

Uso de barreras vegetativas para la reducción de la deriva de plaguicidas en Uruguay.

Lista de contenidos:

1. Introducción
2. Deriva aérea de agroquímicos (exo-deriva)
3. Zonas buffer, barreras vegetativas y cortavientos
4. Funcionamiento y características estructurales de las barreras cortaviento
5. Barreras vegetativas para la reducción de la deriva de agroquímicos
 - 5.1. Porosidad
 - 5.2. Altura
 - 5.3. Posicionamiento
 - 5.4. Ancho
 - 5.5. Longitud, continuidad y forma de la sección transversal
 - 5.6. Barreras artificiales vs. Barreras vivas
 - 5.7. Especies de plantas
6. Casos de países que aplican barreras vegetativas como medida de reducción de deriva
7. Posibles usos y aplicaciones en Uruguay

Referencias

1. Introducción

El uso de plaguicidas en agricultura implica riesgos para el ambiente y la salud humana: se trata de sustancias químicas tóxicas que son aplicadas en los campos agrícolas para prevenir, destruir, repeler o mitigar cualquier plaga o maleza. Sin embargo, ningún plaguicida es exclusivamente tóxico para una sola especie, y una porción relevante de la cantidad total de producto aplicado no alcanza el organismo blanco y se vuelve parte del ambiente abiótico (Pimentel, 1995; Pimentel y Levitan, 1986). Estos compuestos tienen efectos ecológicos porque pueden alcanzar y envenenar organismos vivos no blanco, incluyendo los seres humanos. Se distinguen dos diferentes tipos de dispersión (deriva) de los productos en el ambiente: endo-deriva y exo-deriva. La endo-deriva es la porción de producto aplicado que, aun no alcanzando la plaga objetivo, queda adentro del lote tratado. El plaguicida, después de depositarse, puede volatilizarse en el aire (evaporación), escurrir o lixiviar en las aguas superficiales y profundas, ser adsorbido por las plantas u organismos del suelo o permanecer en el suelo mismo, dependiendo de las propiedades del principio activo, las condiciones climáticas y de cultivo, el tipo de suelo y de características del lugar como pendiente, hidrología y cercanía a cursos de agua (Wijnands, 1997). La exo-deriva es el transporte de las gotas de pulverización por el viento presente en el ambiente, que provoca una deposición del plaguicida fuera de los límites de la zona objetivo. Los plaguicidas que se depositan de esta forma, enfrentan el mismo destino y los mismos procesos descritos anteriormente por la endo-deriva, pero, dependiendo del uso del suelo en las zonas circunstantes, pueden causar problemas más graves y provocar conflictos de coexistencia.

El caso más representativo de este tipo de conflictos, relacionados a la exo-deriva, se verifica cuando la producción agrícola se encuentra inmediatamente adyacente a una zona residencial. En Uruguay, como en muchísimos otros países en toda parte del mundo, la expansión de las áreas urbanas hacia las periferias ha tenido como resultado que las zonas agrícolas y residenciales han entrado en estrecho contacto territorial. En estas situaciones surge la fundada preocupación por los riesgos de intoxicación directa que se puede verificar si el plaguicida entra en contacto, a través de la piel o de las vías respiratorias, con personas que se encuentran en las cercanías. Además, a parte las posibilidades de intoxicaciones agudas, también se genera preocupación por los efectos de largo plazo que pueden provocar fenómenos de bio-acumulación, con consecuencias negativas sobre la salud (Kim et al., 2017). Otra situación conflictiva, que mundialmente obtiene grande atención a nivel de políticas ambientales, es la cercanía de zonas agrícolas donde se usan plaguicidas con cursos o espejos de agua. El agua es un vector primordial de transporte de agroquímicos, y una de las principales fuentes de exposición para los seres humanos (Grolleau and McCann, 2012; Reichenberger et al., 2007).

La exo-deriva de plaguicidas puede afectar también cultivos limítrofes: un herbicida, por ejemplo, puede causar daños a cultivos no objetivos; o estos pueden ser contaminados por cualquier tipo de plaguicida y así alcanzar el consumidor final. En este contexto, un asunto particular es representado por la cercanía de sistemas productivos convencionales y agroecológicos (u orgánicos), ya que, además de los riesgos de daño y contaminación se destaca una interferencia, o alteración ecológica, provocada por un sistema a daño del otro.

Ambos fenómenos de endo- y exo-deriva son de creciente interés por la sociedad civil, cuya conciencia de los riesgos ambientales y sobre la salud se fue profundizando rápidamente en las últimas décadas. Para responder a la demanda social por un mayor cuidado del ambiente y por alimentos sanos e incontaminados, la investigación científica ha dedicado muchos esfuerzos a estos temas, avanzando significativamente en el conocimiento de los fenómenos de deriva y en el desarrollo de medidas de mitigación (reducción de riesgo). Estas medidas se pueden dividir en términos generales en tres categorías: (1) uso de zonas buffer sin aplicación o hasta sin cultivo; (2) reducción de la exposición utilizando barreras cortaviento, artificiales o naturales y (3) aplicación de tecnologías de reducción de deriva (Reichenberger et al., 2007).

El foco de este documento es la exo-deriva, y una de las medidas de mitigación relacionadas que han sido investigadas: el uso de barreras vegetativas. Esta herramienta es analizada y discutida en referencia a su empleo para la protección de áreas sensibles (zonas pobladas, cursos de agua) y para la separación de áreas con diferentes usos de suelo (mejora de las condiciones de coexistencia). Numerosas investigaciones comprobaron la efectividad de las barreras vegetativas en interceptar las gotas de plaguicidas transportadas por el aire. Sin embargo, no existen estudios específicos realizados en Uruguay, a pesar de que las barreras vivas son ampliamente utilizadas en el país como medida para reducir la velocidad del viento y sus efectos negativos sobre cultivos y animales. En general, una barrera vegetativa plantada para cumplir la función de cortaviento también tiene la capacidad de reducir la deriva de plaguicidas, pero diferentes ajustes pueden ser realizados para maximizar el cumplimiento de una u otra función.

El objetivo del documento es proporcionar a todos los actores involucrados una información robusta, basada en investigación científica, para un mayor y sistemático uso de las barreras vegetativas en las situaciones anteriormente descritas. También se quiere proveer datos que guíen la plantación, para maximizar la efectividad de la acción requerida. Para alcanzar este objetivo principal se aporta una síntesis de información sobre los mecanismos de exo-deriva (parágrafo 2), se describe en general el uso de las barreras vegetales en el contexto más amplio de las zonas buffer o de amortiguación (parágrafo 3), se describe el funcionamiento y las características estructurales de las barreras en relación a su acción sobre el flujo del viento (parágrafo 4) y se analizan los ajustes que determinan el potencial de las barreras en reducir la deriva de agroquímicos (parágrafo 5). En fin, se presentan experiencias de países que promueven la implementación de barreras vegetativas como medida de reducción de deriva u otros riesgos ambientales (parágrafo 6) y se plantean posibles usos y aplicaciones en casos específicos en Uruguay (parágrafo 7).

