

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE

Facultad de Ingeniería



**Evaluación de barreras vegetales
para mitigar la deriva de pulverizaciones**

Lic. Walter Javier Copes

Director: Dr. Carlos Jorge Magdalena.

Estación Experimental Agropecuaria Alto Valle. INTA.

Ruta 22. 1190km. Guerrico. Provincia de Río Negro-Argentina.

<http://www.inta.gov.ar/altovalle/>

**Tesis para obtener el título de Magíster en Intervención Ambiental
con orientación en Ingeniería Ambiental**

Marzo 2012

AGRADECIMIENTOS

A mi director de tesis Dr. Carlos Magdalena quien gestionó mi postgrado, me orientó y brindó su confianza incondicional.

A mis compañeros de trabajo Roberto y Luciano, quienes continuamente aportaron su apoyo y colaboración con mis obligaciones diarias.

Al personal de INTA (Adrián, Alfredo, Daniel, Edgardo, Marcelino y Sebastián) por su colaboración en el trabajo de campo y laboratorio.

A la Lic. Fernanda Menni, por sus valiosos aportes para el procesamiento de datos y análisis estadístico.

A la Estación Experimental Alto Valle por facilitar el equipamiento utilizado en campo y permitir el acceso al laboratorio de Suelos donde se analizaron las muestras.

A mi esposa Ana, mis hijos Gianella y Joaquín por la paciencia, comprensión y constante apoyo.

RESUMEN

La producción frutícola del Alto Valle de Río Negro y Neuquén exige anualmente de tratamientos fitosanitarios que se realizan mediante pulverizaciones. La eficiencia de dichas aplicaciones se ve afectada por la pérdida de producto, principalmente por endo y exoderiva, lo cual contamina el ambiente y pone en riesgo a la población del valle. La presencia de los vientos patagónicos agrava la situación, provocando que la deriva aerotransportada se desplace a mayores distancias.

El objetivo de la presente investigación fue evaluar la capacidad de las barreras vegetales rompevientos para atenuar la deriva de las pulverizaciones fitosanitarias.

El ensayo a campo se realizó con un equipo pulverizador hidroneumático tradicional, aplicándose una solución con un trazador fluorimétrico.

La barrera rompevientos evaluada consistió en una hilera de álamos híbridos (*populus x canadensis*) I 488, la cuál es recomendada en la región frutícola norpatagónica.

Las muestras se recolectaron con limpiadores de pipas colocados a 2 y 6 m de altura sobre columnas de hierro. Las estaciones de muestreo se ubicaron 5 m delante de la alameda y detrás de la misma distribuidas hasta 50 m en dirección y sentido del viento. Como testigo se empleó el mismo esquema de distribución a los anteriores, pero sin barrera vegetal. Las determinaciones del trazador captado se realizaron mediante un fluorímetro en un laboratorio.

Los resultados obtenidos demuestran que las cortinas de álamos utilizadas para mitigar los efectos del viento sobre los cultivos, generan un efecto significativo sobre la deriva de las pulverizaciones fitosanitarias. En presencia de vientos débiles, la barrera vegetal provoca una disminución de la deriva a sotavento, atenuando la contaminación en áreas vecinas y concentrando parte de la deriva dentro del predio pulverizado, aumentando la denominada endoderiva.

Palabras clave: fruticultura, plaguicidas, deriva, cortina rompevientos, atenuación.

SUMMARY

Fruit production of the Alto Valle of Río Negro and Neuquén annually requires phytosanitary treatments which are made by spraying. The efficiency of these applications is affected by the loss of product, mainly by endo and exo-drift, which pollutes the environment and endangers the valley population. The presence of patagonian winds aggravates the situation, causing that the airborne drift moves to greater distances.

The objective of this study was to evaluate the ability of windbreak vegetative barriers to reduce spray drift of phytosanitarys pulverizations.

The field trial was performed using a traditional hydroneumatic sprayer equipment, applying a solution with a fluorimetric tracer.

The evaluated windbreak consisted on a line of hybrid poplar (*Populus x canadensis*) I 488, which is recommended in the norpatagonian region for fruit production.

The samples were collected with pipe cleaners placed at 2 and 6 m in height on iron columns. The sampling stations were located 5 m in front of the mall and behind it spread up to 50 m downwind direction.

The control treatment presented the same pattern of distribution to the above mentioned, but without a plant barrier. The captured tracer determinations were performed in a laboratory using a fluorimeter.

The results show that the curtains of poplars used to mitigate the effects of wind on crops, generate a significant effect on spray drift of phytosanitary pulverizations. In the presence of weak winds, the barrier causes a decrease in downwind plant drift, alleviating pollution and concentrating in the vicinity of the spray drift within the site, increasing the so-called endodrift.

Keywords: fruit, pesticide, spray drift, shelterbelts, attenuation.

ABREVIATURAS

A	Distancia entre filas (m)
ANOVA	Análisis de la Varianza
ASAE	Sociedad Americana de Ingenieros Agrícolas
BPA	Buenas Prácticas Agrícolas
BSF	Sulfoflavina brillante
CAR	Censo de Agricultura bajo Riego
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
cv	Cultivar
D	Tasa de aplicación (L/ha)
d	Distancia recorrida (m).
D ₁	Volumen de aplicación (L/ha)
DGEyC	Dirección General de Estadísticas y Censo
DNRQ	Departamento de Recursos Naturales de Queensland
E	Ancho del árbol (m)
EEA	Estación Experimental Agropecuaria
EPA	Agencia de Protección del Medio Ambiente
f	factor de contención
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
FUNBAPA	Fundación Barrera Patagónica
g	constante universal de gravedad
H	Altura (m)
H	Presión de trabajo en metros de columna de agua.
I	Índice de ajuste de densidad foliar
INTA	Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
k	constante característica de la boquilla
LIBIQUIMA	Laboratorio de Investigaciones Bioquímicas, Químicas y del Medio Ambiente
P.B.G	Producto Bruto Geográfico
PCBs	Bifenilos Policlorados
Q	Caudal de agua erogado por las boquillas (L/min)
QA	Caudal de aire requerido (m ³ /h)
S	Distancia recorrida (m)

s	Sección del orificio de la boquilla (m ²)
SAG	Servicio Agrícola Ganadero
SENASA	Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria
Sr	Estabilidad atmosférica
t	Tiempo (s)
TRV	Tree - Row - Volume
UV	Ultra Violeta
WNW	Oeste Noroeste
V	Velocidad del viento a 5 metros de altura (m/s)
V ₁	Velocidad de avance (m/s)
VAP	Ventana de Aplicación de Plaguicidas
Vf	Velocidad debida a la gravedad (m/s)
Vp	Volumen patrón (L/m ³)
Vr	Velocidad resultante (m/s)
Vt	Velocidad de caída (m/s)
Vx	Velocidad media del viento (m/s)
Vz	Velocidad debida a la turbulencia (m/s)
∅	Diámetro medio de las gotas (μm)
η	Viscosidad dinámica del aire 181 μP a 20 °C
ρ _d	Densidad de la gota (kg/m ³)

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Contexto económico poblacional de la fruticultura regional	2
1.2. Finalidad	5
1.3. Objetivo	5
1.4. Hipótesis	5
2. ANTECEDENTES	6
2.1. Presencia de plaguicidas en el ambiente	6
2.2. Contacto del hombre con los plaguicidas agrícolas	9
2.2.1. Exposición a pesticidas	9
2.2.2. Vías de ingreso al organismo	9
2.2.3. Efectos sobre la salud	11
2.3. Aplicación de plaguicidas en frutales de pepita	12
2.3.1. Pérdida de producto en pulverizaciones fitosanitarias	14
2.3.2. Dispersión de las gotas pulverizadas	16
2.4. Contaminación por deriva	19
2.4.1. Influencia del viento sobre la deriva	22
2.5. Características del viento en el Alto Valle	22
2.6. Efecto del viento sobre los cultivos	24
2.6.1. Barreras rompevientos	27
2.6.2. Zonas buffer y barreas vegetales	32
2.7. Retención de contaminantes atmosféricos por los árboles	34
2.8. Degradación de los plaguicidas	36
2.9. Metodología de evaluación	40
2.9.1. Análisis de la deriva empleando trazadores fluorimétricos	40
2.9.2. Captación de deriva	42
3. MATERIALES Y MÉTODOS	46
3.1. Descripción de la barrera rompevientos	46
3.2. Equipo pulverizador	49
3.2.1. Caudal de aire requerido	51
3.2.2. Calibración del equipo pulverizador	52
3.3. Condiciones meteorológicas	57
3.4. Metodología de muestreo	57

3.4.1. Captación de muestras.....	57
3.4.2. Tratamientos.....	58
3.4.3. Acondicionamiento de muestras y técnica de evaluación.....	60
3.5. Procedimiento estadístico.....	62
3.5.1. Diseño experimental.....	62
4. RESULTADOS.....	63
4.1. Análisis descriptivo de los depósitos captados con limpiapipas.....	63
4.2. Análisis de la varianza.....	69
4.3. Efecto barrera-distancia para ambas alturas.....	75
4.3.1. Muestreo delante de la barrera.....	75
4.3.2. Muestreo detrás de la barrera.....	76
5. DISCUSIÓN.....	78
6. CONCLUSION.....	83
6.1. Aporte metodológico y recomendaciones.....	83
7. BIBLIOGRAFÍA.....	84

1. INTRODUCCIÓN

El principal problema que enfrenta la humanidad, es la producción de alimentos, con el fin de satisfacer la necesidad de la población.

Los antecesores del hombre moderno vivieron de la caza y la recolección de alimentos, con un sistema de vida que producía una mínima disrupción en el ambiente. Es difícil determinar si la aparición de la agricultura fue consecuencia de la presión poblacional ejercida por la especie humana o si su práctica permitió la explosión demográfica que llevó al agotamiento de los recursos naturales en diferentes regiones del planeta. Es probable que el motivo real haya sido una combinación de estos factores. No obstante, la agricultura no fue un breve accidente en la historia de la humanidad, sino que significó la completa modificación del ecosistema del planeta.

El cambio de una agricultura de subsistencia por una agricultura comercial también aceleró el proceso de adopción de nuevas herramientas para el control de plagas, ya que las pérdidas ocasionadas no solo afectaban la alimentación familiar, sino que ahora ponían en riesgo la inversión económica realizada y la continuidad del agricultor en el negocio.

La revolución agrícola introdujo grandes cambios en los cultivos, uniformidad entre los individuos de la misma especie y prolongación de los períodos vegetativos haciendo posible aumentar el rendimiento de las cosechas.

Caltagirone (1982) resalta que la sobreexplotación genera gravísimas consecuencias al ambiente y que en la actualidad el hombre se ha acostumbrado convivir con el desequilibrio ecológico. En muchos casos, volver al equilibrio natural ni siquiera es posible.

1.1. Contexto económico poblacional de la fruticultura regional.

Argentina es el principal exportador de peras del mundo, con un 37% del total producido en el hemisferio sur. En cuanto a la producción de manzanas, nuestro país ha ido perdiendo importancia en el mercado mundial, sin embargo la superficie implantada sigue siendo importante.

En los valles irrigados de Río Negro y Neuquén se cultiva el 80 % de la producción argentina de manzanas y peras, contribuyendo con más del 50% del valor total de frutas frescas del país (SENASA 2008). La superficie de peras supera las 22.500 ha., con una producción de más de 670.000 toneladas, de las cuales se exportan 414.000 toneladas. (FUNBAPA 2008). Mientras que la superficie de Manzanas supera las 26.000 ha. (CAR 2005), con una producción de aproximadamente 750.000 toneladas exportándose cerca de 212.000 toneladas.

En Río Negro la producción frutícola es la principal actividad económica regional aportando a la provincia el 20% del P.B.G (Producto Bruto Geográfico). El ingreso de divisas por exportaciones de frutas frescas significa más de la mitad del total de las exportaciones provinciales.

Si se agregan los subproductos (aromas y jugos concentrados) derivados del sector, las exportaciones representan más del 64% del total provincial. Los principales destinos son la Unión Europea, EEUU, Rusia, Brasil y México. Como ejemplo de lo señalado, en el año 2008 ingresaron a ésta provincia en concepto de exportaciones vinculadas al sector frutícola, 330 millones de dólares (DGEyC Río Negro 2008).

En cambio la provincia de Neuquén cuenta con una estructura productiva más diversificada, con importancia relevante del sector hidrocarburífero. El sector frutícola participa con el 5% del P.B.G y un 12% sobre el total exportado. La superficie implantada de manzanos supera las 4120 ha. y 2.880 ha. de peras (SENASA 2008)

La fruticultura ocupa, en forma directa e indirecta, al 35% de la población económicamente activa del Alto Valle de Río Negro y Neuquén. El relevamiento realizado durante el Censo Agroindustrial 2001, demostró que en la región existen aproximadamente 4500 productores, 300 plantas de empaque comercializadoras de frutas frescas, 230 frigoríficos y cerca de 20 empresas dedicadas a la industrialización de la fruta (sidreras, jugueras y otros subproductos).

Merli & Nogues (1996) destacan que la actividad frutícola posee un importante efecto multiplicador, que se ve reflejado en casi todo el quehacer regional. La fruticultura requiere además, de servicios asociados como aserraderos, venta de agroquímicos, cajas de cartón, viveros, transporte y otros insumos agrícolas. Solo en la etapa primaria de producción, trabajan aproximadamente 50.000 personas entre asalariados y familiares no asalariados. PLAN FRUTÍCOLA INTEGRAL (2007). Sumando el empaque, frigoríficos y empresas jugueras se estima que alrededor de 70 mil personas en las provincias de Río Negro y Neuquén, tienen puestos de trabajos directos e indirectos vinculados al sector.

Las superficies irrigadas donde se desarrolla la producción de frutales de pepita corresponden a menos del 2% del total de la norpatagonia, sin embargo son las áreas más pobladas del territorio. En esta zona reside más del 50% de la población de Río Negro. Vapñarsky (1983) define al Alto Valle como una ciudad lineal continua, compuesta por poblados intermedios y pequeños, dentro de una gran área de producción frutícola. Los centros urbanos de la región están rodeados de montes frutales y los barrios periféricos separados solamente por una calle. Los productores aprovechan toda la superficie productiva, por lo que es común que las plantaciones de frutales se encuentren a escasos metros de casas y escuelas rurales "Fig. 1". Existe además, un uso intensivo de la tierra por parte de las familias rurales, los cuales crían animales de granja y cultivan huertas para consumo propio.



Figura 1: Escuela rural rodeada de plantaciones de frutales

La producción frutícola regional exige anualmente de varios tratamientos fitosanitarios que se realizan mediante pulverizaciones. Las mismas se intensifican a partir del mes de septiembre coincidiendo con los meses más ventosos del año. La eficiencia de dichas aplicaciones se ve afectada por la pérdida de producto, principalmente por endo y exoderiva, lo cual contamina el ambiente y pone en riesgo a la población. Esta situación se ve agravada cuando las pulverizaciones se realizan en presencia de viento. Si bien las recomendaciones dadas por las entidades oficiales, indican que los tratamientos fitosanitarios deben realizarse con viento en calma, es común que los productores cuando están exigidos por los tiempos para el control de plagas, realicen aplicaciones en presencia de vientos débiles.

Desde 1980 el Laboratorio de Investigaciones Bioquímicas, Químicas y del Medio Ambiente del Dpto. de Química de la Universidad Nacional del Comahue (LIBIQUIMA) ha estado investigando el impacto que generan los plaguicidas utilizados en el Alto Valle, sobre la salud del hombre y el medio ambiente. Los estudios realizados en la región demostraron que un alto porcentaje de los trabajadores y población rural están contaminados por plaguicidas, y que una de las principales vías de exposición es a través de la inhalación de vapores, aerosoles y partículas presentes en el aire, producto de la deriva de las pulverizaciones. (Diario Río Negro 21/2/93).

1.2. Finalidad

Generar alternativas viables para mitigar la contaminación producida por la deriva de pulverizaciones y aportar pautas para la planificación urbana-ambiental en las ciudades del Alto Valle de Río Negro y Neuquén.

1.3. Objetivo

Evaluar la capacidad de barreras vegetales para atenuar la deriva de las pulverizaciones fitosanitarias.

1.4. Hipótesis

Las barreras vegetales, utilizadas como cortinas rompevientos, retienen parte de la deriva de las pulverizaciones, mitigando la contaminación de áreas vecinas.

2. ANTECEDENTES

2.1. Presencia de plaguicidas en el ambiente

Según Pfalzer (1993), las aplicaciones fitosanitarias agrícolas son el principal origen de los plaguicidas en el ambiente. El autor menciona que la persistencia del agroquímico en el ambiente, depende tanto de las características del plaguicida como de las propiedades de los factores que componen el ambiente. Loewy et al. (2003) agregan que la presencia de plaguicidas en la naturaleza se debe a la gran cantidad de agroquímicos utilizados y a su amplio espectro de aplicación. Una vez que estos compuestos se introdujeron en el ambiente sufren procesos de conversión y transporte por lo cual se los pueden encontrar en distintos sustratos.

A medida que los plaguicidas se mueven en el ambiente, pueden ser modificados químicamente (según las condiciones de pH, salinidad del medio, fotooxidación) o biológicamente (por microorganismos o animales superiores). Anguiano et al. (2004) explican que si la sustancia tóxica luego de la transformación es desactivada y se facilita su eliminación se dice que la sustancia es detoxificada, en cambio puede suceder que el producto final sea más tóxico que el original. Además, afirman que el riesgo de efectos adversos en el ambiente generados por los plaguicidas, depende principalmente de la persistencia y sus efectos tóxicos.

En cuanto a los efectos sobre la biodiversidad, Muir et al. (2004) establecen que la contaminación por los plaguicidas genera problemas potenciales para la conservación de especies y cuando se pulverizan agroquímicos para el control de plagas, es inevitable que una pequeña fracción se deposite en áreas no tratadas.

Según Enriquez (2000), los depósitos de plaguicidas que quedan sobre los cultivos, luego de ser aplicados, pueden moverse en el ambiente dependiendo de las condiciones climáticas, las características morfológicas de la superficie vegetal, de las características fisicoquímicas del plaguicida y de los receptores ambientales.

Matthews (2000) enfatiza que los procesos intervinientes durante las aplicaciones son muy complejos "Fig.2" y dependen tanto de las condiciones atmosféricas como de las condiciones micrometeorológicas.

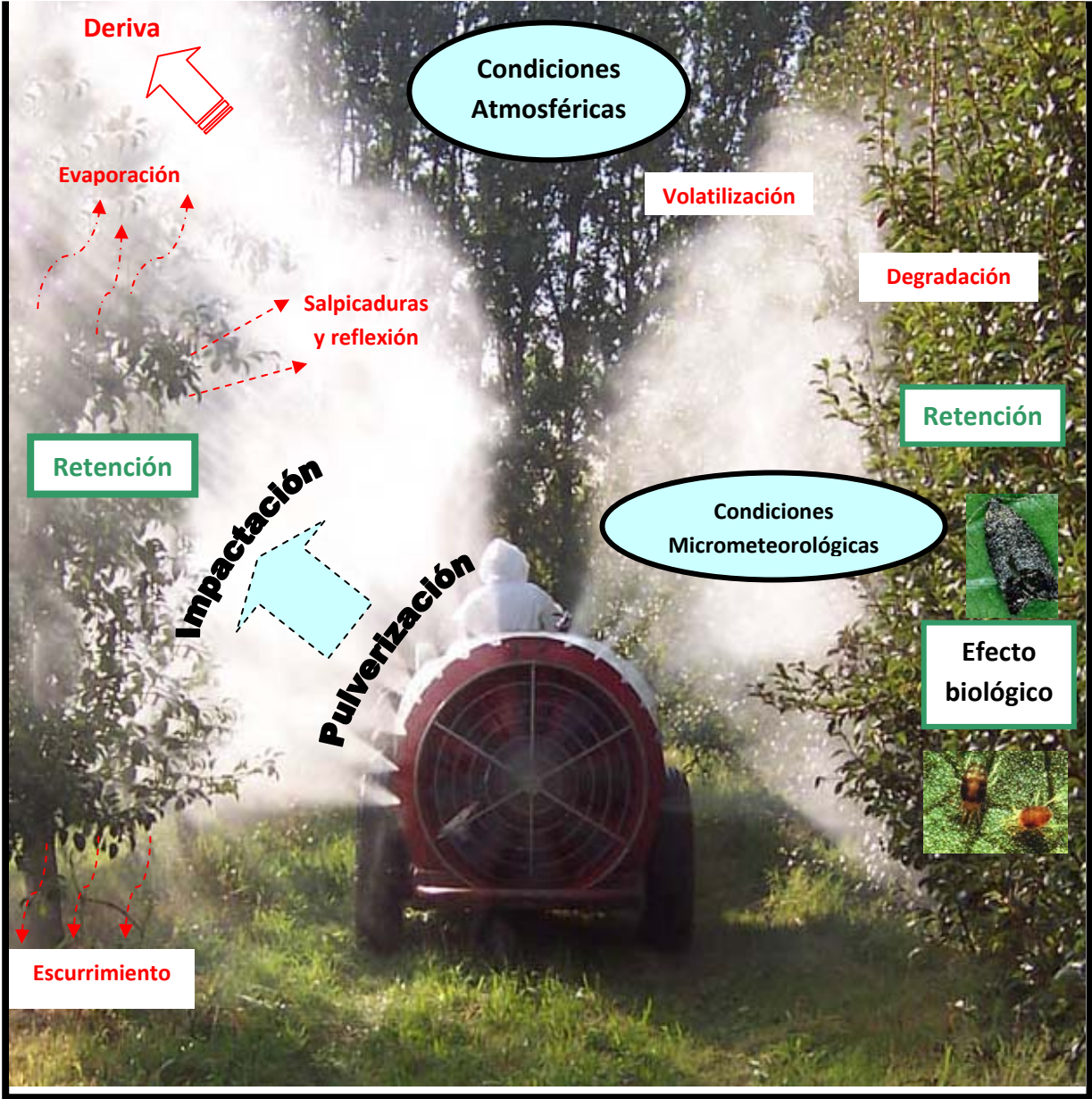


Figura 2: Factores que afectan las aplicaciones. Fuente: Matthews (2000)

Al evaluar el impacto de los plaguicidas en el medio ambiente, Caltagirone (1982) explica que inevitablemente se debe considerar los beneficios que se obtienen con el uso, en contraposición con los riesgos que estos generan. Los plaguicidas orgánicos sintéticos han hecho posible el control efectivo de plagas que eran difíciles de controlar.

Estos compuestos químicos se caracterizan por:

- Rapidez de acción: debido a su alta toxicidad sobre el organismo a controlar, la aplicación genera a corto plazo la muerte o inactivación de la plaga.
- Versatilidad en su aplicación: en la agricultura existen diferentes equipos de aplicación dependiendo de las características del cultivo.
- Economía: el retorno de inversión es alto al considerar los costos de producción y aplicación.

En cuanto a los efectos no deseados de la utilización de plaguicidas, el autor incluye:

- Resurgimiento de plagas: Los plaguicidas al ser de amplio espectro, pueden afectar no solo a la especie objetivo sino también a la población predatora directa, por lo que la próxima generación de la plaga alcanza niveles de densidad mucho más altos debido a la disminución de los enemigos naturales.
- Generación de resistencia: muchas plagas han limitado el uso de un gran número de químicos debido a la pérdida de eficacia de los mismos.
- Residuos de plaguicidas en el medio ambiente: la protección contra las plagas se logra gracias a que los plaguicidas permanecen por semanas sobre los cultivos. Esta persistencia en el ambiente, hace que algunos plaguicidas o sus metabolitos contaminen los recursos naturales y sean incorporados por muchas especies de organismos superiores. Loewy et al. (2003).
- Efectos sobre especies no objetivo: muchos plaguicidas son de amplio espectro de acción y generan toxicidad a un gran número de seres vivos. El autor destaca que dentro de las especies no objetivo, se encuentra el ser humano.

2.2. Contacto del hombre con los plaguicidas agrícolas

2.2.1. Exposición a pesticidas

Montagna et al. (2004) explican que el ser humano puede estar en contacto con los plaguicidas utilizados en la actividad agrícola, a través de la exposición directa o indirecta:

- a) **Exposición directa:** el individuo es consciente de la posibilidad de exposición y puede identificar la fuente de contaminación. Estos casos corresponden a las personas que trabajan en la agricultura (aplicadores y otros trabajadores rurales). También integran este grupo los empleados de galpones de empaque y la población rural, aunque en estos casos la identificación de la fuente de contaminación no es tan clara.
- b) **Exposición indirecta:** en estos casos la persona no tiene conocimiento de la fuente de contaminación y de la exposición. La población urbana en general tiene la posibilidad de estar expuesta indirectamente a una atmósfera contaminada o a través de la ingesta de alimentos y/o agua contaminada.

2.2.2. Vías de ingreso al organismo

Las vías de ingreso o de incorporación de los plaguicidas, son aquellas mediante las cuales el tóxico ingresa al organismo para luego ejercer su acción nociva. Montagna et al. (2004)

- a) **Oral:** es la vía de entrada menos probable de intoxicación cuando se hace un buen uso del plaguicida. La exposición directa ocupacional se produce principalmente por el hábito de ingerir alimentos o fumar durante el horario de trabajo. También puede ocurrir el consumo de frutas sin respetar los tiempos de carencia. La ingesta accidental de plaguicidas por parte de niños, casos de suicidio y homicidio son ejemplos de intoxicaciones por vía oral. El plaguicida ingresa al organismo a través del sistema digestivo, atraviesa membranas celulares y llega al flujo sanguíneo. La velocidad y capacidad de absorción, dependerán de la solubilidad en lípidos del ingrediente activo.

b) Respiratoria: el compuesto tóxico ingresa al sistema respiratorio en forma de pequeña partícula, vapor o gas. Cuando más pequeña sea la partícula mayor poder de penetración tendrá en el organismo. La absorción por vía respiratoria se caracteriza por ser rápida, los tóxicos ingresan fácilmente al torrente sanguíneo debido a que la membrana alveolar es muy delgada y el flujo de sangre es abundante. La exposición se puede producir no solo en la aplicación, sino también durante la manipulación, dado que algunos plaguicidas poseen elevada presión vapor.

c) Dérmica: es considerada como la vía de contaminación más frecuente en trabajadores rurales y operadores de máquinas. La piel representa una barrera para la mayoría de los plaguicidas, disminuyendo notablemente la velocidad de penetración con respecto a la vía respiratoria y a la oral. Sin embargo actualmente existen muchos agroquímicos con características lipofílicas, que pueden ser absorbidos por la piel. La cara, los brazos y el cuero cabelludo son las partes más expuestas en los trabajadores rurales.

La piel del ser humano tiene distintas características en diferentes partes del cuerpo, por lo que también varía la velocidad de ingreso. Los tóxicos al penetrar la epidermis llegan a la dermis que tiene abundante flujo sanguíneo. Si bien la piel actúa como barrera, es común que existan pequeñas heridas y escoriaciones que favorecen notablemente la penetración. En zonas calurosas, los aplicadores suelen realizar la mala práctica de no usar la ropa de protección adecuada, aumentando el riesgo de contaminación.

d) Placentaria: otra vía de penetración es la transferencia de residuos de plaguicidas la madre al feto a través de la placenta. Souza et al. (2005) y Sanchez et al. (2005) analizaron los efectos de los plaguicidas más utilizados en el Alto Valle en mujeres embarazadas que vivían en la zona rural. Encontraron una correlación positiva entre la exposición, a plaguicidas organofosforados y carbamatos, con el perímetro cefálico del recién nacido.

e) Mucosas: principalmente el plaguicida ingresa al organismo a través de las vías conjuntivas (ojos). Se puede producir por salpicaduras durante la manipulación del agroquímico o por el contacto con aerosoles suspendidos en el aire.

2.2.3. Efectos sobre la salud

Según Caltagirone (1982) los efectos sobre la salud generados por los plaguicidas, se clasifican en dos grandes grupos: a) Intoxicaciones agudas producidas por la exposición a altas dosis y b) Intoxicaciones crónicas que resultan de exposiciones reiteradas a pequeñas cantidades de plaguicidas.

Por otro lado, Montagna et al (2004) especifican que el tipo de intoxicación depende principalmente de tres factores: el producto químico utilizado, la cantidad o dosis y el tiempo de exposición. Respecto a la toxicidad aguda, acotan que los efectos se manifiestan inmediatamente o transcurrido un corto tiempo después de la exposición, Mientras que una intoxicación crónica los efectos se producen después de varios años de exposición a pequeñas cantidades de una sustancia tóxica. Así mismo destacan que existen intoxicaciones subagudas, que afectan tanto a los trabajadores como a la población y comunidad educativa rural. Estas personas manifiestan síntomas como dolores abdominales, mareos, lacrimación, dermatitis alérgicas, ansiedad, insomnio, bronquitis, etc. que desaparecen al poco tiempo de finalizar la exposición a plaguicidas.

