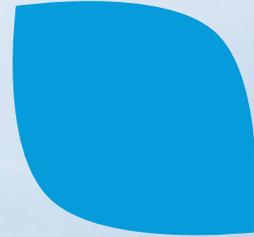


ESCORRENTÍA

Buenas Prácticas Agrícolas
Para reducir la contaminación de las
aguas por productos fitosanitarios
debido a la erosión y
escorrentía.



TOPPS
PROW. DIS



Los proyectos TOPPS empezaron en 2005 con un proyecto de 3 años financiado por la UE (proyecto LIFE) y la ECPA, que tenía como objetivo reducir las pérdidas de productos fitosanitarios a las aguas por fuentes puntuales de contaminación. Después, el proyecto TOPPS-EOS (2010) evaluó diferentes tecnologías en relación a su contribución a optimizar el respeto al medio ambiente de los pulverizadores.

El actual proyecto TOPPS-PROWADIS (2011 a 2014) está centrado en reducir la contaminación por fuentes difusas. Este proyecto está financiado por la ECPA y participan 14 socios de 7 países de la UE.

Los proyectos TOPPS desarrollan y recomiendan Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) a través de expertos europeos. La diseminación intensiva a través de la información, la formación y la demostración se lleva a cabo en los países en los que se desarrolla el proyecto, para concienciar y ayudar a implementar una mejor protección de las aguas.

Las siglas **TOPPS** vienen del inglés **T**rain **O**perators to **P**romote **P**ractices & **S**ustainability que en castellano puede traducirse como formación de usuarios para promover las buenas prácticas sostenibles (www.TOPPS-life.org)

Autores:

Equipo Técnico:

Folkert Bauer (BASF), Jeremy Dyson (Syngenta), Guy Le Henaff (Irstea), Volker Laabs (BASF), David Lembrich (Bayer CropScience), Julie Maillet Mezeray (Arvalis), Benoit Real (Arvalis), Manfred Roettele (BetterDecisions)

Equipo Directivo de TOPPS-Prowadis:

Philippe Costrop, Syngenta (Presidente); Evelyne Guesken, Basics; Julie Maillet-Mezeray, Arvalis; Inge Mestdagh, Dow; Ellen Pauwelyn, InAgro; Alison Sapiets, Syngenta; Paolo Balsari, Univ. Turin; Folkert Bauer, BASF; Greg Doruchowski, InHort; Jeremy Dyson, Syngenta; Guy le Henaff, Irstea; Lawrence King, Bayer CropScience; Volker Laabs, BASF; Holger Ophoff, Monsanto; Poul Henning Petersen, DAAS; Bjoern Roepke, Bayer CropScience; Manfred Roettele, BetterDecisions; Stuart Rutherford, ECPA

Participantes Nacionales:

Emilio Jesús González Sánchez (Univ. Cordoba), Julio Román Vázquez (Univ. Cordoba), Magdalena Bielasik-Rosinska (Inst. Env.Protection), Aldo Ferrero (Univ. Turin), Klaus Gehring (Bavarian State Res. Centre LfL), Ellen Pauwelyn (InAgro), Rolf Thorstrup Poulsen (Danish Ag. Advisory Service)

Entidades participantes:

- InAgro, Rumbeke (BE)
- Bavarian State Res. Centre LfL, Freising (DE)
- Danish Ag. Advisory Service, Aarhus (DK)
- Universidad de Córdoba, Córdoba (ES)
- IRSTEA (Cemagref), Lyon (FR)
- ARVALIS Institut du végétal, Boigneville (FR)
- Agroselvitier, University of Turino, Turin (IT)
- Institute of Environmental Protection (IEP), Warsaw (PL)

Figuras e imágenes:

Procedentes de los participantes en el proyecto TOPPS Prowadis



DiSAFA
Università degli Studi di Torino
Via Leonardo da Vinci, 44
10095 Grugliasco (Torino), Italy



ARVALIS – Institut du végétal,
3 rue Joseph et Marie Hackin,
75116 Paris, France



Institute of Environmental Protection –
National Research Institute,
Krucza str. 5/11d, 00-548 Warsaw,
Poland



Inagro zw
leperseweg 87
8800 Rumbeke-Beitem, Belgium



Milieux Aquatiques, Ecologie et Pollutions Equipe
Pollutions Diffuses
IRSTEA Lyon,
5 rue de la Doua, CS70077
69626 VILLEURBANNE Cedex, France



University of Córdoba (UCO),
Campus Rabanales, Dpto. Ingeniería Rural –
UCO Ed. Leonardo Da Vinci – Area de
Mecanización, E- 14014 Córdoba, Spain



Knowledge Centre for Agriculture
Agro Food Park 15
8200 Aarhus N, Denmark

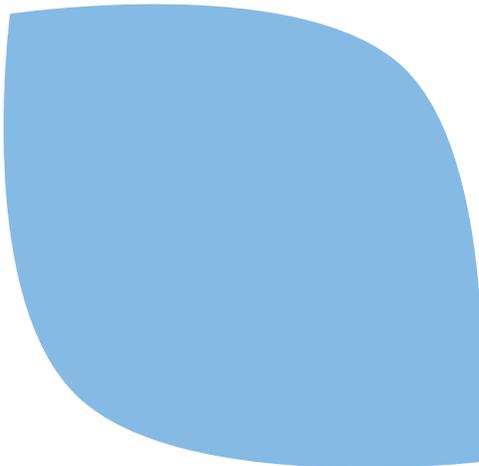


Bavarian State Research Center for Agriculture (LfL)
Vöttinger Str. 38
85354 Freising-Weihenstephan, Germany