2. Deriva aérea de agroquímicos (exo-deriva)

La exo-deriva (a menudo llamada simplemente 'deriva') se define como la cantidad de plaguicida que es desviada fuera del área tratada por el efecto de las condiciones climáticas, durante el proceso de aplicación. Se considera un fenómeno inevitable, que puede ser reducido o mitigado sustancialmente, pero que no puede ser evitado completamente (Felsot et al., 2011). La exo-deriva es influenciada por ambos factores climáticos y técnicos. Entre las

variables climáticas, es importante considerar (1) la velocidad del viento, (2) la temperatura y humedad del aire y (3) la estabilidad atmosférica. La velocidad del viento, con sus componentes horizontales y verticales, influye directamente en el transporte de las gotas, y es el aspecto de mayor interés en este documento (ver párrafo 4). De hecho, las barreras vegetativas tienen el efecto de reducir la velocidad del viento, reduciendo así su capacidad de transportar gotas en deriva, además de interceptar las gotas mismas. La temperatura y humedad del aire determinan el nivel de evaporación de las gotas más finas. Esta volatilización es un proceso indeseable porque los principios activos en forma de vapor pueden ser transportados a grandes distancias y perderse en la atmósfera para depositarse nuevamente a tierra en forma de gas, partículas sólidas o con las precipitaciones atmosféricas (Gil y Sinfort, 2005). La exo-deriva en forma de vapor no es interceptada por las barreras vegetativas y no existen medidas de mitigación de riesgo una vez que se verifica. La estabilidad atmosférica determina la posibilidad que ocurran fenómenos de inversión térmica (alta estabilidad) y turbulencia de aire (baja estabilidad). En ambas condiciones, el nivel de deposición de una plaguicida aplicado a un cultivo puede ser notablemente reducido.

Los aspectos técnicos que influyen sobre las posibilidades de exo-deriva son (1) el tamaño de las gotas, (2) las características físico-químicas del plaguicida, (3) el tipo de equipo de pulverización utilizado, y (4) la altura de las boquillas respecto al suelo (Gil y Sinfort, 2005). Estos aspectos, que pertenecen al tema general de la calidad o eficiencia de aplicación, tienen importancia relevante en el perseguir el objetivo de reducir la deriva de agroquímicos, pero no serán ulteriormente discutidos en este documento.

Cada aplicación de plaguicida debe realizarse con las condiciones climáticas adecuadas y eligiendo los parámetros técnicos óptimos, para obtener una alta eficiencia de aplicación, lo cual a su vez también minimiza los riesgos de deriva y contaminación. Van den Berg et al. (1999) calcularon que durante una aplicación, hasta el 30-50% de la cantidad total aplicada puede ser perdido en el aire, si las condiciones climáticas y técnicas no son buenas. Por otro lado, respetando las reglas de 'buenas prácticas agrícolas' los fenómenos de exo-deriva son limitados. Estas normas siempre deben ser respetadas, independientemente de la presencia o ausencia de barreras vegetativas, las cuales aumentan el nivel de protección de áreas sensibles aportando también otros beneficios que se describen en el siguiente párrafo.

3. Zonas buffer, barreras vegetativas y cortavientos

Las zonas buffer (o de amortiguación) son áreas o franjas de tierra mantenida con vegetación permanente. Vienen utilizadas para el manejo del suelo, agua, nutrientes y plaguicidas en un enfoque sistémico, para mejorar la sustentabilidad de la producción agrícola y minimizar el impacto ambiental (USDA, 2000). Existen varios tipos de zonas buffer, que difieren según la ubicación a nivel de paisaje o de chacra (adentro de un campo o en los bordes, a lo largo de un curso de agua), el tipo de vegetación que se implanta (herbácea, arbustiva, arbórea) y por el objetivo por el cual se construyen o mantienen. Una de las funciones principales por la cual se ha desarrollado el uso de zonas buffer es el control del escurrimiento superficial de agua. Franjas de vegetación permanente, transversales a la pendiente, limitan el escurrimiento

canalizado y la erosión hídrica, aumentan la infiltración subterránea y se utilizan para prevenir o mitigar la contaminación de cursos de agua por nutrientes y plaguicidas. El término ‘barrera vegetativa’ se encuentra frecuentemente en la literatura para indicar este tipo de zona buffer; en este caso la vegetación es normalmente herbácea, natural o implantada.

Sin embargo, la expresión ‘barrera vegetativa’, siendo muy general, incluye también el concepto de barrera cortaviento; estos vocablos se prefieren para indicar barreras vegetativas implantadas para la específica función de reducción de la velocidad del viento, y usualmente ubicadas en los bordes de un campo. Esta aparente confusión de términos es debida a dos razones que es útil aclarar: (1) una barrera vegetativa plantada para reducir la velocidad del viento puede ser herbácea, arbustiva o arbórea, o también incluir una combinación de especies de diferentes portes: el ancho de la zona bajo viento protegida es directamente proporcional a la altura de la barrera; además (2) una barrera vegetativa cortaviento, dependiendo de su ubicación en relación a otros elementos del paisaje (por ej. cursos de agua) y a la pendiente, también cumple la función de control del escurrimiento superficial y de la erosión. De estas consideraciones emerge el carácter intrínsecamente multifuncional de las barreras vegetativas (y en general de las zonas buffer), siendo la multifuncionalidad una prerrogativa de todos los sistemas ecológicos.

De hecho, varios fines y beneficios diferentes han sido indicados en relación al uso de las barreras cortaviento (Uçar and Hall, 1999):

- proteger plantas cultivadas y lograr mejores rendimientos productivos;
- reducir la erosión eólica;
- ofrecer reparo a instalaciones y ganado;
- mejorar la eficiencia de riego;
- aumentar la biodiversidad y proveer hábitat para fauna silvestre;
- reducir ruido, olores y filtrar polvo;
- controlar la polución del aire;
- proveer una barrera visual, con fines estéticos – paisajísticos;
- manejar la deposición de la nieve en climas fríos.

Por otro lado, pueden ser evidenciadas algunas desventajas, o limitantes para la adopción de las barreras vegetativas por parte de productores agrícolas (The Centre for Agroforestry, 2015):

- requieren, sobre todo en las primeras etapas de implantación y desarrollo, de cuidados que representan una demanda adicional de trabajo y mano de obra;
- quitan tierra a la producción de cultivos;
- el retorno de la inversión depende de los tiempos del crecimiento de las plantas;
- dependiendo de las especies plantadas y tipo de barrera pueden ser necesarios equipos o herramientas especiales;
- las barreras podrían albergar organismos no deseados, o plagas (insectos o malezas).

En el siguiente parágrafo se describe la acción sobre el viento de las barreras vegetativas y las características estructurales que definen su eficiencia, ya que estos aspectos están estrechamente relacionados con la función de reducción de la deriva de agroquímicos.

4. Funcionamiento y características estructurales de las barreras cortaviento

Una barrera cortaviento es cualquier obstáculo, natural o artificial, que resguarda de vientos problemáticos, creando una zona protegida en el lado sotavento. Su función principal es reducir la velocidad del flujo de aire.