Observaciones realizadas por Magnarelli & Pechén (1987, 1993) en operarios que realizaban pulverizaciones en la región frutícola del Alto Valle, demostraron que existían alteraciones morfológicas importantes en sus glóbulos rojos. Las investigadoras consideran que tales alteraciones podrían afectar la velocidad de difusión del oxígeno y del transporte de hormonas esferoidales.

En sus investigaciones Souza et al. detectaron alteraciones en el sistema hematológico de embarazadas, según los investigadores, estos cambios podrían afectar la respuesta del endotelio a los cambios del comportamiento del flujo sanguíneo.

En otras investigaciones, Magnarelli & Rovedatti (2004) analizaron los niveles basales y de post exposición de colinesterasas en trabajadores rurales de Río Negro. Determinaron que se producía inhibición de la actividad de la colinesterasa eritrocitaria y también plasmática, la cual se recuperaba al finalizar la temporada de aplicaciones. Este efecto fue observado tanto en aplicadores como en técnicos y trabajadores que realizaban tareas de campo post pulverización.

2.3. Aplicación de plaguicidas en frutales de pepita

Montagna et al. (2004) definen a los plaguicidas como compuestos que se emplean para prevenir, repeler, controlar o destruir plagas tanto de origen animal como vegetal.

En frutales de pepita, Cichón et al. (2004) recomiendan un control basado en el Manejo Integrado de Plagas (manejo sustentable), es decir la combinación de métodos biológicos, prácticas culturales y la técnica de confusión sexual (uso de feromonas) entre otros. Destacan que la protección eficaz de los cultivos sigue dependiendo del uso de pesticidas. Los investigadores mencionan que es importante la implementación del monitoreo de la plaga. Esta práctica permite al productor determinar la situación particular de su chacra y justificar tanto económica como ecológicamente el momento adecuado para la aplicación fitosanitaria.

La carpocapsa Cydia pomonella L. es un insecto que afecta principalmente a la fruta de pepita y es una plaga clave en las zonas productivas de peras y manzanas. El plaguicida más utilizado y recomendado en nuestra región para su control es el metil azinfos, no obstante en la actualidad se esta reemplazando por nuevas familias de agroquímicos. Este insecticida pertenece a la familia de los organofosforados y ha demostrado un control eficiente sobre esta plaga.

Nuestra región pierde, por los daños causados por la carpocapsa, más de 30 millones de dólares por año, existiendo además la posibilidad del cierre de exportaciones, como ha pasado en varias ocasiones con la venta de frutas a Brasil. Esta situación genera una elevada presión al sector productivo para controlar la plaga. En la actualidad los países compradores no solo exigen bajos niveles de residuos de plaguicidas en fruta, sino también que la producción se realice mediante el uso de métodos compatibles con el medio ambiente, la salud de los trabajadores y la población en general. Cavallo (1997) menciona que el comercio exterior de fruta de alta calidad, libre de plagas y enfermedades, requiere de la implementación de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA). Las BPA incluyen a todas aquellas acciones involucradas en la producción, procesamiento y transporte de productos alimenticios de alta calidad, logrados con el mínimo impacto ambiental, previniendo además todo tipo de afecciones a la salud tanto del trabajador rural como del consumidor. FAO (1996), SAG (1996).

Según Romero (2005) en los últimos años existe mayor conciencia sobre la necesidad de confinar el tratamiento al objetivo de aplicación, tanto para aumentar la seguridad de la población como la eficiencia del tratamiento con un mínimo impacto sobre el ambiente. Para ello se tiende a mejorar la eficiencia operacional de los equipos de aplicación y a optimizar del uso de los plaguicidas.

El autor menciona que una buena aplicación se define como la aplicación realizada en el momento oportuno, con la máxima cobertura posible, la cantidad de ingrediente activo requerido y sobre un blanco bien definido, con la correcta calibración del caudal y el ajuste adecuado del tamaño de la gota. Por su parte Matthews (2000) menciona que la efectividad en el combate de las plagas depende de la colocación y distribución de las gotas en relación con el modo de acción del producto y el comportamiento de la plaga.

La aplicación de plaguicidas debe ser realizada con las condiciones climáticas que garanticen el éxito. Tanto Di Prinzio et al. (2004) como Baldoín et al. (2001) coinciden que en épocas donde las condiciones climáticas no son favorables, las aplicaciones se deberían realizar teniendo en cuenta el concepto de Ventana de Aplicación de Plaguicidas (VAP). La VAP es el período durante el cual las condiciones atmosféricas son tales que se pueden realizar aplicaciones eficaces con mínimo riesgo de contaminación ambiental. Según Maff (1998) y Baldoín et al. (2001) los criterios para establecer una VAP serían: precipitación menor a 2 mm, velocidad del viento menor a $1,67 \text{ m.s}^{-1}$ (6 km.h^{-1}), temperatura máxima menor a 28°C y humedad relativa superior al 30%.

El clima de la Norpatagonia, durante la temporada de producción frutícola, es desfavorable para la aplicación de agroquímicos. Considerando la presencia de vientos moderados, las altas temperaturas y baja humedad relativa, Cichón & Fernández (1993) recomiendan que los tratamientos fitosanitarios en el Alto Valle deben realizarse durante la noche o a primera hora de la mañana. En estos momentos las condiciones meteorológicas son aptas, con temperatura y humedad relativa moderada y con vientos débiles que no superan los 4 m.s^{-1} . Además los especialistas resaltan que si se producen lluvias de más de 4 mm después de la aplicación, se produce un lavado del plaguicida por escurrimiento, por lo que se debe repetir la pulverización.

2.3.1. Pérdida de producto en pulverizaciones fitosanitarias

Cuando se realiza una pulverización con plaguicidas, Matthews (1987) explica que solo una parte del producto químico llega al vegetal para realizar el control fitosanitario correspondiente. Otra fracción del agroquímico se pierde en el suelo dentro del predio de tratamiento por fenómenos de arrastre, coalescencia y escorrentía de las gotas, a ésta pérdida el autor la denomina endoderiva. Por otra parte, hay gotas que por arrastre del viento y las corrientes convectivas son transportadas fuera del predio de tratamiento, denominándose a estas pérdidas como exoderiva. El autor afirma que este es el fenómeno más peligroso del tratamiento con agroquímicos, debido a que puede afectar a cultivos vecinos, animales, fauna acuática y población rural vecina a los sitios del tratamiento.

En el Alto Valle, Di Prinzi et al. (1998) analizaron las pérdidas provocadas por una pulverizadora hidroneumática convencional utilizada en la producción frutícola regional "Fig. 3". Al comparar la cantidad de trazante aplicado y el depósito retenido en la planta, determinaron que la pérdida global fue del 25% y de los cuales el 28% se perdía por encima del árbol correspondiendo este valor a la deriva.

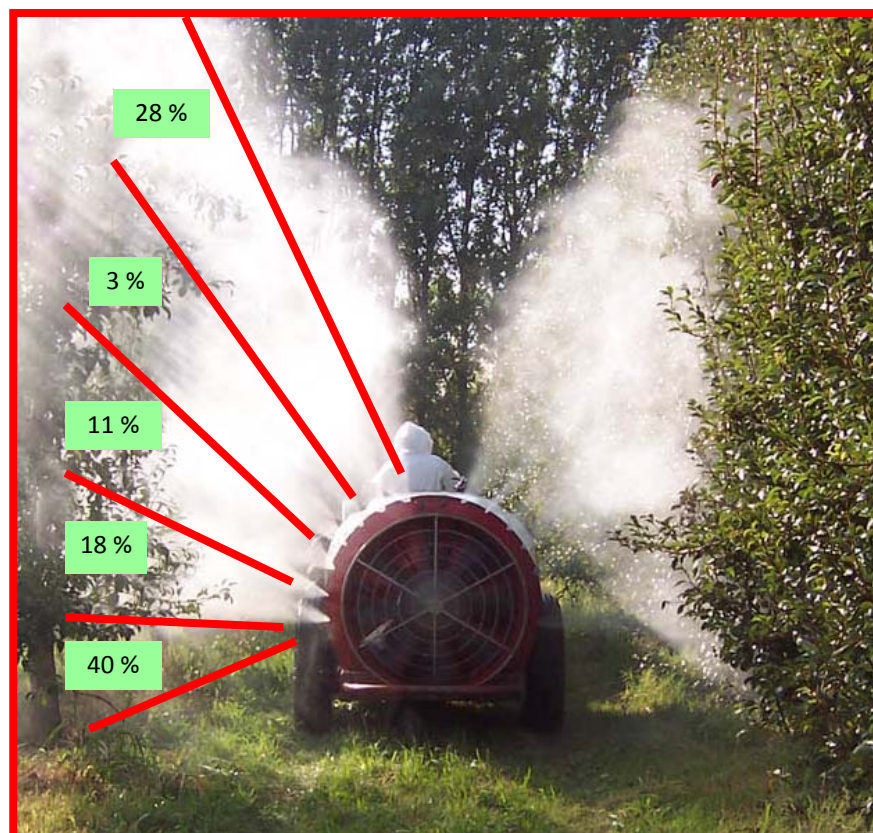


Figura 3: Sectores del árbol medidos y pérdida de producto por sector. Fuente: Di Prinzi (1998)

Por su parte Riquelme (1997) afirma que las pérdidas en una aplicación, pueden llegar al 90% cuando los árboles frutales se encuentran sin hojas. Estas pulverizaciones corresponden a los tratamientos realizados a fines de invierno o principio de primavera cuando los frutales no tienen hojas o las mismas son pequeñas.

En un tratamiento fitosanitario, se busca que el principio activo del plaguicida pulverizado cubra la mayor cantidad de superficie de las hojas y frutos. Lo ideal es formar una barrera química continua y uniforme sobre toda la superficie del vegetal, lo cual se logra pulverizando con gotas pequeñas y homogéneas "Fig. 4".



Figura 4. Representación gráfica de la cantidad de gotas de distintos tamaños sobre una hoja.

Respecto al tamaño de las gotas, Matthews (2000) establece que la mayoría de las boquillas producen una amplia gama de tamaños que van desde los 10 a 1000 μm . El autor hace referencia a que el tamaño óptimo de las gotas pulverizadas, sobre el follaje de una planta, está comprendido entre los 40-100 micrones.

Felber (1980) menciona que el tamaño de las gotas pulverizadas influye sobre la cobertura, penetración en el cultivo y también en las pérdidas del producto aplicado. Las gotas más pequeñas tienen mejor penetración en el interior del follaje de la planta, en comparación con las grandes. Si bien generan una mayor cobertura en la hoja, las gotas pequeñas pueden ser arrastradas más fácilmente por el viento, aumentando las pérdidas por deriva.

2.3.2. Dispersión de las gotas pulverizadas

Efecto de la gravedad

En condiciones de viento en calma, Matthews señaló que si una gotita es liberada en el aire desde una determinada altura, esta se acelera debido a la fuerza de gravedad hasta lograr una velocidad terminal constante, debido a que la fuerza de gravedad será contrarrestada por las fuerzas aerodinámicas de resistencia.

El autor menciona que la velocidad terminal (V_t) teórica, puede ser calculada a través de la Ley de Stokes.

Ley de Stokes

$$V_t = \frac{g d^2 \rho_d}{\eta}$$

Donde:

V_t = velocidad de caída ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

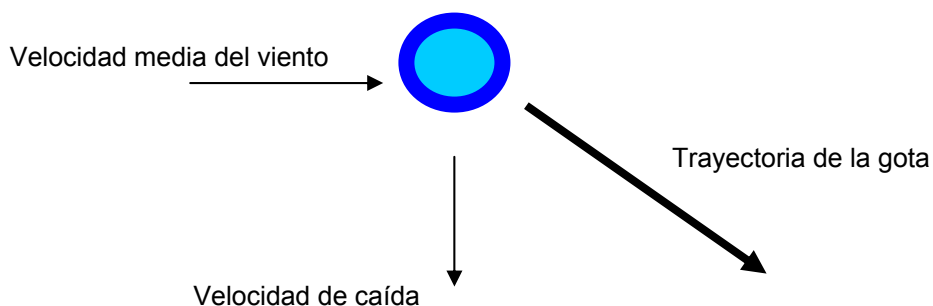
d = diámetro medio de gotas (m)

ρ_d = densidad de la gota ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)

η = viscosidad dinámica del aire $181 \mu\text{P}$ a 20°C

g = constante universal de gravedad. ($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$)

El movimiento de las gotas en el aire es descrito por Thistle et al. (1998) mediante un modelo simple, donde existen una componente vertical debida a la fuerza de gravedad y una componente horizontal asociada al viento.



Los investigadores acotan que ésta trayectoria, en la realidad, es muy irregular debido a las ráfagas de viento y las turbulencias presentes en la atmósfera.

Según Matthews, el tamaño de la gota es el factor más importante que afecta a la velocidad terminal. Aquellas cuyo tamaño es menor a 30 μm , tendrán velocidades terminales muy bajas y tardarán varios minutos en caer, por lo que estarán más tiempo expuestas a los movimientos del aire.

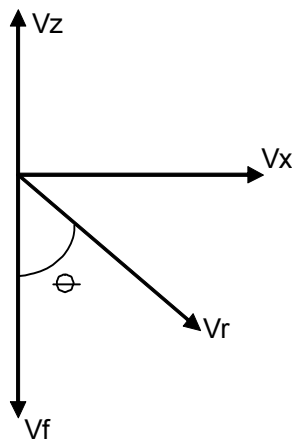
Teóricamente en presencia de una brisa de $1,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ de velocidad y paralela al suelo, una gotita de 1 μm de diámetro que es liberada desde 3 m de altura, puede ser arrastrada 150 km en dirección del viento antes de depositarse en el suelo "Tabla I". Para las mismas condiciones una gotita de 200 μm recorrería 6 m antes de llegar al suelo.

Diámetro de gota (μm)	Tiempo de caída en 3 m
1 (aerosol)	28,1 horas
10(aerosol)	16,9 minutos
20 (aerosol)	4,2 minutos
50 (niebla)	40,5 segundos
100 (aspersión fina)	10,9 segundos
200 (aspersión fina)	4,2 segundos
500 (aspersión gruesa)	1,65 segundos

Tabla I: Tiempo de caída de las gotas, según el diámetro. Fuente: Matthews (2000).

Modelo de Johnstone

Otro modelo mencionado por Matthews, es el modelo de Johnstone et al. (1974), donde la dirección resultante (V_r) de una gotita suspendida en el aire, será consecuencia de los efectos combinados de la gravedad (V_f), la velocidad media del viento (V_x) y de la turbulencia (V_z).



El movimiento hacia arriba (V_z) generado por las fuerzas de convección cuando la tasa de estabilidad (S_r) es negativa, afecta a las gotas más pequeñas ($< 60 \mu\text{m}$), mientras que las gotitas más grandes se depositan de acuerdo al método de Porton, descrito por Matthews.

Método de Porton

El método de Porton permite calcular la distancia teórica que recorrerá horizontalmente una gotita en función de la velocidad del viento y la velocidad terminal de caída.

$$S = \frac{H V_x}{V_t}$$

Donde:

S = distancia recorrida

H = altura inicial

V_x = velocidad del viento

V_t = velocidad terminal de caída.

Respecto al comportamiento de los plaguicidas en el aire, Turner (1970) menciona que existen algunos modelos de dispersión conocidos como los Modelos Gaussianos. Sin embargo es muy complicado establecer un modelo exacto para describir la distribución vertical de los contaminantes en el aire. Esto se debe principalmente a la interacción del viento con la superficie irregular de la tierra, la cual presenta diversos obstáculos (relieve, vegetación, estructuras edilicias, etc.)

2.4. Contaminación por deriva

Gil Moya (1993) clasificó en tres grupos los factores que influyen en el riesgo de producir deriva:

- a) Propiedades fisicoquímicas del producto aplicado (viscosidad, tensión superficial, etc.)
- b) Aspectos tecnológicos relacionados con la técnica de aplicación (utilización de equipos diseñados para reducir las pérdidas por deriva).
- c) Condiciones ambientales durante la aplicación (viento, humedad y temperatura).

Según Randall et al. (2006) se pueden mejorar las propiedades fisicoquímicas del producto, utilizar equipos más adecuados y ajustar las técnicas de aplicación para hacer más eficiente las pulverizaciones y reducir las pérdidas a niveles tolerables. Sin embargo, los autores destacan que es imposible eliminar totalmente la deriva. Los mismos hacen referencia a que el problema asociado con la deriva, se genera por la combinación del tamaño de la gota pulverizada con la velocidad y dirección del viento.

Por su parte, Gil & Sinfort (2005) afirman que la deriva de las aplicaciones es la ruta más importante de ingreso de los plaguicidas al medioambiente “Fig. 5”. Consideran además que a nivel ambiental, el control de la deriva es el problema que genera el mayor desafío a los aplicadores de plaguicidas.



Figura 5: Deriva de pulverización en manzanos conducidos en eje central

En varios países se han tomado medidas preventivas para minimizar la contaminación generada por las pulverizaciones. Por ejemplo en EEUU, la Sociedad Americana de Ingenieros Agrícolas, categorizó con la ASAE Standard S-572, el tipo de gotas pulverizadas según su peligrosidad para generar deriva “Tabla II”. Estos parámetros son considerados por los productores, que deben adoptar medidas reglamentadas para cada situación.

ASAE Standard (S-572)				Tamaño Comparativo	
Símbolo	Categoría	Código	Diámetro Volumétrico Mediano	Tamaño Comparativo	Atomización
VF	Muy fina	Rojo	< 100	Punta de aguja (25 micrones)	Neblina
F	Fina	Naranja	100-175	Pelo humano (100 micrones)	Niebla
M	Mediana	Amarillo	175-250	Hilo de coser (150 micrones)	Llovizna
C	Gruesa	Azul	250-375	Hebra de lana (420 micrones)	Lluvia
VC	Muy Gruesa	Verde	375-450		
EC	Extremadamente Gruesa	Blanco	> 450	Diámetro de lápiz (2000 micrones)	Lluvia de tormenta

Tabla II: Características de las gotas pulverizadas. Fuente: American Society of Agricultural Engineers (ASAE).

En las zonas productivas son muchas las denuncias por contaminación con agroquímicos. La EPA registra anualmente más de 2.000 incidentes causados por la deriva de pulverizaciones.

Entre otros casos, Ellenberger (1998) menciona que en la década del '90 tanto en Puerto Rico como en California, se comprobó que la población estaba en riesgo de exposición a plaguicidas debido a la deriva de las pulverizaciones. El autor describe que a raíz de muchos casos reportados al Departamento de Agricultura y Calidad Ambiental de Puerto Rico, la Corte Federal definió la implementación de zonas buffer de 61 a 183 m entre la población y los distintos sitios de aplicación. Y además, los productores deben notificar con 72 horas de anticipación los momentos en que realizarán las pulverizaciones.

Los casos de California se produjeron en la ciudad de Lompoc. Allí se detectó una alta tasa de enfermedades respiratorias, cuyos efectos adversos se asociaron a la exposición a plaguicidas. Investigaciones realizadas por el Departamento de Pesticidas de California, afirman que parte de la exposición se generaba por que la deriva se agravaba por la inversión térmica que se produce en la región.

2.4.1. Influencia del viento sobre la deriva

Las condiciones climáticas son muy importantes a la hora de tomar la decisión de realizar una aplicación. Thistle et al. (1998) mencionan que el viento es el principal factor que influye sobre la deriva, afectando en forma directa la eficiencia de la pulverización. Nuyttens et al. (2004) destacaron una marcada influencia del viento sobre el comportamiento de la deriva aerotransportada y desarrollaron en campos de cereales una ecuación que permite establecer la distancia aproximada que alcanza la deriva generada por una aplicación de un pulverizador de botalón.

Según Matthews (1987) la deriva transporta a los plaguicidas fuera del sitio de aplicación. Ésta situación se agrava en presencia de viento ya que las pequeñas gotas pulverizadas son llevadas a mayor distancia. Así mismo a medida que se incrementa la velocidad del viento, mayor será la fuerza de empuje, por lo cual aumenta la posibilidad de que gotas de mayor tamaño también sean transportadas fuera del área pulverizada.

Coincidiendo con el autor, Thistle et al. agregan que no solo es importante la velocidad del viento, sino también la dirección del mismo dado que podría llevar la deriva directamente a zonas pobladas o contaminar cursos de agua.

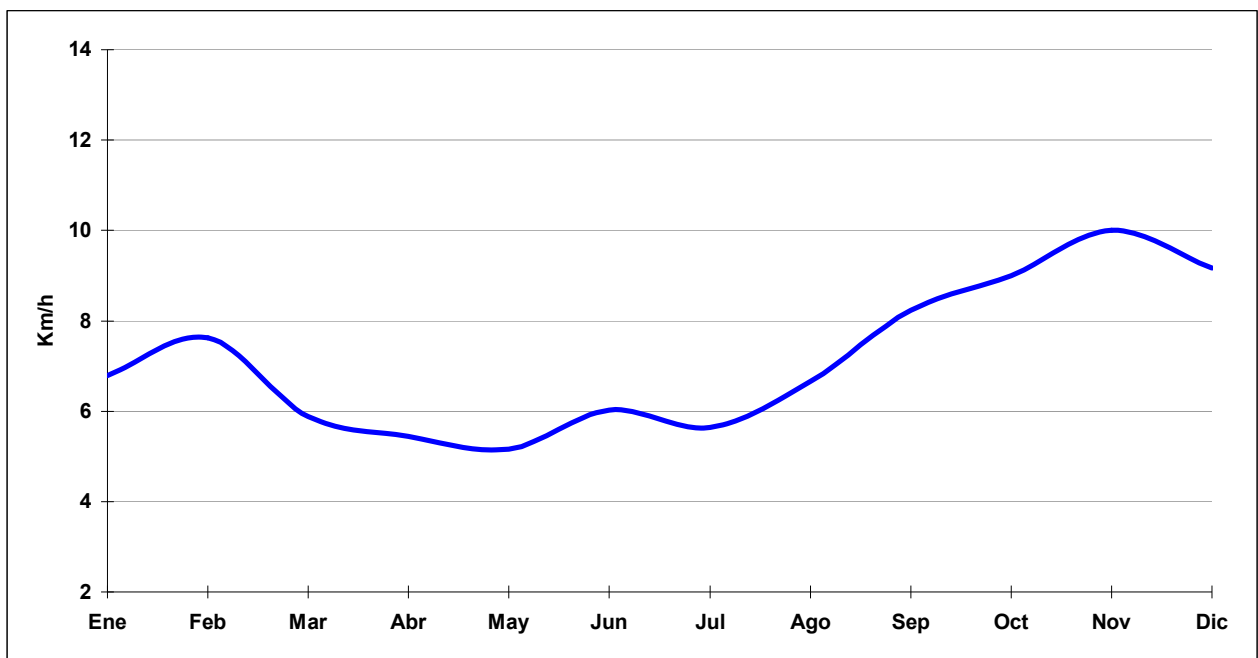
En el Alto Valle, Loewy et al. (2003) señalan que la contaminación del aire producida por las aplicaciones de plaguicidas, durante el período octubre-marzo, es fluctuante y dispersada por los fuertes vientos imperantes en la región.

2.5. Características del viento en el Alto Valle

El clima del Alto Valle es continental, templado y árido. Con vientos secos y una precipitación media anual de aproximadamente de 190 mm. Las temperaturas que se registran durante el año satisfacen la necesidad de frío invernal que requieren los frutales de hojas caducas, proporcionando condiciones climáticas, aptas para el cultivo de perales y manzanos.

Rodriguez & Muñoz (2005) en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén, analizaron el comportamiento del viento a partir de datos meteorológicos de la zona observados durante el período 1994-2003. Concluyeron que el viento predominante del cuadrante oeste sudoeste.

Su frecuencia e intensidad aumenta en primavera durante el período de octubre–diciembre. “Fig.6”. Por lo general, se caracteriza por brisas leves en las primeras horas de la mañana, aumentando la intensidad hasta llegar a sus valores máximos



por la tarde.

Figura 6: Velocidad del viento media ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$). Período 1994-2003. Fuente: Área Agrometeorología de la EEA Alto Valle INTA

2.6. Efecto del viento sobre los cultivos

Los efectos del viento sobre los cultivos es un tema de mucho interés en la agronomía. Kin & Ledent (2003) explican que el viento ejerce una acción directa sobre los cultivos generando un daño mecánico por fricción, agitación, curvatura o plegado debido al movimiento del follaje. Es frecuente observar daños a nivel foliar luego de que las plantas estuvieron expuestas al viento.

En la región Alto Valle Rodríguez (2006) observó el quebrado de hojas y brotes nuevos en frutales, además de caída de frutos e importantes daños por rameado en la variedad de peras Williams. El rameado se genera por el rozamiento del fruto contra las estructuras de la planta, lo cual provoca lesiones en la epidermis disminuyendo la calidad de la fruta. A partir de muestreos realizados por el INTA en peras Williams en la temporada 2003/2004, se pudo estimar que en el Alto Valle los frutos presentaban entre un 15 a 20% de daños leves y alrededor del 10% daños moderados provocados por el viento.

Grace (1988) menciona que los efectos varían según la duración del viento, velocidad, características de las hojas, especie y variedad, incluso por las interacciones entre la planta y la atmósfera.

Según Boldes et al. (2003) el viento se caracteriza por su permanente turbulencia. Es decir por una continua fluctuación causada por variaciones impredecibles, aleatorias y caóticas de los valores instantáneos de dirección, velocidad, presión, temperatura y densidad del aire. No se puede prever los valores de los parámetros fluidodinámicos instantáneos turbulentos, sino que se pueden registrar sus promedios. Cuando se dice que el viento tiene una determinada velocidad, asumimos que es una corriente de aire con una velocidad media que arrastra remolinos de diferentes tamaños e intensidad, los cuales generan turbulencia.

Los autores expresan que un cuerpo presente en la atmósfera frena al aire por acción de las fuerzas de fricción sobre su superficie, generándose en sus contornos una capa de fluido más lenta denominada capa límite.

Esta capa provoca variaciones importantes en la velocidad del viento (cortantes de viento) principalmente entre el suelo y los 200 m de altura donde se encuentra la capa límite baja atmosférica. Sobre el terreno existen la mayor cantidad de elementos de rugosidad (edificios, plantas, etc.), por lo que se genera mucha turbulencia.

Los investigadores, mencionan que cuando una planta está expuesta a la acción de una brisa, aparecen cambios rápidos en el ondear de los tallos, con movimientos bruscos y localizados de todos los elementos que conforman el follaje. A medida que aumenta la velocidad del viento no solo se mueven las hojas sino también las ramas y en el caso de vientos fuertes toda la planta. Por lo cual, los autores establecen que se genera una turbulencia particular en el seno del follaje. Cuando un viento moderado incide sobre una planta, provoca una progresiva flexión de las ramas hacia sotavento. Una parte de la energía de las ráfagas de viento se acumulará temporariamente en las ramas como energía elástica. Al mismo tiempo las hojas, tallos y troncos también estarán absorbiendo parte de la energía inicial de las ráfagas, este fenómeno puede observarse incluso en toda la planta cuando los vientos son fuertes. Además afirman que el viento disminuye de velocidad debido a la pérdida de energía cinética, que será mayor cuanto menor sea el tamaño de los remolinos. También aseguran que una manera para reducir los remolinos de gran escala espacial en remolinos pequeños es la utilización de barreras permeables como arboledas. Estas son un filtro al paso del viento y además frenan al aire por acción de las fuerzas de fricción. Los árboles ejercen un efecto de amortiguación, debido a que atenúan la velocidad del viento, no solo protegen a los cultivos sino que además evitan el proceso de erosión.

Los registros obtenidos por Rodríguez (2005) muestran que las velocidades de los vientos en primavera en el Alto Valle, son superiores a 43 km.h^{-1} , y ocasionalmente ráfagas de hasta 100 km.h^{-1} .

Debido a que coinciden los meses más ventosos con la temporada de producción, los productores se ven obligados a proteger sus cultivos utilizando cortinas rompevientos. Tassara et al. (2008) mencionan que en el Alto Valle la orientación óptima de las barreras es la de noroeste-sureste perpendicular a la dirección de los vientos predominantes.

Tradicionalmente en la región Norpatagónica, se emplean diferentes especies de álamos que se adaptan bien a las condiciones pedoclimáticas la zona, tales como el Populus nigra cv. itálica conocido como “criollo”, el P. nigra cv. thayssiana o “chileno” y el P. nigra cv. Jean Pourtet o “Blanc de Garonne”, también se recomiendan los álamos híbridos como el P. x canadensis cv. Conti 12.

Según el CAR (2005) en el Alto Valle y Valle Medio hay plantados cerca de 5,5 millones de álamos utilizados principalmente en barreras rompevientos “Fig. 7”.



Figura 7: Cortinas rompevientos empleadas en el Alto Valle.

