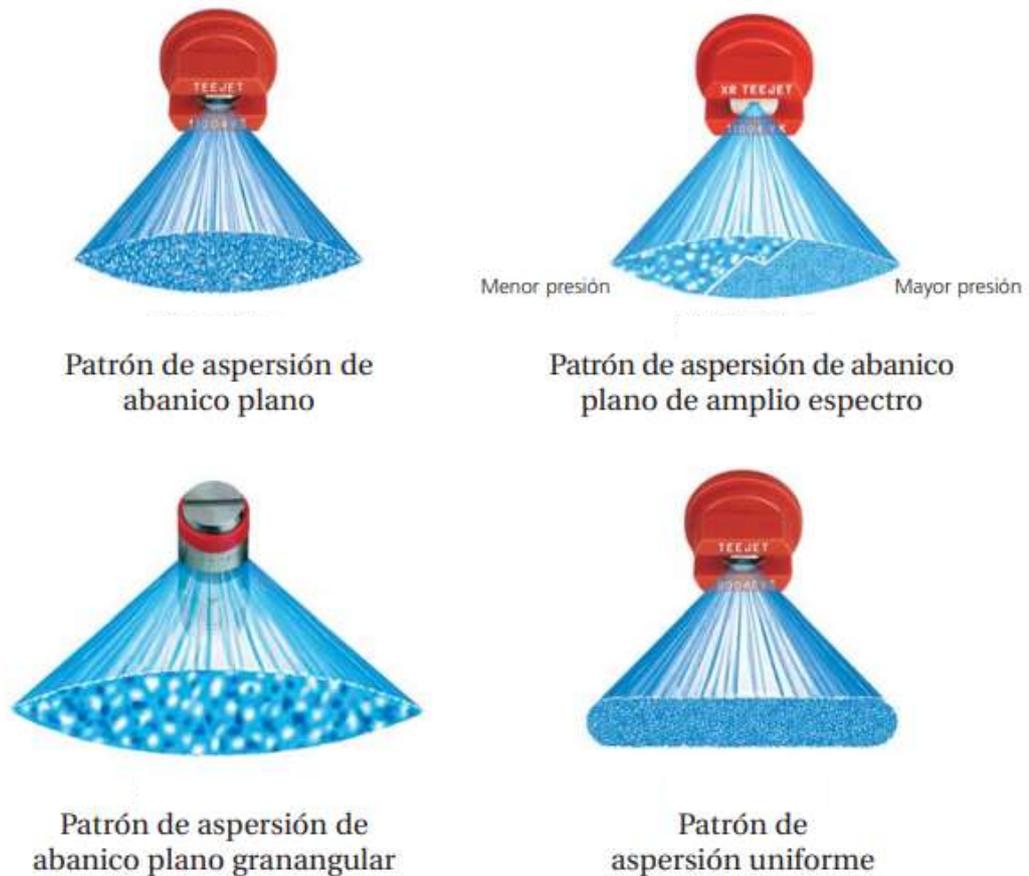
- Deflectoras o de espejo: proporcionan un tamaño de gota mayor que las cónicas con una menor presión. Se utilizan para aplicaciones en tratamientos preventivos para aplicaciones al suelo.



Fuente: utilcampo.com

*Figura 14 Boquilla con patrón de aspersión de espejo*

- De abanico: este tipo de boquillas proporciona una mayor concentración de gotas en el centro frente a los extremos, de forma que se deberá garantizar un mínimo solapamiento para una aplicación uniforme. Se emplean normalmente en aplicaciones donde sea necesario un gran ángulo de pulverización y tratamientos al suelo.



Fuente: aerocampo.com

Figura 15 Boquillas con patrón de aspersión de tipo abanico

- Descentradas o de impacto: pulverizan el líquido hacia un lateral, por lo que proyectan el producto de forma irregular. Las gotas no son uniformes y tienden a ser gruesas. Se suelen gastar en tratamientos al suelo



Fuente: documentop.com

Figura 16 Boquilla con patrón de aspersión descentrado

Normalmente, de forma convencional, se utilizan boquillas que producen unas gotas muy finas, ya que el recubrimiento obtenido en las hojas de las plantas es mayor cuanto más reducido es

el tamaño de la gota, por lo que existe la creencia generalizada de que las boquillas que producen gotas finas aumentan la eficacia de los tratamientos fitosanitarios, pero diversos estudios no han encontrado diferencias de eficacia de control entre boquillas de gota fina y de gota gruesa, como son las boquillas de inducción de aire, también denominadas de baja deriva (Heinkel et al., 2000, 2001; Lešnik et al., 2005; McArtney and Obermiller, 2008; Garcerá et al., 2017a).

Las gotas finas ocasionan un alto riesgo por inhalación y exposición dérmica, y producen deriva fuera de la parcela, ya que se ven muy influenciadas por el viento ambiental y el flujo de aire del pulverizador, llegando muy lejos de la parcela, tanto a otros cultivos colindantes como a la atmósfera, lo que se denomina exo-deriva. Este tipo de gotas pueden alcanzar al aplicador fácilmente cuando el tratamiento se está aplicando con un tractor sin cabina.

Las gotas gruesas se ven menos influenciadas por el viento ambiental y el flujo de aire del pulverizador, debido al mayor tamaño y peso de las gotas, que hace que las gotas tengan un comportamiento más balístico (Heijne et al., 2002). Es decir, la deriva ambiental es menor cuanto mayor es el tamaño de las gotas. Sin embargo, también es más probable que se produzca escorrentía hacia el suelo debido al escurrimiento de las gotas de la vegetación por la acción de la gravedad o incluso que haya mayor deposición directa en el suelo en la zona cercana al pulverizador, lo que se denomina endo-deriva, por el propio comportamiento balístico de las gotas (Heijne et al., 2002; Derksen et al., 2007; Sesah, 2007; Lešnik et al., 2015; Garcerá et al., 2017b).

Los principales peligros a los que están expuestos los trabajadores que operan el pulverizador serían el atrapamiento por las partes móviles de la máquina, la proyección de fluidos en caso de rotura de los componentes que trabajan a presión o pérdida de estabilidad de la máquina, entre otros (NTP 1047, 2015).

En los equipos de aplicación por pulverización del caldo, es importante conocer las características de la bomba, boquillas y tractor, desde el punto de vista de las velocidades de avance que proporciona. El volumen de caldo (l/ha) que aplican estos equipos se calcula con la siguiente ecuación.

$$D \left( \frac{l}{ha} \right) = \frac{Q \left( \frac{l}{min} \right)}{a (m) \cdot v \left( \frac{km}{h} \right)} \cdot \frac{60 min}{h} \cdot \frac{1 km}{1000 m} \cdot \frac{10000 m^2}{ha} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde

$a$  - anchura de trabajo. Normalmente en cultivos frondosos como los cítricos los tratamientos se realizan pasando por todas las calles, por lo que el ancho de trabajo coincide con la distancia entre filas de la parcela a tratar.

$Q$  - caudal del equipo, que es el sumatorio del caudal que sale de todas las boquillas abiertas para la aplicación que se vaya a realizar.

$v$  - velocidad de trabajo. Esta debe elegirse de manera que sea compatible con el relieve del terreno y con la distribución del producto. En cítricos, que tienen una alta densidad foliar y

habitualmente un gran diámetro de copa, la velocidad recomendada varía entre 1 y 3 km/h, para asegurar una penetración adecuada del tratamiento.

#### 2.1.4. Contaminación ambiental por deriva del producto durante la aplicación

Se define como deriva la cantidad de producto fitosanitario que se transporta fuera del área tratada por la acción de las corrientes de aire durante el proceso de aplicación (ISO 22866, 2005). La deriva es el principal problema medioambiental durante la aplicación de productos fitosanitarios y es considerada una importante fuente de contaminación de las aguas superficiales (Schönenberger et al., 2022), especialmente en los cultivos de crecimiento vertical, aunque los agricultores no son realmente conscientes de la magnitud que este problema representa. En cítricos se ha estimado que solo el 50 del producto fitosanitario se deposita en el objetivo (Garcerá et al., 2017b).

La deriva se ve afectada por factores meteorológicos. Si el viento es elevado, las gotas serán arrastradas con mayor facilidad, llegando más lejos de los límites de la zona tratada. Si la temperatura es elevada y la humedad relativa es baja, se producirá la evaporación del agua de las gotas durante la aplicación, quedando las partículas de producto en suspensión, siendo fácilmente transportadas por el viento. También por factores del equipo de aplicación, si se trabaja con caudales de aire excesivos el desplazamiento de las gotas será mayor de lo necesario, o si la orientación de la nube de pulverización no es correcta, abarcará una zona de tratamiento diferente a la requerida, pasando por encima o por debajo de la vegetación. Además, como ya se ha mencionado, cuanto menor sea el tamaño de gota, mayor deriva se producirá, ya que las gotas son más susceptibles de ser arrastradas por el viento.

Para reducir la deriva que se produce durante la aplicación del tratamiento, se recomienda la utilización de:

- Métodos relacionados con la parcela: setos cortaviento, que además se pueden aprovechar como refugio para la fauna beneficiosa, utilización de mallas, etc.
- Métodos relacionados con la maquinaria:
  - o utilizar boquillas de baja deriva para aumentar el tamaño de las gotas
  - o control del caudal del aire del ventilador
  - o control de la dirección del aire del ventilador mediante deflectores
  - o control de la apertura y cierre de boquillas
  - o modificación automática de las boquillas en las zonas de especial sensibilidad o ante cambios de viento
  - o recogida del caldo en túneles especiales y reutilización
  - o utilización de la menor presión posible dentro del rango de funcionamiento adecuado de las boquillas.
  - o Ajuste del volumen de caldo

Para medir la deriva de productos fitosanitarios se ha desarrollado una metodología estandarizada (ISO 22866, 2005) que consiste en estimarla a partir de su deposición sobre colectores. Los colectores son elementos de superficie conocida sobre los que se depositan las gotas de la pulverización con el producto fitosanitario, y que se ubican en la zona donde mayor es la probabilidad de producirse la deriva, es decir, a sotavento de la aplicación.

A partir de los datos experimentales de deriva se han desarrollado modelos de esta que se utilizan para calcular el riesgo que supone para el medioambiente el uso de fitosanitarios. Actualmente los modelos de deriva disponibles se han obtenido en zonas del centro y norte de Europa en sus condiciones agroclimáticas (cultivos, sistemas de cultivo, temperatura, radiación solar, lluvia, etc.). Concretamente para realizar el análisis de riesgos necesario para el registro de un producto fitosanitario a nivel europeo se pueden emplear las curvas de deriva depositada descritas por Rautmann et al. (2001) que sustancialmente son las integraciones de las curvas propuestas por Ganzelmeier et al. (1995). Sin embargo, es importante tener en cuenta que dichas condiciones difieren considerablemente de las condiciones específicas de la región del cultivo que se quiere evaluar en este trabajo, como es el caso particular de la zona mediterránea (Ramos et al., 2000).

El producto fitosanitario que no llega a la planta donde está destinado puede acabar también en el suelo, por deriva depositada o por escurrimiento, produciendo la contaminación del suelo y en el caso de que se produjera drenaje, contaminación de aguas subterráneas. Numerosos autores han tratado de evaluar la contaminación recibida en el suelo. Algunos métodos utilizados pueden ser la medición del contenido del producto en el suelo o el uso de papeles hidrosensibles (Lupi et al., 2019). Otros métodos menos extendidos se basan en mediciones indirectas, como el basado en la medición del comportamiento de las lombrices de tierra (García-Santos & Keller-Forrer, 2011).

## 2.2. NORMATIVA DE SEGURIDAD

### 2.2.1. Legislación para la aplicación de productos fitosanitarios

La Ley de sanidad vegetal (**Ley 43/2002**) establece los requisitos legales aplicables para la lucha contra las plagas tanto a nivel nacional como autonómico, y con ello regula a nivel general el uso de los productos fitosanitarios, siendo la norma legal de máximo rango que se dispone en España en el momento de su publicación.

La ley de sanidad vegetal es especialmente restrictiva en cuanto a la autorización administrativa para la comercialización de los productos fitosanitarios, estableciendo en su artículo 30 que dichos productos deben ser utilizados sin riesgos para las personas y sin producir un impacto inaceptable para el medio ambiente.

Por otro lado, las condiciones que debe cumplir el producto se regulan mediante la Reglamentación técnico-sanitaria para la fabricación, comercialización y utilización de fitosanitarios aprobada por el **Real Decreto 3349/1983** y modificada por el **Real Decreto 443/1994**, que recoge las condiciones que deben cumplir los locales de almacenamiento y las

instalaciones destinadas a efectuar tratamientos con fitosanitarios, así como los aplicadores y el personal de las empresas dedicadas a ello. También se aplica el **Real Decreto 255/2003** sobre clasificación, envasado y etiquetado de preparados peligrosos o el **Real Decreto 1416/2001** sobre envases de productos fitosanitarios, entre otros. Es de obligado cumplimiento que previamente a su comercialización, los productos fitosanitarios, estén autorizados por el Ministerio competente e inscritos en el Registro Oficial de Productos y Material Fitosanitario (ROPMF).

Cada vez es más visible la tendencia a nivel europeo hacia la sostenibilidad, es por ello que el uso sostenible de los fitosanitarios está regulado por la **Directiva 2009/128/CE**, que a nivel español se traspuso en el **Real Decreto 1311/2012**, así como otras publicaciones emitidas a nivel europeo con el objetivo de reducir el impacto de los fitosanitarios sobre la salud humana y el medioambiente.

En cuanto a la maquinaria de aplicación, la **Directiva 2006/42/CE** regula el uso de las máquinas, como serían los pulverizadores empleados o los tractores que los arrastran, traspuesta en la normativa española en diferentes Reales Decretos, como el **Real Decreto 494/2012** que establece las normas para la comercialización y puesta en servicio de las máquinas, incluyendo los riesgos de aplicación de fitosanitarios. En cuanto a las revisiones periódicas de los equipos de aplicación de productos fitosanitarios, vienen reguladas por el **Real Decreto 1702/2011**.

Adicionalmente existe normativa no vinculante, con recomendaciones en la utilización de productos fitosanitarios, como por ejemplo la “Nota Técnica de Prevención (NTP) 268 – Pesticidas: medidas preventivas en el almacenamiento y la utilización”, o la “NTP 1033 – Productos fitosanitarios: prevención de riesgos durante su uso” del Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST).

Por último, se aplica la Ley de prevención de Riesgos Laborales (**Ley 31/1995**) ya que el aplicador está ejerciendo su labor profesional durante la aplicación del tratamiento fitosanitario. Esta Ley se desarrolla, entre otros, mediante el **Real Decreto 374/2001**, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo, y el **Real Decreto 665/1997**, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo, ya que los productos fitosanitarios a los que están expuestos los trabajadores son agentes químicos, en muchos casos peligrosos, y en ocasiones cancerígenos. También se considera importante el **Real Decreto 773/1997** sobre las disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual (EPI).

## 2.3. IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE RIESGOS PARA EL APLICADOR

En el sector agrario la mayoría de los factores de riesgo para los trabajadores son cambiantes, ya que normalmente realizan una gran variedad de tareas y las condiciones de estas son muy dispares.

Históricamente, los riesgos más comunes son de tipo físico (condiciones climatológicas adversas, etc.), ergonómicos (posturas forzadas, sobreesfuerzos, etc.) y por exposición a agentes biológicos (picaduras, etc.). Sin embargo, en la actualidad toman mayor importancia los riesgos de tipo mecánico (ruidos, vibraciones, atrapamientos, etc.), debido al incremento en el uso de maquinaria, y la exposición a agentes químicos, dado el creciente uso de productos fitosanitarios.

Cuando se trabaja con producto fitosanitario es importante conocer los factores de riesgo para seguir las medidas preventivas oportunas. Cuando se analizan estos factores de riesgo, se puede realizar la siguiente clasificación:

- **Factores de riesgo del propio agente químico:** se trata de las características intrínsecas de la sustancia química (facilidad para ser absorbida por el organismo, capacidad de producir daños, etc.).
- **Factores de riesgo según el puesto de trabajo:** condicionan el contacto entre el agente químico y el trabajador (preparación y/o aplicación del caldo de pulverización, forma de aplicación del producto, frecuencia del contacto, etc.).
- **Características del trabajador:** pueden motivar una mayor sensibilidad para sufrir daños (edad, sexo, enfermedades, etc.).
- **Factores de riesgo según el comportamiento del trabajador:** influye principalmente la higiene durante y después de la manipulación del agente químico (lavado de manos, comer, fumar, etc.).