En condiciones de atmosfera neutra, el perfil de un viento que avanza presenta velocidades crecientes, considerando alturas ascendentes respecto al suelo, por causa de la resistencia aerodinámica que ofrece el terreno (figura 1). A una cierta distancia barlovento de una barrera de altura H , el aire del estrato debajo de la altura máxima (H) empieza a frenar y divergir. Una parte continúa a fluir a través de la barrera porosa, creando una región de *flujo modificado*; la velocidad de este flujo es reducida por efecto de la fricción ejercida por la vegetación de la barrera. Otra parte del aire fluye por encima de la barrera, como ilustrado por la deflexión de las líneas en la figura 1. Esta convergencia por encima de la barrera se combina con un aumento de la velocidad del viento, así que se forma un estrato de aire con velocidad consistentemente aumentada que se extiende por lo menos a $1,5 H$ por encima de la barrera. Por otro lado, un área protegida llamada *zona calma*, se forma a sotavento del obstáculo. La velocidad mínima del viento ocurre en la zona calma, cuya posición sotavento se aproxima a la barrera con porosidades decrecientes. Más arriba de la zona calma, y más allá de esa, en la dirección del viento, se encuentra un estrato de aire turbulento llamado *zona de mezcla*, el cual con el tiempo se funde en una *zona de re-equilibrio* donde el perfil del flujo de aire original, a barlovento de la barrera, se restablece (De Schampheleire et al., 2009).

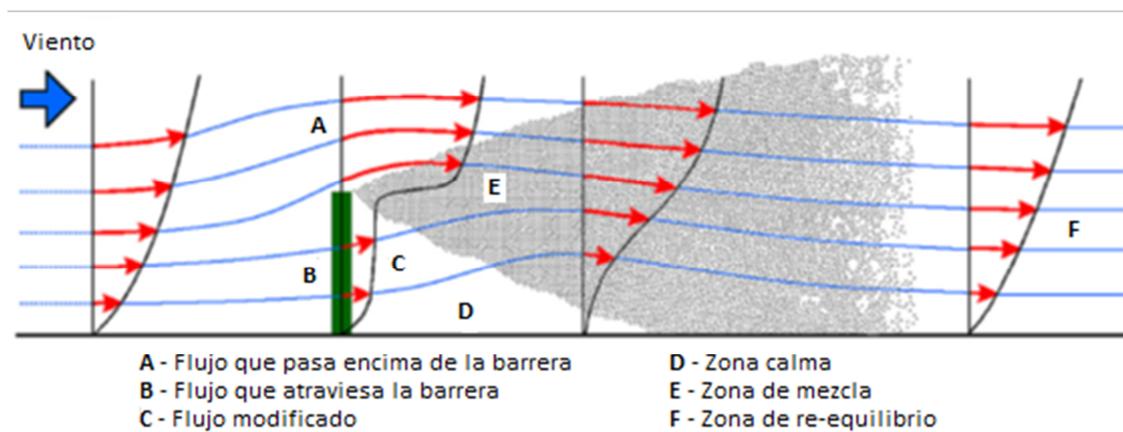


Figura 1. Zonas de flujo de aire y perfiles verticales de un viento con velocidad horizontal promedio, alrededor de una barrera cortaviento, orientada perpendicularmente al viento (De Schampheleire et al., 2009).

Las características estructurales de una barrera cortaviento que determinan su eficacia y las peculiaridades de su desempeño son: (1) altura, (2) longitud, (3) densidad, (4) orientación, (5) ancho, (6) continuidad o uniformidad, y (7) forma de la sección transversal (The Centre for Agroforestry, 2015). Información detallada sobre cada una de ellas se proporciona a continuación.

El efecto de protección de una barrera es generalmente medido como una distancia, detrás de la barrera, en la cual ocurre una reducción significativa del viento. Esta distancia es directamente proporcional a la altura de la barrera misma (H). La barrera reduce la velocidad del viento en una zona con un ancho de 2 a 5 veces la altura ($2 - 5 H$) en el lado barlovento, y hasta $30 H$ en lado sotavento (figura 2); la máxima reducción de velocidad ocurre a una distancia entre 3 y 6 H (De Schampheleire et al., 2009). Una barrera debe tener por lo menos 75 - 80 cm de altura para obtener un efecto significativo. En barreras vivas se pueden usar diferentes tipos de plantas, incluyendo árboles, arbustos y herbáceas anuales o perennes, que alcancen una altura suficiente a crear la protección deseada.

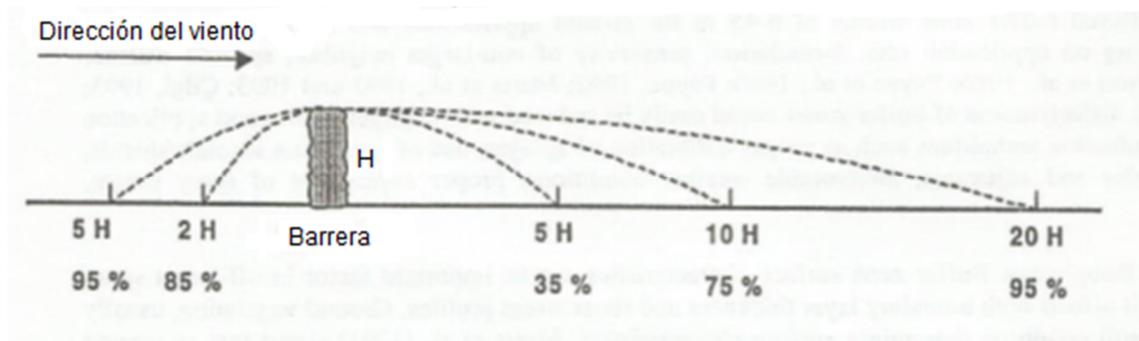


Figura 2. Efecto de una barrera sobre la velocidad del viento, a varias distancias de la barrera misma. La reducción del viento es indicada como porcentaje de la velocidad original del viento (Uçar and Hall, 1999).

La longitud de una barrera determina, junto con la altura, el área total que recibe protección. Para lograr eficiencias máximas, la longitud ininterrumpida de una barrera tendría que exceder su altura en una relación de 10:1 (por ej., con 4m de altura, 40m de longitud). Esta proporción reduce los fenómenos de turbulencia en el área protegida.

La densidad es la proporción de la parte sólida de la barrera sobre el área total. El viento fluye a través de los espacios abiertos (porción vacía) de la barrera, así que más sólida es la barrera, menor el viento que la atraviesa. Ajustando la densidad de una barrera, se establecen diferentes características de flujo de viento y área protegida. La densidad se puede ajustar por medio de la elección de plantas (por ej., caducifolios o coníferas) y sus disposición espacial. Las plantas siempre verdes tienen la ventaja de proveer protección constante durante todo el año. Frecuentemente el término porosidad es utilizado para indicar esta misma característica estructural, siendo la porosidad simplemente el inverso de la densidad (una barrera con densidad del 60%, tiene una porosidad del 40%). Barreras muy densas (densidad 60-80%) proveen la máxima reducción de la velocidad del viento, pero la zona protegida es menor comparando con barreras de densidad moderada (40-60%), las cuales por otro lado logran una menor reducción de la velocidad del viento. Con densidades inferiores al 40%, la efectividad de las barreras empieza a declinar.