Índice

Prefacio	7
Introducción	8
Fuentes de contaminación de aguas	8
Tipos de escorrentía/erosión	9
Factores que influyen en la transferencia de materias activas por escorrentía	11
Movimiento de las materias activas	11
Factores que determinan el riesgo de contaminación de aguas	12
Conexión con los cursos de agua superficial	12
Características del suelo	12
Condiciones climáticas	12
Longitud y grado de las pendientes: Factores que agravan los procesos erosivos y de escorrentía	12
Cobertura del suelo	12
Diagnóstico/Bases para la Auditoría de explotaciones	13
Diagnóstico de una cuenca	13
Diagnóstico de parcelas	14
Panel de evaluación/ Árbol de Decisiones	15
D1: Panel para la evaluación del riesgo de contaminación por escorrentía y erosión debido a la restricción de infiltración	16
Escenarios para el riesgo de contaminación por escorrentía debido a restricción a la infiltración (D1)	17
D2: panel para la Evaluación del riesgo de contaminación por escorrentía y erosión debido al exceso de saturación	19
Escenarios para el riesgo de contaminación por escorrentía debido al exceso de saturación (D2)	20
D3: Panel de evaluación para la concentración de escorrentía (D3)	21
Flujo de escorrentía concentrado (D 3): Buenas prácticas para la mitigación del riesgo	22

Buenas Prácticas Agrícolas (BPAs)	24
BPA: Proceso de elaboración	24
Plan de implementación	25
Resumen de las medidas de mitigación y ejemplo de cómo aplicar las Buenas Prácticas Agrícolas	26
Descripción de las medidas de mitigación	26
Cómo desarrollar las Buenas Prácticas Agrícolas	27
Medidas de mitigación del riesgo	30
Manejo del suelo	31
Prácticas de cultivo	39
Zonas de seguridad	44
Consideraciones generales	44
Cuidado y mantenimiento	46
Estructuras de retención y dispersión	56
Uso correcto de los productos fitosanitarios	60
Consideraciones generales	60
Riego	62
Evaluación de la eficacia de las medidas	64
Glosario	68
Referencias	72



Prefacio

La protección de las aguas está entre las primeras preocupaciones de la sociedad en cuanto a temas medio ambientales, y de hecho es uno de los elementos básicos y necesarios para la vida en nuestro planeta.

La Asociación Europea de Productores de Fitosanitarios (ECPA) cree que la protección de las aguas es un pilar fundamental en su trabajo y es muy consciente de la necesidad de trabajar continuamente en un correcto uso de los productos fitosanitarios como elemento clave para una agricultura productiva y sostenible. Por lo tanto, nos hemos fijado la tarea de trabajar conjuntamente con nuestras asociaciones nacionales y un amplio grupo de expertos internacionales para desarrollar y difundir unas medidas, recomendaciones y materiales apropiados para asegurar que se aplican todos los aspectos relevantes para una protección de las aguas, y que se consigue un amplio consenso en la recomendación de unas prácticas agrícolas en la aplicación de fitosanitarios (llamadas Buenas Prácticas Fitosanitarias – BMPs).

Este esfuerzo conjunto para construir y mejorar las herramientas para la protección de las aguas también está en consonancia con los objetivos fijados en la legislación de la UE como la Directiva Marco de Aguas y la Directiva de Usos Sostenible de Pesticidas. Nuestro trabajo ha dado lugar a unos proyectos TOPPS¹, en el que participan múltiples actores que se iniciaron en 2005 en muchos países de la UE, financiados por la ECPA, y por la Comisión Europea (Life) durante los tres primeros años.

Inicialmente, el TOPPS se centraba en la reducción de las fuentes puntuales de contaminación que pueden ocurrir cuando se limpian o se vacían los pulverizadores o también como resultado de derrames, y ahora desde 2011 estamos concentrándonos en la reducción de las fuentes difusas de contaminación (principalmente escorrentía y deriva) para recomendar un amplio conjunto de Buenas Prácticas Fitosanitarias. Nosotros llamamos a esta nueva fase del TOPPS, como TOPPS Prowadis². Esperamos que las BMP que resulten sean utilizadas como base para informar, educar y formar a agricultores, técnicos y otros agentes involucrados de distintas maneras – en aulas, en campo, en demostraciones. La ECPA está comprometida en promover la aplicación de estas BMP.

Me gustaría agradecer sinceramente a todos los expertos y socios por su gran esfuerzo y contribución al proyecto TOPPS, tanto en lo que se refiere a su aportación de conocimientos técnicos como a su disposición a trabajar conjuntamente para lograr un consenso sobre nuestros objetivos comunes. También espero realmente que estas BMP ayuden a desencadenar el entusiasmo que se necesitará para poner en práctica estas ideas y ayudar a concienciar y dispersar el conocimiento que se necesita para llevar a cabo un uso sostenible de los productos fitosanitarios y un elevado nivel de protección de las aguas.