2.6.1. Barreras rompevientos

Las barreras rompevientos de vegetales, según Van Eimern et al. (1964), son estructuras de materiales vivos que se erigen primordialmente para la proteger el suelo, conservar la humedad, interceptar contaminantes aéreos y partículas de suelo, proteger plantas y animales y/o para mejorar el microclima edáfico y el del cultivo.

Por su parte, Cleugh (1998) menciona que una barrera rompevientos vegetal consiste en una o varias hileras de árboles cuyo ancho es al menos un orden de magnitud menor que su longitud.

Para diseñar una cortina rompevientos, Heisler & Dewalle (1988) establecen que se deben considerar los siguientes parámetros y características:

- La extensión horizontal de la protección es generalmente proporcional a la altura de la cortina.
- Las máximas reducciones del viento están relacionadas con la porosidad, es decir la relación existente entre el área perforada (claros) que permiten el paso del viento y el área total de la barrera. Se clasifican como cortinas impermeables aquellas cuya porosidad se encuentra entre 0-25%, mientras que las permeables están dentro del rango 45-55%.
- Las barreras naturales de un ancho menor o igual a su altura (H), producen mayor reducción del viento y un área de protección más grande respecto de las cortinas impermeables.
- La porosidad puede aumentar cuando el ángulo de incidencia del viento se hace más oblicuo, la distancia protegida por la barrera disminuye a medida que la incidencia del viento se aleja de la perpendicular.
- Se estima que la distancia media de protección de una cortina de árboles impermeable es de 12 veces su altura (12 H), mientras que una cortina permeable es de 20 H.

Según Guyot (1989) los efectos aerodinámicos de las cortinas rompevientos dependen principalmente de la geometría de la misma, es decir la longitud, sección transversal, altura y porosidad.

El autor describe que en una cortina rompevientos impermeable, el flujo de aire es desviado por la cortina totalmente hacia arriba, con lo cual se generan remolinos a sotavento. Además a una distancia de $5 H$ se produce un flujo de aire que se rebate hacia el suelo y en cercanías del mismo toma un sentido opuesto al que tenía al incidir en la barrera "Fig. 8".

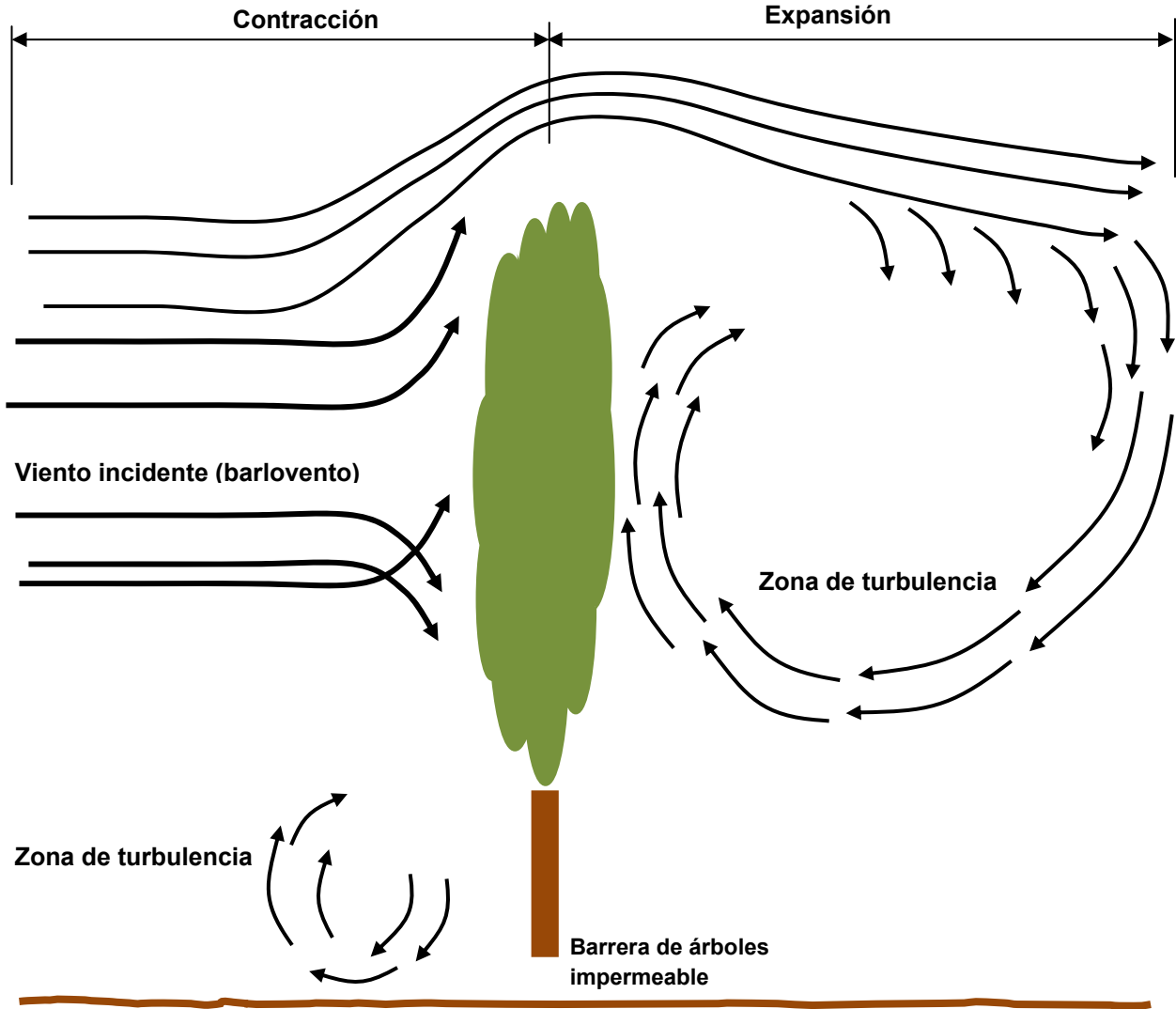


Figura 8: Flujo de aire en cortina impermeable.

En cambio en una cortina permeable, una parte del aire incidente pasará a través de ésta, impidiendo que se generen remolinos “Fig. 9”. Si bien dentro del área protegida, la velocidad del aire será mayor que con las cortinas impermeables, la disminución de la velocidad alcanza una distancia mayor.

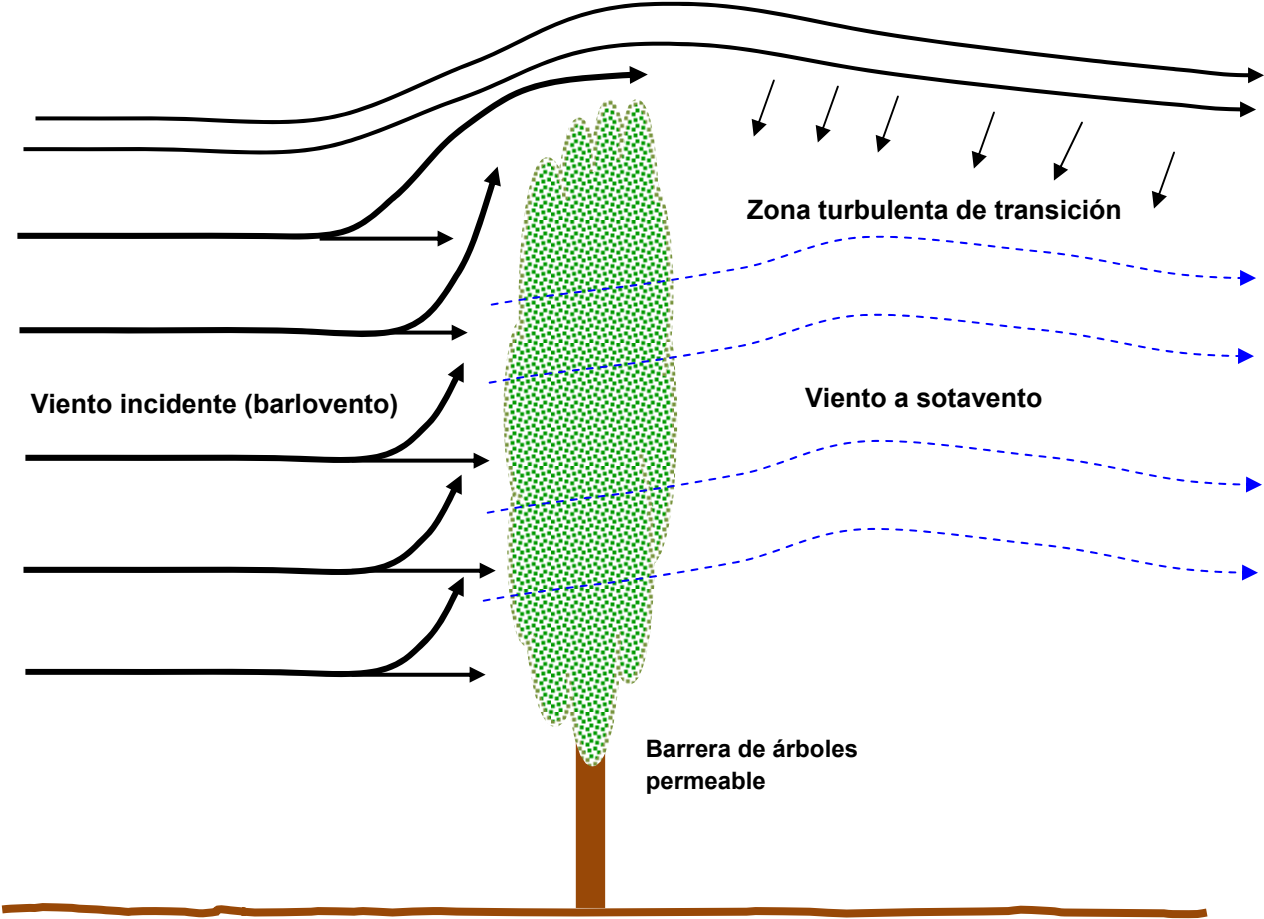


Figura 9: Flujo de aire en cortina permeable.

Cleugh (1998) al analizar el comportamiento del flujo de aire al pasar por una barrera rompevientos porosa "Fig. 10", distingue sectores donde los regímenes del flujo se diferencian:

1. Sector de aproximación (barlovento): en esta zona hay estabilidad atmosférica, el viento fluye normalmente, su velocidad se incrementa logarítmicamente con la altura.
2. Sector de barrera: el flujo de aire se encuentra con la barrera la cual representa un obstáculo al paso del mismo, la capa de aire que circula por debajo de la cima de la cortina, comienza a hacerse más lenta.

En la barrera, la mayor parte del aire se eleva para superar el obstáculo aumentando su velocidad y una pequeña parte del flujo pasa a través de los poros de la cortina (Bleed flow). La velocidad del aire filtrado es reducida debido a la acción de resistencia al avance del aire ejercida por el follaje de la cortina.

3. Sector detrás de la barrera (sotavento): luego que el flujo de aire supera la barrera se observan tres zonas donde el flujo de aire tiene distintos comportamientos:

a) zona de calma: la cortina genera a sotavento una zona de protección entre $3H$ y $8H$ (dependiendo de la porosidad) donde se registra la mínima velocidad del viento.

b) zona de mezcla: sobre la zona de calma se forma una capa de turbulencia (wake zone), donde se fusiona el aire que se desplaza por encima de la barrera y el aire filtrado por la cortina.

Esta capa comienza en la cima de la cortina donde es muy delgada y a medida que se aleja, a sotavento, de la barrera incrementa su espesor hasta interceptar la superficie del suelo, marcando el límite de la zona de calma.

c) zona de re-equilibrio: en esta zona se restablecen los perfiles del viento observados a barlovento.

Según el autor, ésta es una descripción simplificada del modelo de flujo, dado que existen turbulencias que hacen variar las distintas capas del flujo de aire.

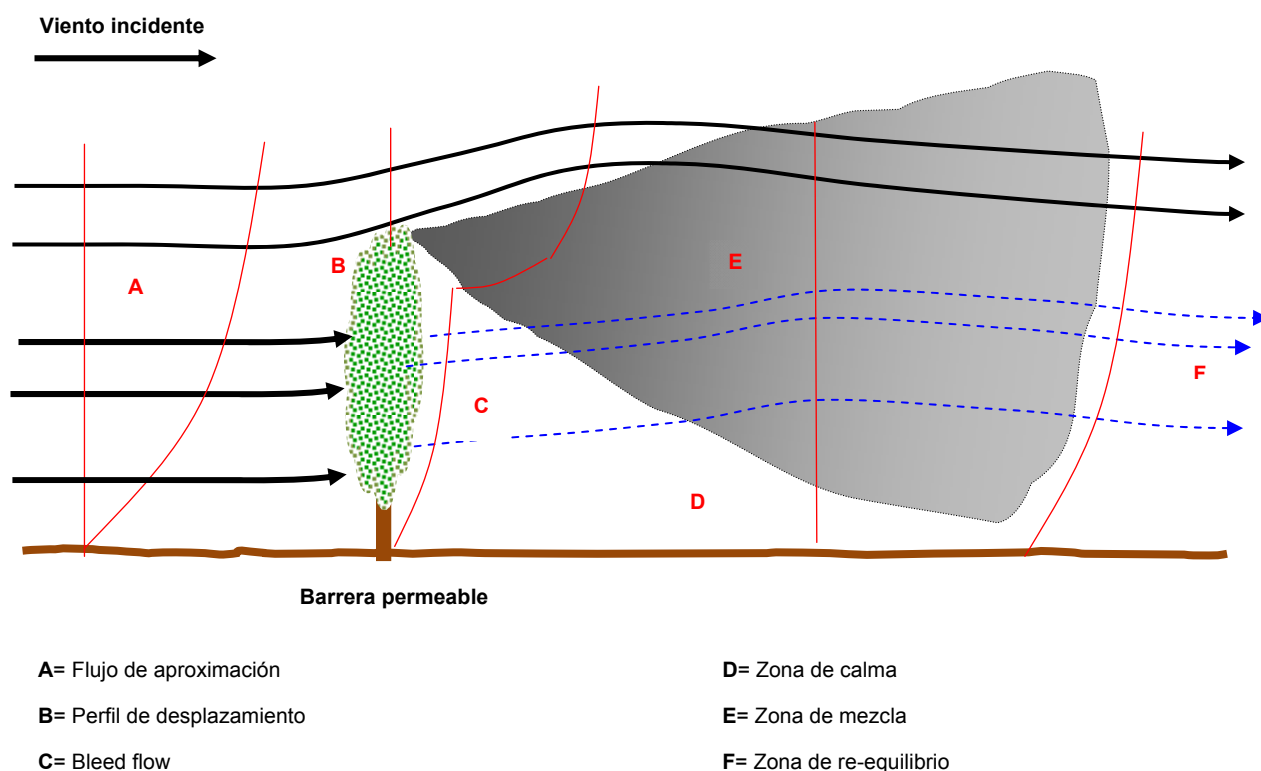


Figura 10: Comportamiento del flujo de aire en cortina permeable.

Tanto las características del vegetal empleado como el espesor de la barrera son fundamentales para un buen funcionamiento. En este sentido, Golberg et al. (2003) destacan que, una característica importante, es que las hojas de árboles latifoliados (hojas largas y anchas) tienden a colocarse de forma paralela al flujo de aire, por lo cual la porosidad aumenta a medida que aumenta la velocidad del viento y la barrera se torna más permeable. En cambio en barreras de coníferas, a medida que el viento aumenta de velocidad, las ramas tienden a apretarse unas contra otras, por lo cual la barrera disminuye su porosidad.

Leuty (2005) recomienda a los productores de Notario (Canadá), la implementación de barreras rompevientos de pinos (red pine, white pine, Australian pine and Colorado spruce). El especialista argumenta que estas especies están adaptadas a la zona y presentan la ventaja de tener hojas perennes, por lo cual también servirían para los tratamientos de invierno y principios de primavera.

Además menciona, que si se colocan barreras rompevientos en todo el perímetro del cultivo disminuirá la velocidad del viento dentro del predio, con lo que se

ampliará la ventana de aplicación. En estas condiciones, los productores ganaran más tiempo con condiciones adecuadas para la aplicación y generaran menos contaminación.

2.6.2. Zonas buffer y barreras vegetales

Según TJADEN & WEBER (1997), en la agricultura se denomina zona buffer a un área manipulada para reducir el impacto que pueda generar las actividades productivas a zonas adyacentes.

Las zonas buffer pueden estar constituidas por pasturas, arbustos, árboles o una combinación de las mismas, dependiendo de la finalidad para la que son creadas. La Dirección de Recursos Naturales de Minnesota (Minnesota 2007) establece que cuando se trata de controlar la escorrentía, una zona buffer de pastura es la más adecuada para evitar contaminación de zonas aledañas. En cambio, cuando se trata de pulverizaciones y el viento es un factor determinante, la barrera más apropiada es la conformada por árboles.

Por otro lado Madrigal-Monarrez (2004) señalan que las barreras de árboles actúan como barrera física al paso de sustancias transportadas por el viento. Los contaminantes quedan retenidos en las hojas y éstas al caer al suelo permiten la degradación microbiana.

Ventajas y desventajas de las zonas buffer

El Departamento de Industria Primaria de Melbourne (DPI 2002) menciona algunas de las ventajas y desventajas de las zonas buffer:

Ventajas:

- Proporcionan habitat para aves y predadores.
- Permiten minimizar la erosión eólica, disminuyendo la velocidad del viento.
- En caso de ubicarlas en tierras no productivas, le dan utilidad a las mismas.
- Retienen sedimentos y nutrientes arrastrados por el agua, evitando que los contaminantes lleguen a cursos de agua y organismos no objetivo.
- Atrapan y retienen diversas partículas presentes en el aire y transportadas por el viento.

Desventajas:

- En algunas regiones pueden ocupar suelos productivos.
- Necesitan mantenimiento (herbicidas) y conducción hasta su establecimiento definitivo.

Según Golberg et al. (1998) las barreras vegetales empleadas como cortinas rompevientos, son barreras protectoras cuyos propósitos son de reducir la intensidad del viento y proveer de ésta manera protección a los cultivos, ganado, suelo con poca cobertura verde y también al confort humano.

En este sentido, el Departamento de Recursos Naturales de Queensland DNRQ (1997) elaboró directrices de planificación para evitar conflictos entre la población y aquellas actividades agropecuarias que generaban incomodidad (ruido, olores, plaguicidas, etc). Se establecieron áreas buffer específicas para cada cultivo de la región, reglamentándose las distancias mínimas, incluyendo la posibilidad de implementar barreras vegetales. Para el caso del cultivo del algodón, la distancia mínima para evitar contaminación por la deriva de pulverizaciones, se estableció en 300 m.

En relación con los plaguicidas y desde un enfoque agrícola-ambiental, Tjaden & Weber (1997) mencionan que las barreras vegetales están compuestas por filas de árboles o arbustos altos, plantados estratégicamente en líneas para reducir el alcance de la deriva de aplicaciones de productos químicos agrícolas. Además explican que, para que la barrera actúe como filtro de retención, el aire debe pasar entre el follaje, esta situación se produce solo cuando la barrera es permeable.

Por otro lado, Sánchez & Meza (1986) afirman que los árboles con hojas pequeñas son los más eficaces para retener los contaminantes del aire, dado su gran relación entre superficie y volumen de follaje.

Los autores explican que los contaminantes presentes en el aire son captados por la vegetación por medio de tres procesos: a) Sedimentación por gravedad, b) Acumulación por precipitación, c) Impactación por acción eólica.

2.7. Retención de contaminantes atmosféricos por los árboles

Los árboles cumplen un rol importante en la ecología, entre muchos de sus beneficios filtran el aire de contaminantes y reducen el viento. Kuchelmeister (1998) define a estos beneficios como servicios medioambientales, debido a que colaboran en el mejoramiento del microclima y calidad del aire.

Según Meszáros (1999) muchos de los contaminantes atmosféricos se encuentran como material particulado en suspensión, denominándose así al conjunto de partículas sólidas o líquidas (excepto el agua) presentes en la atmósfera. La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL 1991) en su informe describe que principalmente la vegetación arbórea genera un efecto de filtrado del polvo y contaminantes atmosféricos tanto sólidos, líquidos como gaseosos.

En relación a este tema, Dalmaso et al. (1997) mencionan que tanto el polvo como otras partículas siempre están presentes en el aire y especifican que las plantas a través de sus hojas atrapan y retienen las partículas transportadas por el viento. La eficiencia de este proceso depende tanto del tipo de contaminante como de la estructura de la vegetación. Guldman & Shefer (1980) amplían que el poder de retención varía de acuerdo con la especie y las características morfo-anatómicas de las hojas (superficie expuesta y grado de pilosidad).

Por otro lado, Holloway (1970) afirma que la estructura y rugosidad de las hojas influyen directamente sobre la capacidad de las mismas para retener los contaminantes líquidos del aire. Es decir que las gotas pulverizadas, presentes en el aire, tendrán menos capacidad de humedecer una hoja cuya superficie sea cerosa o lisa. Alcalá et al. (2008) especifican que la retención de contaminantes, se realiza por un efecto aerodinámico ligado a la rugosidad del follaje que frena el aire y crea localmente turbulencia a nivel de la copa reteniendo las partículas en suspensión.

El grado de filtración depende de la posición de los árboles en relación a un objeto protegido, a la clase y concentración de contaminantes, a la estructura de los árboles, las condiciones meteorológicas y la topografía. Los investigadores destacan que los árboles también tienen la facultad para captar y adsorber a través de sus estomas, los gases que componen el smog (óxidos de nitrógeno y óxidos de azufre).

Existen muchos estudios donde se comprobaron los beneficios de los árboles para disminuir la contaminación del aire urbano. En este sentido, Moreno et al. (2008) explican que en la naturaleza, existen diversas superficies de captación de contaminantes atmosféricos entre ellas las hojas de los árboles, que se comportan como bioindicadores acumulativos. Los investigadores analizaron en la ciudad de San Juan, el material particulado en suspensión que se deposita en hojas de *Morus alba*, durante un ciclo vegetativo completo. El estudio demostró que la tasa media de captación diaria sobre la superficie de las hojas fue de $0,5 \text{ ppm.cm}^{-2}.\text{día}^{-1}$. Además no existieron diferencias estadísticas entre la captación de las hojas internas y externas de la estructura del follaje, lo cual indica que estos árboles tienen una alta permeabilidad que permite la circulación del aire. Los investigadores mencionan que la región presenta escasas precipitaciones (63mm.año^{-1}) por lo cual no se produce el lavado de los contaminantes captados por las hojas, los cuales se van acumulando.

Por su parte, en la ciudad de Paris Granier & Chevreuil (1992) estudiaron la posibilidad de utilizar *Platanus vulgaris* S. como bioindicadores de la contaminación del aire por organoclorados. Los estudios indicaron que las hojas de estos árboles captaban eficientemente del aire PCBs y Lindano, Además se bioconcentraban en las superficies de las hojas, en una relación de 10^5 para PCBs y 10^4 para Lindano veces mayor que la concentración de estos contaminantes en la atmósfera.

También Khoukhi et al. (2005), analizaron la posibilidad de utilizar eucaliptos y pinos urbanos como bioindicadores de la contaminación atmosférica en la ciudad de Marruecos. El estudio consistió en determinar y comparar la concentración de metales pesados captados por distintas partes de los árboles (ramas, corteza y hojas). Los investigadores concluyeron que principalmente las hojas de los árboles tienen la facultad de captar concentraciones trazas de metales pesados y que es factible utilizarlas para monitorear la contaminación atmosférica.

Por otro lado, investigaciones realizadas en distintas zonas productivas, han demostrado el rol que cumplen los árboles en relación a la contaminación agrícola. Por ejemplo, en viñedos de Italia Vischetti et al. (2008) estudiaron medidas para reducir el alcance de la deriva de las aplicaciones de Clorpirifos y metalaxyl.

Los investigadores demostraron que la deriva superaba los 24 metros de distancia y que podría contaminar los cauces de agua cercanos. Además observaron que en lugares donde habían hileras de álamos (Populus alba) con una altura aproximada de 20 metros, la reducción de la deriva era importante, disminuyendo notablemente el riesgo ecotóxico en los ecosistemas acuáticos.

También Maille (2001) con el apoyo del gobierno del estado de Virginia en EEUU, llevó adelante un programa para que los productores de la región del Potomac comiencen a implementar barreras vegetales y zonas buffer. De manera de minimizar el impacto de las actividades agrícolas sobre la calidad del agua superficial de los ríos de la región. El autor destaca que existen factores socio-culturales (historia familiar, personalidad, sensibilidad, edad del productor, etc.) que afectan la decisión para destinar tierras productivas para tales fines.

Entre otras especies arbóreas, Pesson (1978) establece que el álamo Populus nigra cv. Thayssiana, tiene capacidad para retener 1 Tn.ha^{-1} de polvo atmosférico. Este clon de álamo es uno de los recomendados para las cortinas rompevientos en los valles de la norpatagonia según Tassara et al. (2008).

2.8. Degradación de los plaguicidas

Cuando se aplica un plaguicida, se produce un depósito sobre la planta que es eliminado progresivamente, en función de la tasa de crecimiento del vegetal, las condiciones ambientales, propiedades físico-químicas del plaguicida y degradación química. Esta última puede ocurrir en el interior de la planta o en la superficie de la misma, dependiendo del poder de penetración del agroquímico.

En términos generales Fishel (1991) involucra tres procesos por los cuales los plaguicidas son degradados en el ambiente:

- 1) Degradación microbiana o biodegradación.
- 2) Degradación química.
- 3) Fotodegradación.

1) La biodegradación: es la transformación estructural integral del compuesto original inducida biológicamente. Kerle et al. explican que la biodegradación de los pesticidas, ocurre cuando hongos, bacterias y otros microorganismos, usan a los plaguicidas como alimento o consumen pesticidas junto a otras sustancias. Dependiendo del tipo de compuesto, se producirán reacciones de oxidación, reducción, hidrolización o de polimeración. En muchas ocasiones es difícil distinguir entre las reacciones generadas por la actividad microbiana y la degradación puramente química.

Mosquera et al. (2009) afirman que los microorganismos del suelo son los principales responsables de los procesos de biodegradación de los plaguicidas presentes en el ambiente. En este sentido, Alexander (1980) menciona que por lo general los procesos de biodegradación se producen en los primeros 8 cm de profundidad del suelo, donde se encuentra la mayor población de bacterias, hongos, algas y actinomicetos. Ortiz Hernandez et al. (1997) explican que este horizonte del suelo presenta frecuentemente condiciones favorables para un crecimiento óptimo de los microorganismos degradadores, es decir: micronutrientes en concentraciones trazas, temperatura entre 20-25 °C, humedad 50-80% y un PH de 6,5-7,5.

Respecto al contenido de humedad, Zinsser (2004) resalta la necesidad e importancia del agua en el medio para el desarrollo de los microorganismos degradadores, ya que se componen por más de un 80% de agua y además muchas bacterias la utilizan como medio para moverse a través de flagelos polares.

En cuanto a la evolución de la degradación de los plaguicidas, Torres Rodriguez (2003) indica que en el suelo los procesos son importantes en la primera semana del contacto, coincidiendo con la mayor concentración de microorganismos. Luego los porcentajes de degradación se mantienen relativamente constantes, siguiendo una curva exponencial.

Este comportamiento se debe a que los procesos bioquímicos son dependientes de la concentración del sustrato utilizado como alimento, como ocurre normalmente en todas las biodegradaciones. El autor agrega que muchos compuestos xenobioticos son semejantes a los naturales y por lo tanto factibles de ser degradados.

Según Mosquera et al. (2009) algunos hongos como el Fusarium sp., presente en el suelo, pueden degradar al malation en un 93% en 20 días, mientras que algunas bacterias degradan el 100% del captan depositado en el suelo.

Por su parte, Golvena et al. (1990) mencionan que algunas especies de bacterias Pseudomonas son las más eficientes en la degradación de los plaguicidas organofosforados. En cuanto a los hongos los Aspergillus fumigatus, A. niger y A. terreus han demostrado habilidad para degradar pesticidas en suelo, con condiciones ambientales ideales se comprobó que pueden eliminar el 50% en solo 5 días.

2) Degradación química: este proceso provoca la ruptura de las estructuras de los plaguicidas sin involucrar a los organismos vivos. Kerle et al. (1994) mencionan que la degradación química se puede producir en la humedad del suelo, en cursos de agua o en las hojas de las plantas en ambientes de clima húmedo. El plaguicida reacciona con el agua produciéndose una reacción química denominada hidrólisis. También puede oxidarse, incluso formar isómeros. Generalmente ocurre en condiciones muy ácidas o básicas, desfavorables para el desarrollo microbiano. Voudrias & Reinhard (1986) agregan que estas reacciones frecuentemente son aceleradas por la presencia de minerales o de óxidos metálicos.