La eficiencia máxima de una barrera cortaviento se obtiene con una orientación perpendicular a la dirección del viento, así que, cuando posible, es aconsejable diseñar las barreras con

respeto a los vientos prevalentes del lugar. Cuando soplan vientos de una dirección diferente, el área protegida disminuye.

El ancho sirve principalmente como medio para obtener la densidad deseada de una barrera. El número de filas, la distancia entre árboles, y la composición específica son factores que controlan la densidad. Aumentando el número de filas o disminuyendo la distancia entre árboles aumenta la densidad y se forma una barrera más sólida.

La continuidad influencia la eficiencia. Huecos en una barrera vegetativa se vuelven túneles que concentran el flujo del viento, creando áreas en el lado sotavento del espacio vacío en las cuales la velocidad del viento excede la velocidad original.

La forma de la sección transversal puede ayudar a levantar el viento por encima de la barrera. Sin embargo, considerando barreras con densidades iguales, diferentes secciones tienen una influencia mínima sobre el viento adentro de una zona de ancho 10 H. Más allá de 10 H, márgenes rectos proveen una protección ligeramente mayor comparado con márgenes inclinados, porque más viento pasa a través de los árboles, extendiendo el área protegida sotavento.

5. Barreras vegetativas para la reducción de la deriva de agroquímicos

Los aspectos relacionados al funcionamiento de las barreras cortaviento y las modificaciones que provocan en el flujo del aire, descritos en el párrafo anterior, son fundamentales para comprender el desempeño de las barreras para la reducción de la deriva de plaguicidas. Sin embargo, estos conocimientos deben ser integrados con consideraciones sobre la deposición de las gotas en objetos aislados, como las hojas y superficies uniformemente vegetadas, para valorar la acción de filtro que las barreras cumplen.

La figura 3 ilustra esquemáticamente los procesos que ocurren cuando una corriente de aire que transporta gotas, o partículas en general, encuentra una barrera cortaviento transversal (Raupach et al., 2001). Una parte del aire pasa por encima de la barrera, mientras otra fluye a través de ella, permitiendo que las gotas sean filtradas por la deposición sobre los elementos vegetativos. La concentración de gotas en el aire que pasa arriba no cambia, mientras es reducida en el flujo que atraviesa la barrera (punto B). Por lo tanto, se verifica una deposición de gotas sobre la barrera, y una reducción de deposición en la superficie sotavento, causada por la disminución de ambas la concentración de gotas en el aire y la velocidad del viento en la zona protegida. A mayores distancias sotavento (x), las gotas transportadas por el flujo por encima de la barrera se mezclan en la región protegida, así que la concentración de gotas cerca de la superficie del suelo y sobre el suelo mismo aumenta con x .

El estudio de las barreras vegetativas como medida para reducir la deriva de plaguicidas es una línea de investigación relativamente nueva, que ha sido desarrollada para evaluar su potencial de mitigación de riesgo de contaminación y para buscar cuales son las características que permitirían maximizar sus efectos.

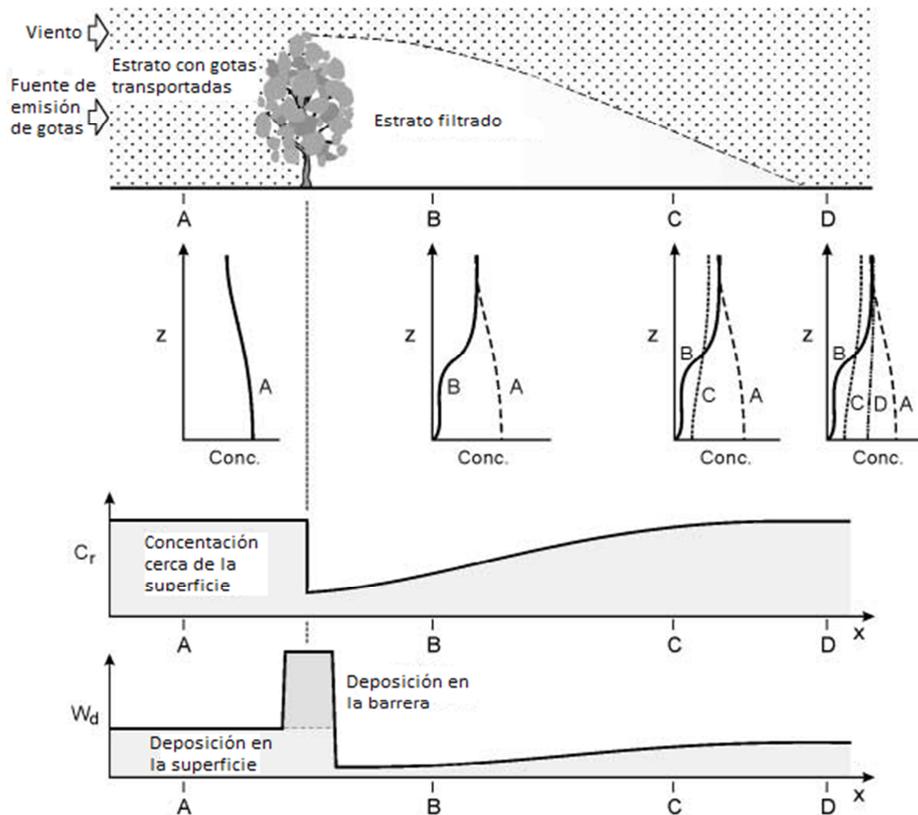


Figura 3. Protección local contra la deposición de gotas o partículas en superficies sotavento de una barrera cortaviento, estrecha en el sentido de la dirección del viento (x) y ubicada en $x=0$ (de Raupach et al., 2001).

Las variables involucradas en el proceso de intercepción de las gotas de un plaguicida por parte de una barrera son muchas: variables ambientales (viento, temperatura, humedad), variables técnicas (tipo de equipo, boquillas, velocidad de avance del equipo, etc.) y características de las barreras (altura, porosidad y otras presentadas en el parágrafo 4). Algunas de estas son difíciles de controlar o medir. Las investigaciones realizadas han sido desarrolladas en una gran variedad de condiciones ambientales, técnicas y con diferentes tipos de barreras así que resulta bastante complicada una comparación entre los resultados, y a menudo, las conclusiones a las cuales se ha llegado son contrastantes.

Sin embargo, todos los trabajos examinados afirman que las barreras cortaviento pueden lograr una reducción de la deriva muy significativa de hasta el 90 – 100%. En la tabla 1 se reporta un resumen de varios estudios que midieron la reducción de la deriva por parte de barreras cortaviento con diferentes características.

A continuación se presentan y discuten datos relativos a los ajustes que permiten maximizar la reducción de deriva de las barreras, analizando los elementos estructurales que ya se describieron anteriormente en el parágrafo 4, en referencia a la acción sobre el viento. Además se agregan unas consideraciones sobre el uso de barreras artificiales y las especies de plantas idóneas.

Tabla 1. Reducción de deriva obtenida por barreras de diferentes porosidades y alturas según mediciones realizadas en estudios presentados en literatura.