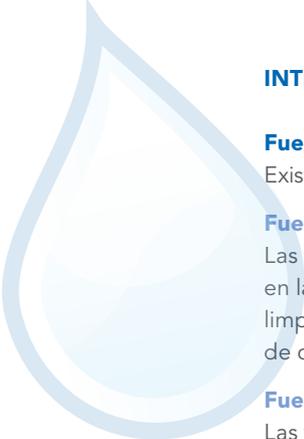
Friedhelm Schmitter

Director General
European Crop Protection Association
Bruselas, Bélgica



¹www.TOPPS-life.org

²TOPPS PROWADIS : PROtecting WAter from Diffuse Sources
(Protección de las aguas de fuentes difusas de contaminación)



INTRODUCCIÓN

Fuentes de contaminación de aguas

Existen, principalmente, dos vías por las que se puede producir contaminación de aguas por productos fitosanitarios.

Fuentes de contaminación puntuales

Las fuentes de contaminación puntuales, hacen referencia a la manipulación de dichos productos, principalmente en las zonas de producción agraria. Los principales motivos por los que se genera riesgo de contaminación son: la limpieza de las cubas de la maquinaria de tratamiento, el llenado de los pulverizadores y atomizadores, y el manejo de caldos diluidos contaminados resultantes de la limpieza y el mantenimiento en la explotación.

Fuentes de contaminación difusa

Las fuentes de contaminación difusa son aquellas en las que la materia contaminante se distribuye a lo largo del terreno por diversos factores, principalmente agua y viento. En agricultura se distinguen dos tipos de fuentes de contaminación difusa: Deriva y Escorrentía.

El mayor riesgo de contaminación de aguas por fuentes difusas se producen por la erosión y escorrentía del suelo, principalmente cuando, después de la aplicación de productos para el control de vegetación adventicia, las condiciones climáticas son adversas (lluvias que provocan escorrentía y viento capaz de transportar las partículas del caldo).

A la hora de plantear acciones de mitigación de contaminación de aguas hay que tener en cuenta la diferencia que existe entre fuentes puntuales y difusas. Las fuentes puntuales hacen referencia a un punto específico, y su mitigación aborda el comportamiento del operador y su control debe ir encaminado a la optimización de los equipos e infraestructuras para evitar un manejo incorrecto que conlleve una contaminación no deseada de las aguas superficiales y subterráneas.

La contaminación por fuentes puntuales puede evitarse.

El control de la contaminación por fuentes difusas se debe tratar de forma específica para cada región, ya que depende, en gran medida, de las condiciones climáticas, la topografía y edafología. Las acciones que se deben realizar para la reducción de la contaminación, por tanto, deben ser elaboradas de manera específica, tanto a nivel puntual (agricultor, finca), como de la zona de captación de aguas (grupo de agricultores, cuenca).

El riesgo de contaminación por fuentes difusas puede minimizarse, pero condiciones meteorológicas muy desfavorables pueden reducir la capacidad de mitigar dicho riesgo.

El principal reto, por tanto, es determinar las acciones necesarias para reducir la contaminación en referencia a unas condiciones climatológicas, pero la base de las recomendaciones no puede ser en función a la intensidad de las precipitaciones, sino en base a la implementación de unas Buenas Prácticas Agrícolas (BPAs).

Tipos de escorrentía/Erosión

1) Esorrentía provocada por restricción a la infiltración

Una alta intensidad de lluvia, provoca que la capacidad de infiltración de un suelo disminuya. A este fenómeno se le conoce como restricción a la infiltración. Un caso especial se produce en los suelos congelados, ya que existe una capa impermeable debido al hielo y no puede infiltrarse el agua en el, produciéndose esorrentía y erosión.

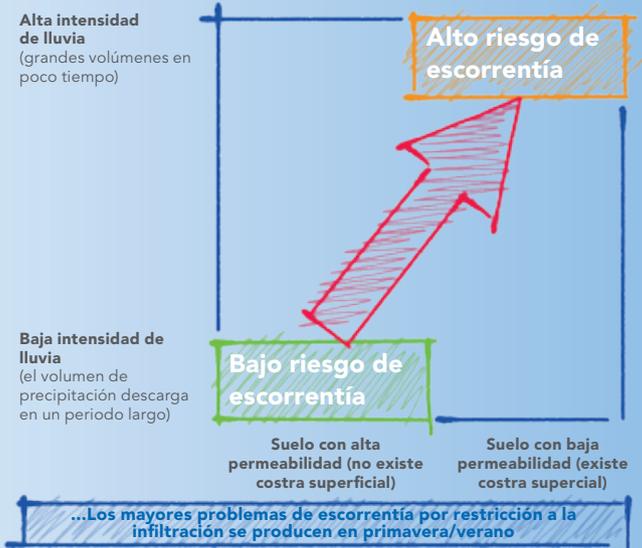


Figura 1 - Relación entre la infiltración y riesgo de esorrentía

2) Esorrentía provocada por la saturación del suelo

Cuando el suelo se encuentra saturado pierde la capacidad de infiltración, provocando sucesos de esorrentía. Este fenómeno se produce cuando la precipitación total excede la capacidad de retención de agua por parte del suelo (capacidad de campo).