### 2.3.1. Toxicología laboral

Los fitosanitarios pueden tener diferentes vías de entrada al organismo del aplicador, pero algunas de ellas son mucho más dañinas, según si se produce un efecto local o si el tóxico se absorbe en un torrente sanguíneo para actuar posteriormente en órganos o tejidos.

La **vía respiratoria** es generalmente la vía de entrada más habitual, ya que el fitosanitario puede penetrar en el organismo independientemente de su forma (polvo, humo, aerosol, gas, vapor, etc.). En este caso, las partículas más pequeñas de los fitosanitarios sólidos pueden incluso alcanzar el tejido pulmonar de los alveolos.

Ciertos tipos de productos pueden ingresar al organismo por **vía dérmica** atravesando la piel y alcanzando los capilares sanguíneos superficiales. En este caso el nivel de penetración dependerá de la concentración del fitosanitario y de las características fisicoquímicas del mismo.

Si el aplicador no tiene unos buenos hábitos higiénico-sanitarios, es posible que la vía de entrada sea la **vía digestiva**. Cuando el trabajador se dispone a comer, beber o fumar tras haber manipulado el producto químico, si no se ha higienizado las manos posteriormente de forma adecuada, el químico puede ingresar por el sistema digestivo.

En casos excepcionales, si el aplicador tiene heridas, llagas o cualquier alteración de la piel, puede generarse un ingreso del tóxico mediante **vía parenteral** accediendo directamente al torrente sanguíneo. Por este motivo es extremadamente importante emplear los EPI de forma adecuada.

Por último, la **vía conjuntival**, cuando el fitosanitario entra al organismo mediante salpicaduras en los ojos. No es una vía de entrada común, y puede evitarse fácilmente haciendo el uso de los EPI necesarios.

Dependiendo del tipo de producto químico que se esté empleando y la vía de entrada al organismo, se pueden producir numerosos efectos adversos como reacciones alérgicas, quemaduras o irritaciones, intoxicaciones agudas o crónicas, e incluso enfermedades mutagénicas o degenerativas.

Los productos fitosanitarios, según su peligrosidad, pueden ser corrosivos, irritantes, fácilmente inflamables, explosivos, nocivos, tóxicos, peligrosos para el medio ambiente o muy tóxicos. Se indicará claramente en la etiqueta cuál es el peligro del producto fitosanitario que se vaya a emplear, Figura 17.



Fuente: <https://www.ocu.org/>

Figura 17 Pictogramas de peligro

Durante la preparación del caldo, la aplicación del mismo y la operación de limpieza posterior, es decir mientras se esté manipulando el fitosanitario, pueden existir riesgos higiénicos, por lo que es imprescindible avisar al trabajador de la toxicidad del producto e incitarle a seguir unos hábitos de higiene estrictos.

### 2.3.2. Exposición a productos fitosanitarios

Siempre que se está trabajando con producto fitosanitario se debería realizar un control ambiental, para garantizar que el aplicador no estará expuesto a unos valores límite umbral (TLV) superiores a los estipulados, además de poder estimar de esta forma el riesgo de exposición que puede sufrir el trabajador según la concentración del tóxico presente en el aire. Además de controlar el riesgo de exposición con penetración por vía respiratoria, también se debería realizar un control biológico cuando se esté manipulando fitosanitario con riesgo de entrada al organismo por otras vías. Este tipo de controles biológicos determinan la presencia del pesticida o sus metabolitos en algún fluido biológico, y en caso de determinar la presencia del pesticida, las concentraciones se comparan con unos valores índices de exposición biológicos (BEI).

Para reducir el riesgo, se deberá reducir la toxicidad del producto manipulado o la exposición al mismo.

Numerosos estudios han revisado los efectos de los productos fitosanitarios en las personas. El efecto de la contaminación ambiental, provocada por la deriva de los productos fitosanitarios, en los residentes cercanos a las áreas agrícolas ha quedado demostrada (Dereumeaux et al., 2020). Los métodos más comunes para cuantificar los niveles de productos fitosanitarios son las medidas del aire y los análisis de orina y sangre.

En esta línea, diferentes trabajos han abordado los efectos de los productos fitosanitarios en los trabajadores agrícolas. Para estimar la exposición dérmica se utilizan los métodos PDE (“potencial dermal exposure”): método de los parches (“patch method”, (WHO (World Health Organization), 1986)) y método de dosimetría del cuerpo (“whole body dosimetry”, (Fenske, 1993)). El método de dosimetría del cuerpo es más recomendable porque no es necesario extrapolar a todo el cuerpo partiendo de medidas de zonas reducidas. En este método el trabajador se cubre todo el cuerpo (incluida la cabeza) con una prenda de algodón. Para estimar la exposición por inhalación se puede tomar muestras de aire mediante una bomba de extracción, colocada en la zona de respiración del trabajador (Cao et al. 2015).

Para cuantificar el nivel de riesgo al que están expuestos los trabajadores durante su jornada laboral, se puede emplear la caracterización del riesgo. Este parámetro relaciona la exposición con el DNEL (nivel sin efecto derivado). Este nivel se considera el máximo al que una persona puede estar expuesto para no sufrir efectos derivados de dicha exposición. Es por ello que el valor deseado para la caracterización del riesgo es cercano a 0, lo cual significará que el riesgo está controlado. En caso contrario, cuando el valor supere la unidad, se considerará que el riesgo no está controlado (Aguilar Bailo, 2013).

El riesgo de los trabajadores puede ser el de los aplicadores que trabajan directamente en la pulverización, así como el de otros trabajadores que acceden a la parcela a realizar trabajos durante o después de la realización del tratamiento fitosanitario. El nivel de exposición de los trabajadores que acceden al campo con posterioridad puede ser muy importante (Bureau et al., 2021).

### 2.3.3. Medidas preventivas

La medida preventiva con mayor prioridad sería eliminar el riesgo, así que siempre que sea posible se evitará el uso de fitosanitarios y se sustituirán por otros tratamientos, tal y como determina la gestión integrada de plagas, obligatoria para todos los productores agrícolas europeos desde enero de 2014.

Para evitar los daños que pueden ocasionar los fitosanitarios al trabajador, se debe resaltar las dos principales vías de actuación; por un lado, deben garantizarse unas buenas prácticas en materia de seguridad durante la manipulación de los productos, y por otro, debe asegurarse el uso de EPIs por el trabajador.

El proyecto europeo TOPPS (Train Operators to Promote best management Practices and Sustainability) fue un primer paso para la elaboración de una guía de buenas prácticas en el manejo de fitosanitarios.

En primer lugar, se debe **seleccionar** adecuadamente el producto a aplicar, según la naturaleza del agente causante del problema, una vez se descarta la aplicación de otros tratamientos alternativos (no fitosanitarios). En caso de no existir ninguna alternativa posible menos perjudicial, deberá aplicarse la combinación de sustancias que menor toxicidad presente para combatir el problema detectado. En caso de cualquier duda, deberá consultarse a un técnico especialista para determinar el tratamiento óptimo con la técnica más eficiente.

Posteriormente, durante el **transporte**, deberá garantizarse una adecuada estiba de la carga para evitar derrames o caídas indeseadas. Además, deberán emplearse envases suficientemente resistentes y en buenas condiciones.

En cuanto al **almacenamiento** de estos productos químicos, bajo ningún concepto podrán compartir estada con productos alimenticios, ni se deberán reutilizar los envases destinados a producto fitosanitario. Aunque para evitar el almacenaje de los mismos, es recomendable adquirir la cantidad concreta que se va a necesitar en el tratamiento.

Previamente a la **aplicación** del producto, deberán conocerse sus características fisicoquímicas y su modo de empleo, para evitar de esta manera riesgos para el aplicador. También será necesario realizar una inspección visual del equipo que se va a emplear para el tratamiento y los EPI necesarios; de esta manera se asegurarán las óptimas condiciones para comenzar con el tratamiento. Es recomendable hacer funcionar el equipo pulverizador con agua para detectar posibles fugas o un funcionamiento inadecuado antes de comenzar con su utilización.

La fase de **mezclado** de productos deberá realizarse en campo, en el momento previo a la aplicación. Deberá realizarse cuando sea más improbable que exista la presencia de terceras personas, de esta forma se evitan riesgos para transeúntes u otros trabajadores. Tanto para la fase de mezclado como para la distribución del fitosanitario se deberá controlar la dirección del viento para ajustar la aplicación en función del mismo, además de llevar los EPI necesarios. Es imprescindible realizar la regulación del equipo con la dosis adecuada para reducir el riesgo de exposición del aplicador, y por supuesto, deberá leerse la etiqueta y la ficha de seguridad del producto empleado para poder actuar en consecuencia.

Una vez se ha finalizado la aplicación del producto fitosanitario se debe **limpiar** el equipo empleado y limpiar la zona de limpieza. Es importante evitar que el agua empleada en la limpieza de los equipos alcance acuíferos, ya que existe un alto riesgo de contaminación, de forma que se recomienda realizar la limpieza en instalaciones con sistema de recogida de agua, además de tener que realizarse a una distancia mínima de 50 metros de cualquier masa de agua superficial o pozo.

Por último, se deberá **gestionar el residuo** generado, como por ejemplo los envases vacíos (considerados residuos peligrosos), acudiendo a un punto de recogida SIGFITO (Sistema Integrado de Gestión de envases fitosanitarios).

### 2.3.4. Equipos de protección individual

En el apartado anterior se nombraba la importancia de utilizar los EPI adecuados como medida preventiva, de forma que se va a explicar con detalle qué equipos de protección son los adecuados para la aplicación de los tratamientos fitosanitarios.

Según el artículo 2 del Real Decreto 773/1997, se entiende por equipo de protección individual todo equipo o accesorios que el trabajador porte para protegerse de uno o varios riesgos que desafíen su seguridad y salud.

Se deben proteger tanto las vías respiratorias, como la piel y los ojos de los productos tóxicos por contacto dérmico. Para ello se deberá emplear una máscara respiratoria o facial, en función de la toxicidad del producto aplicado, y en el caso de no emplear una máscara facial completa deberá protegerse también con gafas de seguridad (Figura 18). La ropa para cubrir el cuerpo y los guantes de protección deberán elegirse según la toxicidad del fitosanitario. En el anejo 8.1 se detalla la información de tipos de equipos de protección individual.

TIPO DE TRABAJO	TIPO DE PROTECCIÓN
● <b>1 - Manipulación de productos.</b>	Guantes, buzo, botas y protección de ojos.
● <b>2 - Preparación del caldo.</b>	Guantes, buzo, botas, protección de ojos y mascarilla.
● <b>3 - Tratamiento.</b>	Guantes ( <i>en manipulación de pulverizador o cultivo</i> ). Buzo y botas. Mascarilla ( <i>si no hay cabina con filtro de carbono, incluso en el tractor</i> ) Protección de ojos.
● <b>4 - Lavado de cubas.</b>	Guantes, buzo, botas y protección de ojos.



Fuente: Instituto Navarro de Salud Laboral

Figura 18 Esquema de la utilización de EPI según la tarea

### 2.3.4.1. Gestión de los EPI

El empresario será responsable y deberá velar porque los EPI se encuentren a disposición de los trabajadores, para que puedan ser empleados en la aplicación de los tratamientos fitosanitarios, entre otras tareas.

El trabajador, por su parte, será responsable de guardar el manual o instrucciones del fabricante, así como revisar y comunicar al empresario si el EPI se encuentra dañado o en condiciones no adecuadas.

### 2.3.5. Vigilancia de la salud

Según indica el *Ministerio de Sanidad, servicios sociales e igualdad*, el sector agrario no destaca precisamente por su implicación en la prevención de riesgos laborales, de hecho en el área de vigilancia se han detectado ciertos problemas específicos como por ejemplo: Servicios de Prevención Ajenos con falta de conocimientos en el sector, vigilancia de la salud genérica y de poca calidad, gran número de trabajadores sin cobertura, dificultad para proporcionar el servicio de vigilancia de la salud cuando el trabajador realmente lo necesita, carencia de programas de vigilancia de la salud una vez finalizada la relación laboral, etc.

A partir de estos problemas detectados, el citado Ministerio creó una guía específica para la vigilancia de la salud en el sector agrario, donde se recoge toda la información necesaria y recomendaciones para una mejora en la vigilancia de la salud de este sector.

Según la mencionada guía, inicialmente y de forma periódica se deberán realizar exploraciones comunes a todos los trabajadores del sector agrario, así como exploraciones específicas teniendo en cuenta la actividad concreta del trabajador. También se deberá inmunizar a los trabajadores que lo requieran (vacunación antitetánica, etc.).

Para el caso del aplicador de fitosanitarios, el protocolo a seguir para realizar una vigilancia de la salud óptima se indica en la Tabla 1.

PERFIL LABORAL	POSIBLES DAÑOS	EXAMEN DE SALUD BÁSICO		EXPLORACIÓN COMPLEMENTARIA (en función de hallazgos en el examen de salud básico)	EXPLORACIONES ESPECIALES	
			Exploraciones		Por riesgos específicos del puesto de trabajo	Por características propias del trabajador. Trabajadores sensibles
APLICADOR DE PLAGUICIDAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lesiones irritativas (conjuntivitis, faringitis, lesiones cutáneas...).</li> <li>- Intoxicaciones agudas.</li> <li>- Reacciones alérgicas (dermatitis de contacto, rinitis, asma...).</li> <li>- Efectos crónicos (intoxicaciones crónicas, CMR).</li> <li>- Traumatismos (contusiones, heridas, fracturas...).</li> <li>- Alteraciones osteomusculares, tendinosas y/o circulatorias.</li> <li>- Otros problemas respiratorios y cutáneos.</li> </ul>	HISTORIA LABORAL.  ANAMNESIS <ul style="list-style-type: none"> <li>• Antecedentes.</li> <li>• Situación actual.</li> <li>• Cuestionarios de síntomas:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- OSTEOMUSCULAR.</li> <li>- NEUROLÓGICO.</li> <li>- CIRCULATORIO.</li> <li>- PERIFÉRICO.</li> <li>- DERMATOLÓGICO.</li> <li>- RESPIRATORIO.</li> <li>- PSICOSOCIAL.</li> </ul> </li> <li>- Síntomas ENDOCRINOS.</li> <li>- Síntomas GASTRO-INTESTINAL.</li> </ul>	DATOS BIOMÉTRICOS Y TA.  SISTEMA OSTEOMUSCULAR Y NEUROLÓGICO: exploración básica DINAMOMETRÍA.  PIEL: Inspección general, incluyendo circulación periférica MMII.  ABDOMINAL.  TÓRAX Y CARDIORESPIRATORIA: Inspección morfológica, auscultación cardiaca y respiratoria, Espirometría basal.	Exploración osteomuscular y/o neurológica específica. Remisión a especialista en caso de necesitar confirmación diagnóstica o pruebas complementarias.  Remisión a Dermatología ante lesiones que necesiten confirmación diagnóstica o tratamiento más especializado.  Exploración vascular MMII, si hallazgos.  TEST DE BRONCODILATACIÓN, si sospecha hiperreactividad bronquial, para diagnóstico de asma bronquial y en el paciente con enfermedad obstructiva para establecer el grado de reversibilidad de la vía aérea. Remisión a especialista si es necesario para confirmar.  MEDICIÓN SERIADA DE PICO-FLUJO ESPIRATORIO (Ante hiperreactividad bronquial)	Ante exposición a ruido: Audiometría.  Ante riesgo de exposición a plaguicidas organofosforados y/o carbamatos: determinación de actividad colinesterásica plasmática y eritrocitaria.	A criterio médico y en función de características propias del trabajador se podrían realizar determinadas exploraciones especiales como: analítica básica, exploración oftalmológica básica.  En caso necesario, vacunación o revacunación antitetánica.
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisión vacunación, especialmente antitetánica.</li> </ul>	ANALÍTICA BÁSICA, incluyendo parámetros de funcionamiento hepático y renal.	CON RESULTADOS ANALÍTICOS ALTERADOS valorar nuevas determinaciones, seguimiento, remisión a otro especialista...		

Fuente: Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad.