3) Fotodegradación: Toshiyuki (2004) explica que la fotodegradación es el proceso abiótico donde se produce la ruptura de las estructuras químicas por la excitación molecular debido a la absorción de energía lumínica. La fotodegradación directa (sin otras reacciones) se genera principalmente en las hojas de las plantas y sobre la superficie del suelo, por la radiación proveniente de la luz solar. La degradación dependerá de las propiedades del plaguicida, mientras que la velocidad de la fotodegradación depende fundamentalmente de la intensidad de UV y del tiempo de exposición a la misma. Estos dos factores varían con la estación del año, la hora, la latitud, etc.

Por su parte, Kerle et al. (2007) mencionan que la persistencia de un plaguicida en el ambiente dependerá de su vida media, es decir, del tiempo necesario para que el plaguicida presente después de la aplicación se descomponga en productos de degradación. La degradación de los plaguicidas es un proceso global que implica la fragmentación de la estructura química, dando lugar a compuestos inorgánicos como productos finales de la reacción (CO₂, H₂O, haluros, amonio, fosfato, etc.).

Los plaguicidas se clasifican en tres categorías según la persistencia:

- a) no persistentes: vida media en suelo de hasta 30 días.
- b) moderadamente persistentes: vida media se encuentra entre 30 -100 días.
- c) plaguicidas persistentes: vida media mayor a 100 días.

Según Garrido et al. (1990) uno de los agentes físicos que influyen en la estabilidad de un plaguicida en el ambiente, son las radiaciones solares en su forma de radiaciones ultravioleta. Los investigadores establecieron que el metilazinfos tenía una eficacia superior al 95% sobre adultos de C. tenebrionis, a los 8 días del tratamiento, pero esta eficacia descendía notablemente al 52% transcurridos los 16 días de la aplicación. Dicho comportamiento se lo atribuyó directamente al proceso de fotodegradación generado por la radiación solar.

Los resultados obtenidos en Costa Rica por Jimenez Mendez (2004), demostraron que el Carbaril se degradaba totalmente, en las hojas de cilantro, transcurrido 11 días de la aplicación, mientras que la Cipermetrina permanecía alrededor de 20 días. El investigador destaca que la degradación en campo se vio favorecida por los altos picos de radiación solar que acontecieron durante esos días.

Por otro lado, Navarro et al. (2006) también coinciden que la radiación UV es la responsable de la degradación de los plaguicidas depositados en las hojas de los cultivos. Analizaron la degradación de Carbaril e Imidacloprid en parrales de uva de mesa en la provincia de San Juan. Demostraron que a los 20 días después de la aplicación la concentración del Carbaril disminuyó en las hojas, más del 65%, mientras que la de Imidacloprid disminuyó más del 80%. En ambos casos los científicos afirman que se debió principalmente a la radiación solar.

2.9. Metodología de evaluación

2.9.1. Análisis de la deriva empleando trazadores fluorimétricos

Cooke & Hislop (1993) definen a un trazador como una sustancia utilizada para marcar el curso de un proceso. Los trazadores fluorescentes son frecuentemente utilizados para analizar depósitos de pulverizaciones debido a que resguardan la seguridad de las personas que lo manipulan. Además, se pueden emplear solos imitando a un plaguicida o ser un ingrediente activo en la mezcla del pesticida.

El principio de los trazadores fluorimétricos se debe a que la fluorescencia se produce cuando una molécula es irradiada con una onda corta, ésta absorbe un fotón y se excita, es decir alcanza un nivel de energía más alto pero a su vez inestable. Para lograr nuevamente la estabilidad, la molécula debe emitir un fotón. La longitud de onda de la fuente de excitación, donde se produce este fenómeno, es particular de cada sustancia. En el caso de la sal de fluoresceína sódica (fluoresceína), la longitud de onda de lectura donde se encuentra el pico de emisión y excitación es de 480 nm.

A mediados del siglo pasado los investigadores comenzaron a utilizar los trazadores para analizar el comportamiento de las pulverizaciones. A partir de la década del '80 estos se convirtieron en una herramienta muy empleada para estudiar los riesgos de exposición laboral de trabajadores rurales.

Franklin et al. (1986) utilizaron trazadores fluorescentes, para analizar la exposición dérmica de trabajadores rurales que realizan pulverizaciones fitosanitarias. También Fenske & Day (2005) estudiaron la exposición a plaguicidas de la población rural, principalmente en familiares de los aplicadores. En ambos casos los depósitos fluorescentes en las vestimentas de las personas, se observaron con luz ultravioleta. Los investigadores compararon imágenes y videos de los individuos antes y después de la pulverización. Mehtner & Fenske (1994) utilizaron una técnica similar para estudiar la exposición de personas durante pulverizaciones en parques y jardines urbanos.

Landers y Reissig (2002) desarrollaron métodos con trazadores fluorescentes para medir depósitos de plaguicidas en manzanos. Los autores destacan que la fluoresceína tiene ventajas respecto a otros trazadores, porque es económica, está disponible en el mercado, su cuantificación es rápida y permite trabajar con alta sensibilidad (por debajo de 0,01 μg). Por otro lado, Sharp (1974) destaca que los trazadores fluorescentes también tienen la ventaja de ser solubles en agua e insolubles en materiales particulados. Además, las bajas concentraciones necesarias para un ensayo, no generan toxicidad para las plantas y animales. Según el autor, la principal desventaja que poseen es la fotodegradación por la luz solar. Sin embargo, si las muestras se almacenan rápidamente en un lugar oscuro y protegidas de la radiación, se minimiza este efecto.

En relación a este tema, Cai & Stark (1997) analizaron la fotoestabilidad de cinco colorantes fluorescentes para determinar cual era el trazador más apropiado para evaluar los efectos de los tensioactivos sobre la deriva en las pulverizaciones agrícolas. Pudieron comprobar que la fluoresceína expuesta a la luz solar tiene una vida media aproximada de 15 minutos, por lo que es importante evitar la exposición.

En cultivos de grosellas negras, Doruchowski et al. (1995) compararon la eficacia biológica para controlar ácaros que generaban un pulverizador convencional axial y un pulverizador de aire dirigido. Para evaluar las pérdidas en el suelo y por deriva utilizaron un trazador fluorescente (sal de sodio de fluoresceína). Las muestras se obtuvieron con papel de filtro colocados a distintas alturas sobre las plantas y otros ubicados sobre el suelo. Para disminuir la fotodegradación el ensayo se realizó un día nublado y las muestras se recogieron en rápidamente en aproximadamente 5 minutos.

Salyani & Cromwell (1992) analizaron en Florida EEUU, la deriva que producían dos modelos de pulverizadoras en plantaciones de citrus. La solución pulverizada contenía un trazador fluorimétrico. Las muestras fueron obtenidas con filtros de papel ubicados sobre columnas y se analizaron por fluorimetría. Se detectó el trazador a 195 m del lugar de aplicación. Se concluyó que si bien existía diferencia en la distribución de la deriva generada por los distintos modelos, el viento era un factor importante que arrastraba la deriva fuera del cuadro aplicado.

En la región del Alto Valle de Río Negro y Neuquén la fluoresceína (Natrisol Sódico) ha sido utilizada como trazador en diversos estudios llevados a cabo por investigadores de la Universidad Nacional del Comahue y de la EEA Alto Valle del INTA. Entre ellos, Magdalena & Bemher (2000) evaluaron la uniformidad de la distribución de agroquímicos en un huerto de perales conducidos en espaldera. Aplicaron un trazador fluorescente (fluoresceína 40 g. ha⁻¹) directamente sobre los frutales y luego analizaron con un fluorímetro, los depósitos contenidos sobre las hojas.

También fue utilizada por Magdalena et al. (2002) en un monte libre tradicional de peras, donde analizaron la distribución de la pulverización a distintos volúmenes de aplicación. Por otro lado, Di Prinzi (2004) para evaluar la distribución de la aplicación y las pérdidas generadas por un prototipo pulverizador túnel equipado con boquillas hidráulicas en una parcela de manzanos conducidos en alta densidad. La dosis empleada de sal sódica fue 40 g.ha⁻¹, y las muestras fueron captadas con papel de filtro colocado en columnas paralelas a los árboles y luego analizadas en laboratorio con un fluorímetro.

2.9.2. Captación de deriva

Un dispositivo captador de deriva debe permitir manipularlo bajo las condiciones a campo, tener capacidad de coleccionar un volumen adecuado antes de saturarse, ser relativamente económico y contar con disponibilidad en el mercado. En este sentido, la utilización de limpia pipas como dispositivos de captación de deriva han sido una herramienta importante tanto para la recolección de trazadores fluorimétricos como de plaguicidas.

Los limpiapipas son dispositivos semirrigidos de 10 cm de largo, siendo su estructura un alambre cubierto con un hilo de algodón "Fig. 11".

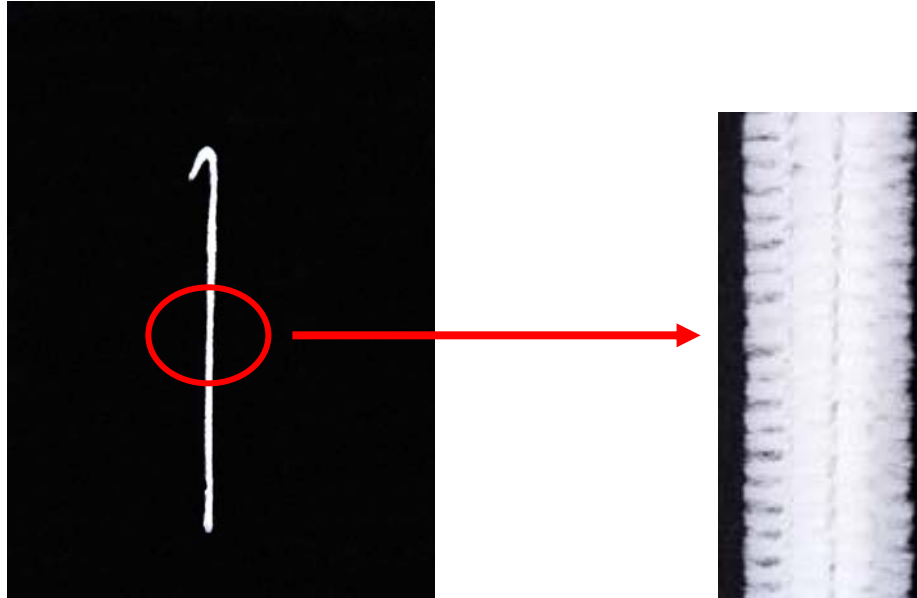


Figura 11: Detalle de la estructura del limpiapipas de algodón.

Según Miller (1993), los colectores de deriva deben tener una alta eficiencia para captar gotas pequeñas con velocidades de viento relativamente bajas y además tener facilidad para capturar, recuperar y cuantificar el producto derivado. El autor menciona que los limpia pipas de algodón son recolectores superficiales pasivos con buena absorción y una alta eficiencia para captar gotas pulverizadas cuyo tamaño se encuentran entre 10-100 μm , incluso con velocidades de viento inferiores a $1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Además, se destacan porque pueden manipularse fácilmente en experimentos a campo, tienen una capacidad aceptable para capturar deriva y los resultados obtenidos son comparables con otros tipos de captadores.

Woods et al. (2004) compararon las pérdidas de endosulfán, generadas por distintos tipos de boquillas tanto en aplicaciones aéreas como terrestres sobre cultivos de algodón. En todos los casos, la deriva fue captada con limpiapipas y analizadas por cromatografía.

Solanelles et al. (1996) en Lleida, España, realizaron ensayos con prototipos para mejorar la eficiencia de los tratamientos fitosanitarios y disminuir las pérdidas contaminantes. En dicha ocasión, estudiaron la distribución de la pulverización de un prototipo de túnel para aplicaciones en viña y de un pulverizador hidroneumático equipado con un sistema electrónico de pulverización proporcional al perfil de vegetación detectado en una plantación de manzanos. Para medir las pérdidas se utilizó de un trazador fluorescente y como elementos captadores emplearon papel de filtro en el suelo y limpia pipa para la deriva.

Nuyttens et al. (2006) analizaron la influencia de las condiciones meteorológicas sobre la deriva generada en equipos pulverizadores de botalón. Utilizaron Sulfoflavina brillante (BSF) como trazador fluorimétrico y limpia pipas para captar la deriva aerotransportada.

Di Prinzi et al. (2004) compararon la calidad de la aplicación de un pulverizador hidroneumático tradicional y de un prototipo pulverizador túnel. Los ensayos se efectuaron en manzanos conducidos en alta densidad correspondiente a una parcela del Alto Valle. Se pulverizó con una solución que contenía un trazador fluorimétrico (Natrisol sódico) en una dosis de $40 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$, la deriva generada se captó con limpia pipas colocados sobre columnas a 2, 3, 4, 5 y 6 m de altura.

Un estudio realizado por Copes 2005 en un cultivo de manzanos en el Alto Valle, demostró que la deriva llevada por el viento, alcanza por lo menos a 48 m de la última fila aplicada “Fig.12”. En dicha oportunidad se demostró que el comportamiento de la misma respecto a la distancia, no es lineal tanto a 2 como 6 m de altura, disminuyendo a medida que aumenta la distancia desde la fila tratada.

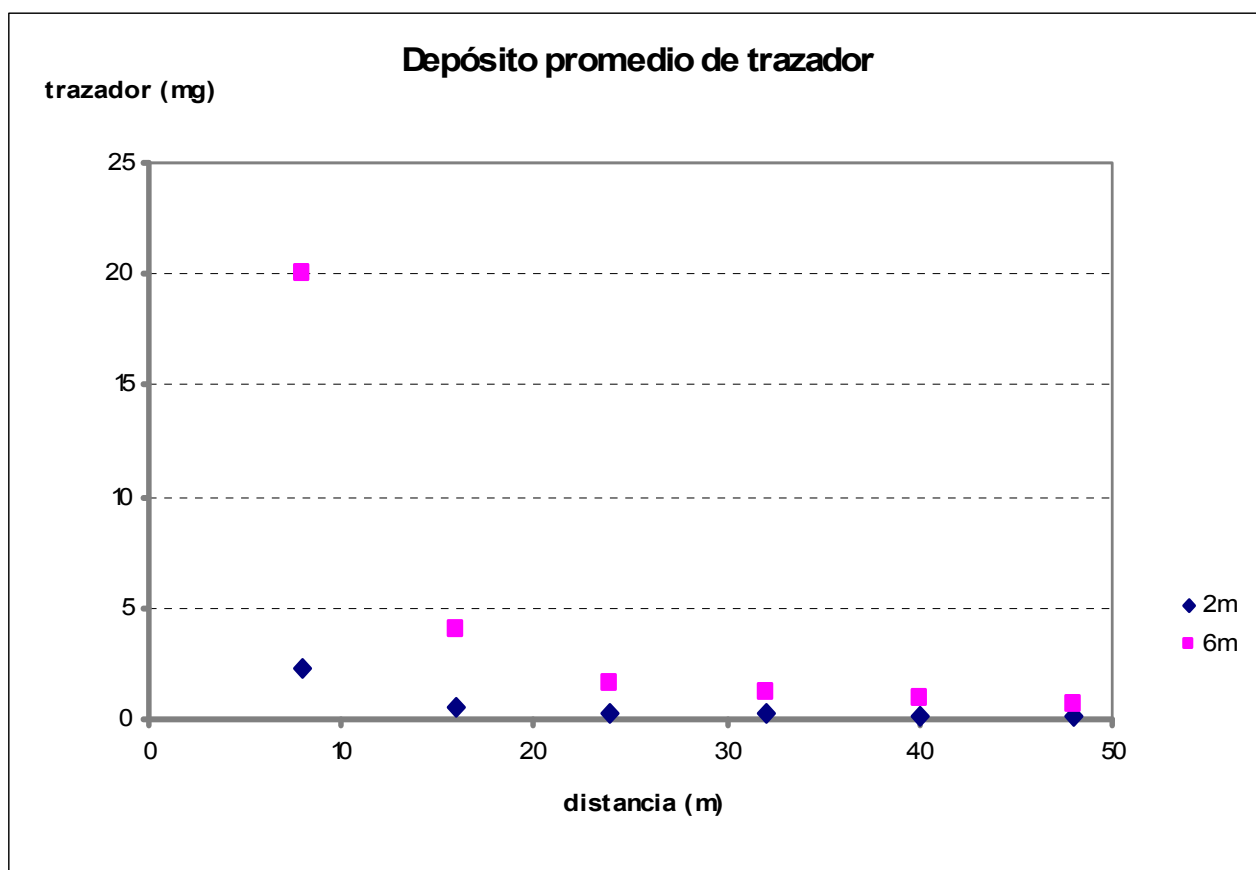


Figura 12: Comportamiento de la deriva. Copes (2005)

Además, comprobó que la misma no solo se desplazaba por encima de los árboles frutales sino que las gotas más pesadas caen a esa distancia, lo cual indica que la población cercana a los cultivos se encuentra en riesgo contaminación por plaguicidas.

En dicha evaluación se emplearon condiciones de infraestructura y metodología similares a la del proyecto de investigación que se plantea realizar. La solución aplicada contenía un trazador fluorescente (Natrisol sódico). Las muestras se obtuvieron mediante limpiadores de pipas colocados en columnas.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron 5 aplicaciones con una pulverizadora hidroneumática convencional. Evaluándose la deriva aerotransportada delante y detrás de una barrera rompevientos de álamos.

3.1. Descripción de la barrera rompevientos

La barrera rompevientos analizada corresponde a una alameda perteneciente al campo experimental de la EEA Alto Valle del INTA (Latitud $39,01^{\circ}$ S, longitud $67,73^{\circ}$ W, altura 242 msm) ubicada en la localidad de Allen, paraje de Cmte. Guerrico, provincia de Río Negro, Argentina "Fig. 13".

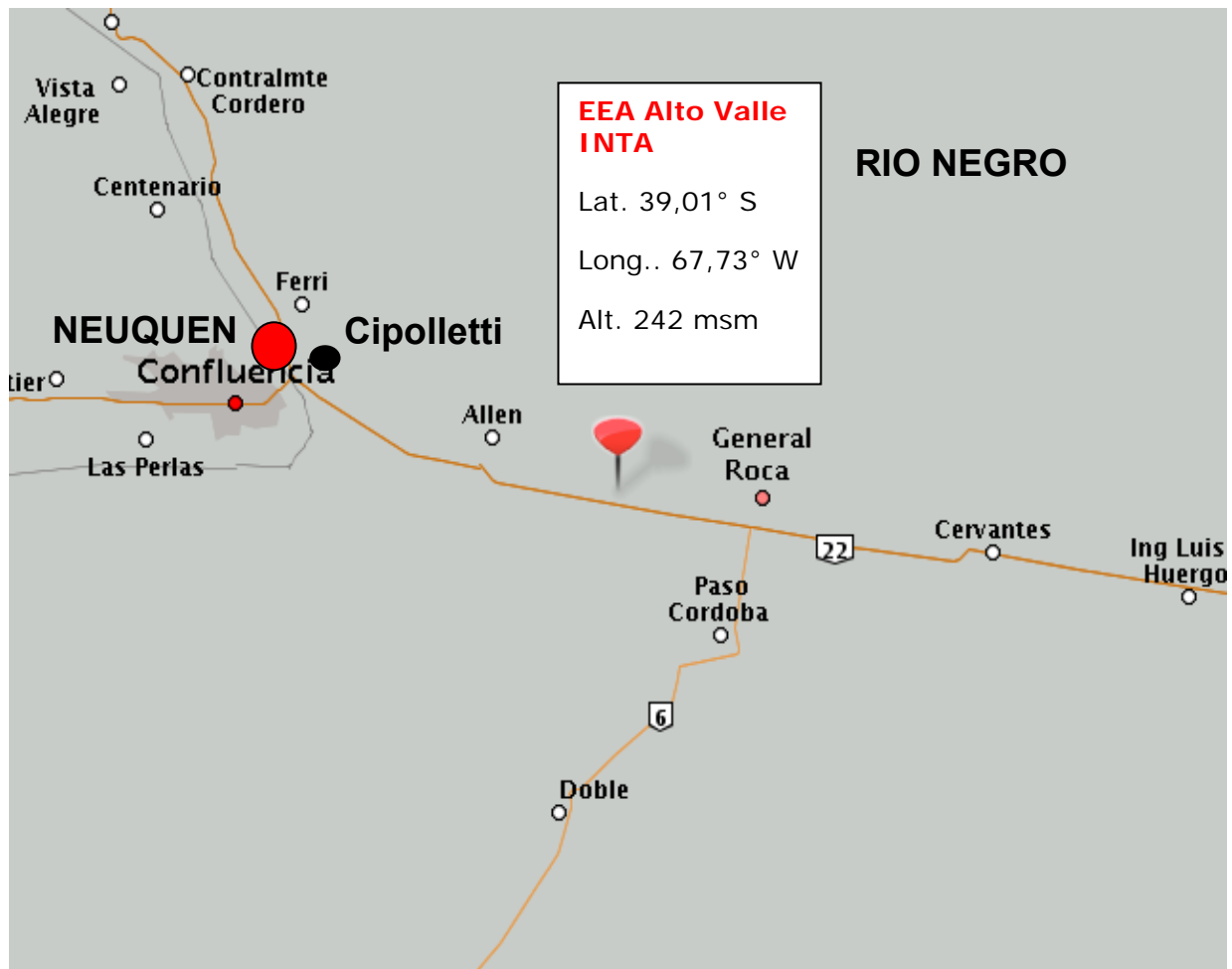


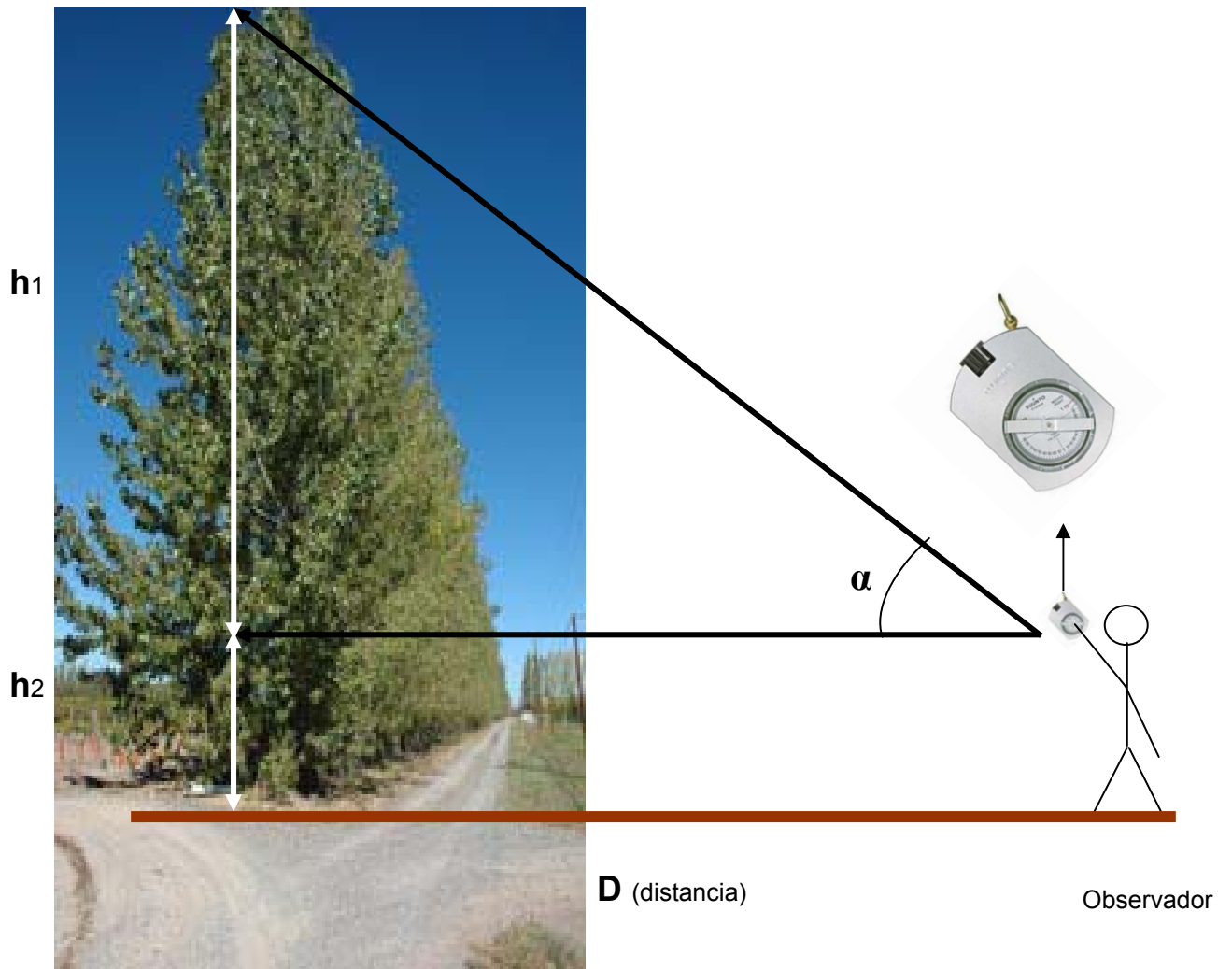
Figura 13: Ubicación de la zona de ensayo.

La cortina está compuesta por una hilera de álamos híbridos (populus x canadensis) I 488 “Fig. 14”, plantados en dirección norte-sur, a una distancia de 2 m entre plantas, un ancho de 6 m y una altura aproximada de 15 m. Esta última característica fue obtenida con un clinómetro marca Suunto “Fig.15”.



Figura 14: Cortina rompevientos de álamos.

Método del clinómetro en terreno llano



Donde:

$$h_1 = D \times \tan \alpha$$

$h_2 =$ altura del ojo del observador

Altura del árbol = $h_1 + h_2$

Figura 15: Método del clinómetro en terreno llano. Fuente: C. Zarco. Universidad de Sevilla

Mediante el programa de distribución gratuita HOJA 3.2 “Fig. 16”, elaborado por el INTA, se determinó que la porosidad de la barrera es del 45%. Es decir, la relación entre el área perforada (claros) que permiten el paso del viento y el área total de la barrera es del 45%, lo cual indica que se trata de una barrera permeable.

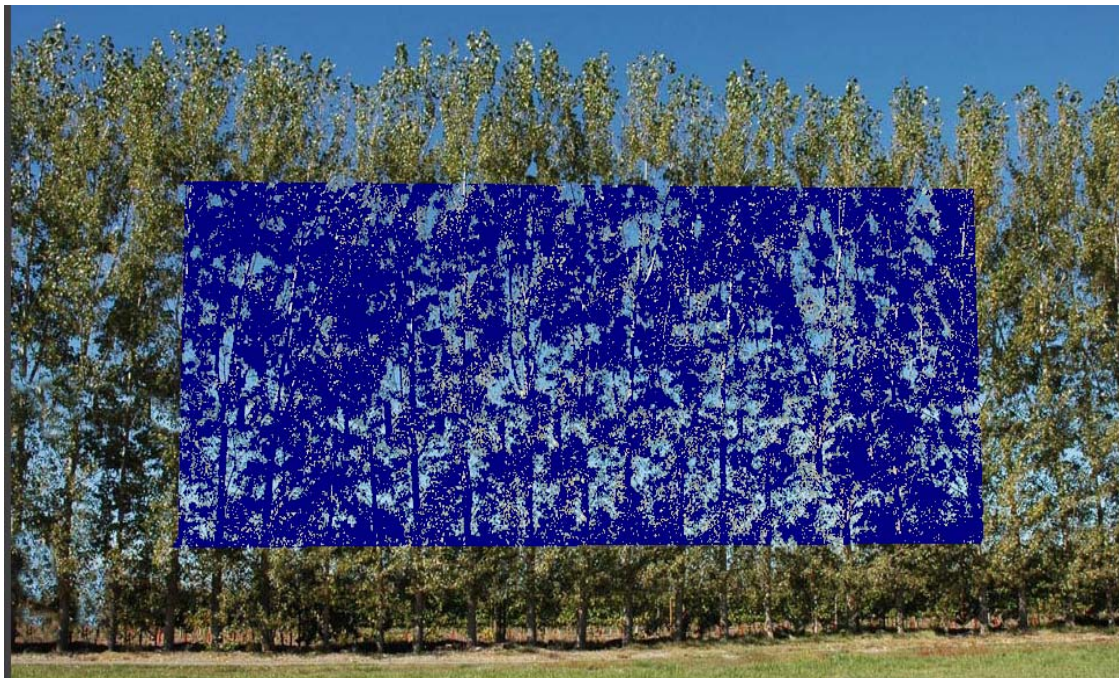


Figura 16: Porosidad de la barrera mediante el programa HOJA 3.2

3.2. Equipo pulverizador

Se utilizó un equipo pulverizador hidroneumático convencional, accionado por la toma de potencia de un tractor frutero “Fig.17”.