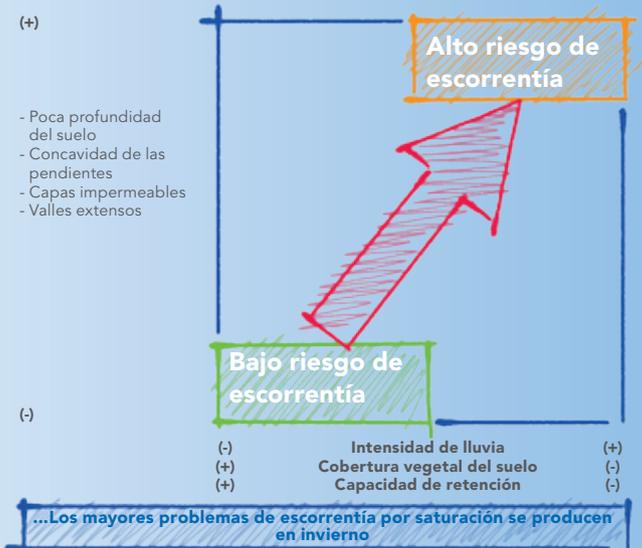


Figura 2 - Relación entre la saturación del suelo y el riesgo de esorrentía



a) Infiltración lateral/ subsuperficial

Cuando el agua de lluvia infiltrada por el suelo llega a una capa impermeable (piedra, arcilla o suela de labor), esta se moverá siguiendo el gradiente de altura del suelo en profundidad. En comparación con la escorrentía superficial estas situaciones representan un menor riesgo en términos de transferencia de productos fitosanitarios a las aguas superficiales, debido a que el movimiento de la lámina de agua es relativamente lento a través del suelo y por lo tanto existe un mayor potencial de degradación y adsorción de las materias contaminantes.

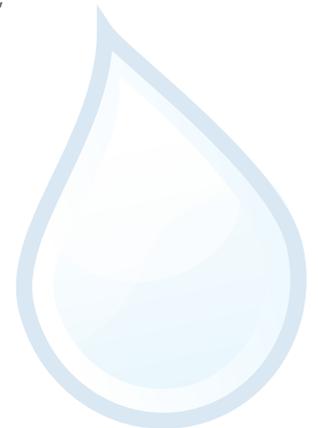
b) Drenaje

Un caso especial de la escorrentía subsuperficial es el drenaje artificial. Un sistema de desagüe artificial elimina el exceso de agua en el suelo y lo transporta a través de colectores de drenaje (por lo tanto, el valor de escorrentía superficial es, generalmente, pequeño en suelos drenados). En las aguas drenadas se pueden encontrar cantidades significativas de materias activas, especialmente si se realiza la aplicación cuando el suelo está excesivamente seco o presenta grietas en superficie.

3) Concentración de la escorrentía

Cuando se acumulan pequeños flujos de agua de escorrentía en uno solo, especialmente en las vaguadas de las explotaciones, se produce lo que se denomina concentración de escorrentía. Este flujo concentrado es fácilmente reconocible, y suele ir asociado a un alto grado de erosión del suelo, ya que la corriente de agua suele adquirir mucha energía, por tanto favorece la transferencia de las partículas contaminantes a cursos naturales de agua, como fosfatos y materias activas provenientes de los productos fitosanitarios.

Un buen indicador es la aparición de pequeños regueros en las vaguadas, que, sin una adecuada actuación, puede llegar a formar grandes cárcavas. Otro signo de la formación de estas corrientes, es la sedimentación en las zonas bajas de las explotaciones. Entre las herramientas de mitigación que se aportan en este documento, se debe seleccionar la más adecuada en función a la gravedad del problema.



FACTORES QUE INFLUYEN EN LA TRANSFERENCIA DE MATERIAS ACTIVAS POR ESCORRENTÍA

El registro de productos fitosanitarios en el marco de la UE considera los riesgos de contaminación a los organismos acuáticos y la calidad de las aguas. Estos riesgos son evaluados y pueden conllevar la negativa a su registro o poseer algunas restricciones que deberán ser enumeradas en las etiquetas. Estas recomendaciones de las etiquetas deben ser parte esencial a la hora de diseñar las estrategias de minimización de los riesgos de contaminación por escorrentía.

Movimiento de las materias activas

No todos los productos se comportan de la misma manera. Las sustancias más polares se disuelven, mientras que otras sustancias más hidrófobas están presentes principalmente en estado adsorbido y son transportadas junto a las partículas de suelo erosionado. Por tanto, las propiedades del producto influye en el modo en cómo se transferirán las materias contaminantes a través de las corrientes de agua.

Las propiedades que caracterizan el comportamiento de las materias activas en el suelo son:

a) Persistencia

La persistencia de un producto en el suelo depende de la tasa de disipación y se expresa como la vida media (DT50), que es el tiempo que tarda en desaparecer el 50% de la sustancia. Este indicador se ve influenciado por el contenido de materia orgánica del suelo, de la textura, el pH y las condiciones climáticas. Las sustancias con más capacidad de persistencia suponen un mayor riesgo en términos de contaminación de agua por escorrentía.

b) Movilidad

El movimiento de las materias activas en el agua de escorrentía depende de su adsorción y degradación en el suelo. Los productos con un alto grado de adsorción por parte del suelo sólo se transfieren al agua superficial a niveles significativos si existe un alto grado de erosión, ya que están principalmente ligados a las partículas del suelo. En el otro extremo, los que tienen bajos niveles de adsorción, se transfieren por escorrentía. Por tanto, cuanto más tiempo transcurre entre la aplicación y el primer evento precipitación significativa disminuye el riesgo.

Las medidas de mitigación que abordan la reducción la contaminación por productos fitosanitarios, también son válidas para mitigar las entradas de los principales nutrientes como el nitrógeno (disuelto en agua) y fosfatos (ligado a las partículas del suelo).



FACTORES QUE DETERMINAN EL RIESGO DE CONTAMINACIÓN DE AGUAS

Se debe realizar un exhaustivo diagnóstico a nivel de la cuenca y de las parcelas para determinar con precisión los riesgos de contaminación a los que está sometida, y así poder definir las medidas apropiadas para cada situación. A continuación se detallan los factores que deben ser evaluados.