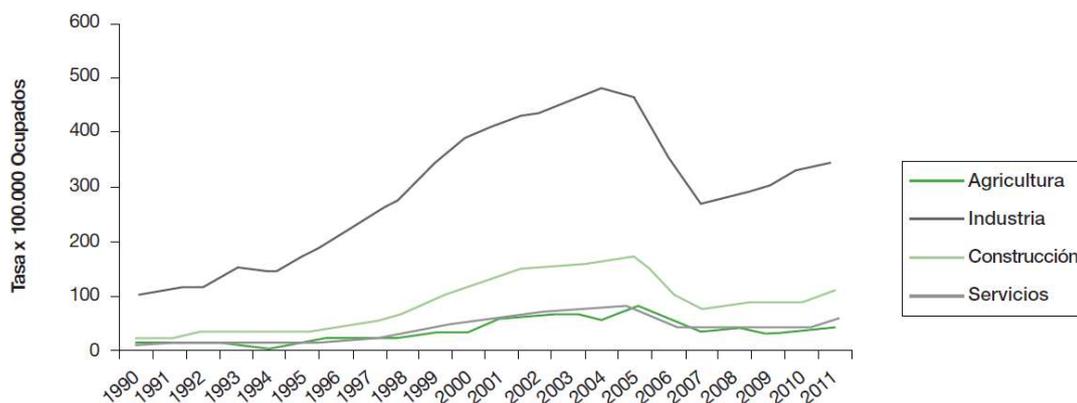
*Tabla 1 Resumen de protocolos para el perfil del aplicador (conductor del tractor)*

Además, será de gran ayuda realizar una vigilancia de la salud colectiva, de forma que se puedan tratar los datos obtenidos con criterios epidemiológicos y establecer posibles relaciones causa-efecto entre los riesgos del puesto de trabajo del aplicador y las medidas preventivas que se deben aplicar.

### 2.3.6. Enfermedades profesionales relacionadas

Debido a la carencia de una vigilancia de la salud exhaustiva, junto con numerosos trabajadores del sector agrario no registrados en la seguridad social, trabajos temporales, etc., resulta complicado establecer una relación detallada de las enfermedades profesionales y accidentes ocurridos por motivos laborales (Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad, 2013).

Seguramente por este motivo, entre otros, el sector agrario es el sector con menor tasa de incidencia de enfermedades profesionales, evaluado entre los años 1990 y 2011, Figura 19.



Fuente: Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad.

*Figura 19 Tasa de incidencia de EP por sector en España*

Según el Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad, la mayoría de las enfermedades profesionales en el sector agrario son producidas por agentes físicos, seguido de las provocadas por inhalación de sustancias, tal y como se observa en la Tabla 2.

	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Enfermedades producidas por agentes químicos	20	13	8	7	7	12
Enfermedades producidas por agentes físicos	134	149	106	112	160	141
Enfermedades producidas por agentes biológicos	21	36	18	14	11	12
Enfermedades provocadas por inhalación de sustancias	3	12	16	19	16	16
Enfermedades de la piel	4	8	11	14	8	7
Enfermedades causadas por agentes carcinógenos	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>182</b>	<b>218</b>	<b>159</b>	<b>166</b>	<b>208</b>	<b>188</b>

Fuente: MEYSS. Observatorio de las Enfermedades Profesionales de la Seguridad Social.

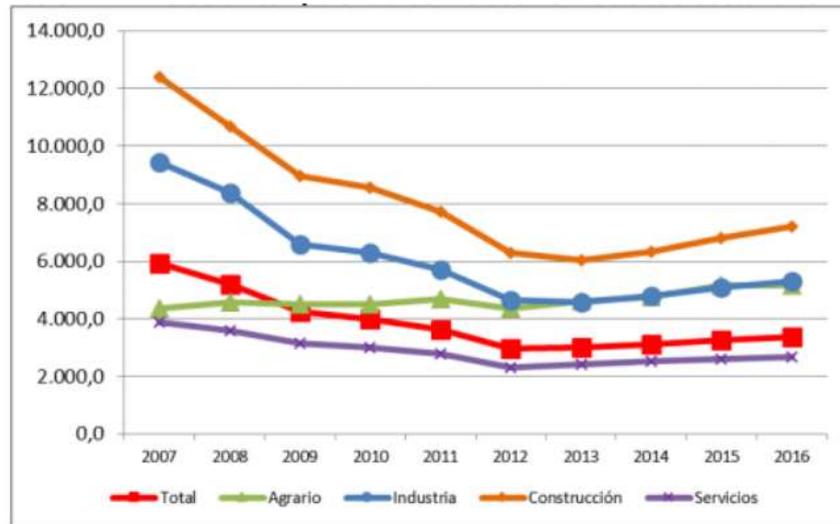
Fuente: Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad.

*Tabla 2 Enfermedades profesionales en el sector agrario*

### 2.3.7. Siniestralidad

Dado que el sector agrario no destaca por tener a todos los trabajadores bajo el amparo de la seguridad social (colaboraciones familiares, jubilados, etc.), es posible que ciertos accidentes no estén contemplados en los datos que se exponen.

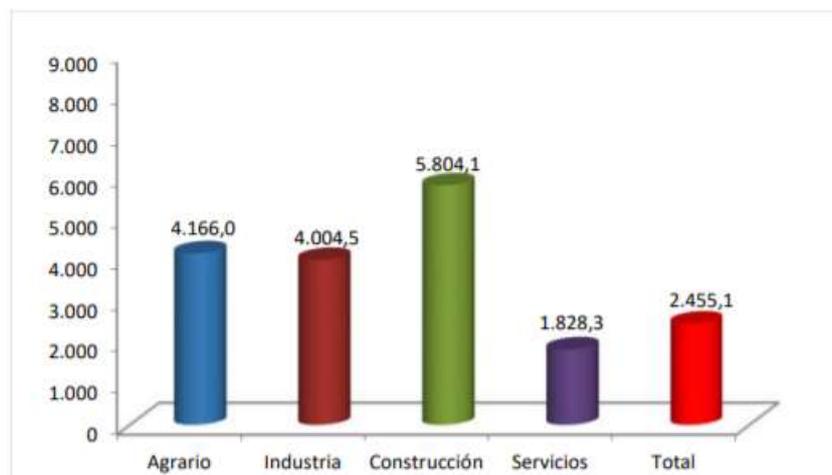
En los últimos años el índice de incidencia de accidentes en el sector agrario se ha visto incrementado, al igual que el índice del sector industrial, siendo el único sector que tiene tendencia al alza, Figura 20.



Fuente: <https://www.insst.es/>

Figura 20 Evolución temporal de los índices de incidencia sectoriales

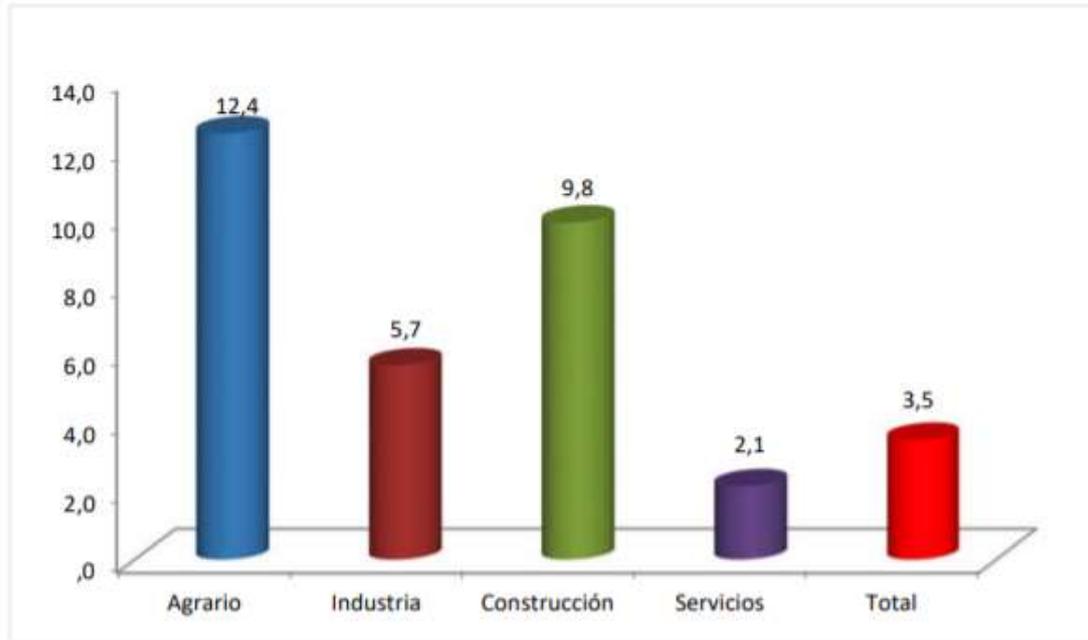
En cuanto a los datos del año 2020 (Figura 21), el sector agrario es el segundo sector con una tasa mayor de accidentes, muy por encima de la media:



Fuente: <https://www.insst.es/>

Figura 21 Índices de incidencia sectoriales de accidentes de trabajo en jornada de trabajo

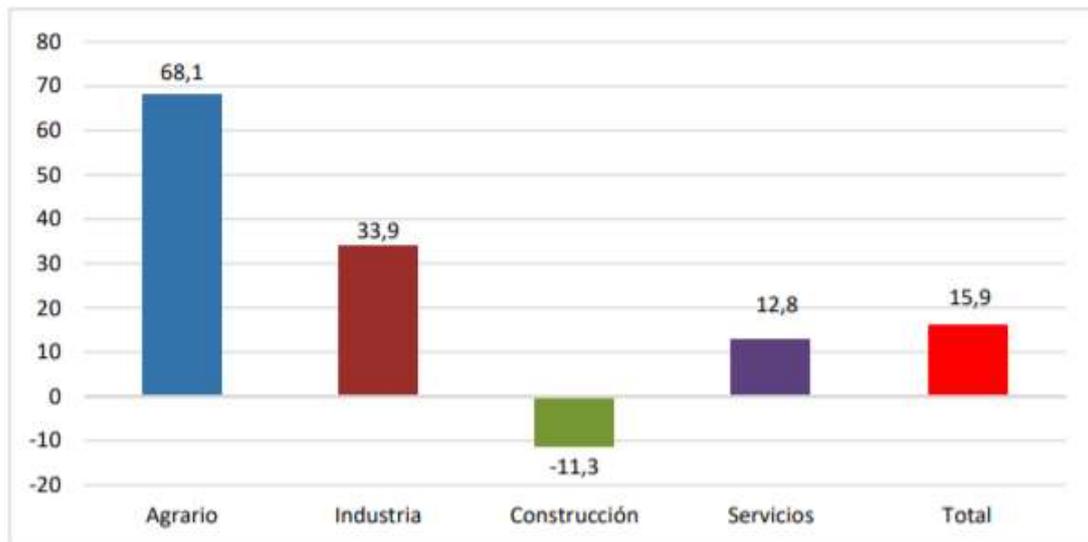
Además, la agricultura destaca por tener un elevado índice de incidencia en accidentes mortales llegando casi a cuadruplicar la media de los sectores (Figura 22).



Fuente: <https://www.insst.es/>

*Figura 22 Índices de incidencia sectoriales de accidentes de trabajo mortales*

Aunque los datos más alarmantes aparecen al analizar la variación de los índices entre 2019 y 2020 (Figura 23), donde el sector agrario ha sufrido un incremento de más del 68% del índice de siniestralidad de accidentes mortales.



Fuente: <https://www.insst.es/>

*Figura 23 Variación interanual de los índices de incidencia sectoriales de accidentes de trabajo mortales 2020-2019*

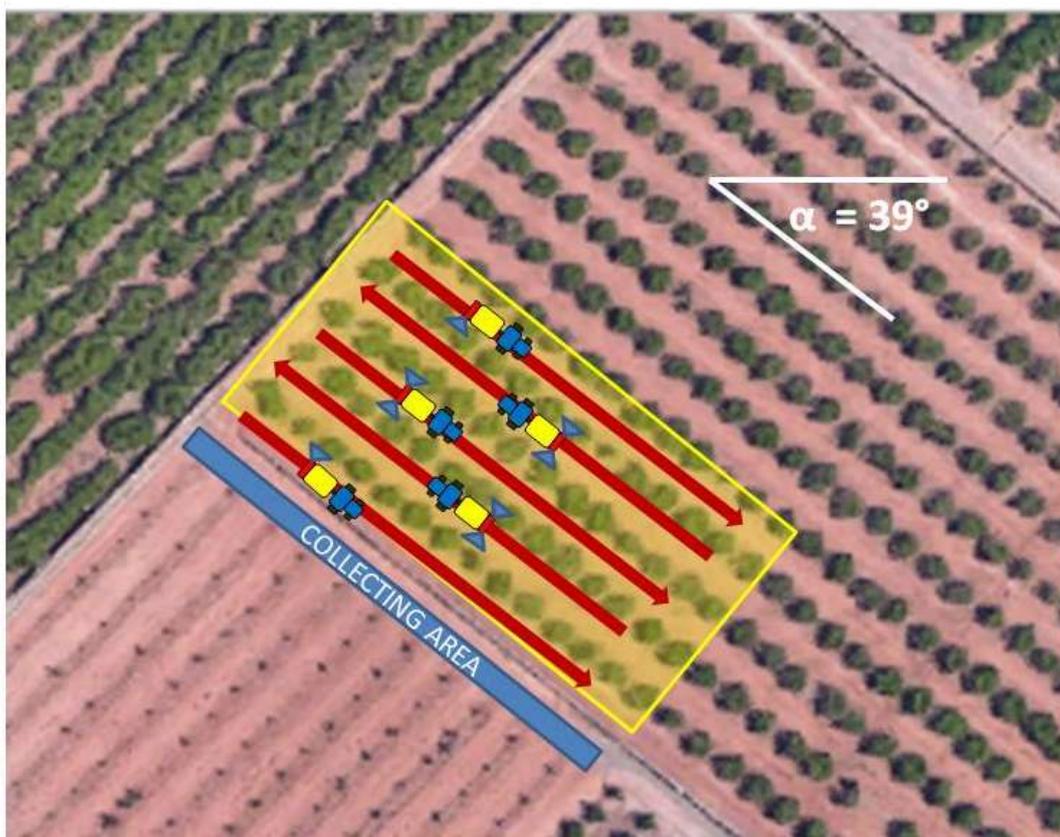
### 3. OBJETIVO

Teniendo en cuenta los antecedentes anteriormente mencionados, el objetivo del presente trabajo es analizar el efecto de la racionalización de las aplicaciones de fitosanitarios en cítricos sobre el riesgo de exposición de los trabajadores, evaluando de forma indirecta la deriva de producto fitosanitario y la exposición dérmica del trabajador en aplicaciones convencionales en cítricos y comparar los resultados con los obtenidos en aplicaciones optimizadas.

### 4. METODOLOGÍA

#### 4.1. PARCELA EXPERIMENTAL

La parcela seleccionada para la realización del ensayo experimental de cítricos tiene una superficie total de 2.78 ha, y se encuentra ubicada en El Puig, Valencia (39.611604, -0.352433) (Figura 24).



Fuente: IVIA

*Figura 24 Vista aérea de la parcela experimental*

## 4.2. APLICACIONES

Previamente a cada aplicación, se añadió el producto fitosanitario al depósito (Figura 25), y para conocer la concentración real de cada aplicación se tomó una muestra de una boquilla del pulverizador tras los cinco minutos después haber añadido el fitosanitario y en continua agitación. También se tomó una muestra después de la aplicación, que permitió determinar la concentración real del fitosanitario durante la aplicación con mayor precisión.

El producto que se empleó fue Karate Zeon + 1.5, de Syngenta Limited (Bershire, Reino Unido), cuya materia activa es lambda-cihalotrin (1,5% [CS] P/V) y aplicado a una concentración de producto de 130 ml/hl.

Para evitar la contaminación cruzada entre los tratamientos, en cada repetición se aplicó cada tratamiento en días diferentes, más o menos consecutivos, con similares condiciones climáticas. Las fechas de aplicación de cada tratamiento fueron las mostradas en la Tabla 3.

*Tabla 3 Fechas de aplicación de los tratamientos en cada repetición*

		<b>Fecha</b>
Repetición 1	Convencional	29/09/2020
	Optimizado	30/09/2020
Repetición 2	Convencional	07/05/2021
	Optimizado	04/05/2021
Repetición 3	Convencional	05/05/2021
	Optimizado	06/05/2021
Repetición 4	Convencional	28/09/2021
	Optimizado	29/09/2021



*Figura 25 Adición de pesticida Karate Zion en el pulverizador*

Las aplicaciones consistieron en la pulverización de la zona más a sotavento de la parcela y la medición de la exposición de transeúntes y de la deriva en el área a sotavento al lado de la parcela a 8 m. Se pulverizaron 50 m de longitud, y el número de filas necesarias para alcanzar una anchura de un mínimo de 20 m de área tratada, empezando a partir de la última fila a

sotavento y continuando en las filas adyacentes, desplazándose sucesivamente en dirección contraria al viento. Las distancias se midieron desde el área directamente pulverizada, teniendo en cuenta como tal, el centro de la primera calle de aplicación.