Figura 17: Equipo pulverizador.

Características del tractor

- Marca: John Deere 5403
- Modelo: 3029T
- Potencia de motor a régimen nominal 48 KW (64 hp).
- Tipo: Diesel, 4 tiempos.
- Cantidad de cilindros: 3
- Cilindrada: 2,9 L
- Aspiración: Turboalimentado
- Toma de potencia: independiente de accionamiento mecánico.

Características de la pulverizadora hidroneumática.

- Marca: Pazima. Modelo: MP11
- Dimensiones: Largo total: 4132 mm. Trocha: 1660 mm. Altura: 1588 mm
- Peso: 805 kg
- Tanque: fabricado en Plástico reforzado, fibra de vidrio. Capacidad: 2000 L.
- Bomba: 3 pistones. Caudal: 110 L. min⁻¹. Régimen de trabajo: 540 v.min⁻¹
- Sistema de transporte de aire: caudal de aire 23.034 m³.h⁻¹ a 550 v.min⁻¹ de la toma de potencia
- Ventilador: circular tipo axial 8 paletas, ubicado en parte posterior de la máquina. Diámetro: 833 mm. "Fig.18"
- Túnel de aspiración: diámetro: 860 mm
- Barra de pulverización: compuesta por 2 arcos de acero inoxidable (derecho e izquierdo). Cada uno provisto con 7 boquillas cerámicas antigoteo.



Figura 18: Ventilador axial de pulverizadora hidroneumática

3.2.1. Caudal de aire requerido

Para la determinación del caudal de aire requerido, se utilizó la expresión citada por Marquez (1987)

$$Q_A = \frac{A \times V \times H \cdot 3600}{f}$$

Donde:

QA = caudal de aire requerido ($m^3 \cdot h^{-1}$)

A = distancia entre filas (m)

V = velocidad de avance del equipo pulverizador ($m \cdot s^{-1}$)

H = altura del árbol (m)

f = factor de contención, que según el autor es 3 para árboles más controlados.

3600 = factor de conversión de unidades.

Características del monte frutal

Los cálculos se realizaron para un monte frutal conducido en espaldera, cuya distancia de plantación es 4 x 2 m, altura: 4,4 m y ancho: 2 m

De acuerdo a los parámetros que presenta el huerto y con una velocidad de avance de 4 km . h⁻¹ (seleccionada para la aplicación), surge que el caudal de aire requerido para el transporte de la pulverización es de 23232 m³.h⁻¹ . Se considera que el pulverizador es adecuado, debido a que el caudal de aire proporcionado (23034 m³.h⁻¹) es de orden de magnitud similar al requerido.

$$Q_A = \frac{4\text{m} \times 1,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \times 4,4\text{m} \cdot 3600}{3} = 23232 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

3.2.2. Calibración del equipo pulverizador

La calibración de la pulverizadora se realizó teniendo en cuenta las recomendaciones especificadas por el manual del constructor (PAZIMA S.A) y empleando la metodología descrita por Di Prinzio & Magdalena (1992).

- 1) Mediante un cuentavueltas se posicionó la toma de potencia para obtener un régimen de 540 v/min. Luego se calculó la velocidad de avance para una marcha de 2^{da} intermedia, para ello se controló el tiempo empleado, por el equipo pulverizador, para recorrer 50 m lineales.

$$V = \frac{d \times 3,6}{t} = \frac{50 \text{ m} \times 3,6}{45 \text{ s}} = 4 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$$

Donde:

V= velocidad de avance (km.h⁻¹).

d= distancia recorrida (m).

t= tiempo en segundos, empleado en recorrer la distancia “d”

3,6= factor de conversión de unidades.

2) Se colocaron las boquillas y la posición en cada uno de los arcos de acero inoxidable, según lo indicado por el fabricante “Tabla III”, “Fig.19”.

orden	Diámetro de pastilla (mm)	agujeros	difusor	Presión de trabajo (kPa)	Caudal (L. min ⁻¹)
1°	1,5	2	Cono hueco	2000	2.5
2°	1,5	2	Cono hueco	2000	2.5
3°	1,5	2	Cono hueco	2000	2.5
4°	1,5	2	Cono hueco	2000	2,5
5°	1,8	3	Cono lleno	2000	6.5
6°	1,8	3	Cono lleno	2000	6.5
7°	1,8	3	Cono lleno	2000	6.5

Tabla III: Orden de boquillas (de abajo hacia arriba), ambos lados simétricos.



Figura 19: Diámetro de boquillas

Para determinar el caudal erogado por las boquillas, se fijan mangueras conectadas sobre las mismas para cuantificar el líquido recolectado en un determinado tiempo.

3) A partir de la distancia entre filas del monte frutal, el caudal proporcionado por la pulverizadora y la velocidad de avance obtenida con la marcha establecida, se calculó la Tasa de Aplicación en $L \cdot ha^{-1}$.

$$D = \frac{600 \times Q}{A \times V} = \frac{600 \times 59 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}}{4 \text{ m} \times 4 \text{ Km} \cdot \text{h}^{-1}} = 2212,5 \text{ L} \cdot \text{ha}^{-1}$$

Donde:

D= Tasa de Aplicación. ($L \cdot ha^{-1}$)

Q= caudal erogado por las boquillas ($L \cdot \text{min}^{-1}$)

A= distancia entre filas (m)

V= velocidad de avance ($km \cdot h^{-1}$)

600= factor de conversión de unidades.

Finalmente se verificó, mediante el método de TRV, que la Tasa de Aplicación corresponde con lo aconsejado para las características del monte frutal a pulverizar. En las condiciones de la Patagonia, el método de TRV fue ajustado en parcelas conducidas en espaldera por Magdalena & Cichón (1992), los investigadores concluyeron que se necesitan 0,0937 litros de caldo por metro cúbico de masa foliar, a ese volumen lo designaron como volumen patrón (V_p). El volumen foliar se obtiene considerando a la fila de frutales, como una caja rectangular que posee un volumen de hojas determinado "Fig.20"

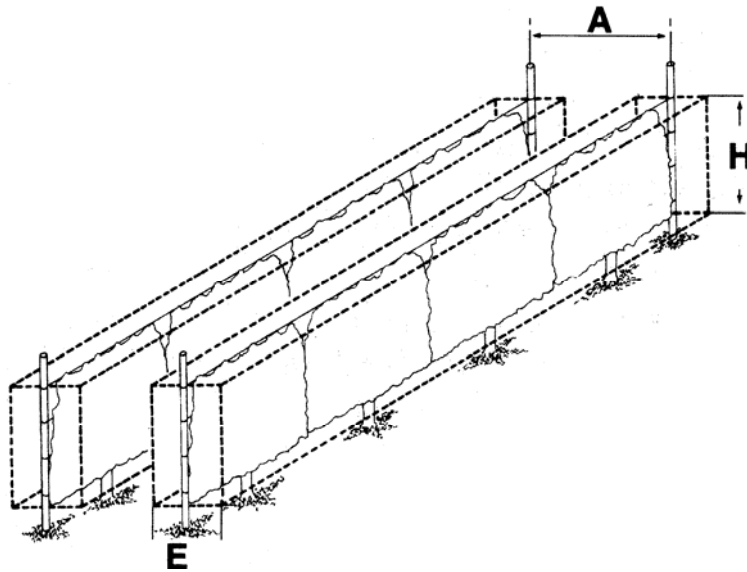


Figura 20: Parámetros para calcular el volumen de aplicación con el método “TRV”.

Cálculo del TRV

$$D_1 = \frac{10000 \times H \times E \times V_p \times i}{A}$$

Donde:

V_p = volumen patrón (L. m⁻³)

D_1 = volumen de aplicación (L. ha⁻¹)

H = altura del árbol (m)

E = ancho del árbol (m)

A = distancia entre filas (m)

i = índice de ajuste de densidad foliar. “Tabla IV”

10000 = factor de conversión de unidades (m².ha⁻¹)

Indice "i"	Tipo de árbol
0,7	Extremadamente abierto, permite el paso de luz a través de todo el árbol
0,75	Muy abierto, buena penetración de luz
0,8	Bien podados, adecuada luz en el árbol. Muchos espacios en el follaje que permiten el paso de luz
0,85	Discretamente podados. Densidad foliar que no permite el paso de luz en los dos tercios inferiores del árbol
0,9	Poco podados. Muy poca luz visible a través del árbol
0,95	No podado. Muy poca luz visible a través del árbol
1	No podado. Extremadamente vigoroso. Sin luz visible a través del árbol.

Tabla IV: Índice de ajuste de densidad foliar. Fuente: Unrath et al. (1989)

Parámetros de calibración

Presión = 2000 kPa

Marcha = 2 Intermedia

Velocidad de avance = 4 km. h⁻¹

Régimen del tractor = 1900 v .min⁻¹

Régimen de toma de fuerza = 540 v . min⁻¹

Caudal = 59 L. min⁻¹

Tasa de aplicación = 2212,5 L.ha⁻¹

3.3. Condiciones meteorológicas

El experimento se realizó con viento débil, pulverizando en forma transversal a la dirección y sentido del viento. Las condiciones meteorológicas presentes en el momento del ensayo, se obtuvieron mediante la estación meteorológica del INTA Alto Valle ubicada a 200 m del ensayo “Tabla V”.

Repetición	Viento (km/h)	Dirección del viento	Humedad (%)	Temperatura (°C)
1	11,3	WNW	47	14,2
2	8,0	WNW	47	14,6
3	9,7	WNW	45	15,9
4	14,5	WNW	43	18,4
5	14,5	WNW	44	19,1

Tabla V: Condiciones meteorológicas durante el ensayo.

3.4. Metodología de muestreo

3.4.1. Captación de muestras

Se utilizaron como elementos captadores limpiadores de pipas de algodón de 150 mm de largo y 1,3 mm ancho. Los mismos se colocaron a dos alturas (2 y 6 m) sobre mástiles “Fig. 21”. Los mástiles de 6 m de altura, consisten en columnas de hierro estructural 40 x 40 mm. Para sujetar los captadores se emplearon pinzas metálicas de presión.

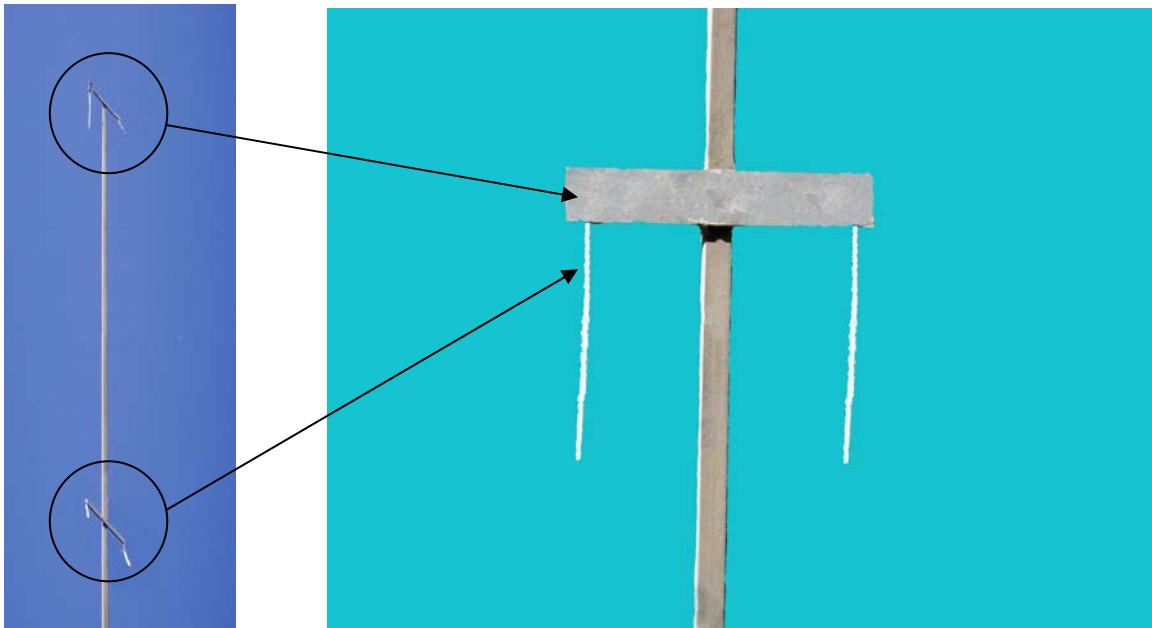


Figura 21: Limpiapiipas colocados en torres de captación.

3.4.2. Tratamientos

Se colocó 1 mástil a una distancia de 5 m por delante de la barrera rompevientos y 3 detrás de la misma distribuidas hasta 50 m (5 m, 25 m y 50 m) “Fig. 22”.

Las estaciones de muestreo se denominaron:

- (a): 5m por delante de la barrera
- (b): 5m detrás de la barrera
- (c): 25m detrás de la barrera
- (d): 50m detrás de la barrera

Como testigo se empleó el mismo esquema de distribución a los anteriores, pero sin la barrera de álamos.

Para ambos esquemas con y sin barrera se colocó en forma paralela una submuestra. Con lo cual se utilizaron 16 mástiles “Fig. 23”, cada uno con dos alturas de muestreo y se realizaron 5 repeticiones obteniendo un total de 160 muestras.

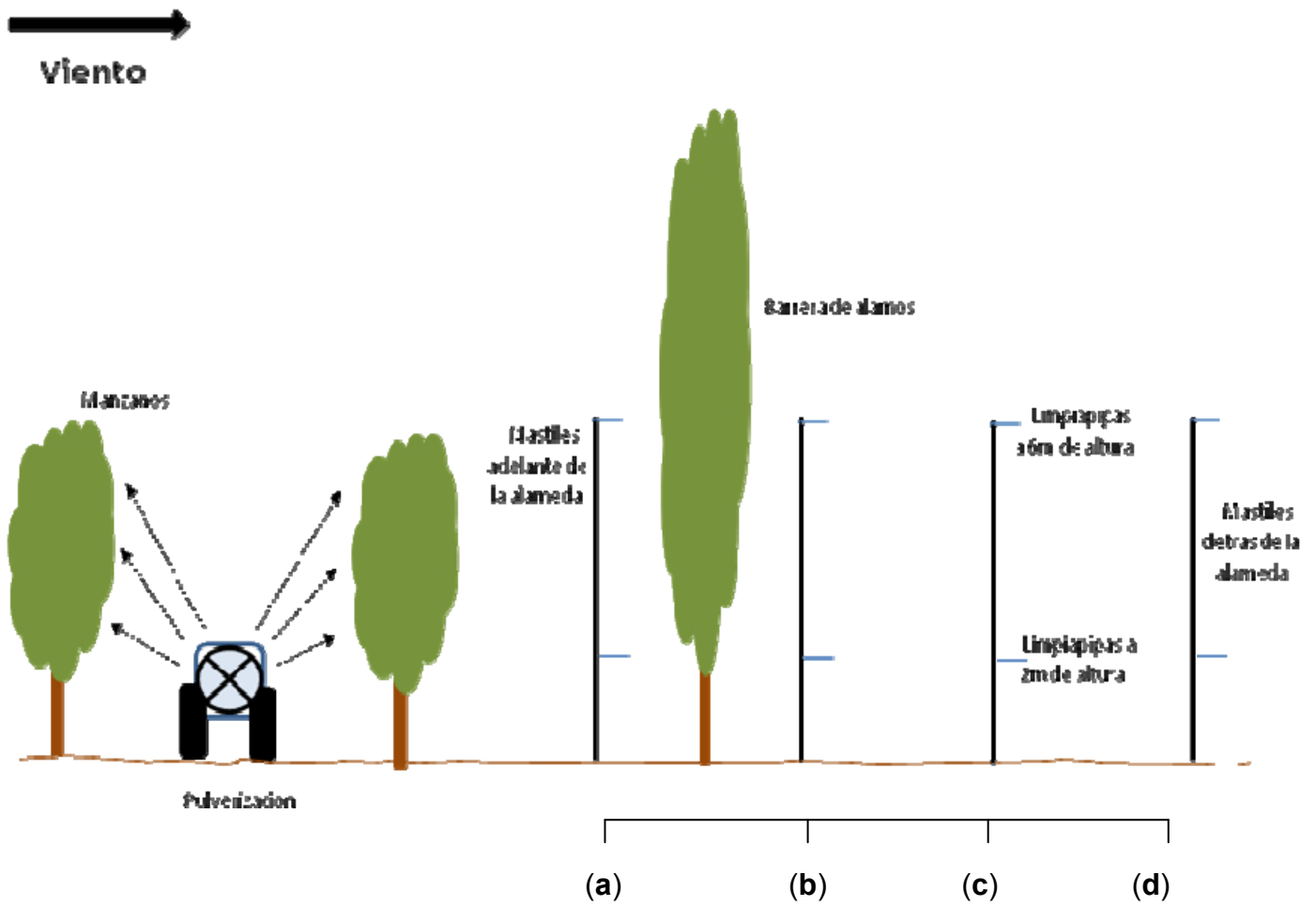


Figura 22: Distribución de mástiles delante y detrás de la barrera rompevientos (perfil).

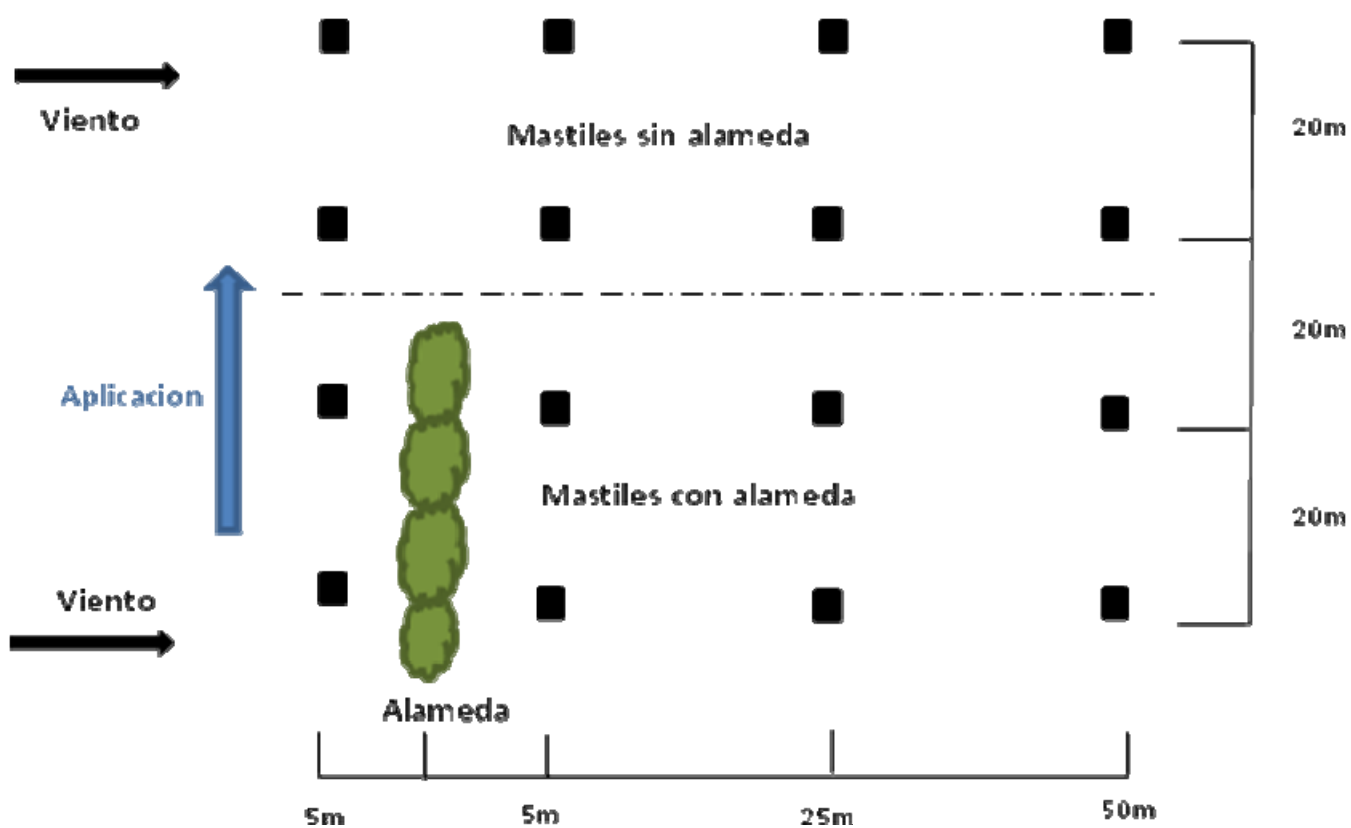


Figura 23: Distribución de mástiles (vista superior)

3.4.3. Acondicionamiento de muestras y técnica de evaluación

Se aplicó una solución con Natrisol Sódico (fluoresceína) a una concentración de $0,02 \text{ g. L}^{-1}$. Inmediatamente después de cada aplicación se retiraron los limpia pipas y colocaron en frascos de vidrio “Fig. 24”.



Figura 24: Limpia pipas acondicionado en frasco de vidrio.

Para evitar la fotodegradación del trazante fluorimétrico, los frascos se almacenaron dentro de bolsas negras y a su vez debajo de una lona protegidos de la luz solar, lejos de la zona de experimentación para evitar contaminación entre las repeticiones.

Las muestras fueron procesadas en el laboratorio de suelos de la EEA Alto Valle del INTA. El trazador contenido en las muestras se extrajo mediante lavado con un volumen conocido de agua desmineralizada (100 ml en cada muestra). Para favorecer la extracción del trazador se los agitó energicamente. La concentración del trazador (ppm) se determinó con un fluorímetro marca Kontron SFM 25 "Fig. 25", para lo cual fue programado con una frecuencia de excitación de 390 nm y una frecuencia de emisión de 500 nm.



Figura 25: Fluorímetro Kontron

3.5. Procedimiento estadístico

3.5.1. Diseño experimental

El diseño experimental es del tipo factorial completamente aleatorizado, siendo los factores de interés:

- La presencia de barrera rompevientos: ζ_1 = mástiles con barrera rompevientos
 ζ_2 = mástiles sin barrera rompevientos
- Las distancias de los mástiles: a = antes de la cortina rompevientos a 5 m
b = después de la cortina rompevientos a 5 m
c = después de la cortina rompevientos a 25 m
d = después de la cortina rompevientos a 50 m
- Las alturas de los limpiapipas evaluados: A_1 = 2 m
 A_2 = 6 m

El modelo estadístico es el siguiente:

$$[] y_{ijkl} = \mu + \zeta_i + A_j + d_k + \zeta A_{ij} + \zeta d_{ik} + A.d_{jk} + \zeta A.d_{ijk} + \epsilon_{ijkl}$$

Donde:

[] y_{ijkl} = Variable respuesta que indica la concentración del trazador recolectado en la i-ésima barrera, en la j-ésima altura respecto a la k-ésima distancia.

μ = media general del modelo

ζ_i = efecto generado por la barrera (i) $i = 1, 2$

A_j = efecto debido a la altura (j) $j = 1, 2$

d_k = efecto debido a la distancia (k) $k = 0, 1, 2, 3$

$\zeta.A_{ij}$ = efecto combinado barrera-altura (ij)

$\zeta.d_{ik}$ = efecto combinado barrera-distancia (ik)

$A.d_{jk}$ = efecto combinado altura-distancia (jk)

$\zeta.A.d_{ijk}$ = efecto combinado barrera-altura-distancia (ijk)

ϵ_{ijkl} = error aleatorio distribuido de manera idéntica e independiente $N(0; \sigma^2\epsilon)$, correspondiente a la i-ésima barrera, en la j-ésima altura respecto a la k-ésima distancia. Donde: $l = 1, 2, \dots, n$

Se evaluaron los supuestos del Modelo mediante Shapiro Wilks y Levenne.

4. RESULTADOS

4.1. Análisis descriptivo de los depósitos captados con limpiapipas

Las mediciones realizadas demuestran que la deriva llega por lo menos a 50 m de la fila pulverizada. En todos los tratamientos, la concentración del trazador disminuye progresivamente con la distancia a la cortina, describiendo un comportamiento no lineal de la deriva.

Se observa una marcada diferencia en la concentración promedio del trazador captado en las estaciones de muestreo "a" ubicadas 5 m adelante de la barrera rompevientos respecto al tratamiento sin barrera "Figs. 25-26". Este comportamiento es similar para ambas alturas de captación (2 y 6 m).

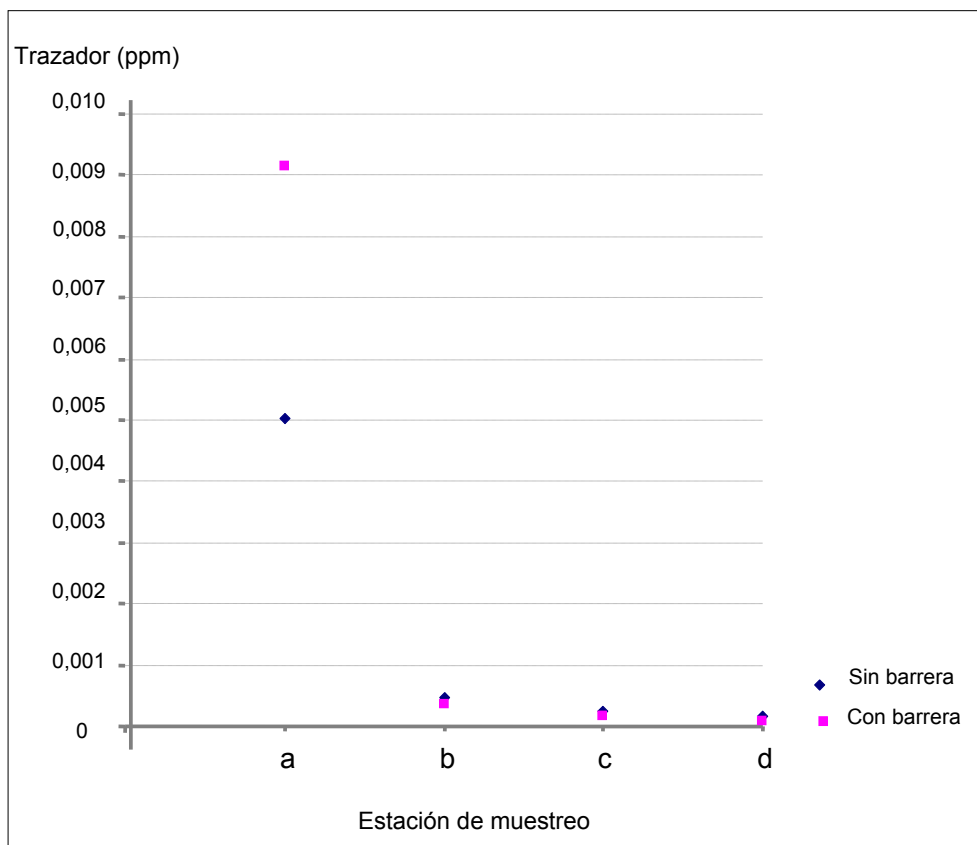


Figura 25: Concentración promedio del trazador captado a 2 m de altura.

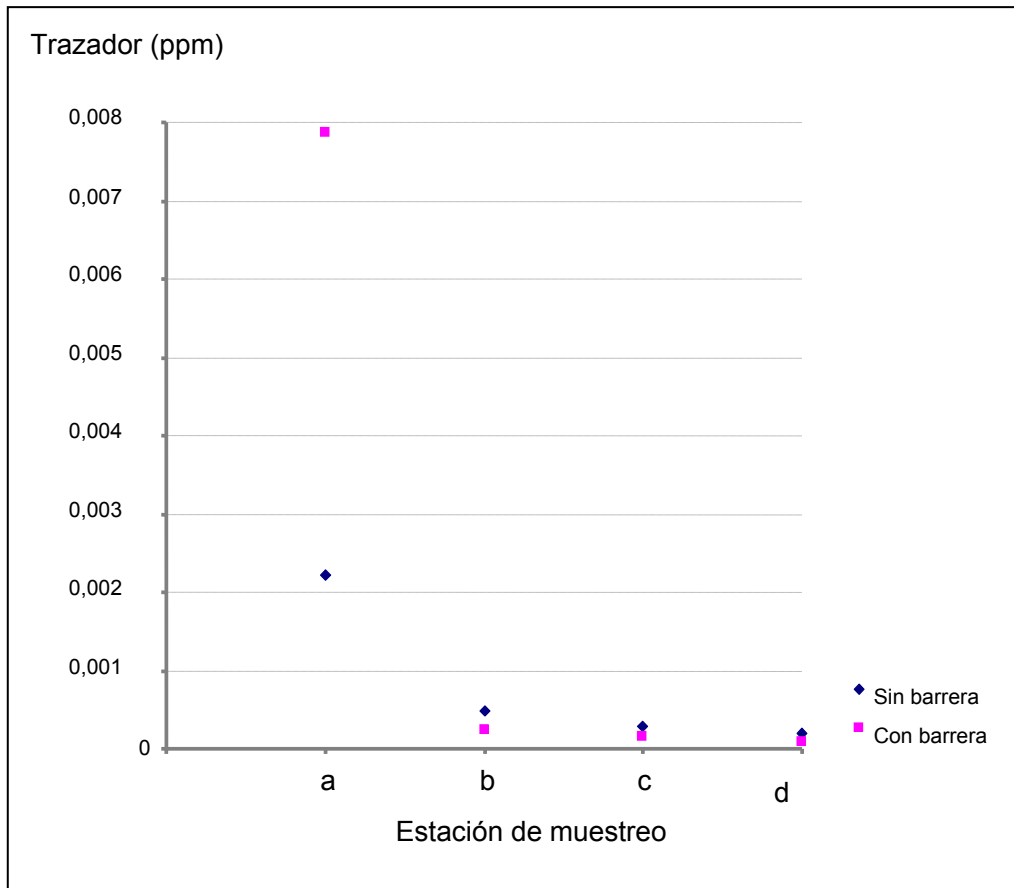


Figura 26: Concentración promedio del trazador captado a 6 m de altura.