Conexión con los cursos de agua superficial

A mayor separación entre la zona de tratamiento y los cauces de agua con riesgo de ser contaminada, se reduce el riesgo de contaminación por medio de escorrentía y erosión. No solo se reduce el riesgo aumentando la distancia, sino que hay que considerar otros aspectos que influyen en la velocidad de las corrientes de agua, tales como la pendiente, las pequeñas cárcavas del terreno, compactación, etc.

Características del suelo

La influencia del tipo del suelo sobre la infiltración y la retención de productos fitosanitarios es otro factor a tener muy en cuenta. Una alta capacidad de retención de agua por parte del suelo, reduce considerablemente los riesgos de erosión y escorrentía. Largos periodos de contacto de los productos fitosanitarios con el suelo, hace que los microorganismos puedan degradar dichos productos de una manera más adecuada, reduciéndose así los problemas de transferencia de materia activa a las aguas, ya que el movimiento del agua en el suelo es mucho más lento que en la superficie.

Condiciones climáticas

Las condiciones climáticas de la zona, y en especial los patrones de precipitación, deben ser correctamente definidos y evaluados para proporcionar las medidas de mitigación más adecuadas en el área de estudio.

Longitud y grado de las pendientes: Factores que agravan los procesos erosivos y de escorrentía

Parcelas con grandes y pronunciadas pendientes son más susceptibles a que se provoque en ellas procesos de escorrentía. Las grandes explotaciones requieren una división para reducir su tamaño, la implantación de zonas de seguridad o pequeñas barreras hace que

se reduzca el riesgo de escorrentía, así como un mantenimiento de la cobertura del suelo por encima del 50%. Asimismo, las medidas para reducir el flujo de agua superficial que se provoca por la escorrentía, supone un incremento de la infiltración. Por tanto, las medidas se deben focalizar en la reducción de la escorrentía.

Cobertura del suelo

Si los suelos agrícolas se encuentran cubiertos por vegetación o restos del cultivo anteriores, los riesgos de escorrentía y erosión se ven disminuidos en gran medida. Cultivos que se desarrollan en suelos labrados, en las primeras etapas de crecimiento del cultivo, no tienen la suficiente cobertura, por lo que estos suelos quedan expuestos a las lluvias, ocasionando altos riesgos de erosión por escorrentía y por impacto de las gotas de lluvia. Se deben considerar especialmente dos aspectos en función de la textura de un suelo:

- a. En suelos con un alto contenido en limo, el impacto de las gotas de lluvia provoca compactación del suelo, que hace que se disminuya la permeabilidad del mismo y se forme una costra superficial, provocando un alto riesgo de escorrentía.
- b. La energía de las gotas de lluvia al caer, hace que, en un suelo desnudo, se destruyan los agregados y se aumente los niveles de pérdida de suelo.

Manteniendo el suelo con un porcentaje alto de cobertura, por encima del 60%, especialmente en épocas en las que los cultivos no lo hacen, se reduce considerablemente estos efectos. Las técnicas de manejo en las que se mantienen restos de cultivos anteriores en el suelo han demostrado buenos efectos en términos de reducción de los riesgos de escorrentía. Además, protegen la superficie del suelo del impacto de las gotas de lluvia y reducir la velocidad del flujo de agua, lo que aumenta la capacidad de infiltración de los suelos.

DIAGNÓSTICO/BASES PARA LA AUDITORÍA DE EXPLOTACIONES

Un buen diagnóstico es la base para proponer tratamientos de mitigación adecuados y específicos. El objetivo es comprender el movimiento del agua en el campo y en las cuencas hidrográficas, con el fin de determinar los riesgos de escorrentía y erosión.

(Nota: La metodología para el diagnóstico y auditoría de las explotaciones está basada en el trabajo realizado por Arvalis Institut du végétal e IRSTEA en Francia, y deben ser adaptadas para cada zona).

Diagnóstico



Determinar el tipo de escorrentía en cada parcela.



Categorizar el riesgo: Muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo.

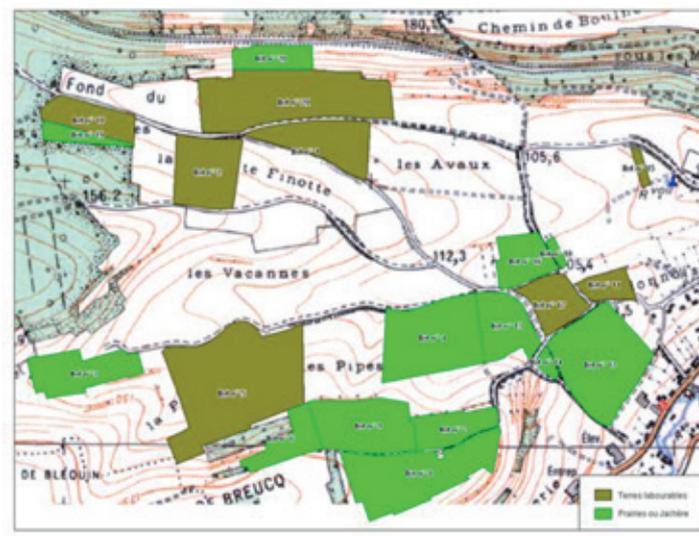


Diagnóstico de una cuenca

El diagnóstico comienza a nivel de cuenca de captación mediante la recopilación de todos los datos disponibles (mapas geológicos, mapas del suelo, mapas topográficos, mapas de la red hidráulica, la información climática e información sobre el uso y las prácticas agrícolas). Cuantos más datos estén disponibles, más eficaz será el diagnóstico. Si faltan datos, la información necesaria tiene que ser recogida en campo.