Referencia	Reducción de deriva (%)	Porosidad óptica (%)	Altura (m)
FOCUS, 2004	25	Árboles sin hojas	-
	90	Plena vegetación	-
Uçar and Hall, 2001	60 - 90	Mediana/densa	-
Walklate, 2001	86 - 91	-	7
Brown et al., 2004	adecuada	25	-
Van de Zande et al., 2004	20	Árboles sin hojas	-
	83	Plena vegetación	-
Richardson et al., 2004	50	Principio vegetación	-
	80	Plena vegetación	-
Lazzaro et al., 2008	97	10,8	7 - 8
	82,6	74,7	
Vischetti et al., 2008	81,6 – 100	LAD 0,5 m ² /m ³	15 - 20
Otto et al., 2013	99,5	5,1 – 57,7	6
Otto et al., 2015	95 - 98	10 – 40 - 58	5 - 6
Wenneker et al., 2008	80 - 90	Plena vegetación	-

5.1. Porosidad

La porosidad de las barreras ha sido identificada como la principal variable que afecta la intercepción de gotas de plaguicidas. Se realizaron experimentos en los cuales se compararon barreras de diferentes porosidades, tratando de mantener constantes las otras variables, con el fin de definir la porosidad óptima para reducir la deriva. La porosidad es una característica compleja (tridimensional) que depende de la cantidad de espacios abiertos de la barrera, pero también de su distribución y forma. El parámetro 'área abierta' es comúnmente usado como aproximación bidimensional de la porosidad real, y es definido como la suma de las áreas planas de todas las aberturas individuales, expresada como una fracción del área total en m²/m² o porcentaje (%). Por una barrera artificial fina, la porosidad es equivalente a la porosidad óptica. Con barreras naturales anchas, la porosidad óptica no es equivalente a la porosidad real porque la porosidad óptica muestra solo los espacios bidimensionales y no los espacios tridimensionales a través de los cuales el viento fluye cruzando el espesor de la barrera. Sin embargo, la porosidad óptica es utilizada frecuentemente como descriptor de la estructura interna de las barreras naturales por la falta de alternativas prácticas, y se considera una guía útil para prever el funcionamiento de las barreras, siempre que no sean muy anchas relativamente a la altura (Heisler and Dewalle, 1998). En los estudios más recientes sobre la reducción de la deriva con barreras vegetativas, la porosidad óptica se midió de forma bastante sencilla por medio del procesamiento de fotos digitales de alta resolución (Lazzaro et al., 2008; Otto et al., 2013 y 2015).

Algunos experimentos realizados con barreras formadas con plantas caducifolias reportan que la reducción de la deriva fue creciente desde el principio de la primavera hasta el pleno verano, en función del desarrollo del follaje (Van de Zande et al., 2004; Richardson et al., 2004; FOCUS, 2004). Esto significa que a una menor porosidad corresponde una mayor intercepción de gotas. Sin embargo, la mayoría de los estudios en campo encontrados sostienen que altos porcentajes de reducción de deriva (>90%) se logran con porosidades intermedias (40-50%). Este resultado es sugerido también por estudios teóricos, suportados por mediciones realizadas en condiciones artificiales (en túneles de viento) y en campo (Raupach et al., 2001; Vanella et al., 2013), y por cálculos basados en modelos (Mercer, 2009). Este hallazgo se explicaría de la siguiente forma: la deposición total es determinada por una compensación; la barrera tiene que ser suficientemente densa para absorber las gotas eficientemente, pero también suficientemente dispersa para permitir al aire de fluir a través de ella, para que se active la acción de filtro.

5.2. *Altura*

La altura de las barreras ha sido considerada como una variable secundaria en los estudios sobre la reducción de la deriva de agroquímicos. Su importancia se debe al efecto que tiene en determinar el ancho de la zona protegida, como descrito en el parágrafo 4, pero no tiene efectos directos sobre la intercepción de las gotas. Sin embargo, se demostró que una barrea debe tener por lo menos una altura de 2 veces la altura de las boquillas emisoras del plaguicida para lograr una reducción suficiente de la exo-deriva (Lazzaro et al., 2008, De Schampheleire et al., 2009). La altura de emisión del producto depende del tipo de cultivo, por eso cultivos herbáceos necesitarían barreras de menor altura comparado con cultivos arbóreos (frutales, viñedos). Sin lugar a duda, estos últimos rubros son los que pueden generar los mayores problemas en términos de riesgo de deriva y conflictos. Esto se debe al hecho que en fruticultura se aplica con mayores presiones, provocando una pulverización en gotas más finas, más susceptibles al transporte aéreo, y con altos volúmenes de agua (hasta 1200-1800 l/ha). Además, las boquillas de emisión del producto se encuentran a una altura mayor (comparado con cultivos herbáceos) y pulverizan hacia los costados y hacia arriba. En estos casos es aconsejable que las barreras presenten una altura mínima de 4-5 metros.

5.3. *Posicionamiento*

Aunque idealmente el diseño de una barrera tendría que basarse principalmente en la dirección de los vientos dominantes, los lindes externos de las propiedades casi siempre guían la plantación. Barreras plantadas en el interior de un campo normalmente se diseñan en base a los desagües naturales, a cuestiones prácticas de manejo de los cultivos y eventualmente a los vientos.

Las barreras cortaviento ubicadas barlovento respecto a la dirección del viento prominente, para proteger un cultivo de daños físicos, además reducen el movimiento de los pesticidas aplicados afuera de la zona objetivo y proveen una reducción significativa de la exo-deriva, también en el caso que ocurra una falta en alguna de las buenas prácticas de manejo (FOCUS, 2007). Sin embargo, las barreas cortaviento pueden ser posicionadas también a sotavento de

la zona aplicada para generar una ulterior mitigación de la deriva. Esto se obtiene gracias a la reducción de la distancia de caída de las gotas (reduciendo el movimiento de aire atrás de la barrera) y por la intercepción de una porción de las gotas transportadas por el aire afuera de la zona de aplicación (Lazzaro et al., 2008). La mayoría de los estudios que evaluaron la capacidad de mitigación de deriva de las barreras cortaviento se desarrollaron en esta segunda situación, con la barrera posicionada a sotavento de la zona aplicada y los experimentos efectuados con la dirección del viento perpendicular a la barrera (Vanella et al., 2013). No se han encontrado en literatura estudios que comparen una solución con la otra, así que no existen datos que puedan guiar una decisión en casos de recursos limitados.

Es evidente que mayor protección y potencial de reducción de riesgo se obtiene cuando el lote tratado está completamente rodeado de árboles, ya que los movimientos de aire son sumamente limitados, los vientos provenientes de direcciones insólitas también son controlados y además se obtiene un beneficio máximo en términos de mejora de las condiciones microclimáticas. De hecho, esta situación no es rara en predios frutícolas en el sur de Uruguay.

Para maximizar la acción de filtro, las barreras tienen que ser posicionadas lo más cerca posible al punto de emisión del plaguicida (figura 4), o sea adyacente a la última fila de cultivo tratada.