#### 4.2.1. Tratamiento convencional

En el tratamiento convencional se realizó la aplicación según los parámetros habituales que el técnico de la finca empleaba, empleando boquillas convencionales. Se utilizó un pulverizador hidroneumático (Citfruit 2000, GBV agrícola, Alginet, Valencia (Spain)), arrastrado de 2000 litros de capacidad y agitador hidráulico, con arco dos arcos de boquillas (Figura 26; Figura 27).



*Figura 26 Pulverizador hidroneumático Citfruit 2000 empleado en el ensayo experimental*



*Figura 27 Tratamiento convencional de pesticida*

#### 4.2.2. Tratamiento optimizado

El tratamiento optimizado se aplicó con el mismo pulverizador hidroneumático, (Figura 28), sin embargo, los parámetros operacionales (volumen aplicado, la velocidad de avance, la presión,

el número de boquillas activas de trabajo, tamaño de boquillas, el caudal de aire, y la posición del deflector) se basaron en el uso de la herramienta CitrusVol para definir el volumen de aplicación, y la herramienta Ve.S.Pa. (del inglés Vertical Spray Pattern) y la herramienta de evaluación del riesgo de deriva TOPPS-PROWADIS, así como la calibración del equipo y su ajuste a la vegetación, para definir la configuración del equipo. Se llevó a cabo una calibración del pulverizador para aplicar el volumen correspondiente en la forma óptima, teniendo en cuenta la distancia entre árboles y el volumen, la forma y la densidad foliar de la vegetación. Para esto, se llevó a cabo una evaluación visual de la pulverización para adaptarla a la estructura y la penetrabilidad de la copa y ajustar el ángulo de las boquillas. El tratamiento se realizó con boquillas de reducción de deriva.



*Figura 28 Tratamiento optimizado*

#### 4.2.3. Condiciones climáticas

Durante las aplicaciones se registró la magnitud de velocidad y dirección del viento en el plano horizontal (UV), la magnitud velocidad del viento en la dirección vertical (W), temperatura del aire y humedad relativa.

Los sensores se colocaron en un mástil a 2 m por encima de la vegetación a sotavento de la zona pulverizada. Todas las variables climáticas se registraron a 1 Hz de frecuencia, a partir de la pulverización y tras 5 min después de la pulverización.

Las aplicaciones debían realizarse, en la medida de lo posible, con un ángulo de  $39.1^\circ$ , con una permisividad de  $\pm 30^\circ$ ; de esta forma la aplicación se realizaba con el viento perpendicular a las filas de árboles, y hacia la zona donde se realizaban las medidas.

En cualquier caso, la velocidad del viento debía estar comprendida entre 1 m/s y 3 m/s.

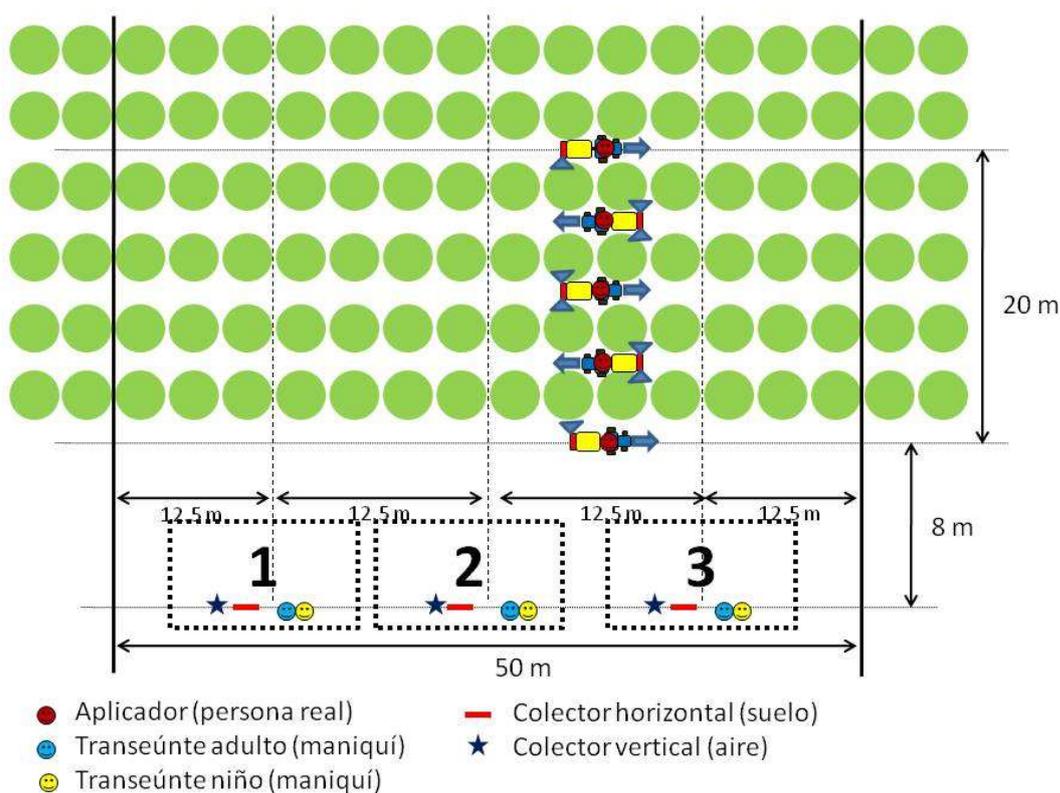
## 4.3. EVALUACIONES

### 4.3.1. Exposición dérmica de trabajadores y aplicador

Dado que el presente trabajo se enmarcaba dentro del proyecto PERFECT del programa LIFE, se diseñaron los ensayos para estudiar la exposición de transeúntes, tanto adultos como niños, que se simularon con maniquíes adultos y niños. Para su extrapolación en la prevención de riesgos laborales, se ha considerado que el maniquí adulto simulaba un trabajador que se encuentra en la zona realizando otro tipo de labores agrarias, y el maniquí niño simulaba un trabajador situado en una posición baja (agachado, etc.) durante sus labores en las inmediaciones de la parcela de aplicación del tratamiento.

En cada repetición se realizaron tres medidas de cada población considerada, situando tres grupos de maniquíes en el área de muestreo, que estaba en la dirección del viento predominante de la zona, a sotavento de la zona pulverizada, a 8 m de distancia de la misma.

Cada grupo constaba de un maniquí niño, de 0,96 m de altura, y un maniquí adulto, de 1,88 m de altura (Figura 29).



Fuente: IVIA

Figura 29 Plano del diseño del ensayo



*Figura 30 Imágenes del ensayo*

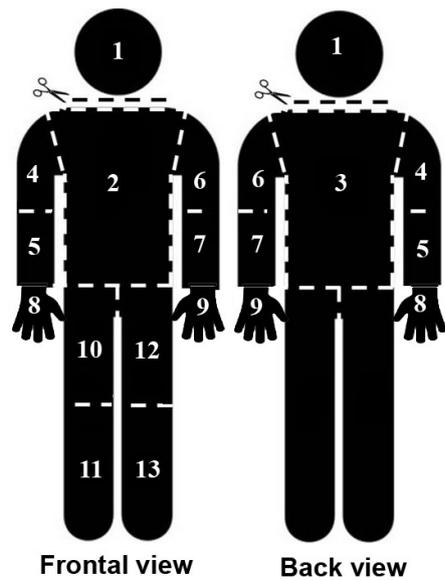
Además, se evaluó la exposición dérmica del aplicador que, como ya se ha mencionado antes, al tratarse de un pulverizador accionado y arrastrado por tractor, era el conductor del mismo. Hay que tener en cuenta que para estas aplicaciones se utilizó expresamente un tractor sin cabina, para representar el peor de los casos. Los aplicadores llevaban el equipo necesario de protección personal (EPI), es decir, máscara, gafas, mono desechable (Tyvek®), guantes desechables (talla L), etc.



*Figura 31 Aplicador equipado con EPI durante la aplicación*

#### 4.3.1.1. Aplicador

Para evaluar la exposición dérmica del aplicador se empleó el método de dosimetría del cuerpo (“whole body dosimetry”), para lo que posteriormente a la aplicación se muestreó de forma discreta el mono, cortándolo en las piezas indicadas en la Figura 32, a las que se añadieron los guantes de la mano derecha e izquierda por separado. La superficie de las diferentes piezas se determinó previamente a los ensayos.



Fuente: IVIA

Figura 32 Muestreo de los monos de los aplicadores

Cada pieza se recogió individualmente en una bolsa sellada y se almacenó en condiciones frescas y oscuras para evitar su degradación.



Figura 33 Recogida de muestras en aplicador y maniqués (trabajadores)

#### 4.3.1.2. Transeúntes (trabajadores de la zona)

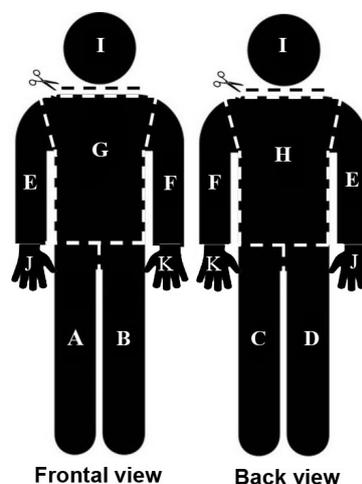
Las mediciones sobre los transeúntes se llevaron a cabo sobre los maniqués. Como ya se ha dicho, estas mediciones se han considerado en el presente trabajo como las correspondientes a trabajadores agrícolas que se encontrarían en la zona adyacente a la de aplicación durante el

tratamiento. Cada maniquí se vistió con un mono desechable (Tyvek®), talla L para trabajadores de pie y de talla S para trabajadores agachados/sentados. En este caso la talla seguía siendo muy grande, por lo que los monos hubieron de ser redimensionados para adaptarse a los maniquíes. Para evaluar la exposición dérmica en las manos de los maniquíes de pie se utilizaron un par de guantes desechables talla L, y en los maniquíes sentados se muestreó la parte baja de la manga. La superficie de las diferentes piezas para cada caso se determinó previamente a los ensayos. La zona correspondiente al rostro del adulto de pie se cubrió con una pieza extra de tejido del mono con forma circular, mientras que en el caso del trabajador agachado, la capucha se cerró completamente para cubrir toda la cabeza (Figura 34).



*Figura 34 Maniquíes para la evaluación de la exposición dérmica del transeúnte o trabajador colindante*

Cada mono se muestreó de forma discreta, cortando nueve partes diferentes del cuerpo (Figura 35). Cada pieza de mono se recogía individualmente en una bolsa sellada, a las que se añadieron los “guantes” como muestra individual, recogiendo los guantes de la mano derecha e izquierda por separado, y se almacenaron en condiciones oscuras y frescas para evitar la degradación.



Fuente: IVIA

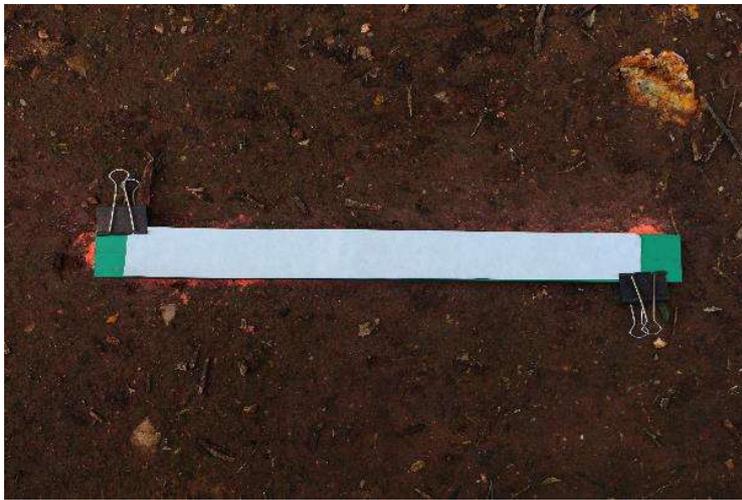
*Figura 35 Esquema del muestreo de los monos de los maniquíes (transeúntes)*

### 4.3.2. Deriva

Por otra parte, al lado de los maniqués, se colocaron diferentes colectores para relacionar la exposición dérmica medida con el nivel de pesticida encontrado a la distancia de muestreo. Los colectores eran:

- un colector de hilo de nylon vertical, de 2 mm de diámetro x 2 m de altura, que se muestreó discretamente cada 0,5 m
- un colector de papel en el suelo, 52.3 x 5 cm.

Cada sección del colector vertical y el colector de suelo se muestrearon individualmente en una bolsa sellada y se almacenaron en condiciones oscuras y frescas para evitar la degradación.



Fuente: IVIA

*Figura 36 Colectores de papel de filtro para evaluar pérdidas al suelo*



Fuente: IVIA

*Figura 37 Hilos de nylon para evaluar las pérdidas al aire*



Fuente: IVIA

Figura 38 Recogida e identificación de muestras

## 4.4. ANÁLISIS DE MUESTRAS

Las muestras eran remitidas al laboratorio del Departamento de Biología Vegetal de la Facultad de Farmacia de la Universidad de Valencia, en bolsas de plástico selladas, nada más acabar el muestreo.

A continuación, se almacenaban en refrigeración a 7°C hasta el inicio del análisis, no más de 24 horas.

### 4.4.1. Materiales

#### - Instrumental

- Probeta 1000 ml.
- Probeta 100 ml.
- Matraz aforado 2000 ml.
- Agitador orbital.
- Frasco de muestra 50 ml
- Tubo de centrifuga con tapón de rosca.
- Discos de filtración PTFE 0.45um.
- Vial cromatográfico.

#### - Reactivos

- Lambda Cihalotrin puro, >95%. LGC.
- Metanol, p.a. Scharlab S.L.
- Ciclohexano, grado residuos pesticidas. Scharlab S.L.
- Cloruro sódico p.a. Scharlab S.L.
- Solución hidro-alcohólica al 1% de Metanol en agua destilada.

Para preparar los standarts de lambda cihalotrin se pesaban 10 mg del estándar puro y se disolvían en ciclohexano de la que se obtenía una solución stock de 1000 mg/l. A partir de esta se preparaban soluciones intermedias y finalmente se obtenía la curva de calibrado de 0, 5, 10, 20, 50 y 100 ppbs con ciclohexano. La solución stock se almacenaba en congelación a -20°C.

#### 4.4.2. Tratamiento de la muestra.

A cada muestra del ensayo se añadían 40, 100 y 200 ml de la solución hidro-alcohólica dependiendo del tipo y el tamaño de la muestra. Así por ejemplo a las muestras de hilo y colectores se añadían 40 ml, en el caso de las partes del mono de niños y guantes de adultos se añadían 100 ml, y en el caso de del mono de adultos 200 ml.

A continuación, se sellaban las bolsas de las muestras con la solución de extracción y se colocan en un agitador orbital de gran capacidad para someter al proceso de extracción durante 15 min.

Finalizado el tiempo de extracción se trasvasaba la solución resultante a un recipiente para el siguiente paso del procedimiento de extracción y el sobrante se almacenaba en congelación a -20°C.

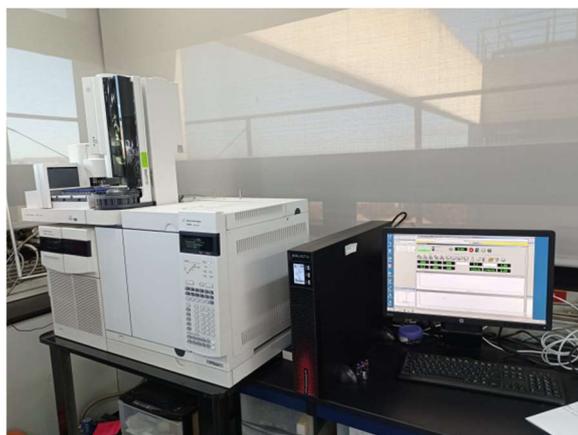
#### 4.4.3. Proceso de extracción

Se tomaban 20 ml del líquido exactamente en un tubo de centrifuga y se añadían dos cucharadas de CINA y 4 ml de ciclohexano y se agitaba vigorosamente de forma manual durante 2 minutos. Después se dejaban separar las dos fases y se recogía la capa superior de ciclohexano sobrenadante para traspasar a un vial de cromatografía.