En los diagramas de cajas “Figs. 27-30” se destaca que los valores obtenidos en las estaciones de muestreo “a” presentan mayor dispersión que los determinados en las otras estaciones (b, c y d), este fenómeno se presenta en ambos tratamientos (con y sin barrera) y para las dos alturas.

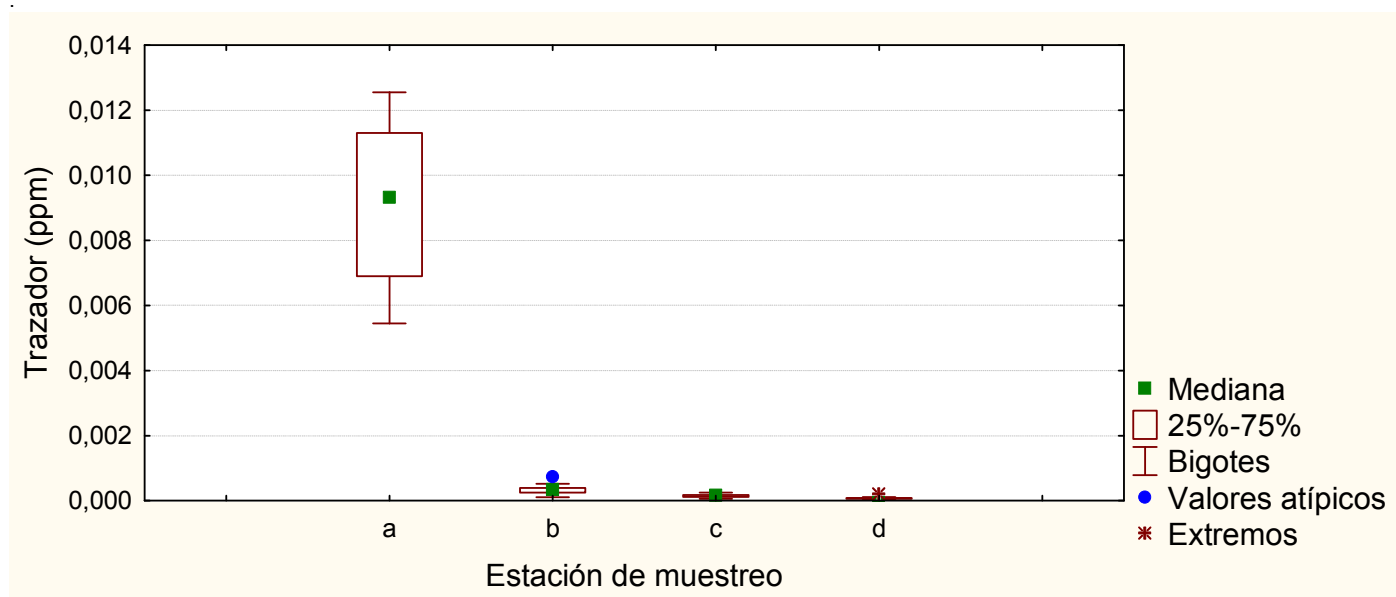


Figura 27: Distribución de las concentraciones de trazador, obtenidos en el tratamiento con barrera a 2 m de altura.

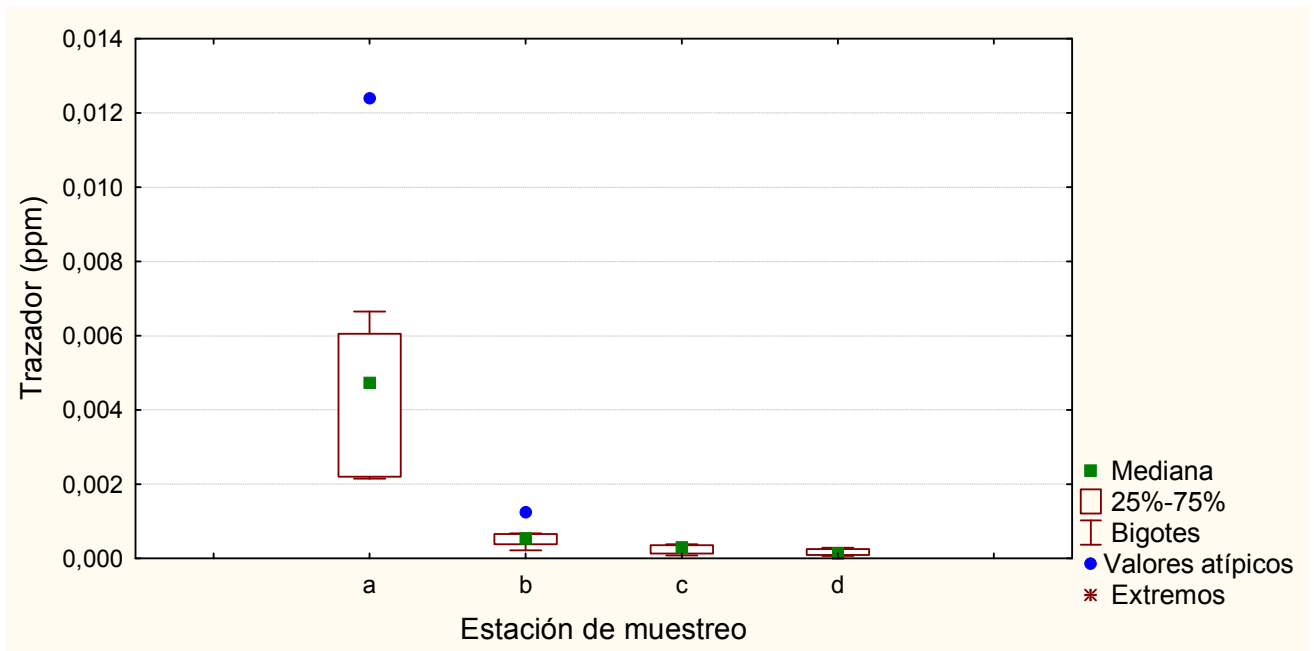


Figura 28: Distribución de las concentraciones de trazador, obtenidos en el tratamiento sin barrera a 2 m de altura.

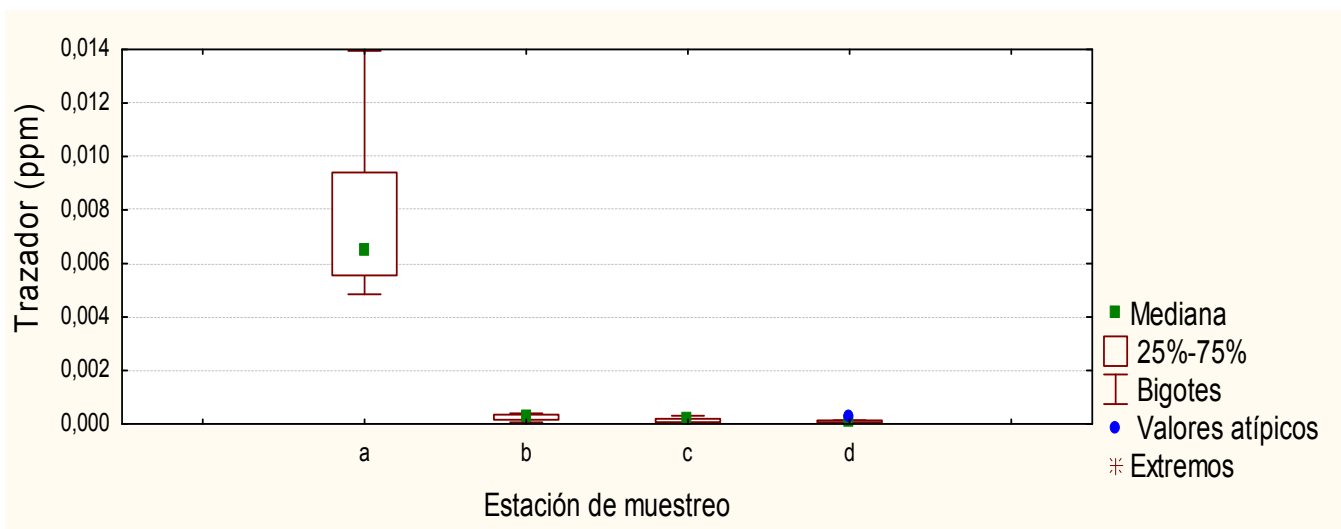


Figura 29: Distribución de las concentraciones de trazador, obtenidos en el tratamiento con barrera a 6 m de altura.

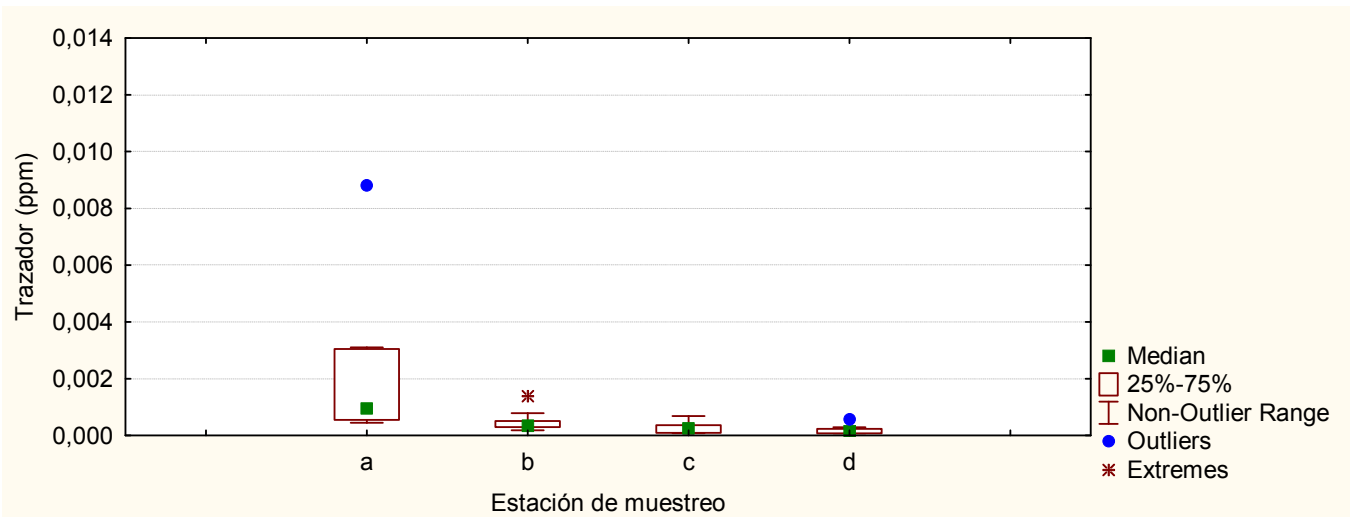


Figura 30: Distribución de las concentraciones de trazador, obtenidos en el tratamiento sin barrera a 6 m de altura.

También se puede observar que los valores medidos en las estaciones “a” de los tratamientos con barrera, tanto para 2 m como 6 m de altura, tienen mayor variabilidad que los del tratamiento sin barrera “Figs. 31-32”.

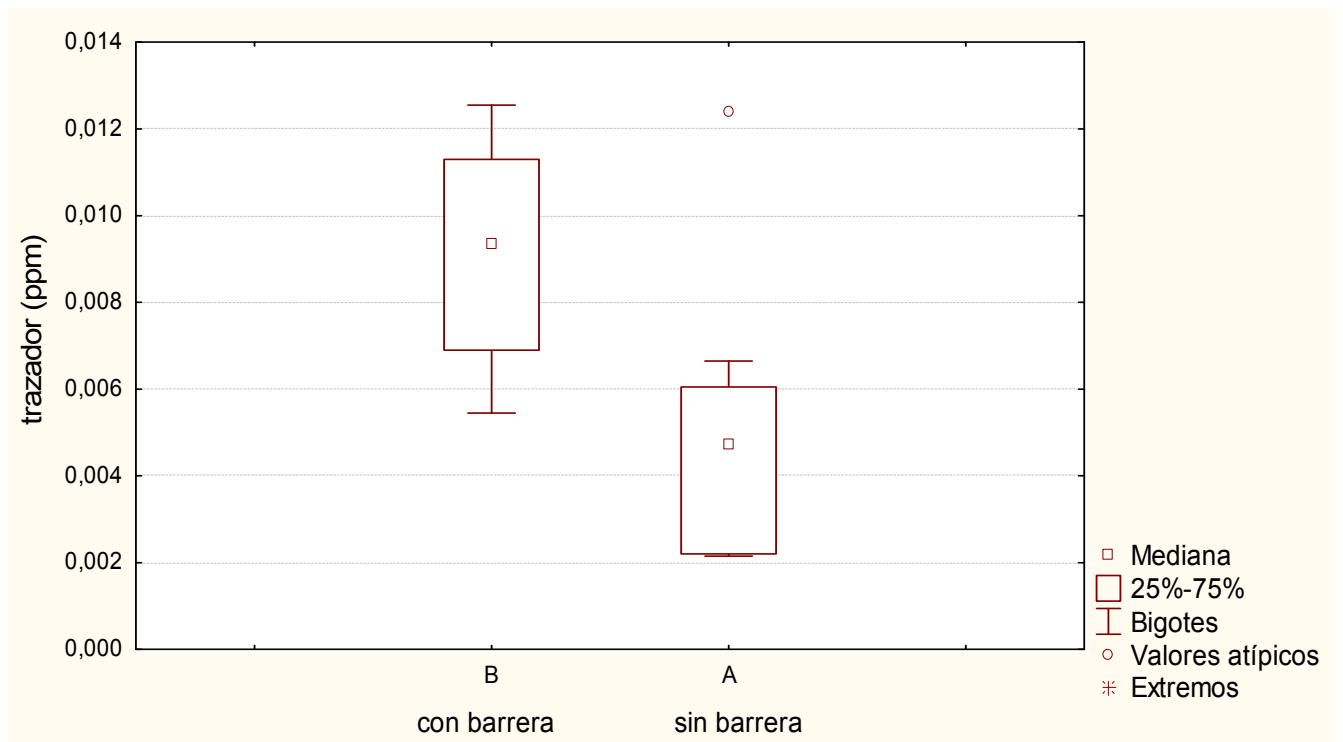


Figura 31: Distribución de las concentraciones de trazador, obtenidos a 2 m de altura en las estaciones de muestreo “a”.

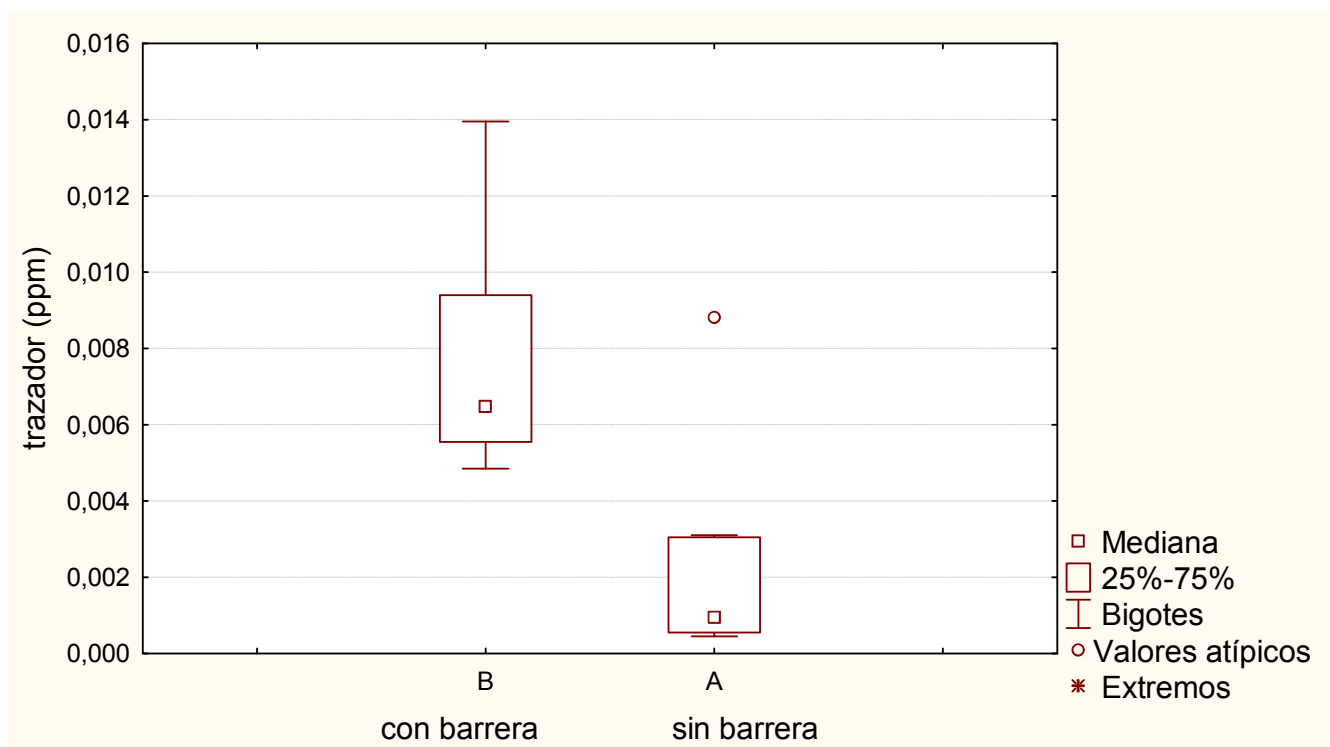


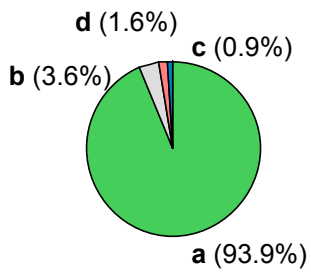
Figura 32: Distribución de las concentraciones de trazador, obtenidos a 6 m de altura en las estaciones de muestreo “a”.

Para el tratamiento con barrera, en los gráficos de sectores “Fig. 33”, se observa que las concentraciones de trazador captadas en la estación de muestreo “a” para 2 m y 6 m de altura, son aproximadamente del 94% del total captado por los limpiapipas para ambos casos. De modo que, las estaciones b, c y d captaron un 6% del total del trazador.

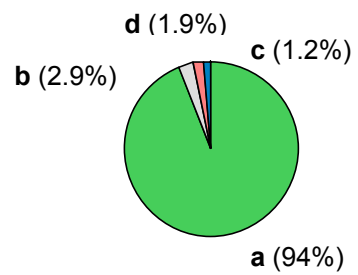
En cambio para el tratamiento sin barrera, la concentración captada a 2 m de altura en la estación de muestreo “a” es de aproximadamente del 84% del total captado en el tratamiento, correspondiendo a casi un 16% lo captado por las estaciones b, c y d. Mientras que a 6m de altura es de aproximadamente 70%, lo que indica que cerca de un 30% fue captado por las restantes estaciones de muestreo.

Con barrera

a) Altura: 2 m

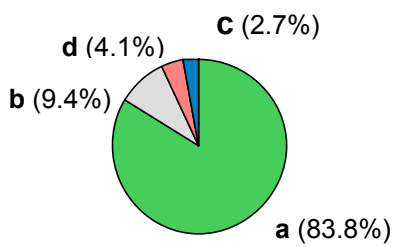


b) Altura: 6 m



Sin barrera

a) Altura: 2 m



b) Altura: 6 m

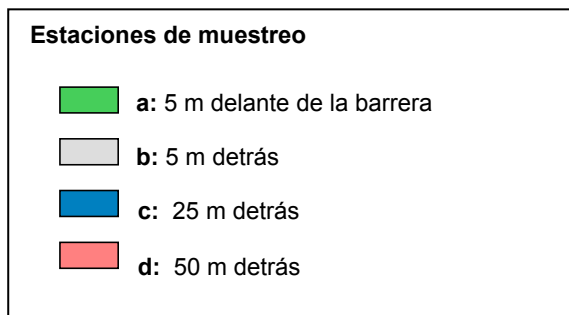
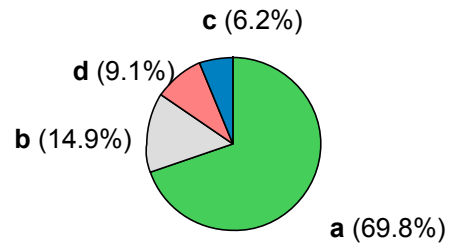


Figura 33: Distribución por porcentajes, de las concentraciones de trazador obtenidas en cada tratamiento.

4.2. Análisis de la varianza

En la tabla VI se aplicó el modelo completo a la variable respuesta (concentración del trazador). Se observa que la combinación conjunta de la barrera-distancia-altura no genera aportes significativos para la interpretación. La misma situación sucede con la combinación conjunta de barrera-altura.

Efecto	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	p
Intercepción	0,000465	1	0,000465	229,797 5	0,00000 0
barrera	0,000050	1	0,000050	24,5842	0,00000 2
distancia	0,001014	3	0,000338	167,004 6	0,00000 0
altura	0,000011	1	0,000011	5,4256	0,02123 4
barrera*distancia	0,000189	3	0,000063	31,1049	0,00000 0
barrera*altura	0,000001	1	0,000001	0,6674	0,41529 9
distancia*altura	0,000031	3	0,000010	5,0814	0,00225 5
barrera*distancia*altura	0,000005	3	0,000002	0,7614	0,51747 8
Error	0,000291	144	0,000002		

TablaVI: Análisis de la Varianza con todas las variables

Dado que los efectos significativos se producen principalmente a partir de las variables individuales (barrera, distancia y altura) se priorizó trabajar los efectos de manera independiente para cada variable.

Por lo tanto, se observaron para cada tratamiento (con y sin barrera) y para cada altura (2 y 6 m) los efectos de interés, delante y detrás de la barrera para la variable concentración del trazador.

En todos los tratamientos que se detectaron diferencias significativas, la comparación de las medias se realizó mediante el test de Tukey, con un nivel de significación del 5%.

Las pruebas F aplicadas a cada tratamiento (con y sin barrera) indicaron que existe un efecto significativo generado por la distancia, con un nivel de significación del 5%, entre las concentraciones captadas en las diferentes estaciones de muestreo, tanto a 2 m como a 6 m de altura “Tablas VII - X”.

Efecto	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados Medios	F	p
Intercepción	0,000237	1	0,000237	147,4116	0,000000
distancia	0,000599	3	0,000200	124,4425	0,000000
Error	0,000058	36	0,000002		

Tabla VII: Análisis de la Varianza para el tratamiento con barrera a 2 m de altura.

Efecto	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados Medios	F	p
Intercepción	0,000175	1	0,000175	71,7588	0,000000
distancia	0,000444	3	0,000148	60,7095	0,000000
Error	0,000088	36	0,000002		

Tabla VIII: Análisis de la Varianza para el tratamiento con barrera a 6 m de altura.

Efecto	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados Medios	F	p
Intercepción	0,000090	1	0,000090	38,52961	0,000000
distancia	0,000167	3	0,000056	23,79074	0,000000
Error	0,000084	36	0,000002		

Tabla IX: Análisis de la Varianza para el tratamiento sin barrera a 2 m de altura.

Efecto	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados Medios	F	p
Intercepción	0,000025	1	0,000025	14,7284	0,000483
distancia	0,000027	3	0,000009	5,3329	0,003823
Error	0,000062	36	0,000002		

Tabla X: Análisis de la Varianza para el tratamiento sin barrera a 6 m de altura.

Mediante el test de Tukey, se confirmó que en todos los tratamientos y para ambas alturas, existen diferencias significativas entre los valores medios determinados en la estación de muestreo “a”, respecto a los tratamientos b, c y d “Tablas XI - XIV”, “Figs. 34-37”. Por lo cual es necesario realizar un análisis individual de las estaciones de muestreo ubicadas delante de la barrera y por separado analizar el comportamiento detrás de la barrera.

	Estaciones de muestreo	medias	1	2
4	d	0,000084	b	
3	c	0,000156	b	
2	b	0,000355	b	
1	a	0,009135		a

Tabla XI: Comparación de las concentraciones medias de trazador, obtenidas en las estaciones de muestreo del tratamiento con barrera a 2 m de altura.

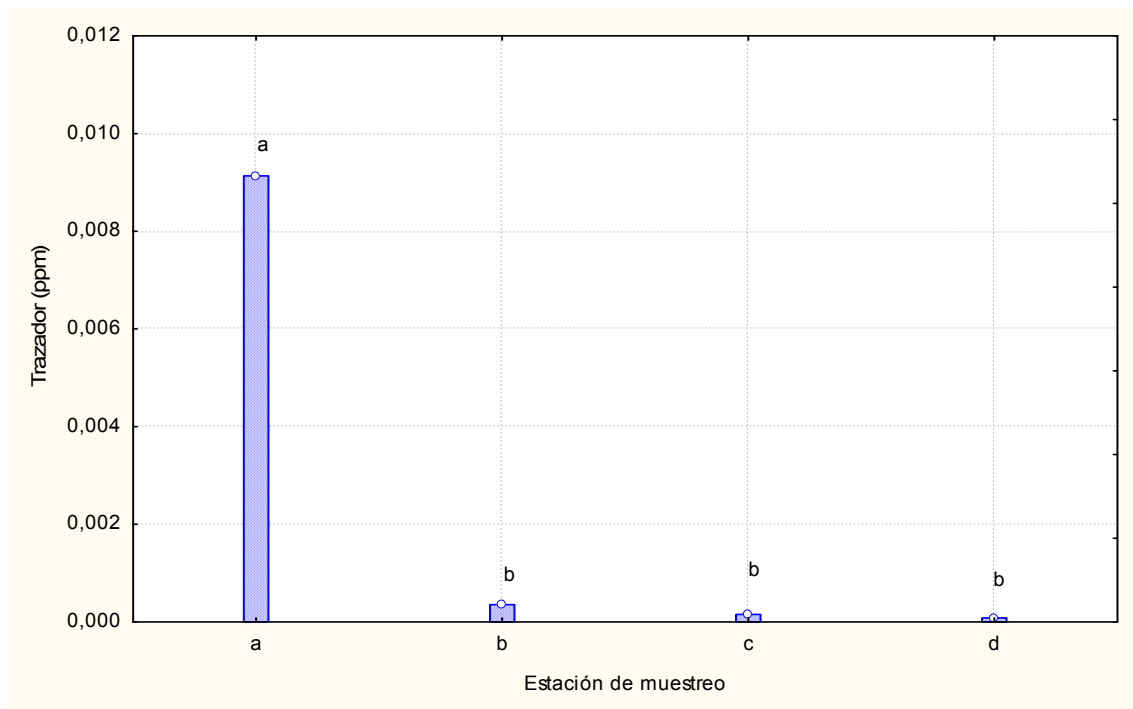


Figura 34: Comparación de las concentraciones medias de trazador, obtenidas en las estaciones de muestreo del tratamiento con barrera a 2 m de altura.

	Estaciones de muestreo	medias	1	2
4	d	0,000095	b	
3	c	0,000161	b	
2	b	0,000248	b	
1	a	0,007865		a

Tabla XII: Comparación de las concentraciones medias de trazador, obtenidas en las estaciones de muestreo del tratamiento con barrera a 6 m de altura.