Mapa de una cuenca: Francia

- Tamaño de las parcelas
- Red hidráulica
- Usos agrícolas
- Topografía



Diagnóstico de parcelas

Para poder implementar un plan de mejora en cuanto a prácticas agrícolas se refiere, con el fin de reducir los riesgos de contaminación producidos por escorrentía, resulta esencial la realización de un diagnóstico exhaustivo de la zona. Para ello se requiere no solo recabar datos e información, sino que la visita a la cuenca de captación es imprescindible para conocer los detalles que en el trabajo de gabinete no son apreciables, ya que las características del suelo y de la vegetación existente pueden variar en poca distancia. La figura 3 muestra los pasos necesarios para un correcto diagnóstico de la explotación.

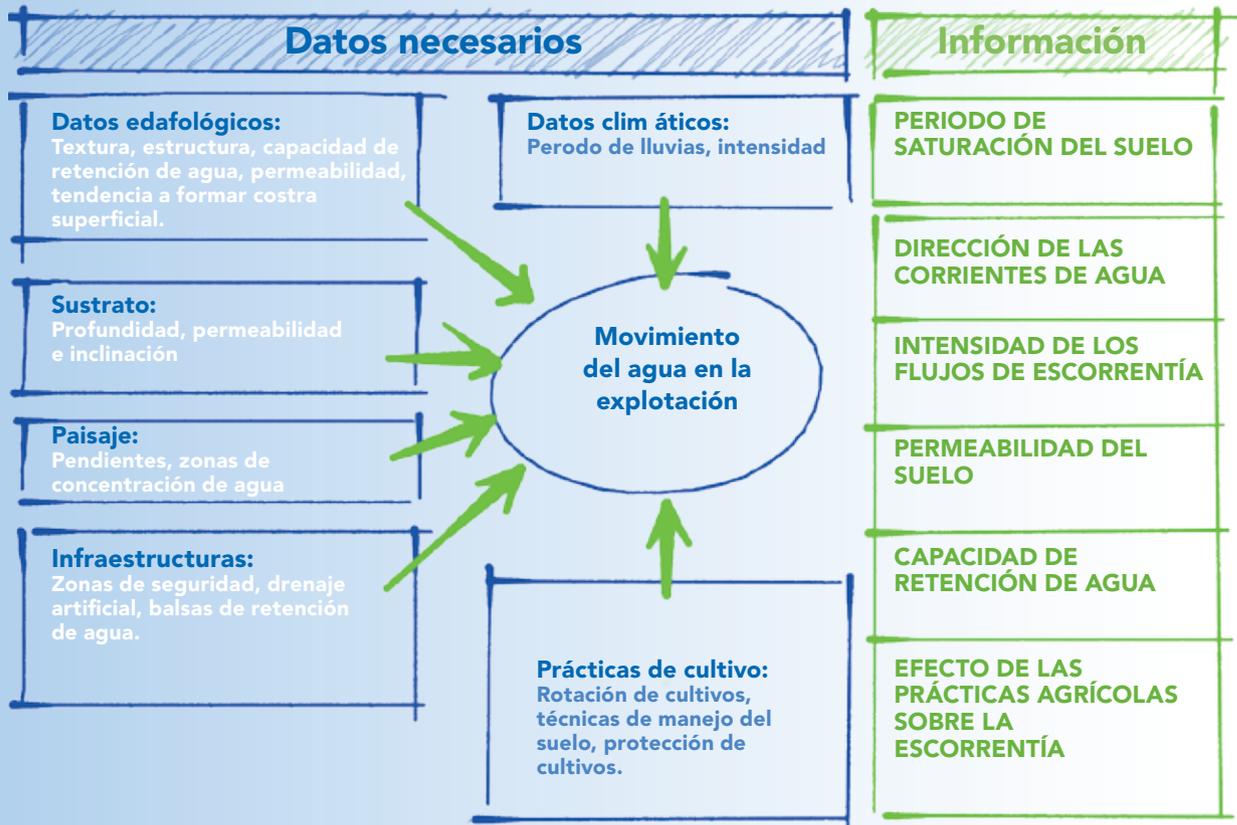


Figura 3 – Relación de datos necesarios para determinar los riesgos de escorrentía (Fuente: Arvalis Institut du Végétal)

Panel de evaluación/ Árbol de Decisiones

Con el fin de reducir la complejidad que supone la toma de decisiones sobre las medidas más apropiadas en términos de reducción de los riesgos de contaminación, se ha desarrollado unos paneles de evaluación y un árbol de decisiones. Estas herramientas están concebidas como una ayuda para determinar el nivel de riesgo de contaminación por escorrentía de las parcelas. Se han desarrollado dos tablas para determinar el riesgo de escorrentía. (D1 y D2; esquema 4, 5).

Adicionalmente, se ha creado un panel de evaluación para los procesos de concentración de escorrentía en campo, que no está vinculada a los niveles de riesgo de escorrentía de una cuenca. Estos flujos concentrados deben ser observados in situ, e implementar las medidas más adecuadas en función a las necesidades encontradas.

Los paneles de evaluación tienen como objetivo apoyar el proceso de diagnóstico en el campo.