En ocasiones en este paso se producían emulsiones en las que era difícil separar la fase acuosa y orgánica, en tal caso se procedía a pasar por un disco de filtración de 0.45 µm.

#### 4.4.4. Análisis cromatográfico

Para determinar el contenido del ingrediente activo (Lambda-cyhalothrin) de la muestra se analizaba la fase orgánica extraída en la fase anterior mediante cromatografía de gases con detector de espectrometría masas-masas, GC-MS/MS.



Fuente: IVIA

*Figura 39 Equipo empleado para el análisis cromatográfico*

Debido a que las concentraciones de Lambda-cyhalothrin esperadas eran bajas se realizaba una optimización de las condiciones instrumentales del sistema cromatográfico a máxima sensibilidad del equipo. Al mismo tiempo, teniendo en cuenta el gran número de muestras que implicaba el experimento se procedió a realizar un programa de temperaturas bastante rápido para que el pico del compuesto apareciese en un tiempo de retención de 10 minutos aproximadamente y el ciclo completo del análisis fuese menor de 15 minutos. Las condiciones instrumentales fueron las siguientes:

-Gas chromatographic system GC 7890A (G3440A). Agilent Technologie S.L

-Autosample G4513A model.

-Agilent Triple Quad detector GC/MS G7000A

-Agilent HP-5MS capillary column (30m length, 0.25mm internal diameter, 0.25µm film)

-Injector temperature: 150°C (hold time 0.01 min), rate 600°C/min to 250°C (hold time 5 min).

- Temperature programme (oven)

- Initial: 80°C (hold time 1 min)
- Ramp 1: 250°C, rate 60°C/min (hold 3 min)
- Ramp 2: 270°C, rate 40°C/min (hold time 6 min)
- Total run time: 13.3 min

-Retention time Lambda-Cyhalothin: 10,33 min

-Injection volume: 2,0 ul

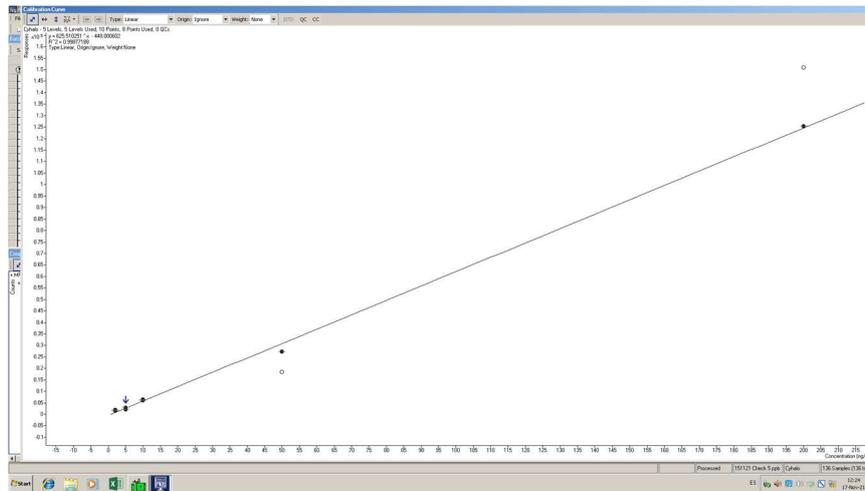
-Transitions:

-Quantification: 181>152

-Confirmation: 181>127

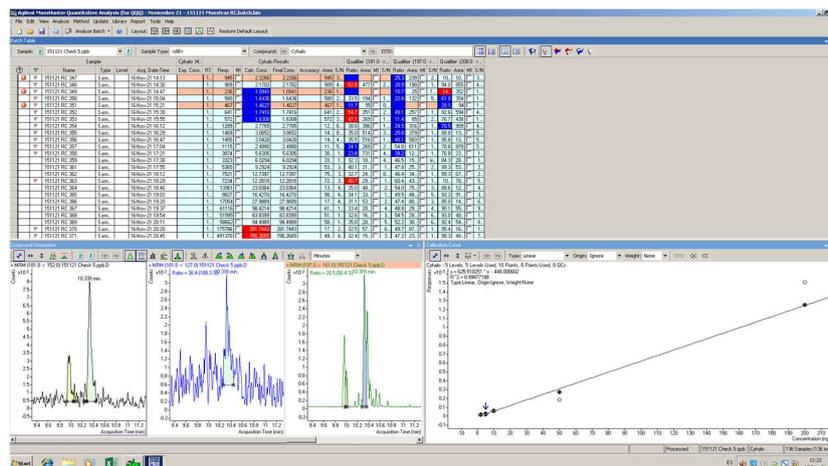
197>161

A continuación, se muestra una curva de calibración del equipo (Figura 40) y un cromatograma ejemplo (Figura 41).



Fuente: IVIA

Figura 40 Curva de calibración



Fuente: IVIA

Figura 41 Cromatograma

## 4.5. ANÁLISIS DE DATOS

### 4.5.1. Condiciones meteorológicas

Se ha evaluado el efecto de los parámetros meteorológicos y el tipo de tratamiento en la materia activa depositada total en cada tipo de colector. Para ello, para cada tipo de colector, se ha realizado una regresión múltiple de la variable materia activa depositada ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) en función de los parámetros meteorológicos (variables cuantitativas) temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), humedad relativa (%), velocidad del viento en la dirección ortogonal al avance (m/s) y velocidad del viento en la

dirección paralela (m/s), y de la variable dicotómica tipo de tratamiento (convencional u optimizado).

#### 4.5.2. Depósito en colectores

En cada una de las variables respuesta (tipos de colectores) para evaluar el efecto del factor tratamiento sobre la cantidad de materia depositada, se ha realizado un análisis de varianza multifactorial del efecto de los factores tratamiento y repetición.

Además en cada una de las variables respuesta de exposición del trabajador u operador para evaluar el efecto del factor tratamiento y como afecta la parte del cuerpo expuesta sobre la cantidad de materia depositada, se ha realizado un análisis de la varianza multifactorial de los factores tratamiento y parte expuesta del cuerpo.

#### 4.5.3. Análisis cuantitativo

Para la determinación del porcentaje de reducción de materia activa depositada, se ha calculado la media ponderada (Ecuación 3) de la deposición para cada uno de los trabajadores con cada tipo de tratamiento. Posteriormente, se ha calculado el grado de reducción de exposición del tratamiento optimizado frente al convencional con la Ecuación 4.

$$MP (\mu\text{g}/\text{cm}^2) = \frac{\sum[m. a. depositada \text{ zona } (\mu\text{g}/\text{cm}^2) \cdot \text{area zona } (\text{cm}^2)]}{\sum \text{area total } (\text{cm}^2)} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$\text{Reducción } (\%) = \frac{MP \text{ convencional } (\mu\text{g}/\text{cm}^2) - MP \text{ optimizado } (\mu\text{g}/\text{cm}^2)}{MP \text{ convencional } (\mu\text{g}/\text{cm}^2)} \cdot 100 \quad \text{Ecuación 4}$$

#### 4.5.4. Caracterización del riesgo

Para evaluar el riesgo se ha tenido en cuenta la siguiente información:

- Jornada laboral: 8 h/día.
- Tiempo de aplicación: 1 h/ha.
- Tiempo de recarga de tanque del tratamiento convencional: 1.24 h/ha.
- Tiempo de recarga de tanque del tratamiento optimizado: 0.72 h/ha.
- Tiempo total del tratamiento convencional (aplicación + recarga): 2.24 h/ ha.
- Tiempo total del tratamiento optimizado (aplicación + recarga): 1.72 h/ ha.
- Superficie tratada en las aplicaciones: 50 m x 28 m (0.14 ha).
- Masa del trabajador: 60 kg, según European Food Safety Authority.
- DNEL: 0.966 (mg/kg) según la Ficha de Datos de Seguridad (Syngenta, 2021)

Para calcular la exposición, se ha calculado la media ponderada de exposición para cada trabajador (Ecuación 3) y se ha multiplicado por las veces que el trabajador está expuesto al día (considerando la jornada laboral de 8 horas). De esta forma se obtiene la cantidad de materia activa por día y trabajador. Posteriormente se divide por la masa del aplicador, 60 kg (Charistou et. al, 2021). Una vez se tiene la materia activa por kilogramo y día, ya se puede dividir por el valor DNEL indicado en la Ficha de Datos de Seguridad de la casa comercial, y se obtiene la caracterización del riesgo para cada tipo de tratamiento y trabajador.

$$\text{Caracterización del riesgo (CR)} = \frac{\text{Exposición}}{\text{DNEL}} \quad \text{Ecuación 5}$$

## 5. RESULTADOS

Es importante recordar que el factor de estudio es el tratamiento con dos variantes, Convencional y Optimizado, que se han realizado un total de 4 repeticiones y que las variables respuesta son las emisiones del producto fitosanitario en el aire (colector “hilo”), la pérdida de producto fitosanitario en el suelo (colector “papel”), la exposición dérmica del aplicador (colector “aplicador”), y la exposición dérmica al producto fitosanitario de trabajadores agrícolas alrededor de la zona de la pulverización ( colectores “maniquí adulto” y “maniquí niño”).

### 5.1. CONDICIONES METEOROLÓGICAS

En todos los tipos de colectores, las variables velocidad del viento ortogonal y paralela al avance influyeron en el depósito de materia activa de forma significativa (p valor > 0,05).

El tipo de tratamiento también afectó de forma significativa en la materia activa depositada. El tratamiento convencional presentó un depósito significativamente mayor en todos los casos.

En el caso de los colectores que recogen materia activa en el ambiente, (deriva atmosférica a 8 m) se obtuvo un R<sup>2</sup> de 74,3% para el colector “hilo” (Tabla 4), y un del 65,4% en el caso del “papel” (deriva depositada a 8 m) (Tabla 5). La humedad relativa no afectó de forma significativa al depósito, y la temperatura afectó en menor medida que el tratamiento y la velocidad del viento. El viento afectó de forma negativa, a mayor intensidad de viento, menor depósito, pudiéndose interpretar como una mayor dispersión de la misma cantidad de producto aplicada.

*Tabla 4 Regresión múltiple de explicación de la variable materia activa depositada ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) en el colector "hilo" en función de los parámetros meteorológicos, intervalos de confianza del 95,0% para los coeficientes en el modelo.*

Parámetro	Estimado	Error Estándar	Límite Inferior (*)	Límite Superior (*)	V.I.F.
CONSTANTE	0,0229601	0,00267194	0,0176526	0,0282676	
tratamiento	0,0030952	0,000415122	0,00227061	0,00391979	1,34448
temperatura	-0,000504183	0,0000899015	-0,000682762	-0,000325604	1,9064
v ortogonal (m/s)	-0,00482975	0,0011307	-0,00707576	-0,00258375	2,11704
v paralela(m/s)	-0,0073152	0,000690269	-0,00868633	-0,00594406	1,69353
m.a. depositada ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) = $0,0229601 + 0,0030952 \cdot I1(1) - 0,000504183 \cdot \text{temperatura} - 0,00482975 \cdot v \text{ ortogonal (m/s)} - 0,0073152 \cdot v \text{ paralela (m/s)}$ (en donde $I1(1) = 1$ si tto=Conv, -1 si tto=Opt, 0 de lo contrario)					

*Tabla 5 Regresión múltiple de explicación de la variable materia activa depositada ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) en el colector "papel" en función de los parámetros meteorológicos, intervalos de confianza del 95,0% para los coeficientes en el modelo.*

Parámetro	Estimado	Error Estándar	Límite Inferior (*)	Límite Superior (*)	V.I.F.
CONSTANTE	0,0102295	0,00289124	0,0041781	0,016281	
tto	0,00155248	0,000449193	0,000612304	0,00249265	1,34448
temperatura	-0,000252506	0,0000972802	-0,000456116	-0,0000488959	1,9064
v ortogonal (m/s)	-0,00300318	0,0012235	-0,005564	-0,000442347	2,11704
v paralela(m/s)	-0,00209691	0,000746923	-0,00366024	-0,000533577	1,69353
m.a. depositada ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) = $0,0102295 + 0,00155248 \cdot I1(1) - 0,000252506 \cdot \text{temperatura} - 0,00300318 \cdot v \text{ ortogonal (m/s)} - 0,00209691 \cdot v \text{ paralela (m/s)}$ (en donde $I1(1) = 1$ si tto=Conv, -1 si tto=Opt, 0 de lo contrario)					

Para el "aplicador" el porcentaje de variabilidad explicada por el modelo de regresión encontrado fue de 77,2 % (Tabla 6). Tanto la temperatura como la humedad relativa influyeron en menor medida en el depósito que las variables de viento en dirección paralela y ortogonal al avance en las condiciones del ensayo.

*Tabla 6 Regresión múltiple de explicación de la variable materia activa depositada ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) en el colector "aplicador" en función de los parámetros meteorológicos, intervalos de confianza del 95,0% para los coeficientes en el modelo.*

Parámetro	Estimado	Error Estándar	Estadístico T	Valor-P
CONSTANTE	0,000165953	0,0000317698	5,22361	0,0000
Tratamiento	-0,00012741	0,0000036652	-34,7619	0,0000
Temperatura	-0,00000326233	7,12315E-7	-4,57989	0,0000
HR	-0,0000024563	2,97805E-7	-8,24802	0,0000
v ortogonal (m/s)	0,000193988	0,00000694235	27,9427	0,0000
v paralela (m/s)	0,000113913	0,00000336316	33,8708	0,0000
m.a. depositada ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) = $0,000165953 - 0,00012741 \cdot \text{Tratamiento} - 0,00000326233 \cdot \text{Temperatura} - 0,0000024563 \cdot \text{HR} + 0,000193988 \cdot v \text{ ortogonal (m/s)} + 0,000113913 \cdot v \text{ paralela (m/s)}$ (en donde $I1(1) = 1$ si tto=Conv, -1 si tto=Opt, 0 de lo contrario)				

Para el caso de los trabajadores no aplicadores, los modelos de regresión encontrados explican un porcentaje pequeño de la variabilidad la cantidad de materia activa depositada en los trabajadores (“maniquí adulto” y “maniquí niño”), encontrando un mayor valor en el “maniquí niño” (trabajador agachado) (10.3%), frente al “maniquí adulto” (trabajador colindante) (7.4%). Ver Tabla 7 y Tabla 8.

*Tabla 7 Regresión múltiple de explicación de la variable materia activa depositada ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) en el colector “maniquí adulto” en función de los parámetros meteorológicos, intervalos de confianza del 95,0% para los coeficientes en el modelo.*

Parámetro	Estimado	Error Estándar	Estadístico T	Valor-P
CONSTANTE	-0.000183043	0.000145858	-1.25494	0.2106
temperatura	0.0000046288	0.00000326616	1.4172	0.1576
HR	6.01189E-7	0.00000142866	0.420806	0.6742
v ortogonal	0.0000881506	0.0000347379	2.53759	0.0117
v paralela	0.0000477641	0.0000157332	3.03589	0.0026
m.a. depositada ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) = $-0.000183043 + 0.0000046288*\text{temperatura} + 6.01189\text{E}-7*\text{HR} + 0.0000881506*v \text{ ortogonal} + 0.0000477641*v \text{ paralela}$				

*Tabla 8 Regresión múltiple de explicación de la variable materia activa depositada ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) en el colector “maniquí niño” en función de los parámetros meteorológicos, intervalos de confianza del 95,0% para los coeficientes en el modelo.*

Parámetro	Estimado	Error Estándar	Estadístico T	Valor-P
CONSTANTE	-0.00020007	0.0000511065	-3.91477	0.0001
temperatura	0.00000575783	0.00000114441	5.03126	0.0000
HR	0.00000159899	5.00582E-7	3.19425	0.0016
v ortogonal	0.00000137552	0.0000121717	0.11301	0.9101
v paralela	0.00000542371	0.00000551267	0.983863	0.3261
m.a. depositada ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) = $-0.00020007 + 0.00000575783*\text{temperatura} + 0.00000159899*\text{HR} + 0.00000137552*v \text{ ortogonal} + 0.00000542371*v \text{ paralela}$				

## 5.2. DEPÓSITO EN EL COLECTOR “HILO” (DERIVA ATMOSFÉRICA A 8 m)

La interacción entre el tratamiento y la repetición para la cantidad de materia activa depositada en el colector “hilo” (deriva atmosférica a 8 m) ha resultado significativa ( $p < 0,05$ ) (Tabla 9). Durante el tratamiento convencional la cantidad depositada resultó significativamente mayor que la del tratamiento optimizado, pero las diferencias entre ellos dependieron de la repetición (Figura 42).