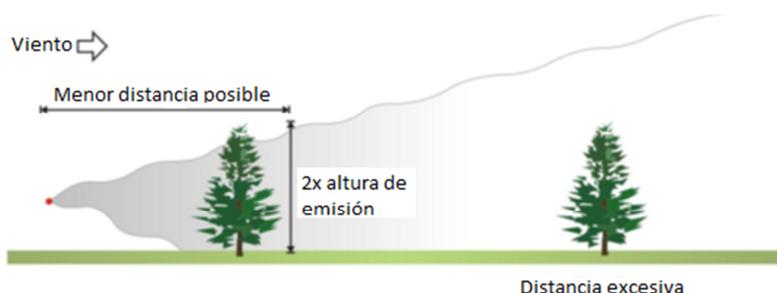


Figura 4. Correcto posicionamiento y altura de una barrera vegetal para reducir la deriva de plaguicidas en relación a la fuente de emisión del producto.

5.4. Ancho

La presencia de dos filas contiguas de plantas en una barrera no conlleva un mayor nivel de intercepción de gotas, porque los elementos vegetativos internos, sombreándose entre ellos, son normalmente menos densos de los externos y tienen una eficacia menor en reducir la deriva. Mediciones en campo demostraron que barreras únicas y dobles proveen intercepciones similares de gotas, sugiriendo la hipótesis que la porosidad óptica es probablemente el parámetro más importante para caracterizar sus capacidades de reducción de deriva (Lazzaro et al., 2008). Esta conclusión coincide con cuanto se afirma por la capacidad de reducción de la velocidad del viento (parágrafo 4). Por otro lado, existen también investigaciones que sostienen que una mayor reducción de deriva se puede obtener con barreras de filas múltiples (Spillman, 1990), o que barreras formadas con varias filas de baja densidad serían más efectivas comparadas con filas únicas de vegetación densa (Dorr et al.,

1998). Sin embargo, las barreras estrechas, formadas con una única fila de plantas, presentan la ventaja de ocupar poco espacio y de ser de fácil implantación y mantenimiento. Estas son muy aconsejables para ser plantadas en los predios productivos, para evitar una excesiva pérdida de superficie agrícola, considerando que demostraron ser efectivas en numerosos estudios publicados. La plantación de barreras anchas, de filas múltiples, se adaptaría mejor a situaciones en las cuales el espacio no es un factor limitante y se podría incentivar en predios urbanos que lindan con superficies productivas, para proteger residencias, o para reducir el riesgo de deriva hacia espejos o cursos de agua.

5.5. Longitud, continuidad y forma de la sección transversal

La longitud de una barrera para reducir la deriva de agroquímicos tendría que cubrir todo el largo de la zona de aplicación y excederla de 20 m en cada dirección cuando la barrea es presente en un solo lado del lote tratado, para aumentar la protección. Huecos en la vegetación tiene que ser evitados, tratando de obtener la mayor uniformidad posible. En barreas anchas y muy extensas es necesario diseñar eventuales pasajes a través de la barrea con una forma no recta, para que no constituyan una vía preferencial para el flujo del viento. No se encontraron, en los estudios revisados, consideraciones específicas sobre el efecto de la forma de la sección transversal en relación a la reducción de la deriva. Sin embargo, resulta lógico asumir como válidas las mismas conclusiones presentadas en el parágrafo 4, referidas a la reducción de la velocidad del viento.

5.6. Barreras artificiales vs. Barreras vivas

En la investigación sobre barreras cortaviento para reducir la deriva de plaguicidas, las barreras artificiales han sido empleadas por sus características estándares y fácilmente medibles de porosidad óptica y altura; este aspecto facilitó el desarrollo de modelos para la comprensión de los fenómenos de interacción de las barreras con el viento y de la acción de filtro de las gotas transportadas (Vanella et al., 2013). Sin embargo, en Uruguay la adopción de barreras artificiales es prácticamente nula, mientras las barreras vegetativas son largamente difundidas. A nivel de implementación a campo, las barreras artificiales presentan la ventaja de ser inmediatamente efectivas cuando instaladas y de no precisar ningún cuidado y seguimiento. Por otro lado, las barreras naturales requieren una inversión menor, de muy bajo costo, y si bien cuidadas y mantenidas tienen una durada mayor, y de muy largo plazo. Además, las barreras vegetativas pueden aportar contemporáneamente otros beneficios como, por ejemplo, aumentar la biodiversidad, constituir un reservorio de fauna benéfica, filtrar agua sub-superficiales que transportan elementos contaminantes, etc. (ver parágrafo 3).

Estudios realizados en túneles de viento evidenciaron que las barreras artificiales provocan picos de deposición de gotas a una cierta distancia sotavento de la barrera, los cuales no se verifican con barreras vivas. Se encontraron dos razones para explicar estos diferentes comportamientos: (1) las estructuras artificiales son rígidas y provocarían una mayor modificación del perfil vertical del flujo de aire; las naturales son flexibles, hacen movimientos suaves, permiten que una porción mayor del flujo pase a través de la barrera y no por encima, incrementando la acción de filtro; (2) el follaje natural tiene una mayor área de superficie

comparado con estructuras artificiales, así que se puede esperar una mayor eficiencia de recolección de gotas (De Schamphelleire et al., 2009; Hewitt, 2001).

5.7. Especies de plantas

Para la plantación de una barrera vegetativa se deben elegir plantas rústicas, resistentes y de rápido crecimiento. Las especies siempre verdes son preferibles porque proveen una protección constante durante todo el año. Por otro lado tienen la desventaja de aportar una mayor sombra, lo cual puede afectar negativamente los cultivos; sin embargo este aspecto se puede manejar con intervenciones de poda. El porte de crecimiento de las plantas es otro aspecto importante para tener en cuenta al momento de diseñar una barrera, considerando el espacio disponible y la altura que se quiere establecer. En fin, numerosos estudios afirman que las hojas aciculares, o más en general finas, pequeñas o rugosas, tienen mayor capacidad de intercepción de las gotas en deriva comparadas con las hojas anchas.

El uso de las casuarinas (*Casuarina cunninghamiana*) se ha difundido mundialmente por su gran resistencia al viento, rápido crecimiento, rusticidad y gran capacidad de adaptación a una gran variedad de condiciones pedoclimáticas.

6. Casos de países que aplican barreras vegetativas como medida de reducción de deriva

La Comisión Europea para la protección de la salud y del consumidor, realizó una revista de los procedimientos actuales para la implementación de medidas de mitigación de riesgo en los Estados Miembros de la UE, a través de encuestas directas, suplementadas por una revisión de artículos publicados y presentaciones de conferencias y talleres (FOCUS, 2007). Se encontró que la mayor parte de la información disponible y esfuerzos se han dedicado al problema de la contaminación de aguas superficiales por medio de la deriva aérea. El compartimiento terrestre, la exposición directa para los humanos y la protección de zonas residenciales han recibido una atención significativamente menor, y no se hallan en el reporte.