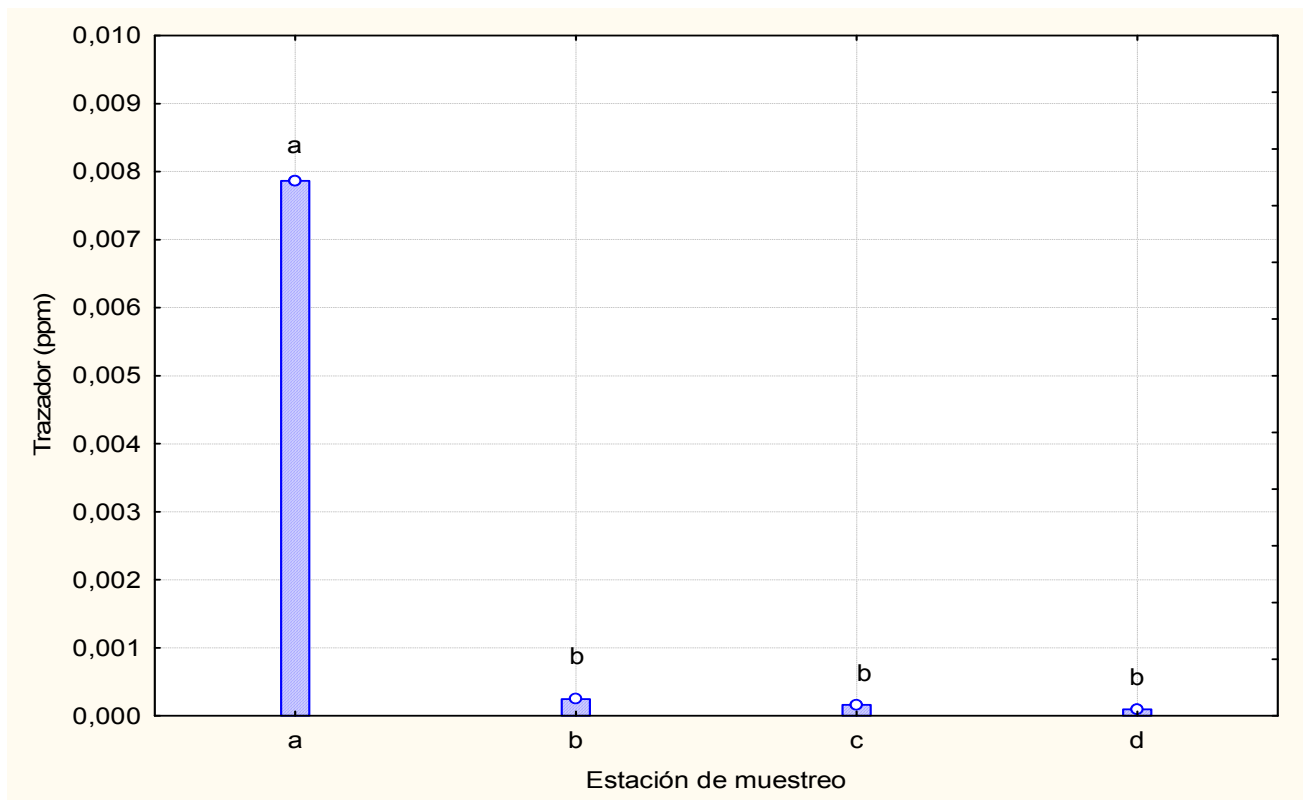


Figura 36: Comparación de las concentraciones medias de trazador, obtenidas en las estaciones de muestreo del tratamiento con barrera a 6 m de altura.

	Estaciones de muestreo	medias	1	2
4	d	0,000164	b	
3	c	0,000246	b	
2	b	0,000563	b	
1	a	0,005030		a

Tabla XIII: Comparación de las concentraciones medias de trazador, obtenidas en las estaciones de muestreo del tratamiento sin barrera a 2 m de altura.

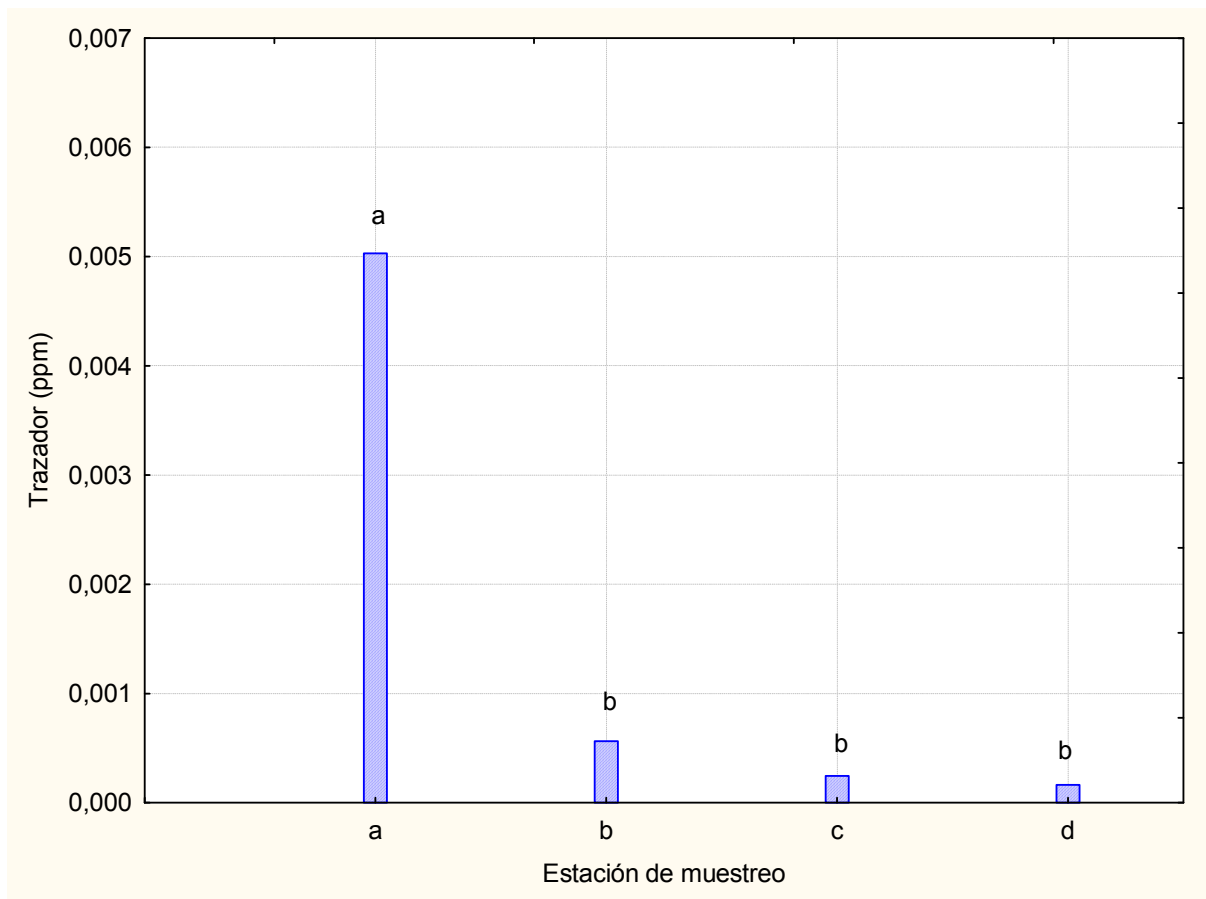


Figura 35: Comparación de las concentraciones medias de trazador, obtenidas en las estaciones de muestreo del tratamiento sin barrera a 2 m de altura.

	Estaciones de muestreo	medias	1	2
4	d	0,000195	b	
3	c	0,000290	b	
2	b	0,000473	b	
1	a	0,002215		a

Tabla XIV: Comparación de las concentraciones medias de trazador, obtenidas en las estaciones de muestreo del tratamiento sin barrera a 6 m de altura.

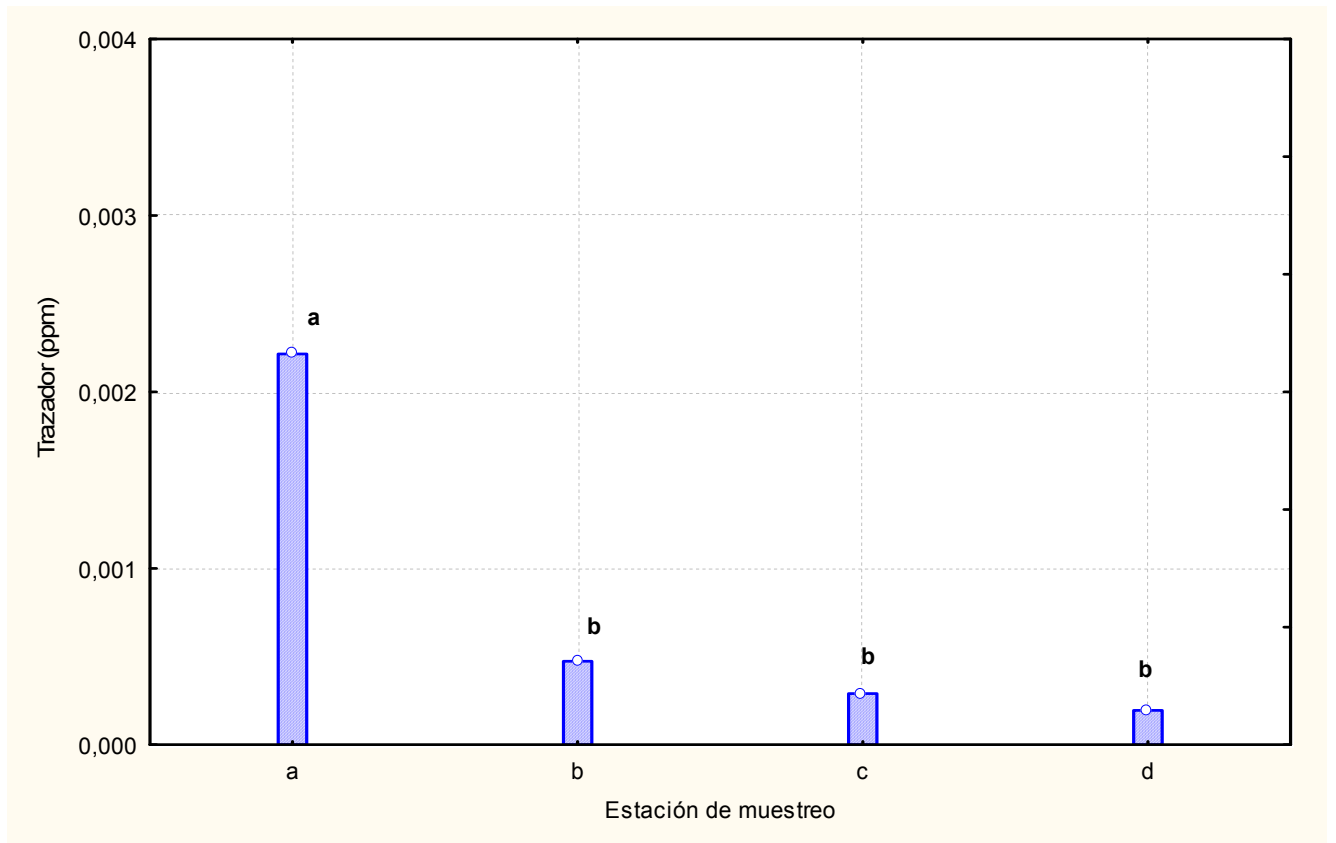


Figura 37: Comparación de las concentraciones medias de trazador, obtenidas en las estaciones de muestreo del tratamiento sin barrera a 6 m de altura.

4.3. Efecto barrera-distancia para ambas alturas de captación

4.3.1. Muestreo delante de la barrera

Se analizaron los datos obtenidos en las estaciones de muestreo “a” para los tratamientos con/sin barrera y ambas alturas de captación (2 y 6 m). Siendo los efectos de interés la concentración del trazador para cada altura.

La prueba F indicó que existen efectos altamente significativos de la barrera y la altura, con un nivel de significación del 5% entre las concentraciones captadas en las estaciones de muestreo “a” “Tabla XV”.

Efecto	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados Medios	F	p
Intercepción	0,001470	1	0,001470	183,5843	0,000000
barrera	0,000238	1	0,000238	29,7198	0,000004
altura	0,000042	1	0,000042	5,2116	0,028445
barrera*altura	0,000006	1	0,000006	0,7455	0,393621
Error	0,000288	36	0,000008		

Tabla XV: Análisis de la Varianza para la estación de muestreo “a” de los tratamientos con y sin barrera.

El test de Tukey con un nivel de significación del 5% “Tabla XVI”, demuestra que existen diferencias significativas entre las medias determinadas a 2 m de altura de los tratamientos con y sin barrera “Fig. 38”. El análisis demuestra que también existen diferencias significativas a 6 m de altura.

Tratamiento	Altura (m)	Trazador (ppm)	1	2
Sin barrera	2	0,005030	a	
Con barrera	2	0,009135		b
Sin barrera	6	0,002215	a	
Con barrera	6	0,007865		b

Tabla XVI: Comparación de las concentraciones medias de trazador, obtenidas en las estaciones de muestreo “a” de los tratamientos con y sin barrera en ambas alturas.

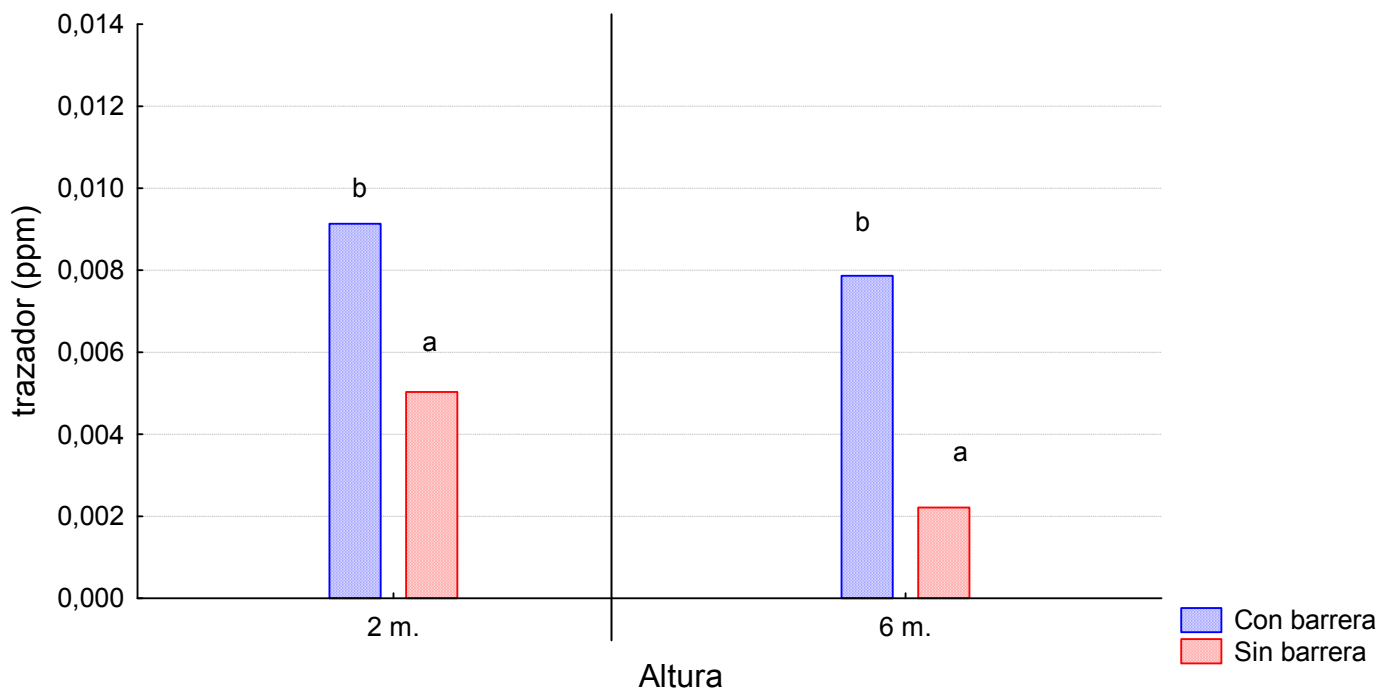


Figura 38: Comparación de las concentraciones medias de trazador, obtenidas en las estaciones de muestreo “a” de ambos tratamientos.

4.3.2. Muestreo detrás de la barrera

Se analizaron los datos obtenidos en las estaciones **b**, **c** y **d** ubicadas detrás de la barrera rompevientos para cada tratamiento (con y sin barrera) y para cada altura de captación (2 y 6 m). Siendo los factores de interés la concentración del trazador para cada altura y distancia.

La prueba F indicó que existen efectos altamente significativos de la barrera y distancia, con un nivel de significación del 5%, entre las concentraciones captadas en las estaciones de muestreo ubicadas detrás de la barrera “Tabla XVII”.

Efecto	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados Medios	F	p
Intercepción	0,000008	1	0,000008	257,1674	0,000000
barrera	0,000001	1	0,000001	19,4373	0,000025
distancia	0,000002	2	0,000001	27,0002	0,000000
altura	0,000000	1	0,000000	0,3156	0,575410
barrera*distancia	0,000000	2	0,000000	1,5525	0,216401
barrera*altura	0,000000	1	0,000000	0,1574	0,692329
distancia*altura	0,000000	2	0,000000	1,6574	0,195447
barrera*distancia*altura	0,000000	2	0,000000	0,0113	0,988718
Error	0,000003	108	0,000000		

Tabla XVII: Análisis de la Varianza para las estaciones de muestreo “b, c, d” con y sin barrera.

A fines explicativos, se presenta la figura 39 donde se compara para cada altura, las medias de las mediciones realizadas en las estaciones de muestreo ubicadas detrás de la barrera. Cabe destacar que para todas las distancias propuestas, se observa que los valores del trazador son menores para el tratamiento ‘con barrera’ respecto al otro tratamiento.

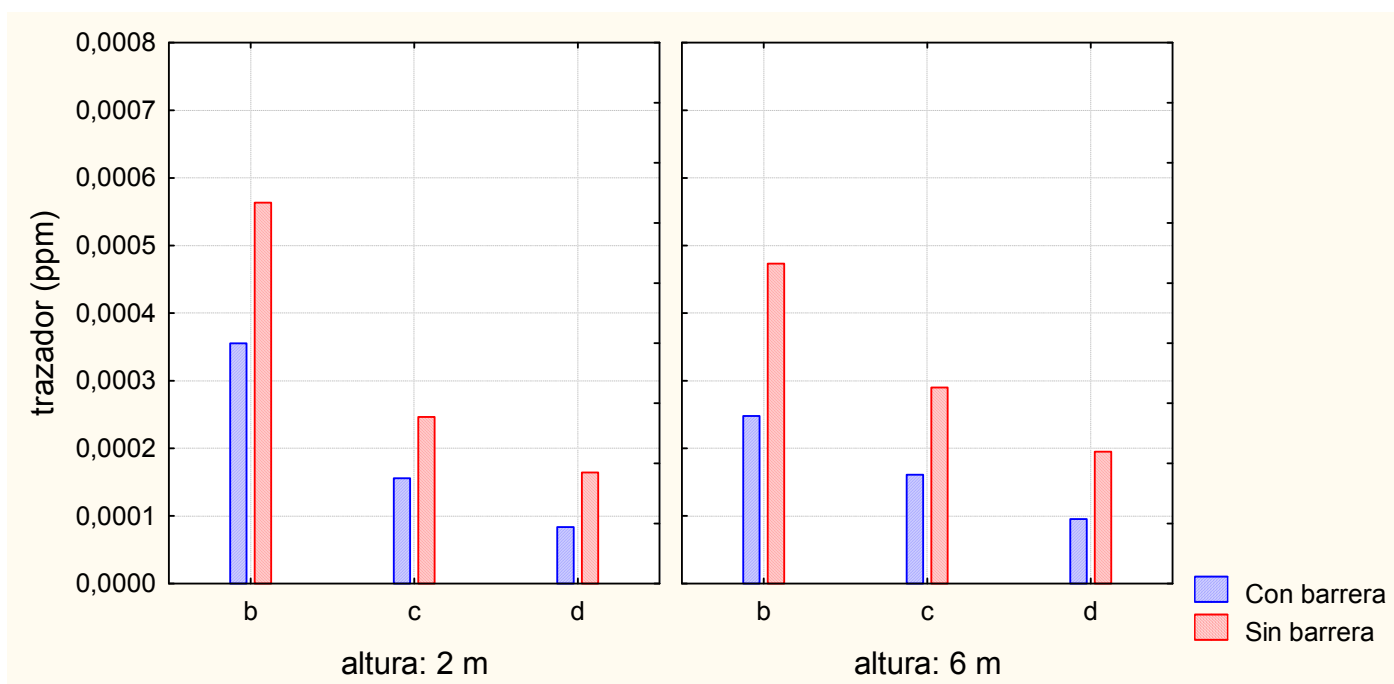


Figura 39: Comparación de concentraciones promedio de trazador, obtenidas en las estaciones ubicadas detrás de la barrera.

5. DISCUSION

Al comparar los resultados del tratamiento sin barrera “Figs. 25-26” con la investigación realizada por Copes en el 2005 “Fig. 12”, podemos observar que hay similitud respecto al comportamiento de la deriva de las pulverizaciones, lo cual le otorga mayor consistencia al desarrollo del presente estudio.

En ambos casos se utilizó la misma metodología de muestreo, comprobándose que la deriva llega al menos a 50 m de la última fila pulverizada. Observando además un comportamiento no lineal de la deriva, donde la concentración del trazador disminuye progresivamente con la distancia.

Las mediciones demostraron que la concentración promedio del trazador captado delante de la cortina rompevientos en ambas alturas muestreadas, es significativamente superior que la obtenida en el tratamiento sin barrera. “Fig. 38”. Además, delante de la cortina rompevientos, las concentraciones medidas del trazador presentaron mayor variabilidad que la obtenida en el tratamiento sin barrera “Figs. 31-32”. Estos fenómenos pueden deberse al efecto que genera la barrera vegetal sobre el viento (turbulencia y vientos ascendentes), sumados al flujo de aire del pulverizador. Según explica Cleugh (1998) la cortina rompevientos provoca que la mayor parte del flujo de aire se eleve para superar este obstáculo “Fig. 40”. Al considerar el modelo de Johstone, la dirección resultante de una gotita suspendida en el aire será consecuencia de los efectos combinados de la fuerza de gravedad (V_f), la velocidad del viento incidente (V_x) y en este caso, la velocidad del viento ascendente (V_a) “Fig. 41”.

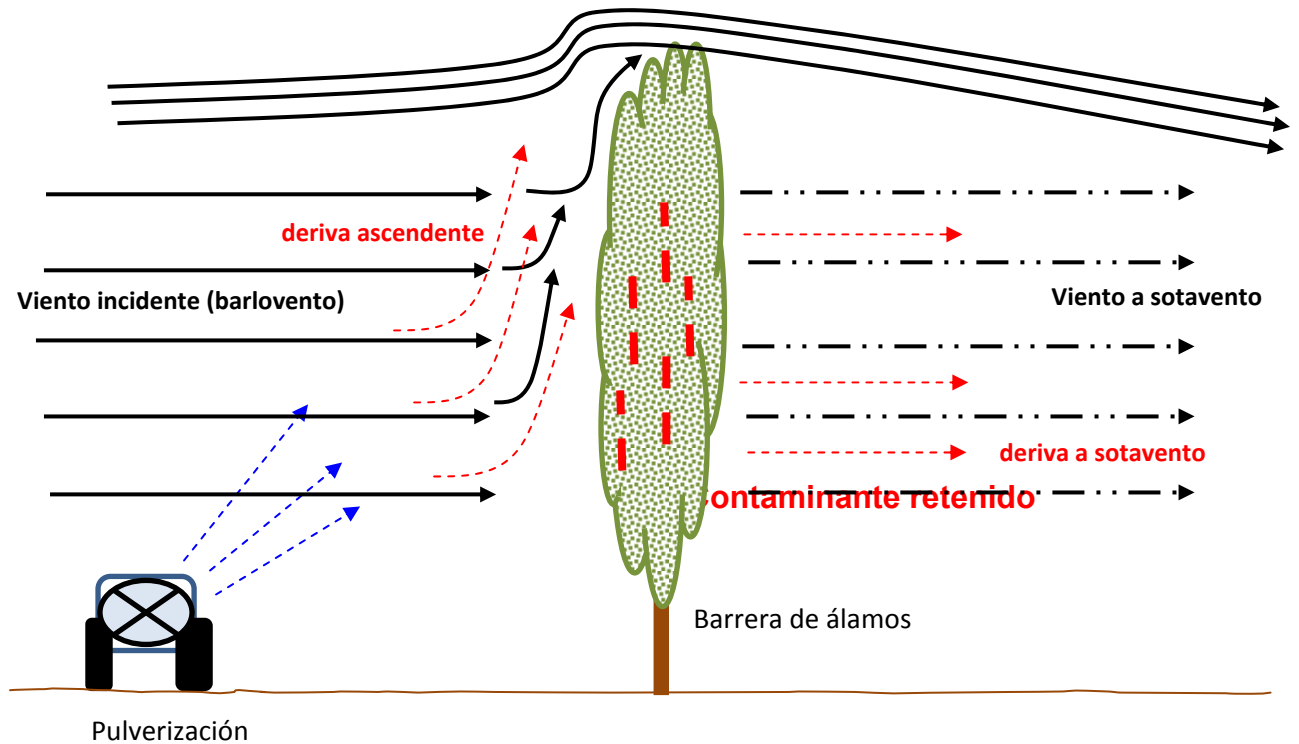


Figura 40: Movimiento ascendente del aire ante la barrera rompevientos.

Como menciona Matthews (2000), durante una pulverización se generan una amplia gama de tamaños de gotas que van desde los 10 a 1000 μm . El autor especifica que el viento ascendente afecta principalmente a las gotitas más pequeñas, mientras que las gotas más grandes tenderán a depositarse debido a la fuerza de gravedad. Por lo tanto podríamos pensar que del conjunto de gotas que componen la deriva, al llegar a la barrera rompevientos, las más pequeñas serán elevadas por el viento ascendente y podrían superar la barrera, mientras que las de mayor tamaño serán atraídas hacia el suelo por efecto de la gravedad. De esta manera, parte de la deriva no superaría la barrera rompevientos y caería dentro del predio donde se realiza la pulverización, con lo cual podrían ser parte de la denominada endoderiva.

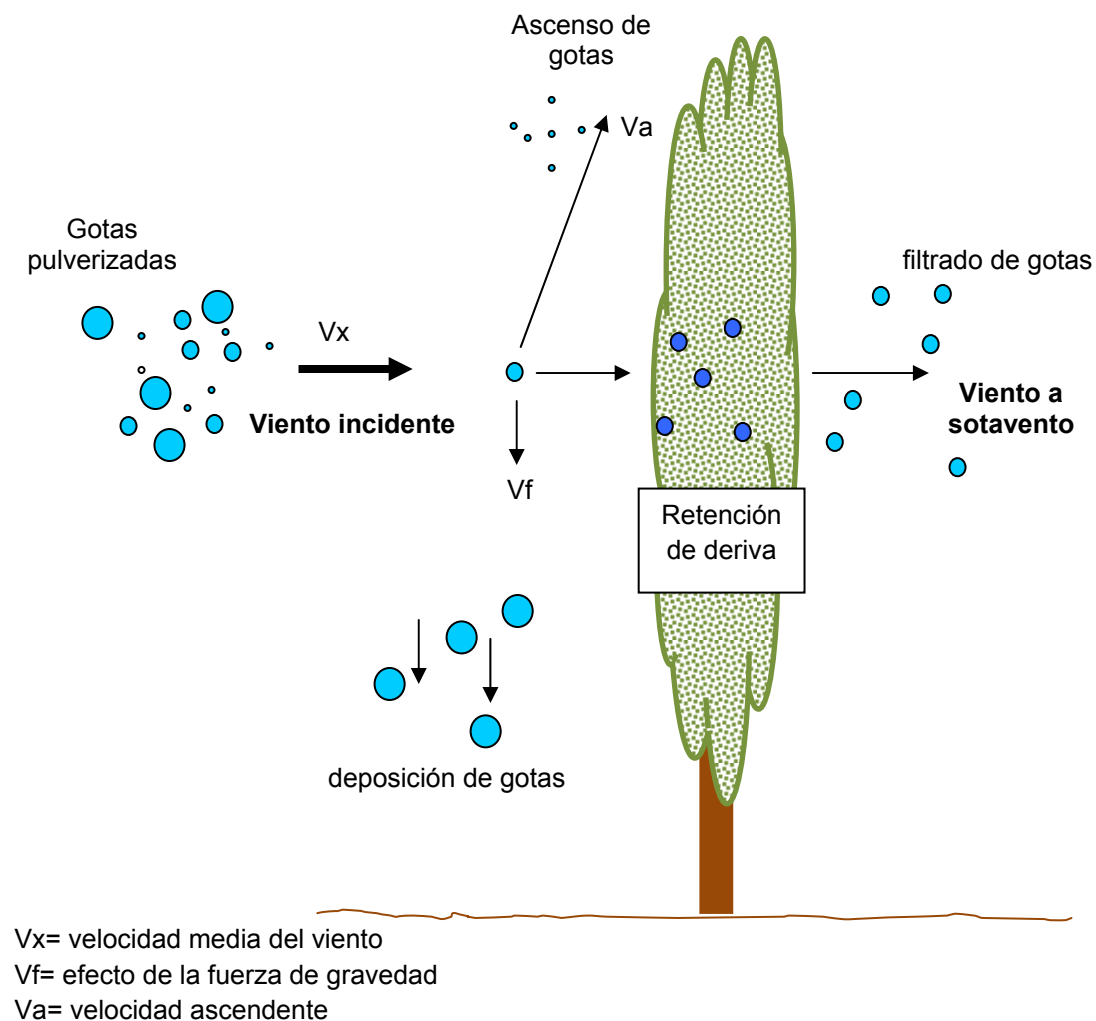


Figura 41: Modelo de Johstone aplicado a las gotas pulverizadas

Las concentraciones del trazador medidas detrás de la barrera rompevientos, fueron considerablemente inferiores al tratamiento sin barrera. “Fig. 39”. Ésta reducción de la contaminación podría deberse a un efecto de filtrado generado por los árboles. En coincidencia con lo mencionado por Guyot (1989) que establece que en una barrera permeable, parte del viento incidente ascenderá para sortear el obstáculo por arriba y otra pasará a través de la misma, posibilitando que los contaminantes entren en contacto con la superficie foliar.