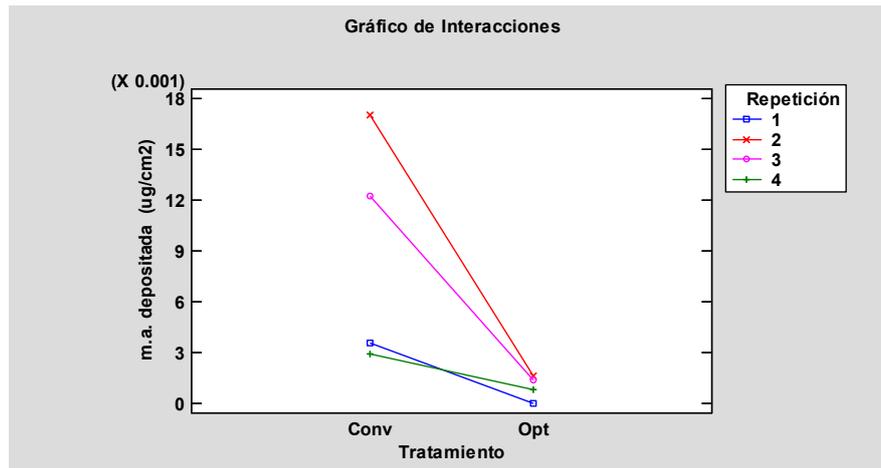


Figura 42 Materia activa depositada ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) en los colectores "hilo" (deriva atmosférica a los 8 m) según el tratamiento y la repetición de ensayo.

Tabla 9 Análisis de varianza del efecto de los factores tipo de tratamiento (convencional y optimizado) y repetición de los ensayos en la materia activa depositada ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) en los colectores "hilo".

Fuente	Suma Cuadrados	de Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamiento	0.00151847	1	0.00151847	128.81	0.0000
B:Repetición	0.00100748	3	0.000335826	28.49	0.0000
INTERACCIONES					
AB	0.000704206	3	0.000234735	19.91	0.0000
RESIDUOS	0.00103741	88	0.0000117887		
TOTAL (CORREGIDO)	0.00426756	95			

### 5.3. DEPÓSITO EN EL COLECTOR "PAPEL" (DERIVA DEPOSITADA A 8 m)

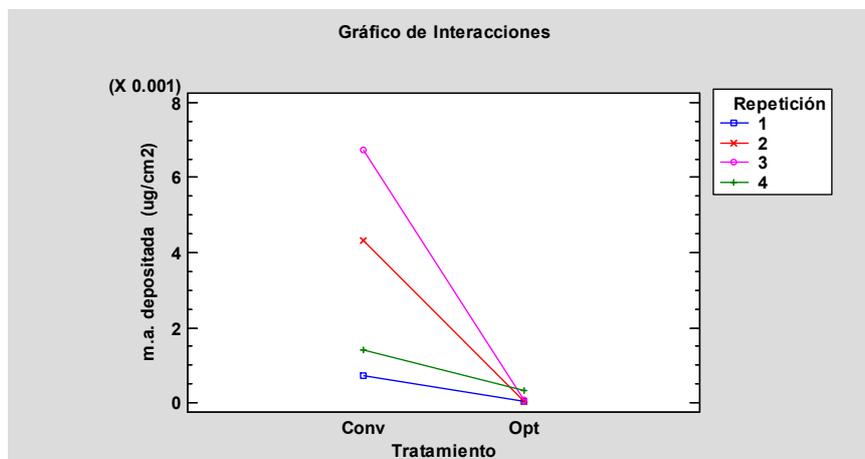


Figura 43 Materia activa depositada ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) en los colectores "papel" (deriva depositada a 8 m) según el tratamiento y la repetición de ensayo.

Para la deriva depositada en el suelo, el resultado fue similar al de la deriva atmosférica, la interacción entre el tratamiento y la repetición resultó significativa ( $p < 0,05$ ), y el tratamiento convencional registró una cantidad significativamente mayor de materia activa en el colector "papel" (pérdida en el suelo) que el tratamiento optimizado pero dichas diferencias dependieron de la repetición.

Tabla 10 Análisis de varianza del efecto de los factores tipo de tratamiento (convencional y optimizado) y repetición de los ensayos en la materia activa depositada ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) en los colectores "papel".

Fuente	Suma de Cuadrados	de GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Tratamiento	0.0000605448	1	0.0000605448	24.92	0.0001
B: Repetición	0.0000333106	3	0.0000111035	4.57	0.0170
INTERACCIONES					
AB	0.0000360122	3	0.0000120041	4.94	0.0129
RESIDUOS	0.0000388801	16	0.00000243		
TOTAL (CORREGIDO)	0.000168748	23			

## 5.4. DEPÓSITO EN EL TRABAJADOR APLICADOR

Las muestras recogidas en el "aplicador" corresponden a la exposición dérmica que sufriría el trabajador que conduce el tractor sin cabina que arrastra y acciona el pulverizador, si no llevará los EPI.

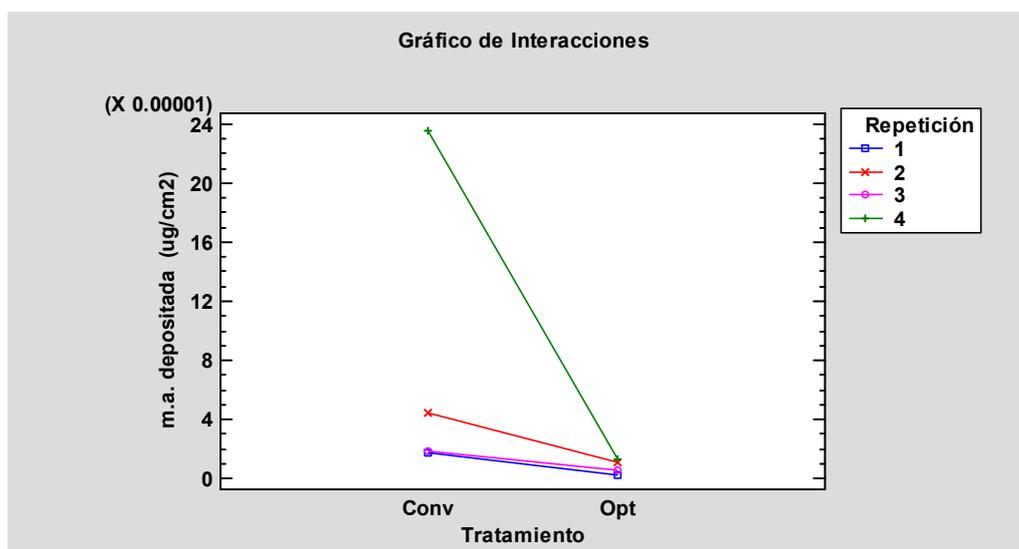


Figura 44 Materia activa depositada ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) en el aplicador según el tratamiento y la repetición de ensayo.

Tabla 11 Análisis de varianza del efecto de los factores tipo de tratamiento (convencional y optimizado) y repetición de los ensayos en la materia activa depositada ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) en el aplicador.

Fuente	Suma Cuadrados	de Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamiento	1.31848E-7	1	1.31848E-7	78.46	0.0000
B:Repetición	2.31957E-7	3	7.73192E-8	46.01	0.0000
INTERACCIONES					
AB	2.01511E-7	3	6.71703E-8	39.97	0.0000
RESIDUOS	1.61327E-7	96	1.68049E-9		
TOTAL (CORREGIDO)	7.26643E-7	103			

El análisis de varianza del efecto de los factores tratamiento y repetición en el depósito registrado en el colector “aplicador” (conductor del tractor), muestra un efecto significativo de los factores. Se observa el mismo patrón que en los resultados de los colectores anteriores, recogiéndose una cantidad significativamente mayor de materia activa en los tratamientos convencionales frente a los optimizados y que dependen de la repetición.

#### 5.4.1. Evaluación de la parte del cuerpo expuesta del aplicador

En este apartado se evalúa la exposición dérmica al producto fitosanitario para las distintas zonas del cuerpo de un trabajador conductor del tractor que arrastra el pulverizador de aplicación del tratamiento fitosanitario.

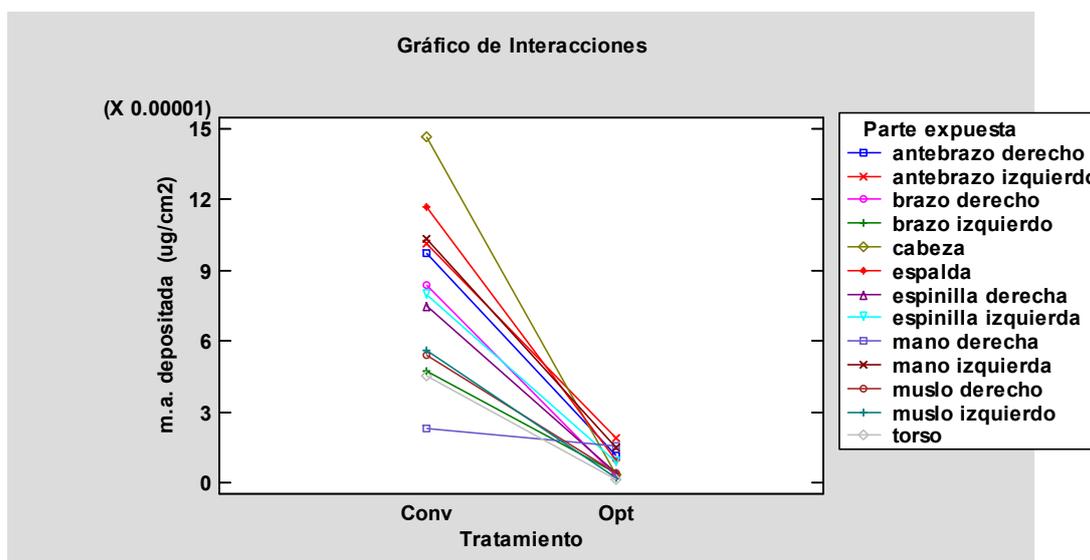


Figura 45 Materia activa depositada ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) en el aplicador según el tratamiento, la parte del cuerpo expuesta y la repetición de ensayo.

Se observa que en todas las zonas expuestas el tratamiento optimizado presenta menor cantidad de materia activa depositada que el tratamiento convencional. Al evaluar la exposición de las distintas partes del cuerpo observamos como la cabeza es la zona más expuesta, seguida de la espalda. Confirmando la importancia de emplear los equipos de protección individual adecuados, principalmente una máscara filtrante y protección ocular, ya que son las partes del cuerpo más expuestas y con mayor riesgo de penetración del producto fitosanitario al organismo.

*Tabla 12 Análisis de varianza del efecto de los factores tipo de tratamiento, parte del cuerpo expuesta y repetición de los ensayos en la materia activa depositada ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) en el aplicador.*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
<b>A:Tratamiento</b>	1.31848E-7	1	1.31848E-7	100.18	<b>0.0000</b>
B:Parte expuesta	2.99261E-8	12	2.49384E-9	1.89	0.0691
<b>C:Repetición</b>	2.31957E-7	3	7.73192E-8	58.74	<b>0.0000</b>
INTERACCIONES					
AB	2.70946E-8	12	2.25789E-9	1.72	0.1044
<b>AC</b>	2.01511E-7	3	6.71703E-8	51.04	<b>0.0000</b>
BC	5.69317E-8	36	1.58143E-9	1.20	0.2925
ABC	4.73748E-8	36	1.31597E-9		
RESIDUOS	0	0			
TOTAL (CORREGIDO)	7.26643E-7	103			

Como se puede observar en la Tabla 12, no se aprecia efecto estadísticamente significativo de la parte expuesta para un p-value menor de 0.05 (95 % de nivel de confianza).

## 5.5. DEPÓSITO EN EL TRABAJADOR DE PIE

Las muestras recogidas en el “maniquí adulto” corresponderían a la exposición dérmica (vías dérmica, conjuntival y parenteral) que sufriría un trabajador que esté realizando tareas en zonas colindantes a la parcela de aplicación de tratamiento fitosanitario.

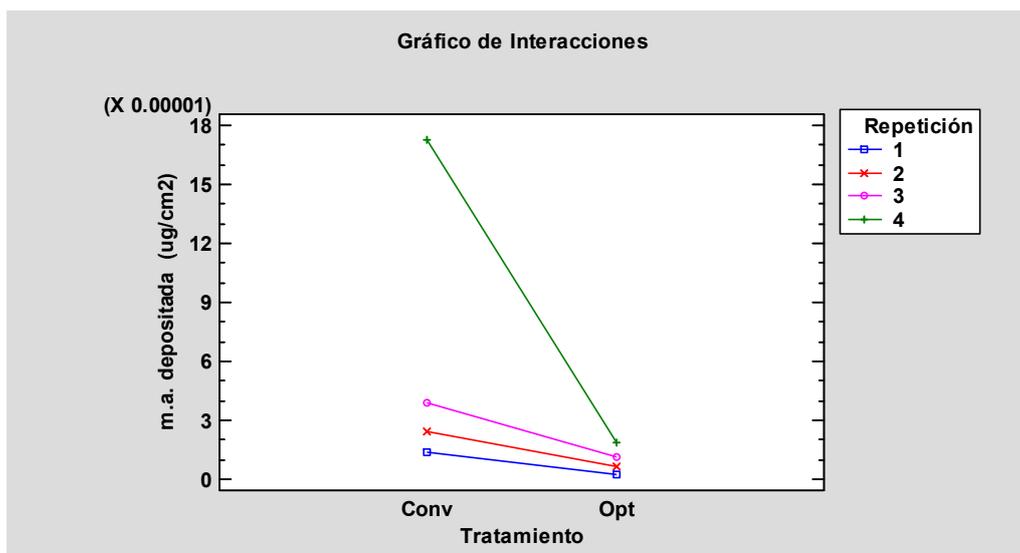


Figura 46 Materia activa depositada ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) en el trabajador de pie según el tratamiento y la repetición de ensayo.

Tabla 13 Análisis de varianza del efecto de los factores tipo de tratamiento (convencional y optimizado) y repetición de los ensayos en la materia activa depositada ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) en el trabajador de pie.

Fuente	Suma Cuadrados	de GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamiento	1.8356E-7	1	1.8356E-7	13.37	0.0003
B:Repetición	3.22436E-7	3	1.07479E-7	7.83	0.0001
INTERACCIONES					
AB	2.24611E-7	3	7.48703E-8	5.46	0.0012
RESIDUOS	0.00000351343	256	1.37243E-8		
TOTAL (CORREGIDO)	0.00000424404	263			

Nuevamente el análisis de varianza de los factores “tratamiento” y “repetición” resultó significativo para la interacción. Se observa como el tratamiento convencional tiene unos valores significativamente superiores de materia activa depositada en el trabajador de pie (Figura 46). Estos resultados muestran la disminución significativa de la exposición del trabajador cuando se optimiza el tratamiento fitosanitario según los parámetros del ensayo realizado.

### 5.5.1. Evaluación de la parte del cuerpo expuesta del trabajador de pie

En este apartado se evalúa la exposición dérmica al producto fitosanitario (vías dérmica, conjuntival y parenteral) para las distintas zonas del cuerpo de un trabajador en la zona de tratamiento.