Entre los 13 estados incluidos en la revista (Alemania, Austria, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Grecia, Holanda, Irlanda, Italia, Portugal, Reino Unido y Suecia) todos utilizan zonas buffer como medida para la mitigación del riesgo de contaminación de cuerpos de agua por causa de la deriva de plaguicidas. Entre ellos solo Francia usa sistemáticamente barreras vegetativas como medida de reducción de riesgo, mientras Austria, Holanda y Reino Unido consideran explícitamente las barreras como una medida que, cuando presente, permite reducir el ancho de las zonas buffer recomendadas. Sin embargo, en el documento mencionado no se hace ninguna referencia a las características de las barreras o a requerimientos necesarios para su diseño o implantación.

El Estado de Queensland, Australia, en la Política de Planificación Estatal 1/92, definió unos principios claves para la protección de las tierras agrícolas, proveyendo asesoramiento técnico y guía para reducir el potencial de conflictos entre actividades agrícolas y desarrollo residencial (DNRQ, 1997). En particular, se especificaron directrices para la separación de usos de suelo agrícola y residencial, en las situaciones en las cuales estos son suficientemente cercanos para que se pueda originar conflicto debido al uso de agroquímicos, ruido, polvo y malos olores. La

normativa establece que el desarrollo de zonas de amortiguación adecuadas es una prerrogativa necesaria y obligatoria, para el desarrollo de zonas residenciales nuevas, si estas van a ser ubicadas en la cercanía de actividades agrícolas. Con respecto a la deriva de plaguicidas se estableció que una distancia mínima de 300 m (en campo abierto) es aceptable para separar zonas residenciales de áreas tratadas con plaguicidas. Esta distancia fue definida en base a un trabajo de investigación y modelización de Spillman (1988), el cual indicó que a 300 m del punto de emisión la deriva de un agroquímico es insignificante. La separación puede ser reducida a 40 m en el caso que se implanten y mantengan elementos vegetativos en la zona buffer; además estas dimensiones pueden variar según la topografía local o las condiciones climáticas, o en base a conocimientos específicos que se obtengan.

Las directrices en fin detallan los siguientes criterios para el diseño de zonas buffer con vegetación, basándose en investigación desarrollada en la Universidad de Queensland:

- ancho total mínimo de 40m;
- plantación aleatoria de diferentes especies de árboles y arbustos con diferentes hábitos de crecimiento, espaciados 4-5 m entre ellos y por un ancho mínimo de 20 m;
- inclusión de especies con follaje largo, fino y rugoso que facilita una captura más eficiente de las gotas en deriva;
- proveer una barrera permeable que permita que el aire pase a través de la zona buffer; una porosidad del 50 % es considerada aceptable;
- el follaje tiene que ser presente desde el suelo hasta la cima de los árboles;
- inclusión de especies resistentes y de crecimiento rápido;
- la altura de los árboles maduros tiene que ser 1,5 veces la altura de emisión del plaguicida o 1,5 veces la altura de la vegetación blanco;
- las plantas maduras, con su altura y ancho, no pueden impactar perjudicialmente las tierras cultivadas adyacentes.

En los EE.UU. se incentiva la plantación de barreras vegetativas y cortaviento a través de varias agencias que ofrecen programas que pueden ser usados para establecer plantaciones en tierras privadas. Los incentivos económicos que se ofrecen están diseñados para quitar de la producción tierras ambientalmente sensibles y con alto riesgo de erosión: no se hace referencia al problema de la deriva de agroquímicos. Diferentes programas proponen un pago de alquiler de suelo, gastos compartidos para establecer varias prácticas de conservación (entre las cuales barreras contraviento) y otros incentivos financieros, a los propietarios que quieran dejar de cultivar de forma intensiva tierras que presentan alguna problemática ambiental.

7. Posibles usos y aplicaciones en Uruguay

Resumiendo los resultados de la revista bibliográfica presentada en el párrafo 5, para reducir la deriva de plaguicidas de lotes tratados que se encuentran adyacentes o cercanos a zonas sensibles (áreas urbanas, cursos y espejos de agua u otros), es posible aconsejar la plantación de barreras con las siguientes características:

- a) porosidad óptica intermedia (40-50 %);

- b) altura mínima equivalente a 2 veces la altura de emisión del plaguicida: para cultivos herbáceos pueden ser suficientes barreras de 2-3 m, mientras para fruticultura son aconsejables barreras de 4-5 m mínimo;
- c) plantación del entero perímetro del lote tratado, con la barrera lo más cerca posible a la última fila de cultivo:
- d) barreras estrechas, de una sola fila de árboles (por ejemplo casuarinas), siendo la porosidad el parámetro principal a tener en cuenta;
- e) buena uniformidad (porosidad constante de abajo hasta arriba) y continuidad (ausencia de huecos).

Según los datos disponibles barreras vegetativas con estas características pueden reducir significativamente (hasta más del 90%) la deriva hacia áreas sensibles. Mediciones realizadas en las condiciones climáticas de Uruguay son recomendables para comprobar estos resultados. Se considera que la naturaleza de la zona sensible que se quiere proteger (que sea área poblada, curso o espejo de agua, vivienda aislada o predio agroecológico) no es un parámetro que debe influir en el diseño de las barreras, ya que el objetivo siempre es de evitar que sean alcanzadas por los plaguicidas aplicados en los lotes tratados adyacentes.

Los artículos 20 y 21 del Código Rural de Uruguay (redacción dada por la ley 15939 – Ley Forestal, decreto n. 452/988) establecen las siguientes normas relacionadas con la plantación de barreras vivas:

- no se pueden poner plantas o árboles sobre el cerco divisorio, sino de común acuerdo entre los linderos;
- se pueden plantar setos vivos a una distancia mínima de un metro cincuenta centímetros de la línea divisoria, con una altura máxima de dos metros y sin que las ramas laterales pasen el límite de la propiedad;
- las cortinas protectoras o de reparo no pueden tener más de siete metros de altura y tienen que estar a una distancia mínima de 5 metros, salvo las ubicadas en el límite sur de los predios, en cuyo caso dicha distancia será de 10 metros;
- los árboles frutales deberán estar a una distancia mínima de cinco metros de la línea divisoria.

Las distancias de 5 m de las cortinas protectoras con la línea divisoria (10 m en el lado sur) raramente son cumplidas en la realidad, sobretodo en el contexto de cercanía de zonas productivas con zonas residenciales. En estas situaciones, caracterizadas por predios de superficie reducida, parece razonable incentivar la plantación de las barreras a 1,5 m de la línea de confín, apoyándose en la posibilidad prevista por el Código Rural basada en el común acuerdo entre los linderos.

Por otro lado, resulta importante que se respete la distancia de 5 m de los árboles frutales con el predio vecino. Esta distancia, asociada a un cuidado específico en la pulverización de las plantas inmediatamente detrás de una barrera, puede aportar una reducción significativa del riesgo de deriva.

Normas similares podrían ser introducidas también para horticultura y agricultura extensiva, rubros por los cuales actualmente no existen. Estudios realizados en Holanda sobre la deriva de plaguicidas en cursos de agua, en los cultivos de trigo, remolacha y papa, demostraron que

una franja buffer de 3 m en el borde de los campos, dejada sin aplicar, permite reducir la deriva de más del 90 % (De Snoo y De Wit, 1998; De Snoo, 1999).