El riesgo de contaminación por escorrentía en una explotación agrícola o en un cuenca, se ha definido en cuatro niveles: Muy bajo / Insignificante (verde), bajo (amarillo), medio (naranja) y alto (rojo).

En el capítulo IV dedicado a las buenas prácticas de manejo, se describen los escenarios para las diferentes situaciones que están vinculados a los niveles de riesgo determinados. Estos escenarios necesitan ser adaptados a las condiciones locales (las prácticas de cultivo, las condiciones climáticas y otros factores). Dependiendo de la situación específica de la zona, el asesor agrícola propondrá las medidas de mitigación más adecuadas (véase el capítulo III), respondiendo a las necesidades de reducción de los riesgos de contaminación por escorrentía.

Es recomendable hacer uso de ambas herramientas, ya que se pueden dar los dos tipos de escorrentía más relevantes, ya descritos anteriormente. La escorrentía debido a las restricciones de infiltración suele ocurrir cuando ocurren precipitaciones de alta intensidad en primavera y durante del verano y la cobertura del suelo es, normalmente, escasa. La escorrentía causada por la saturación del suelo ocurre principalmente después de períodos largos de lluvia y cuando la evapotranspiración es baja (invierno).



FIG. 4: PANEL PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO DE CONTAMINACIÓN POR ESCORRENTÍA Y EROSIÓN POR RESTRICCIÓN A LA INFILTRACIÓN (D1)

El panel se divide en dos en función de la opción adoptada en la primera columna. Para casos de escorrentía en suelos congelados, ver los comentarios en las descripciones de escenarios. (Referencia: Los paneles están basados en los árboles de decisión desarrollados por ARVALIS, con el asesoramiento de Syngenta y la colaboración de los socios del proyecto TOPPS).

Proximidad a cursos de agua	Permeabilidad de la capa superficial del suelo	Grado de la pendiente		Tipo de riesgo y escenario	
Junto a cursos de agua	BAJA	ALTO (>5%)		I 7	
		MEDIO (2-5%)		I 6	
		BAJO (<2%)		I 5	
	MEDIA	ALTO (>5%)		I 4	
		MEDIO (2-5%)		I 3	
		BAJO (<2%)		I 2	
	ALTA	ALTO (>5%)		I 3	
		MEDIO (2-5%)		I 2	
		BAJO (<2%)		I 1	
Alejado de cursos de agua	¿Transfiere escorrentía a explotaciones adyacentes?	SI	¿La escorrentía alcanza los cursos de agua?	SI	T 3
			NO	T 2	
	NO				T 1

RIESGO ALTO
RIESGO MEDIO
RIESGO BAJO
RIESGO MUY BAJO

Ejemplo para el uso del panel D1 – Restricción a la infiltración

El panel se separa en dos dependiendo de la opción elegida en la primera columna

- a) Parcela junto a cursos de agua
- b) Parcela alejada de cursos de agua

Cada columna representa un nivel de elección y la decisión debe realizarse paso a paso para definir el nivel de riesgo y el escenario (de izquierda a derecha).

La última columna representa el nivel de riesgo de contaminación por escorrentía, representado por colores y la calificación del escenario que representa.

T hace referencia a Transferencia e I a la restricción e a la infiltración. Los escenarios se definen separadamente.

ESCENARIOS PARA EL RIESGO DE CONTAMINACIÓN POR ESCORRENTÍA DEBIDO A RESTRICCIÓN A LA INFILTRACIÓN (D1)

Parcelas junto a cursos de agua

I 7

Minimizar el riesgo de escorrentía y erosión mediante todas las posibles medidas que se puedan implantar en la explotación, bandas de seguridad en las parcelas y medidas más adecuadas al paisaje (bandas de seguridad en las vaguadas, estructuras de retención). Combinar las medidas de la manera más eficaz, para conseguir el mayor efecto deseado. En suelos congelados: Si la permeabilidad de la capa superficial del suelo es media o baja, el incremento de riesgo por congelación del suelo no es alto. Las medidas deben ir encaminadas a incrementar la capacidad de infiltración del suelo.

I 4 / I 6

Minimizar el riesgo de escorrentía y erosión mediante todas las posibles medidas que se puedan implantar en la explotación, bandas de seguridad en las parcelas y medidas más adecuadas al paisaje (bandas de seguridad en las vaguadas, estructuras de retención). Combinar las medidas de la manera más eficaz, para conseguir la mayor eficiencia posible.

I 3 / I 5

Reducir la escorrentía en el inicio mediante un adecuado manejo del suelo, adopción de sistemas de agricultura de conservación. Implementar zonas de seguridad o las medidas más adecuadas al paisaje (bandas de seguridad en las vaguadas, estructuras de retención), especialmente en cultivos de primavera. En suelos congelados: Las tres situaciones (I1, I2, I3) deben ser consideradas de alto riesgo. Los suelos congelados actúan como una barrera a la infiltración.

I 2

Reducir la escorrentía en el inicio mediante un adecuado manejo del suelo, adopción de sistemas de agricultura de conservación. Si esto no fuese posible, considerar la implementación de zonas de seguridad...

T 3

Detener la formación de la escorrentía mediante medidas aplicadas en la parcela (siembra directa, cubiertas vegetales en leñosos y bandas de seguridad) y asegurarse de la infiltración del agua antes de que alcance los cursos de agua naturales. En caso de grandes volúmenes de escorrentía, implementar medidas de retención. En suelos congelados: reducir el riesgo de escorrentía mediante la implantación de zonas de seguridad para así minimizar los efectos de la pendiente en la escorrentía.