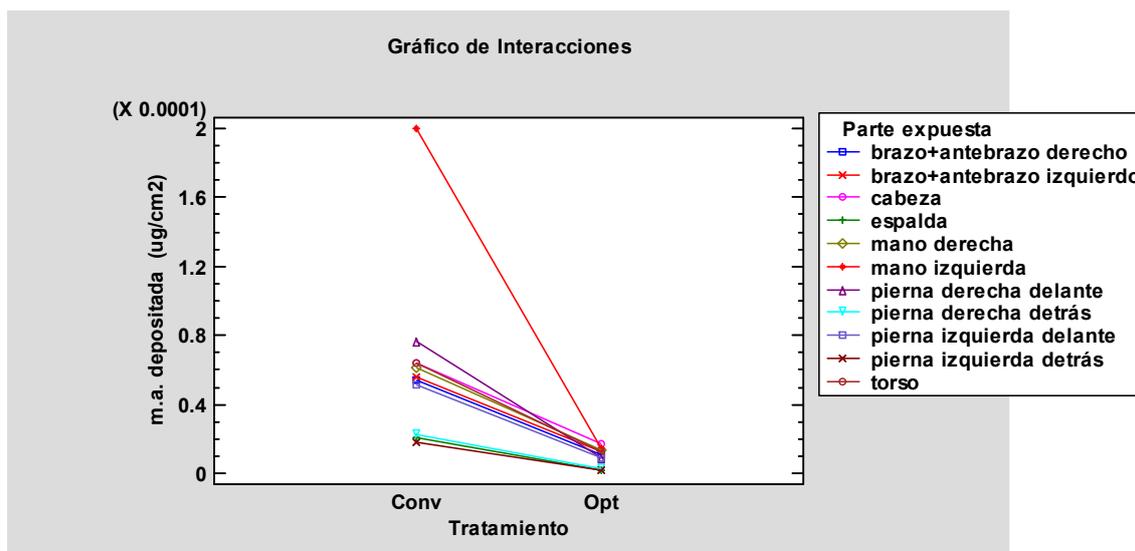


Figura 47 Materia activa depositada ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) en el trabajador de pie según el tratamiento, la parte del cuerpo expuesta y la repetición de ensayo.

Se ha observado como las zonas delanteras presentaron mayores depósitos de materia activa que las zonas traseras. Estas exposiciones mayores están directamente relacionadas con las posiciones que tenían los maniquíes situados en la parcela, con la parte derecha adelantada ligeramente. Aunque la posición de los trabajadores respecto al paso del tractor puede ser diferente, y el trabajador puede también ir cambiando de posición relativa, estos resultados ponen de manifiesto la importancia de proteger las manos y la cabeza (además del torso, las piernas y los brazos) mediante equipos de protección específicos.

Tabla 14 Análisis de varianza del efecto de los factores tipo de tratamiento, parte del cuerpo expuesta y repetición de los ensayos en la materia activa depositada ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) en el trabajador de pie.

Fuente	Suma de Cuadrados	de GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
<b>A: Tratamiento</b>	1.8356E-7	1	1.8356E-7	13.46	<b>0.0003</b>
B: Parte expuesta	1.67114E-7	10	1.67114E-8	1.22	0.2779
<b>C: Repetición</b>	3.22436E-7	3	1.07479E-7	7.88	<b>0.0001</b>
INTERACCIONES					
AB	1.31049E-7	10	1.31049E-8	0.96	0.4796
<b>AC</b>	2.24611E-7	3	7.48703E-8	5.49	<b>0.0013</b>
BC	4.22311E-7	30	1.4077E-8	1.03	0.4292
ABC	3.919E-7	30	1.30633E-8	0.96	0.5350
RESIDUOS	0.00000240105	176	1.36424E-8		
TOTAL (CORREGIDO)	0.00000424404	263			

Se pueden comprobar efectos estadísticamente significativos entre los factores tratamiento, repetición y su interacción.



Figura 48 Posición de los maniqués respecto al avance del tractor.

## 5.6. DEPÓSITO EN EL TRABAJADOR AGACHADO

Las muestras recogidas en el “maniquí niño” (trabajador agachado en la zona de aplicación) podrían corresponderse con la exposición dérmica (vías dérmica, conjuntival y parenteral) que sufriría un trabajador que se encuentre en una posición más baja (agachado, arrodillado, etc.) realizando tareas en zonas colindantes a la parcela de aplicación de tratamiento fitosanitario.

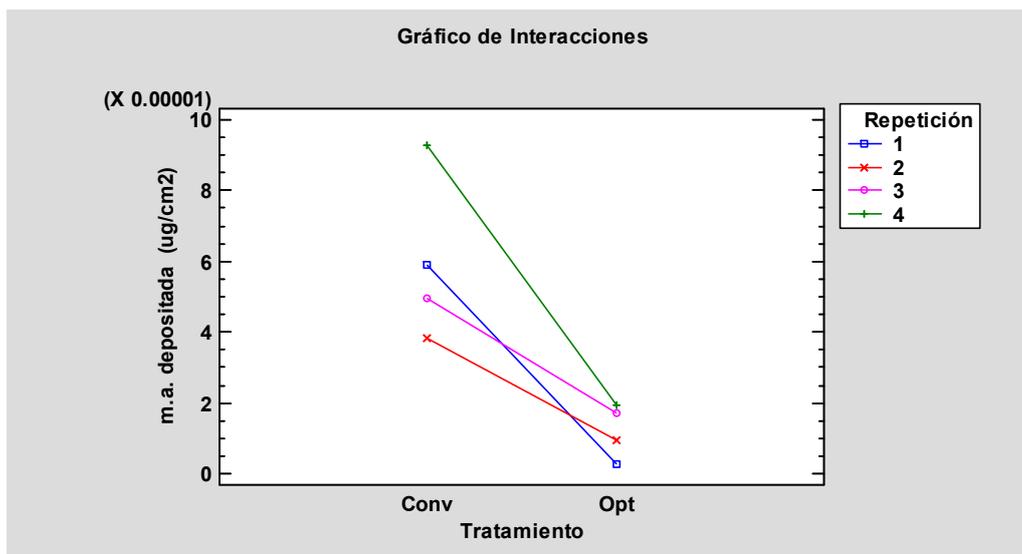


Figura 49 Materia activa depositada ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) en el trabajador agachado según el tratamiento y la repetición de ensayo.

Tabla 15 Análisis de varianza del efecto de los factores tipo de tratamiento (convencional y optimizado) y repetición de los ensayos en la materia activa depositada ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) en el trabajador agachado.

Fuente	Suma de Cuadrados	de GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamiento	1.50555E-7	1	1.50555E-7	117.85	0.0000
B:Repetición	3.82352E-8	3	1.27451E-8	9.98	0.0000
INTERACCIONES					
AB	2.19387E-8	3	7.3129E-9	5.72	0.0008
RESIDUOS	3.27052E-7	256	1.27755E-9		
TOTAL (CORREGIDO)	5.37781E-7	263			

De forma reiterada, se confirma el efecto significativo de la interacción de los factores “tratamiento” y “repetición” en el depósito de materia activa. El tratamiento convencional obtuvo unos valores significativamente más elevados que el tratamiento optimizado en cuanto a materia activa depositada en un trabajador que se encuentre por la zona. Estos resultados confirman la disminución significativa de la exposición del trabajador cuando se optimiza el tratamiento fitosanitario según los parámetros del ensayo realizado.

### 5.6.1. Evaluación de la parte del cuerpo expuesta del trabajador agachado

En este apartado se evalúa la exposición dérmica al producto fitosanitario (vías dérmica, conjuntival y parenteral) para las distintas zonas del cuerpo de un trabajador en posición agachada en la zona de tratamiento.

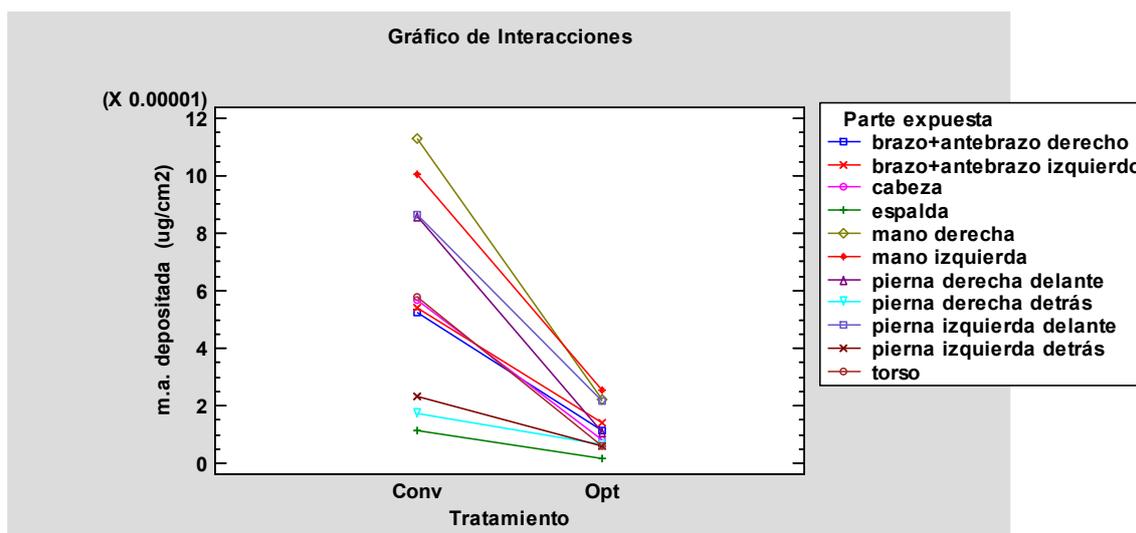


Figura 50 Materia activa depositada ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) en el trabajador agachado según el tratamiento, la parte del cuerpo expuesta y la repetición de ensayo.

En el caso del trabajador agachado en la zona de tratamiento, las manos y piernas delanteras son las que mayor exposición sufren. Estos resultados indican como las zonas delanteras están más expuestas que las zonas de espaldas al tratamiento. En una situación real si el trabajador se está moviendo la zona delantera y trasera expuesta al residuo podría modificarse. En la situación más desfavorable podría exponerse de forma más acusada todas las zonas del cuerpo.

*Tabla 16 Análisis de varianza del efecto de los factores tipo de tratamiento, parte del cuerpo expuesta y repetición de los ensayos en la materia activa depositada ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) en el trabajador agachado.*

Fuente	Suma de Cuadrados	de Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamiento	1.50555E-7	1	1.50555E-7	203.76	0.0000
B:Parte expuesta	9.98896E-8	10	9.98896E-9	13.52	0.0000
C:Repetición	3.82352E-8	3	1.27451E-8	17.25	0.0000
INTERACCIONES					
AB	4.50834E-8	10	4.50834E-9	6.10	0.0000
AC	2.19387E-8	3	7.3129E-9	9.90	0.0000
BC	2.68221E-8	30	8.94072E-10	1.21	0.2232
ABC	2.5212E-8	30	8.40401E-10	1.14	0.2972
RESIDUOS	1.30045E-7	176	7.38893E-10		
TOTAL (CORREGIDO)	5.37781E-7	263			

Se comprueba que los factores tratamiento, parte expuesta y repetición, así como las interacciones del factor tratamiento, resultan estadísticamente significativas.

## 5.7. ANÁLISIS CUANTITATIVO

Según se muestra en la Tabla 17, se ha calculado el valor medio de materia activa depositada en cada trabajador para los tratamientos convencionales y optimizados.

*Tabla 17 Valores medios de la materia activa depositada ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) según el trabajador y reducción estimada de la exposición al aplicar tratamiento optimizado.*

COLECTOR	TRATAMIENTO	VALOR MEDIO PONDERADO ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	REDUCCIÓN (%)
Aplicador	Convencional	8.12924E-05	92.1
	Optimizado	6.42106E-06	
Trabajador de pie	Convencional	4.79401E-05	82.6
	Optimizado	8.34024E-06	
Trabajador agachado	Convencional	5.15569E-05	81.1
	Optimizado	9.73118E-06	

Se puede comprobar que existe una reducción entre el 7.9 % y el 18.9 % de materia activa depositada en el colector aplicando el tratamiento optimizado frente al convencional, lo cual supone una gran reducción de la exposición que un trabajador sufre durante la aplicación del tratamiento fitosanitario.

Es importante destacar que la mayor reducción utilizando la aplicación optimizada se consigue en la exposición cutánea registrada en los trabajadores que se encuentran en la zona. En este caso el aplicar la cantidad de producto necesaria según los parámetros optimizados reduce en un 18.9 % la exposición a producto fitosanitario del trabajador por vía cutánea.

## 5.8. CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO

Tras calcular la caracterización del riesgo, se determina que el riesgo está adecuadamente controlado ya que en ningún caso el valor CR es mayor de 1, es decir, que los niveles de exposición no superan el DNEL (nivel sin efecto derivado) para ninguno de los trabajadores, Tabla 18.

*Tabla 18 Caracterización del riesgo según el tipo de tratamiento y trabajador estudiado.*

TRABAJADOR	TRATAMIENTO	CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO (CR)
Aplicador	Convencional	3.45493E-08
	Optimizado	3.55311E-09
Trabajadores cercanos	Convencional	8.27176E-09
	Optimizado	1.43913E-09

## 6. CONCLUSIONES

Como consecuencia de la realización del presente Trabajo de Fin de Máster, se llega a las siguientes conclusiones:

- 1- Tras el análisis realizado se puede garantizar que en ningún tipo de los tratamientos realizados se ha superado el valor límite de exposición profesional, siempre contando con la utilización de los equipos de protección individual estipulados en la ficha de seguridad del producto fitosanitario aplicado.
- 2- El tratamiento convencional, que se aplica según los parámetros habituales que establece el técnico de la finca, implica una exposición significativamente mayor de los trabajadores al producto fitosanitario, así como una deriva significativamente mayor en todos los casos, registrada tanto en aire como en suelo. Sin embargo, con el tratamiento optimizado, en el que se regulan los parámetros operacionales con las herramientas necesarias para hacer una aplicación racionalizada en base a las necesidades reales, se ve reducido de forma significativa el nivel de exposición y de deriva.

- 3- Tanto el aplicador (conductor) como cualquier trabajador que se encuentre en la zona se verán afectados por el producto fitosanitario aplicado. Si se aplica un **tratamiento optimizado, el aplicador reducirá la exposición más de un 90 %**. Al igual que los trabajadores de las zonas cercanas, que reducirán más de un 80 % su exposición con la aplicación de un tratamiento optimizado.
- 4- El aplicador, que es el trabajador conductor del tractor, en este caso sin cabina, se ve expuesto por vía dérmica a una importante cantidad de producto, significativamente mayor que los trabajadores más alejados. Resulta imprescindible que el conductor del tractor lleve todos los EPI requeridos para la aplicación de productos fitosanitarios, así como la recomendación de disponer de un tractor con cabina, ya que de esta forma se evita que el trabajador entre en contacto directo con el agente químico y sufra una mayor exposición dérmica.
- 5- La cabeza es la parte del cuerpo que mayor exposición sufre en todos los casos, por lo que resulta imprescindible protegerse con equipos de protección individual adecuados. Es recomendable emplear un equipo respiratorio con filtro de partículas según la norma EN 143, tal como indica el fabricante del producto fitosanitario empleado. También sería aconsejable el uso de gafas de seguridad para uso de productos químicos, a pesar de que en la ficha de seguridad del producto no se establece su uso obligatorio. También sufren una elevada exposición las manos, así que se deben usar los guantes adecuados para una óptima protección de la piel. Siguiendo las indicaciones de la ficha técnica del producto suministrado, deben ser guantes de caucho de nitrilo con un espesor mínimo de 0.5 mm, con un tiempo de penetración mayor a 480 minutos. Igualmente es imprescindible vestir un mono desechable o ropa de trabajo apropiada, que permita su lavado antes de reutilizar.

Como conclusiones generales se destaca la importancia de asegurar la aplicación de tratamientos optimizados, con la regulación de los parámetros necesarios mediante las herramientas CitrusVol, Ve.S.Pa y TOPPS-PROWADIS, en todos los cultivos de cítricos. De esta manera se reducirá la exposición que cualquier trabajador sufre durante la aplicación de un tratamiento fitosanitario.

## 7. REFERENCIAS

- Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.* Boletín Oficial del Estado.
- Aguilar Bailo, A. (2013). Relación entre los Límites de Exposición Profesional y los DNELs. Instituto de Salud Pública y Laboral de Navarra.
- Ancillo, G., & Medina, A. (2015). *Monografías botánicas. Jardín Botánico de la Universitat de València*. Valencia: Universitat de València.