Referencias

Brown, R.B., Carter, M.H., Stephenson, G.R., 2004. Buffer zone and windbreak effects on spray drift deposition in a simulated wetland. *Pest Manag Sci* 60:1085–90.

De Schampheleire, M., Nuyttens, D., Dekeyser, D., Verboven, P., Spanoghe, P., Cornelis, W., Gabriels, D., Steurbaut, W., 2009. Deposition of spray drift behind border structures. *Crop Protection* 28, 1061-1075.

De Snoo, G.R., De Wit, P.J., 1998. Buffer Zones for Reducing Pesticide Drift to Ditches and Risks to Aquatic Organisms. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 41, 112-118.

De Snoo, G.R., 1999. Unsprayed field margins: effects on environment, biodiversity and agricultural practice. *Landscape and Urban Planning* 46, 151-160.

DNRQ (Department of Natural Resources, Queensland), 1997. Planning guidelines: separating agricultural and residential land uses. DNRQ 97088.

Dorr, G., Woods, N., Craig, I., 1998. Buffer zones for reducing drift from the application of pesticides, Paper No. SEAg 98/008, International Conference on Engineering in Agriculture, Perth, Australia.

Felsot, A.S., Unsworth, J.B., Linders, J.B.H.J., Roberts, G., Rautman, D., Harris, C., Carazo, E., 2011. Agrochemical spray drift; assessment and mitigation – a review. *Journal of Environmental Science and Health* 46, 1-23.

FOCUS, 2004. Landscape and mitigation factors in aquatic risk assessment. Volume 1: extended summary and recommendations. Report of the FOCUS Working Group on landscape and mitigation factors in ecological risk assessment. [126 pp. (draft from 18.06.2004)].

FOCUS, 2007. Landscape and mitigation factors in aquatic risk assessment. Volume 2. Detailed Technical Reviews. Report of the FOCUS Working Group on Landscape and Mitigation Factors in Ecological Risk Assessment, EC Document Reference SANCO/10422/2005 v2.0. 436 pp.

Gil, Y., Sinfort, C., 2005. Emission of pesticides to the air during sprayer application: a bibliographic review. *Atmospheric environment* 39, 5183-5193.

Grolleau, Gilles, McCann, L.M.J., 2012. Designing watershed programs to pay farmers for water quality services: case studies of Munich and New York City. *Ecological Economics*, 76, 87-94.

Hewitt, A.J., 2001. Drift Filtration by Natural and Artificial Collectors: a Literature Review. http://www.agdrift.com/PDF_FILES/drift%20filtration.PDF, 12 pp.

Kim, K.-H., Kabir, E., Jahan, S.A., 2017. Exposure to pesticides and associated human health effects. *Science of the Total Environment* 575, 525-535.

Lazzaro, L., Otto, S., Zanin, G., 2008. Role of hedgerows in intercepting spray drift: evaluation and modelling of the effects. *Agric. Ecosyst. Environ.* 123, 317e327.

Mercer, G.N., 2009. Modelling to determine the optimal porosity of shelterbelts for the capture of agricultural spray drift. *Environmental Modelling & Software* 24, 1349–1352.

Otto, S., Mori, N., Fornasiero, D., Veres, A., Tirello, P., Pozzebon, A., Duso, C., Zanin, G., 2013. Insecticide drift and its effect on *Kampimodromus aberrans* (Oudemans) in an Italian vineyard hedgerow system. *Biosystem engineering* 116, 447-456.

Otto, S., Loddo, D., Baldoin, C., Zanin, G., 2015. Spray drift reduction techniques for vineyards in fragmented landscapes. *Journal of Environmental Management* 162, 290-298.

Pimentel, D., 1995. Amounts of pesticides reaching target pests: environmental impacts and ethics. *J. Agric. Environ. Ethics*, 8, 17-29

Pimentel, D., Levitan, L., 1986. Pesticides: amounts applied and amounts reaching pests. *Bioscience* 36, 86-91.

Raupach, M.R., Woods, N., Dorr, G., Leys, J.F., Cleugh, H.A., 2001. The entrapment of particles by windbreaks. *Atmospheric environment* 35, 3373-3383.

Reichenberger, S., Bach, M., Skitschak, A., Frede, H.-G., 2007. Mitigation strategies to reduce pesticide inputs into ground- and surface water and their effectiveness; a review. *Science of the Total Environment* 384, 1-35.

Richardson, G.M., Walklate, P.J., Baker, D.E., 2004. Spray drift from apple orchards with deciduous windbreaks. *Aspects Appl. Biol.*, 171, 149–156.

Spillman, J., 1988. A rapid method of calculating the downwind distributions from aerial atomisers. *EPPD Bulletin* 13 (3): 425-431.

Spillman, J., 1990. Addendum to interim report on development of biological buffer zones for spray drift management in cotton production. Internal Report. Cranfield Institute of Technology, Cranfield, UK.

USDA (United States Department of Agriculture) – Natural Resources Conservation Service, 2000. Conservation buffers to reduce pesticide losses. Disponible: https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs143_023819.pdf

Uçar, T., Hall, F.R., 1999. Recent studies on pesticide spray drift reduction with artificial and natural barriers. 7th International Congress on Agricultural Mechanization and Energy 26-27 May, 1999 Adana, Turkey.

Uçar, T., Hall, F.R., 2001. Windbreaks as a pesticide drift mitigation strategy: a review. *Pest Manag Sci* 57:663–75.

Van den Berg, F., Kubiak, R., Benjey, W.G., 1999. Emission of pesticides into the air. *Water, Air, and Soil Pollution* 115, 195–218.

Van de Zande, J.C., Michielsen, J.M.G.P., Stalinga, H., Wenneker, M., Heijne, B., 2004. Hedgerow filtration and barrier vegetation. In *Proceedings of International Conference on Pesticide Application for Drift Management Meeting*, Waikoloa, HI. October 27–29, 2004, pp. 173–177.

Vanella, G., Salyani, M., Balsari, P., 2013. Spray interactions with a windbreak netting used in orchard applications. *Crop Protection* 44, 95-103.

Vischetti, C., Cardinali, A., Manaci, E., Nicelli, M., Ferrari, F., Trevisan, M., Capri, E., 2008. Measures to reduce pesticide spray drift in a small aquatic ecosystem in vineyard estate. *Sci. Total Environ.* 389(2–3), 497–502.

Walklate, P.J., 2001. Drift reduction by vegetation. In: Forster R, Streloke M, editors. Workshop on risk assessment and risk mitigation measures in the context of the authorization of plant protection products (WORMM) 27–29 September 1999, vol. 383. *Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land-und Forstwirtschaft*, Berlin-Dahlem, Heft; 2001. p. 108–14.

Wenneker, M., Van der Zande, J.C., 2008. Spray drift reducing effects of natural windbreaks in orchard spraying. *Aspects Appl. Biol.* 84, 25–32.

Wijnands, F.G., 1997. Integrated crop protection and environment exposure to pesticides: methods to reduce use and impact of pesticides in arable farming. *European Journal of Agronomy* 7, 251-260.