También Alcalá et al. (2008) mencionan que las hojas de los árboles tienen la facultad de retener los contaminantes atmosféricos, tanto gotas microscópicas como partículas en suspensión. Es de esperar que la carga de contaminantes del viento a sotavento que superó la barrera vegetal, sea menor que la del viento incidente a barlovento, debido a que parte de los contaminantes serían retenidos por la superficie foliar.

Sin embargo, la retención no sería eficiente para velocidades de viento moderados a fuertes, debido a que como destacan Golberg et al. (2003) las hojas anchas, como la que poseen los álamos, tienden a colocarse de forma paralela al flujo de aire a medida que aumenta la velocidad del viento. Por lo cual la porosidad aumentaría a medida que se incrementa el viento, la barrera se tornaría más permeable y posiblemente los contaminantes acarreados por el viento no serían interceptados por las hojas. Sería un error afirmar que en presencia de una cortina rompevientos, se podría pulverizar con vientos moderados sin contaminar zonas vecinas.

Los resultados permiten inferir que la capacidad de las barreras vegetales para retener parte de la deriva y disminuir la contaminación en áreas vecinas, permitirían que los plaguicidas depositados sobre las hojas de los árboles queden expuestos por más tiempo a la degradación. Esta afirmación se sustenta en el trabajo de Fishel (1991) quien menciona que los plaguicidas en el ambiente pueden ser degradados por biodegradación, fotodegradación y degradación química.

La biodegradación, como mencionan Golovlena et al. (1990), ocurre principalmente en el suelo y en sitios donde existen condiciones de humedad adecuadas para el desarrollo de microorganismos. Ortiz-Hernández et al. (1997) aseguran que las hojas de los árboles las condiciones son desfavorables para el desarrollo de microorganismos y por lo tanto la biodegradación no se produciría. No obstante por tratarse de árboles perennes que eliminan sus hojas anualmente, estas caen y están sujetas a la degradación provocada por los microorganismos del suelo, como señalan Madrigal-Monarez (2004).

En cuanto a la degradación química, Kerle et al. (1994) la atribuye principalmente a la hidrólisis generada por la humedad del suelo, cursos de agua o en las hojas de las plantas en ambientes de clima húmedo.

Por lo tanto, la fotodegradación parecería ser el proceso más factible que ocurra. Toshiyuki (2004) explica que la velocidad de la fotodegradación en las hojas de las plantas depende de la intensidad de UV y del tiempo de exposición a la misma “Fig. 42”.

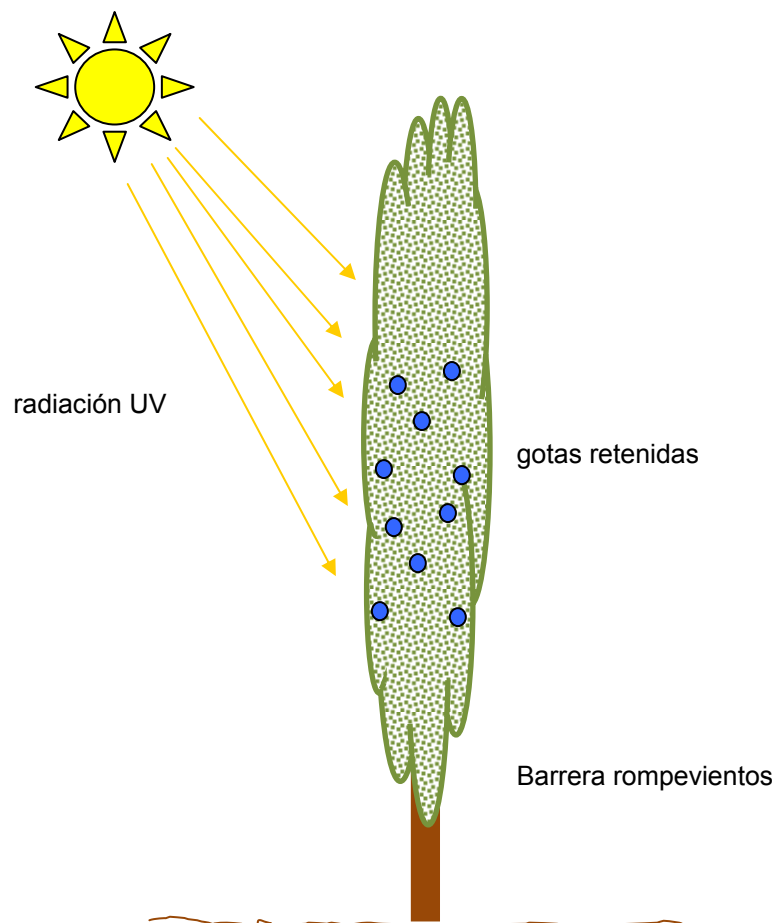


Figura 42: Incidencia de la radiación solar sobre el árbol

En las estaciones del año en que se aplican los plaguicidas en el Alto Valle (primavera-verano) la intensidad de la radiación UV es alta en nuestra región. Si tenemos en cuenta que la retención de los plaguicidas en las hojas, aumentaría el tiempo de exposición a las radiaciones solares, se vería favorecida la fotodegradación.

Este fenómeno coincidiría con los estudios realizados por Navarro et al. (2006) en las hojas de plantas de vid en Mendoza donde, con clima similar al norpatagónico, los investigadores atribuyeron la degradación de los plaguicidas principalmente a las altas temperaturas y a la radiación UV.

6. CONCLUSIÓN

Las barreras de álamos utilizadas para mitigar los efectos del viento sobre los cultivos, generan un efecto significativo sobre la deriva de las pulverizaciones fitosanitarias.

En las condiciones de esta evaluación con vientos débiles, la cortina vegetal provoca una disminución de la deriva a sotavento, atenuando la contaminación en áreas vecinas.

Si bien no se analizaron los aspectos anemométricos por los cuales la barrera genera este efecto, se pudo comprobar que no solo la cortina vegetal retiene contaminantes sino que también concentra parte de la deriva dentro del predio pulverizado, aumentando la denominada endoderiva.

La retención de las gotas aerotransportadas captadas por las hojas, permitiría que los plaguicidas queden expuestos por mayor tiempo a la fotodegradación por UV. Mientras que los pesticidas presentes en las hojas que caen al suelo, podrían estar sujetos a la degradación microbiana.

6.1. Aporte metodológico y recomendaciones

Se recomienda que en las zonas productivas del Alto Valle, se utilicen cortinas vegetales en todo el perímetro de la chacra, no solo en los sectores de vientos predominantes. De manera que la cortina rompevientos tenga un doble propósito, por un lado permita mitigar los efectos del viento sobre los cultivos y a la vez disminuir la contaminación en áreas vecinas.

En cuanto a los municipios del Alto Valle, deberían incorporar en la planificación urbana-ambiental directivas para que en las chacras linderas a caminos, rutas, barrios periféricos, población y escuelas rurales, sea obligatorio la utilización de barreras vegetales para disminuir la contaminación de las pulverizaciones.

7. BIBLIOGRAFIA

ALCALA, J., M. SOSA, M. MORENO, C. QUINTANA, A. CAMPOS & C. HOLGUIN., 2008.- Retención de polvo atmosférico en especies arbóreas indicadoras de la planeación urbana sustentable. Facultad de Zootecnia. Universidad Autónoma de Chihuahua, México. *Multequina* 17: 17-28.

ALEXANDER, M., 1980.- Introducción a la microbiología del suelo. Ed. AGT. Mexico D.F: 27-114.

ANGUIANO, L., M. MONTAGNA, A. FERRARI, S. SOUZA, J. SOLEÑO & A. PECHÉN., 2004.- Conociendo los efectos adversos de los plaguicidas podremos cuidar nuestra salud y la del ambiente. Ed. LIBIQUIMA - Facultad de Ingeniería y Escuela Superior de Salud y Ambiente. Universidad Nacional del Comahue. 13-40.

BALDOIN, C., F. AMISTA & A. ZELANTE., 2001.- Quality of distribution, drift and ground losses from four low-volume orchard sprayers on Apple. *Parasitica* 57:115-125.

BOLDES, U., J. COLMAN & J. MARAÑÓN DI LEO., 2003.- Viento, Suelo y Plantas. Características del viento. INTA. EEA Anguil. 1: 11-12.

CAI, S. & J. STARK., 1997.- Evaluation of five fluorescent dyes and triethyl phosphate as atmospheric tracers of agricultural sprays. *Journal of Environmental Science & Health – Part B: Pesticides, Food Contaminants & Agricultural Wastes*. 32 (6): 969-983.

CALTAGIRONE, L., 1981.- Enfoque general sobre plaguicidas y su impacto en el hombre y medio ambiente. Seminario sobre el Uso de plaguicidas en Panamá, su efecto en la salud y el medio ambiente. Consortium for International Crop Protection. Panamá.(1): 2-12.

CAVALLO, A., 1997.- Uso seguro de plaguicidas. Bs As. Argentina. *Marca Líquida* 7(61). 5-6.

CAR (2005) Censo de Agricultura bajo Riego.- Secretaría de Estado de Fruticultura. Ministerio de Economía. Río Negro. Argentina. 5-18.

Censo Agroindustrial 2001. Secretaría de Estado de Fruticultura. Ministerio de Economía. Río Negro. Argentina.3-35.

CEPAL. 1991.- Impacto ecológico de contaminantes atmosféricos. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. 3 de Julio Santiago de Chile. 8-9.

CICHON, L. & D. FERNANDEZ., 1993.- Guía de pulverizaciones para frutales de pepita y carozo. Recomendaciones generales para las pulverizadoras. EEA Alto Valle INTA - GTZ. 107 pp.

CICHON, L. & J.C. MAGDALENA., 1992.- Avances en la determinación de los volúmenes apropiados a pulverizar en los distintos montes de manzanos en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén. Rivista di Agricoltura Subtropicale e Tropicale. Istituto Agronomico per L'oltramare. 1 (2): 357-362.

CLEUGH, H., 1998.- Effects of windbreaks on airflow, microclimates and crop yields. Agrofor. Syst.41.55-84

COSCOLLA, R., 2009.- Residuos de Productos Fitosanitarios. Dirección General de Investigación y Tecnología Agroalimentaria. Valencia. España. 1-8.

COPEL, W., 2005.- Contaminación del aire por deriva de pulverizaciones. Tesis de grado. EEA Alto Valle. INTA. 35-43

CUNNINGHAM, R., J. BRANN & G. FLEMING., 1962.- Factors Affecting the Evaporation of Water from Droplets in Airblast Spraying. J. Of Econ. Ent. 55 (2): 192-199.

DALMASSO, A., R. CANDIA & J. LLERA., 1997.- La vegetación como indicadora de la contaminación por polvo atmosférico. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad de Cuyo. Mendoza. 91-97

DGEyC Río Negro (Dirección General de Estadísticas y Censos de la Provincia de Río Negro). 2008.-. Actividad Económica del año 2008. 4-7

DI PRINZIO, A., 2004.- Tunel pulverizador para manzanos de alta densidad, diseño y calidad de aplicación. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Mecanización y Tecnología Agraria. 73-104.

DI PRINZIO, A., S. BEHMER, J. MAGDALENA & J. GIULIETTI., 1998.- Pérdidas provocadas por pulverizadoras hidroneumáticas en fruticultura. *In: Ingeniería Rural y Mecanización Agraria en el Ámbito Latinoamericano*. Ed. Universidad Nacional de La Plata, Argentina. 214-220.

DI PRINZIO, A., S. BEHMER, J. MAGDALENA & G. STRIEBECK., 2004.- Técnicas de aplicación de agroquímicos en huertos frutales. Su relación con la ventana de tratamientos. *Agro-Ciencia* 20(1):33-38

DI PRINZIO, A., S. BEHMER, J. MAGDALENA & G. STRIEBECK., 2004.- Evaluation of application techniques in dwarf apple trees. *Agro-Ciencia* 20(2):73-83

DNRQ (Departamento de Recursos Naturales de Queensland). 1997.- Planning Guidelines. Separating Agricultural and Residential Land Uses. Resource Sciences Centre. 1-11

DORUCHOWSKI, G., B. LABANOWSKA & W. GOSZCZYNSKI., 1995.- Influence of spraying technique on the efficacy of the control of twospotted spider mite (*Tetranychus urticae* Koch) on black currant bushes. *Journal-of-Fruit-and-Ornamental-Plant-Research*. Poland, 1993, 3: 103-113.

DPI (Department of Primary Industries). 2002.- Using buffer zones and vegetative barriers to reduce spray drift. Nota N° AGO 860. Melbourne, Victoria. Australia. 1-3

EBELING, W., 1979.-The fruited plain. The Story of American Agriculture. University of California. Press, Berkeley. 433

ELLENBERGER, J., 1998.- Case Studies on Controversial Drift Problems. Office of Pesticide Programs, U.S. EPA Washington, DC.

ENRIQUEZ, A., 2000.- Evaluación del riesgo ambiental a la liberación de plaguicidas. Laboratorio de Ecotoxicidad. Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), Chile. Sinexis S.A. Fuente: [www. Monografías.com](http://www.Monografías.com).

FAO. 1996.- Código internacional de conducta para la distribución y utilización de plaguicidas. Roma, Italia. 23.

FENSKE, R. & E. DAY., 2005.- Assessment of Exposure for Pesticides Handlers Agricultural, Residential and Institutional Environments. Occupational and Residential Exposure Assessment for Pesticides. 24-28

FERBEL, H., 1980.- Correct selection of droplet size. Projects and application services, Ciba-Geigy, Basle Switzerland. A.G. 8-11

FISHEL, F., 1991.- Pesticides and the environment. Department of Agronomy. University of Missouri. Columbia. EEUU. 1-6

FRANKLIN, C., N. MUIR & R. MOODY., 1986.- The use of biological monitoring in the estimation of exposure during the application of pesticides, *Toxicol. Lett.*, **33**, 127-136.

FUNBAPA (Fundación Barrera Zoofitosanitaria Patagónica. Patagonia Norte). 2007.- Anuario Estadístico de manzana y pera 2007.

GARRIDO, A., J. MALAGON & T. DEL BUSTO., 1990.- Persistencia de plaguicidas y efecto de la radiación solar en su eficacia para el control de *Capnodis tenebrions* (L.). Bol. Sanidad Vegetal. Plagas, 16:183-188

GIL, Y. & C. SINFORT., 2005.- Emisión of pesticides to the air during sprayer application. Atmos Environ. 39: 83-93

GIL MOYA, E., 1993.- Pérdidas de productos fitosanitarios por deriva. Máquinas y tractores 3:76-84.

GOLBERG, A., U. BOLDES & J. COLMAN., 1998.- Influencia de los vientos de diferentes niveles de turbulencia sobre el crecimiento de las plántulas de trigo. Comunicaciones XXII Reunión Argentina de fisiología vegetal. Mar del Plata Argetnina. 140-141

GOLVLENA , L., R. AHARONSON, N. GREENHALG, N. SETHUNATHAN & W. VONK., 1990.- The rol and limitations of microorganism in the conversion of xenobiotics. Puer and Apl. Chem 62. 351-364.

GRACE, J., 1988.- Plant response to wind. Agric. Ecosystems Environ. 22: 71-88

GRANIER, L. & M. CHEVREUIL., 1992.- On the use of tree leaves asbioindicators of the contamination of air by organochlorines in France. Water, Air and Soil Pollution 64: 575-584

GULDMANN, J. & D. SHEFER., 1980.- Industrial Location and Air quality Pollution Control Association. 21: 341-346

GUYOT, L., 1989.- Les effets microclimatiques des brise-vent et des aménagements régionaux. Tech. Agric. 1170:1-27

HEISLER, G. & D. DEWALLE., 1988.- effects of windbreak structure on wind flow. *Agric. Ecosystems Environ.* 22/23. 41-69

HOLLOWAY, P., 1970.- Surface factors affecting the wetting of leaves. *Pesticide Science*, 1; 156-163.

JIMENEZ – MENDEZ, J., 2004.- Determinación de la curva de degradación de cinco plaguicidas usados en la producción de Culantro Coyote para la exportación en Costa Rica. Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. Montecillo. México. 22-36

JOHNSTONE, D., K. HUNTINGTON & W. KING., 1974.- Micrometeorological and operational factors affecting ultra-low volume spray applications of insecticides on to cotton and other crops. *Aric. Met.* 1 (13): 39-57.

KERLE, E., J. JENKINS & P. VOGUE., 1994.- Understanding pesticide persistence and mobility for groundwater and surface water protection. Extension Service. Oregon State University. 1-8.

KHOUKHI, T., R. CHERKAoui, A. CHOUAK, Z. MOUTIA, M. LFERDE & A. SENHOU., 2005.- Comparative use of tree leaves, needles, tree barks and lichens for air pollution biomonitoring. *Physica Scripta*. T118: 211-214.

KIN, A. & J. LEDENT., 2003.- Viento, Suelo y Plantas. Características del viento. INTA. EEA Anguil. 4: 47-65.

KUCHELMEISTER, G., 1998.- Urban forestry in the Asia-Pacific Region- status and prospects. Asia-Pacific Forestry Sector Outlook Study Working Paper Series N° 44. Roma. FAO.

LANDERS, A. & H. REISSIG., 2002.- Development of method for measuring pesticide deposits in apple trees. Cornell University, NYSAES, Geneva.

<http://www.nysaes.cornell.edu/ent/faculty/landers/pestapp/publications/>

LEUTY, T., 2005.- Improving Spray Application and Reducing Spray Drift with Farm Windbreaks. OMAFRA. Ministry of Agriculture, Food & Rural Affairs, Ontario Canadá. 1-8.

LOEWY, M., G. CARVAJAL, M. NOVELLI & A. PECHEN., 2003.- Effect of Pesticide use in Fruit Production Orchards on Shallow Ground Water. *J. Environ. Sci. Health, B-Pesticides, Food Contaminants and Agricultural Wastes*, Marcel Dekker Inc. B38 (3), 317-325.

LOEWY, M., G. MAGNARELLI, M. MONTAGNA, A. VENTURINO & A. PECHEN., 2003.- Impacto de la plaga carpocapsa. FUNBAPA. Cap. 3 Impacto de los plaguicidas en el medio ambiente y la salud humana. 37-70.

MADRIGAL-MONARREZ, I., 2004.- Retención de plaguicidas en suelos de dispositivos amortiguadores; Barreras de hierba y zonas arboladas. Papel de las materias orgánicas. Institut Agronomique Paris-Grignona. 8-11.

MAFF (Ministry of Agriculture, Food and Fisheries). 1998.- Green Code; Code of practice for the safe use of pesticides on farms and holdings.. Her Majesty Stionary, London England.

MAGDALENA, J. & S. BEMHER., 2000.- Avances en Ingeniería Agrícola. Ed. Facultad de Agronomía. UBA. Reducción de la Tasa de Aplicación en Perales (*Pyrus communis*) Conducidos en espaldera. 183-186.

MAGDALENA, J., E. SANCHEZ & S. BEMHER., 2002.- Concentrated Spray Applications in Pear Trellising. Acta Hort. (ISHS) 596: 579-581.

MAGNARELLI, G. & A. PECHEN., 1987.- Perturbation effect of organophosphate insecticides on human erythrocyte. Bull Environ Contam Toxicol 39. 802-806.

MAGNARELLI, G. & A. PECHEN., 1993.- Phosphoinositide phosphorylation and shape changes produced by phosmetoxon in human erythrocytes. Comp Biochem Physiol 106C, 561-566.

MAGNARELLI, G. & G. ROVEDATTI., (2004) Informe y recomendaciones sobre el muestreo de colinesterasas. Convenio de colaboración INTA-Universidad del Comahue.

MAILLE, P., 2001.- Farmer participation in riparian buffer zone programs. Science and Society Series. Paper N°1. Institute Cacapon. Virginia. EEUU. 1-10.

MATTHEWS, G.A., 1987.- Métodos para la aplicación de pesticidas. 1ª Edición. Edit. Continental S.A. DE C.V. 76-109.

MATTHEWS G.A., 2000.- Pesticide application methods. Blackwell Science, London. England. 432

MEHTNER, M. & R. FENSKE., 1994.- Pesticide Exposure During Greenhouse Applications, Part I. Dermal Exposure Reduction Due to Directional Ventilation and Worker Training, *Appl. Occup. Environ. Hyg.*, **9**, 560–566.

MERLI, R. & C. NOGUÉS., 1996.- Evolución de la rama frutícola del Alto Valle. Configuración de la estructura actual. Ed. La Colmena. 5-7.

MESZÁROS, E., 1999.- Fundamentals of Atmospheric Aerosol Chemistry. Akademiai Kiado. Londres. RU. 304.

MILLER, P., 1993 .- Application Technology for Crop Protection. Cap 6: Spray drift and measurement. 101-122.

MINNESOTA DNR (Department of Natural Resources. Minnesota). 2007.- Statute 103E.021. Vegetation Buffer Strips. EEUU. November 2007

MONTAGNA, M., A. FERRARI, S. SOUZA, J. SOLEÑO, A. PECHÉN & L. ANGUIANO., 2004.- El cuidado de la salud humana y el ambiente mediante el manejo adecuado de plaguicidas. Ed. LIBIQUIMA - Facultad de Ingeniería y Escuela Superior de Salud y Ambiente. Universidad Nacional del Comahue. 1-29.

MORENO, G., E. MARTINEZ, A. FAGGI & B. VENTO., 2008.- Sedimentación atmosférica seca en hojas de *Morus alba* L. en la ciudad de San Juan. *Interciencia*. Vol.33. N°11: 844-849.

MOSQUERA, R. & M. PEÑUELA., 2009.- Biodegradación del malation utilizando microorganismos nativos de suelos agrícolas. *Rev. Colombiana de Ciencias. Pecuarias*. 22: 189-198.

MUIR, D., C. TEXEIRA & F. WANIA., 2004.- Empirical and modeling evidence of regional atmospheric transport of current-use pesticides. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 144, 2-3.

NAVARRO, R., V. BECERRA & M. GOMEZ., 2006.- Comportamiento de los residuos de plaguicidas utilizados en el control de *Planococcus ficus* S. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria INTA.Mendoza. 1-4.

NUYTTENS, D., B. SONCK, M. DE SCHAMPHELEIRE, W. STEURBAUT, K. BAETENS, P. VERBOVEN, B. NICOLAI & H. RAMON., 2006.- Experimental study of factors influencing the risk of drift from field sprayers. Meteorological conditions. *Aspects of Applied Biology. International Advances in Pesticide Application*. 77. 1-8.

ORTIZ HERNANDEZ, L., E. SANCHEZ SALINAS, R. VAZQUEZ & R. QUINTERO.,

1997.- Plaguicidas Organofosforados y Ambiente. Biotecnología 2(3). 129-151

PESSON, P., 1978.- Ecología forestal. El bosque: clima, suelo, árboles, fauna. Mundiprensa. Ed. Madrid España. 44 pp.

PFALZER, H., 1993.- Safety aspects and legislation trends. Application technology for crop protection. Cap 13. 13-33.

RANDALL, C., E. CROW & J. KASAI., 2006.- Nacional Pesticida Applicator Certification Core Manual. Pesticidas en the Environment. National Association of State Departments of Agricultura Reserarch Foundation. (7). 105-109.

RIQUELME, J., 1997.- Optimización de la pulverización neumática con máquina en arco en plantaciones de manzano de alta densidad. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. España. 181 pp.

RODRIGUEZ, A. & A. MUÑOZ., 2005.- Características climáticas del Alto Valle. Área Agrometeorología. EEA Alto Valle INTA. 1-28.

RODRIGUEZ, A., 2006.- Barreras rompevientos. Factores climáticos. Efectos sobre la calidad de la fruta Revista F&D N°40. EEA Alto Valle. INTA. 4-9.

ROMERO, C., 2005.- Técnicas de aplicación de medios biológicos para el control de plagas agrícolas. Dpto. de Medio Ambiente. Habana. Cuba. INISAV. 110 pp.

SAG. 1996.- Manual de plaguicidas de uso agrícola. Servicio Agrícola y Ganadero. Santiago. Chile. 100 pp.

SALYANI, M. & CROMWELL, R., 1992.- Spray drift from ground and aerial applications. Transaction of the ASAE 35(4): 1113-1120.

SANCHEZ, S., G. MAGNARELLI, G. ROVEDATTI, S. SANTA CRUZ & A. PECHEN., 2005.- Exposición no ocupacional a organofosforados en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén: alteraciones hematológicas en embarazadas. Acta Toxicológica Argentina 13, 49.

SANCHEZ, R. & MEZA F., 1986.- Efectos Nocivos de la Contaminación en el arbolado de la ciudad de Guadalajara. Tesis de grado. Facultad de Agricultura. Universidad de Guadalajara. 30-35.

SENASA (Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria). 2008.- Centro Regional Patagonia Norte. Anuario estadístico 2008.

SHARP, R., 1974.- Spray deposit measurement by fluorescence. *Pesticide Science*. 5. 197-209.

SOUZA, M., G. MAGNARELLI, G. ROVEDATTI, S. SANTA CRUZ & A. PECHEN., 2005.- Prenatal exposure to pesticides: analysis of human placental acetylcholinesterase, glutathione S-transferase and cabalase as biomarkers of effect. *Biomarkers* 10(5), 376-389.

TASSARA, M., E. THOMAS & A. RODRIGUEZ., 2008.- Barreras rompevientos. *Revista F&D N°57*. EEA Alto Valle. INTA. 32-37.

THISTLE, H., M. TESKE & R. READON., 1998.- Weather Effects on Drift. Meteorological Factors and Spray Drift. North American Conference on Pesticide Spray Drift Management. April 1998. 64-74.

TJADEN, R. & WEBER, G., 1997.- Riparian Buffer Systems. University of Maryland. EEUU. 724-733.

TORRES RODRIGUEZ, D., 2003.- El papel de los microorganismos en la biodegradación de compuestos tóxicos. Facultad de Agronomía. Universidad central de Venezuela. *Rev. Ecosistemas*. (2): 32-36.

TOSHIYUKI, K., 2004.- Photodegradation of pesticides on plant and soil surfaces. *Rev Environ Contam Toxicol*. 182: 5-15.

TURNER, D., 1970.- Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates. Department of Health, Education and Welfare. National Air Pollution Control Administration. Cincinnati. USA. PHS Publication N° 999-AP. 26 pp.

VAN EIMERN, J., J. KARSCHON., L. RAZUMOVA & G. ROBERTSON., 1964.- Windbreaks and shelterbelts. WMO. Technical Note N° 59 (WMO N° 147.T.P 70). 188 pp.

VANNUCCI, D., D. POCHI & E. RAPAELLI., 1998.- Spraying in vineyard: evaluation of airborne spray by aspirated air sampler. International Conference on Agricultural Engineering. Oslo 98. Paper 98-A-140. *AgEng*. 1-5.

VAPNARSKY, C., 1983.- Pueblos del Norte de la Patagonia. Editorial de la Patagonia. Fuerte General Roca. Buenos Aires. 1779 -17.

VISCHETTI, C., A. CARDINALI, E. MONACI, M. NICELLI, F. FERRARI, M. TREVISAN & E. CAPRI., 2008.- Measures to reduce pesticide spray drift in a small aquatic ecosystem in vineyard estate. Science of the Total Environment. N° 389: 497-502.

VOUDRIAS, E. & REINHARD, M., 1986.- Geochemical Processes at Mineral Surfaces. CS Symposium Series. 323. 462.

WOODS, N., G. DORR, J. NICHOLLS & A. LISLE., 2004.- Improving the ground and aerial application of pesticides in cotton: an Australian experience. Aspects of Applied Biology 71. 509-515.

ZINSSER, H., 2004.- Nutrition and growth of bacteria. Kenneth Todar University of Wisconsin-Madison Department of Bacteriology. 1-17.