- Bartual Sánchez, J., & Berenguer Subils, M. J. (1984). NTP 143: Pesticidas: clasificación y riesgos principales. Barcelona, España: INSST.
- Béziat, B., Duporté, G., Bouchart, V., Lecluse, Y., Barron, E., Garrigou, A., . . . Baldi, I. (1 de junio de 2021). Pesticide exposure of workers in apple growing in France. *International Archives of Occupational and Environmental Health*.
- Cao, L., Chen, B., Zheng, L., Wang, D., Liu, F., & Huang, Q. (2015). Assessment of potential dermal and inhalation exposure of workers to the insecticide imidacloprid using whole-body dosimetry in China. En *Journal of Environmental Sciences* (págs. 139-146).
- casafe.org*. (27 de febrero de 2022). Obtenido de Tipos de boquillas de pulverización: <https://www.casafe.org/tipos-de-boquillas-de-pulverizacion/#:~:text=%E2%80%93%20De%20cono%20o%20turbulencia%3A%20Estas,el%20env%3%A9s%20de%20las%20hojas>.
- CERTIS. (marzo de 2022). *certiseurope.es*. Obtenido de *certiseurope.es*: <https://www.certiseurope.es/noticias/detalle/news/las-principales-plagas-en-citricos-y-como-combatirlas/>
- Charistou, A., Coja, T., Craig, P., Hamey, P., Martin, S., Sanvido, O., . . . Istace, F. (30 de noviembre de 2021). Guidance on the assessment of exposure of operators, workers, residents and bystanders in risk assessment of plant protection products. *European Food Safety Authority (EFSA) journal*.
- Consellería de Agricultura, D. R. (29 de enero de 2021). Informe situación citrícola 2020/2021.
- Conselleria de Agricultura, Desarrollo Rural, Emergencia Climática y Transición Ecológica. (30 de abril de 2020). *INFORME SITUACIÓN CAMPAÑA CITRÍCOLA*. Obtenido de <https://agroambient.gva.es/documents/162218839/167565318/INFORME+CAMPA%C3%91A+CITRICOS+ABRIL+2020/90a4f27c-aa1e-42da-9667-31dd6b799d73>
- De leeuw, f., van pul, w., van den berg, f., & gilbert, a. (1999). The use of atmospheric dispersion models in risk assessment decision support systems for pesticides. *Kluwer*.
- Dereumeaux, C., Fillol, C., Quenel, P., & Denys, S. (2020). Pesticide exposures for residents living close to agricultural lands: A review. En *Environment International*.
- Derksen, R., Zhu, H., Fox, R., Brazee, R., & Krause, C. (2007). Coverage and drift produced by air induction and conventional hydraulic nozzles used for orchard applications. En *Transactions of the ASABE 50* (5) (págs. 1493-1501).
- Doble, S., Matthews, G., Rutherford, I., & Southcombe, E. (1985). *A System for Classifying Hydraulic Nozzles and other atomisers into categories of spray quality*.
- Fenske, R. (1993). Dermal exposure assessment techniques.
- FREMAP. (21 de noviembre de 2021). *Prontuario para la selección de equipos de protección individual*. Obtenido de <https://prevencion.fremap.es/Buenas%20prcticas/LIB.027%20-%20Prontuario%20para%20la%20Selecci%C3%B3n%20de%20Equipos%20de%20Protecci%C3%B3n%20Individual.pdf>

- Fundación de la Comunitat Valenciana Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo – CEAM. <https://perfectlifeproject.eu/>. Obtenido de <https://perfectlifeproject.eu/es/herramientas-perfect/>
- Ganzelmeier, H., Rautmann, D., Spangenberg, R., Streloke, M., Herrmann, M., Wenzelburger, H., & Walter, H. (1995). Studies on the spray drift of plant protection products: results of a test program carried out throughout the Federal Republic of Germany. . En *Communications from Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft* (pág. 111). Berlin-Dahlem.
- Garcerá , C., Román , C., Moltó , E., Abad , R., Insa , J., Torrent , X., . . . Chueca , P. (2017a). Comparison between standard and drift reducing nozzles for pesticide application in citrus: Part II. Effects on canopy spray distribution, control efficacy of *Aonidiella aurantii* (Maskell), beneficial parasitoids and pesticide residues on fruit. En *Crop Protection* 94 (págs. 83-96).
- Garcerá, C., Moltó, E., & Chueca, P. (2017). Spray pesticide applications in Mediterranean citrus orchards: Canopy deposition and off-target loses. En *Science of The Total Environment* (págs. 1344-1362).
- Garcerá, C., Moltó, E., & Chueca, P. (2017b). Spray pesticide applications in Mediterranean citrus orchards: Canopy deposition and off-target losses. En *Science of the Total Environment* 599–600 (págs. 1344–1362).
- García-Santos, G., & Keller-Forrer, K. (2011). Avoidance behaviour of *Elisenia fetida* to carbofuran, chloryphos, mancozeb and metamidophos in natural soils from the highlands of Colombia. *Elsevier*.
- Guillén Enríquez, J., & Serrano Ramírez, J. (2003). *Respuesta ante intoxicaciones agudas por plaguicidas*. Consejería de Salud. Dirección General de Salud y Participación.
- Guitart, V. E. (2007). *upa.es*. Obtenido de [https://www.upa.es/anuario\\_2007/pag\\_126-140\\_estruch.pdf](https://www.upa.es/anuario_2007/pag_126-140_estruch.pdf)
- Heijne, B., Wenneker, M., & Van de Zande, J. (2002). Air inclusion nozzles don't reduce pollution of surface water during orchard spraying in The Netherlands. *International Advances in Pesticide Application*. En *Aspects of Applied Biology* 66 (págs. 193-199).
- Heinkel, R., Bäcker, G., & Henser, U. (2001). Application of new fungicides with drift reducing injector nozzles in viticulture. En *Parasítica* 57(1) (págs. 51-59).
- Heinkel, R., Fried, A., & Lange, E. (2000). The effect of air injector nozzles on crop penetration and biological performance of fruit sprayers. En *Asp. Appl. Biol.* 57 (págs. 301-307).
- Holterman et al. (2016).
- Huizhu, & Xionkui. (1998).
- INSL. (12 de octubre de 2021). *navarra.es*. Obtenido de <http://www.navarra.es/NR/rdonlyres/5345A83F-38B3-4CAB-8C64-8F17DBD4F826/0/03unidad3.pdf>
- INSST. (2015). *NTP 1047: Pulverizador de productos fitosanitarios: seguridad*.

- Intagri. (29 de septiembre de 2021). Obtenido de <https://www.intagri.com/articulos/fitosanidad/virus-de-la-tristeza-de-los-citricos>
- ISO 22866 - Equipment for crop protection — Methods for field measurement of spray drift. (2005). Geneva: International Standardisation Organisation.
- ISTAS. (14 de noviembre de 2021). *Riesgo químico*. Obtenido de <https://istas.net/salud-laboral/peligros-y-riesgos-laborales/riesgo-quimico>
- IVIA. (25 de septiembre de 2021). *Gestión Integrada de Plagas y Enfermedades en Cítricos*. Obtenido de <http://gipcitricos.ivia.es/citricultura-valenciana>
- IVIA. (12 de julio de 2021). *Racionalización de los tratamientos fitosanitarios en cítricos*. Obtenido de <https://citrusvol.com/citrusvol/>
- Latra Laguna, M. I. (2018). *Exposición a productos fitosanitarios durante su utilización*. Madrid: INSST.
- Lešnik, M., Pintar, C., Lobnik, A., & Kolar, M. (2005). Comparison of the effectiveness of standard and drift-reducing nozzles for control of some pests of apple. En *Crop Prot.* 24 (págs. 93-100).
- Lešnik, M., Stajko, D., & Vajs, S. (2015). Interactions between spray drift and sprayer travel speed in two different apple orchard training systems. En *International Journal of Environmental Science Technology* 12, (págs. 3017-3028).
- Lupi, L., Bedmar, F., Puricelli, M., Aparicio, V., Wunderlin, D., & Miglioranza, K. (2019). Glyphosate runoff and its occurrence in rainwater and subsurface soil in the nearby area of agricultural fields in Argentina. En *Chemosphere* (págs. 906-914).
- Markantonis, M., te Biesebeek, J., & Graven, C. (2018). Safe re-entry for workers into plant protection product treated crops. National Institute for Public Health and the Environment.
- McArtney, S., & Obermiller, J. (2008). Comparative performance of air-induction and conventional nozzles on an axial fan sprayer in medium density apple orchards. En *HortTechnology*, 18 (págs. 365-371).
- MICEX. (25 de octubre de 2021). Obtenido de <https://www.micex.es/leccion/5-productos-fitosanitarios-clasificacion-descripcion/>
- MICEX. (14 de noviembre de 2021). *MICEX*. Obtenido de <https://www.micex.es/leccion/17-practicas-de-aplicacion-de-tratamiento-fitosanitario/>
- MICEX. (noviembre de 2021). *micex.es*. Obtenido de <https://www.micex.es/leccion/13-equipos-de-aplicacion-descripcion-y-funcionamiento/>
- Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. (2017). Plan de acción nacional para el uso sostenible de productos fitosanitarios.
- Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad. (2013). *Guía para la vigilancia de la salud de los trabajadores del Sector Agrario*. Madrid.

- Naranjas y limones, la larga tradición de cítricos en la CV.* (12 de octubre de 2021). Obtenido de comunitatvalenciana.com:  
<https://www.comunitatvalenciana.com/es/inspire/naranjas-y-limones-la-larga-tradicion-de-citricos-en-la-comunitat-valenciana>
- Olivares, R. (6 de octubre de 2021). *castellonplaza.com*. Obtenido de <https://castellonplaza.com/europa-multiplica-la-llegada-de-plagas-citricolas-mientras-la-importacion-de-fruta-crece-ligeramente>
- Ortiz-Cañavate. (2003).
- Ramos, C., Carbonell, G., García Baudín, J., & Tarazona, J. (2000). Ecological risk assessment of pesticides in the Mediterranean region. The need for crop-specific scenarios. *Elsevier*.
- Rautmann, D., Strelake, M., & Winkler, R. (2001). New basic drift values in the authorisation procedure for plant protection products. Communications from Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft. En R. Foster, & M. Strelake, *Workshop on Risk Assessment and Risk Mitigation Measures in the Context of the Authorisation of Plant Protection Products* (págs. 133–141). Berlin-Dahlem.
- Reichenberger, S., Bach, M., Skitschack, A., & Frede, H.-G. (2006). Mitigation strategies to reduce pesticide inputs into ground and surface water and their effectiveness; A review. *Elsevier*.
- Salyani, & Cronwell. (1992).
- Schönenberger, U., Simon, J., & Stamm, C. (2022). Are spray drift losses to agricultural roads more important for surface water contamination than direct drift to surface waters? En *Science of The Total Environment*.
- Sesah, E. M. (2007). Study of effects of forward speed and nozzle types on the spray characteristics of air assistance hydraulic sprayer. En *Misr Journal of Agricultural Engineering* 24(1) (págs. 75-87).
- Southcombe, E., Miller, P., Van de Zande, J., Miralles, A., & Hewitt, A. (1997). *The International (BCPC) Spray Classification System Including a Drift Potential Factor*.
- Spraying Systems Co. (14 de noviembre de 2021). *aerocampo.com*. Obtenido de aerocampo.com: <http://www.aerocampo.com/pdf/guia-del-pulverizador.pdf>
- van de Zande, J., Holterman, H., & Huijsmans, J. (2012). *Spray drift for the assessment of exposure of aquatic organisms to plant protection products in the Netherlands*. Plant Research International.
- van der Berg, F., Kubiak, R., Benjey, W., Majewski, M., Yates, S., Reeves, G., . . . van der Linden, A. (1999). Emission os pesticides into the air.
- Vercruyssen, F., & Steurbaut, W. (2001). POCER, the pesticide occupational and environmental riskindicator. *Elsevier*.
- Villalba Buendía, D., & Vivas, G. (1999). *Plagas de los Cítricos más importantes de la Comunidad Valenciana*. Valencia: Generalitat Valenciana. Obtenido de <https://ivia.gva.es/documents/161862582/161863614/Plagas+de+los+c%C3%ADtricos>

+m%C3%A1s+importantes+en+la+Comunidad+Valenciana/261a3285-a903-4f9b-8d6f-7bda74dfc0bf

WHO (World Health Organization). (1986). Field surveys of exposure to pesticides: standard protocol.

## 8. ANEJOS

### 8.1. EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL

#### 8.1.1. Equipos de protección respiratoria

Pueden ser filtrantes o aislantes, es decir, filtran el aire del ambiente reteniendo las partículas tóxicas, o bien aíslan de la atmósfera exterior aportando oxígeno al trabajador.



Fuente: [www.iturri.com](http://www.iturri.com)

*Figura 51 Máscara filtrante*

Este tipo de máscaras deben ir acompañadas de los filtros correspondientes, en función de la toxicidad y naturaleza del producto que se esté manipulando.

FILTRO FRENTE A LAS PARTÍCULAS (eficacia de filtración 1, 2, 3)			FILTRO FRENTE A GASES (INCLUYE VAPORES) (capacidad de adsorción 1, 2)		PROTECCIÓN FRENTE A:	COLOR	NORMA UNE-EN
P1	P2	P3	No procede		Partículas tanto líquidas como sólidas	BLANCO	UNE-EN 143
<b>FILTRO ÚNICAMENTE FRENTE A PARTÍCULAS</b>							
No procede			A1	A2	Gases y vapores orgánicos con un punto de ebullición superior a 65 °C	MARRÓN	UNE-EN 14387
			B1	B2	Gases y vapores inorgánicos	GRIS	
			E1	E2	Dióxido de azufre y otros gases (incluye vapores) ácidos	AMARILLO	
			K1	K2	Amoníaco y derivados orgánicos del mismo	VERDE	
			AX		Gases y vapores orgánicos con un punto de ebullición inferior o igual a 65 °C	MARRÓN	
			SX		Gases y vapores específicos. Debe figurar el nombre de los productos químicos y sus concentraciones máximas permitidas	VIOLETA	
<b>FILTRO ÚNICAMENTE FRENTE A GASES (INCLUYE VAPORES)</b>							
NO-P3			Óxidos de nitrógeno		AZUL	UNE-EN 14387	
Hg-P3			Mercurio. La duración máxima de uso es de 50 h.		BLANCO		
P1			P2	P3	ROJO		
GasX*			Partículas y frente a algún tipo concreto de gases		BLANCO + CÓDIGO DE COLOR DEL GAS		
<b>FILTRO COMBINADO: PROTEGE FRENTE A PARTÍCULAS Y GASES (INCLUYE VAPORES)</b>							

Fuente: <https://prevencion.fremap.es/>

Figura 52 Clasificación de los filtros



Fuente: [www.jomarmp.com](http://www.jomarmp.com)

Figura 53 Equipo aislante de respiración semiautónomo

### 8.1.2. Equipos de protección ocular y facial

Para evitar salpicaduras en los ojos y una posible contaminación por vía conjuntival, si la máscara empleada no dispone de pantalla facial integrada, deberán utilizarse unas gafas de seguridad que impidan la entrada de aerosoles.



Fuente: [www.iturri.com](http://www.iturri.com)

Figura 54 Gafas de seguridad para la aplicación de plaguicidas

### 8.1.3. Guantes de protección

Deberán utilizarse guantes de protección química, ya que disponen de resistencia a la permeación, penetración y a la degradación del propio guante a pesar de haber sido utilizado repetidas ocasiones y frente a diferentes productos.



Fuente: [www.unionferretera.com](http://www.unionferretera.com)

Figura 55 Guantes de protección química para la aplicación de plaguicidas

### 8.1.4. Ropa de protección

Durante el contacto con plaguicidas deberá emplearse un buzo de protección adecuado según la norma ISO 27065:2017.

NIVEL DE PROTECCIÓN		USO RECOMENDADO
A	C1	No es adecuado su uso para tareas con exposición a pesticidas diluidos y concentrados.
	C2	
	C3	Adecuado su uso para tareas con exposición a pesticidas diluidos y concentrados.

	PRESTACIÓN	NIVEL DE PROTECCIÓN		
		C1	C2	C3
Material	Resistencia a la penetración	Como máximo 40%	Como máximo 5%	
	Resistencia a la repelencia		Como mínimo 80%	
	Resistencia a la permeación			≤ 1 µg/cm <sup>2</sup>
Traje	Ensayo de pulverización a baja intensidad		Pasa	
	Ensayo de pulverización a alta intensidad			Pasa

Fuente: <https://prevencion.fremap.es/>

Figura 56 Niveles de protección de los buzos para la aplicación de plaguicidas



Fuente: [www.prolaboral.com](http://www.prolaboral.com)

*Figura 57 Buzo de protección*

### 8.1.5. Calzado de protección

Será necesario el uso de botas resistentes al agua, de forma que el producto no pueda permear o penetrar y evitar de esta forma el contacto con la piel. Este tipo de calzado tendrá el símbolo SW de acuerdo con su nivel de protección.



Fuente: [www.puntojardin.com](http://www.puntojardin.com)

*Figura 58 Botas de agua para la aplicación de plaguicidas*