T 2

Mantener buenas prácticas agrícolas en la explotación para minimizar los efectos de la escorrentía y la erosión. En caso de concentración de escorrentía, implementar medidas adecuadas en el comienzo de la misma para evitar la transferencia a parcelas adyacentes. En caso que ocurra esta transferencia, tratar la parcela como si la escorrentía alcanzase un curso de agua.

I 1 / T 1

Mantener buenas prácticas agrícolas en la explotación para minimizar los efectos de la escorrentía y la erosión.

FIG. 5: PANEL PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO DE CONTAMINACIÓN POR ESCORRENTÍA Y EROSIÓN DEBIDO AL EXCESO DE SATURACIÓN (D2)

* WHC = Capacidad de retención de agua

Proximidad a cursos de agua	Drenaje	Emplazamiento de la parcela	Permeabilidad del subsuelo		WHC*	Nivel de Riesgo y escenario
Parcelas junto a cursos de agua	No existe drenaje artificial	Parte baja de las pendientes (Valles) (ver escenario A)	Hay suela de labor e interrupción de la permeabilidad	TODOS WHCS	S 4	
			Hay suela de labor o interrupción de la permeabilidad	<120 mm	S 4	
				>120 mm	S 3	
		Hay suela de labor o interrupción de la permeabilidad	<120 mm	S 3		
			>120 mm	S 2		
		No hay suela de labor ni interrupción de la permeabilidad	<120 mm	S 3		
		>120 mm	S 2			
	Parte alta de las pendientes	Hay suela de labor e interrupción de la permeabilidad	TODOS WHCS	S 4		
		Hay suela de labor o interrupción de la permeabilidad	<120 mm	S 3		
			>120 mm	S 2		
		Hay suela de labor o interrupción de la permeabilidad	<120 mm	S 2		
			>120 mm	S 2		
No hay suela de labor ni interrupción de la permeabilidad		<120 mm	S 2			
	>120 mm	S 1				
Existe drenaje artificial	Todas las posiciones	Hay suela de labor e interrupción de la permeabilidad	TODOS WHCS	SD 3		
		Hay suela de labor o interrupción de la permeabilidad	<120 mm	SD 3		
			>120 mm	SD 2		
	Hay suela de labor o interrupción de la permeabilidad	<120 mm	SD 2			
		>120 mm	SD 2			
	No hay suela de labor ni interrupción de la permeabilidad	<120 mm	SD 2			
	>120 mm	SD 1				
Parcelas alejadas de cursos de agua	Para todos los suelos: Si existe drenaje, ver las recomendaciones SD en la lista de escenarios	¿Transfiere escorrentía a las explotaciones adyacentes?	SI	¿La escorrentía alcanza los cursos de agua?	SI	T 3
					NO	T 2
			NO		T 1	

Ejemplo para el uso del panel D2 – Exceso de saturación

El panel se separa en dos dependiendo de la opción elegida en la primera columna

- Parcela junto a cursos de agua
- Parcela alejada de cursos de agua

Cada columna representa un nivel de elección y la decisión debe realizarse paso a paso para definir el nivel de riesgo y el escenario (de izquierda a derecha).

La última columna representa el nivel de riesgo de contaminación por escorrentía, representado por colores y la calificación del escenario que representa.

T hace referencia a la Transferencia y S al exceso de saturación. Los escenarios se definen separadamente.

(Cómo estimar la textura del suelo, la capacidad de retención de agua y de los síntomas de interrupción de la permeabilidad del suelo se presenta en el manual de diagnóstico de campo).

ESCENARIOS PARA EL RIESGO DE CONTAMINACIÓN POR ESCORRENTÍA DEBIDO AL EXCESO DE SATURACIÓN (D2)

Parcelas junto a cursos de agua

S 4

Minimizar el riesgo de escorrentía y erosión mediante el uso de todas las medidas disponibles que sean viables en la explotación. Combinar eficazmente cada una de ellas para maximizar los efectos deseados.

S 3 / SD 3*

Reducir la formación de escorrentía mediante el uso de todas las medidas que se pueden aplicar en la parcela de cultivo. Además, implementar zonas de seguridad o medidas externas a la parcela (ej.: bandas de seguridad en las vaguadas, estructuras de retención), cuando las medidas en el interior del campo de cultivo sean inviables.

S 2 / SD 2*

Reducir la escorrentía en el comienzo de la formación de la misma, utilizando las medidas más adecuadas dentro de la parcela. Si no fuese posible considerar la implantación de zonas de seguridad.

S 1 / SD 1*

Mantener las buenas prácticas agrarias en la explotación con el fin de minimizar la escorrentía y erosión.

* Para todos los suelos-recomendaciones SD: Si hay riesgo de transferencia por los drenajes, interrumpir la aplicación de productos fitosanitarios con alta movilidad mientras fluye el agua por los drenajes o existen grietas en el suelo. Si fuese posible, implementar estructuras de retención en la evacuación de los drenajes.

Parcelas alejadas de cursos de agua

T 3

Detener la formación de la escorrentía mediante medidas aplicadas en la parcela (bandas de seguridad) y asegurarse de la infiltración del agua antes de que alcance los cursos de agua naturales. En caso de grandes volúmenes de escorrentía, implementar medidas de retención.

En suelos congelados: reducir el riesgo de escorrentía mediante la implantación de zonas de seguridad para así minimizar los efectos de la pendiente en la escorrentía.

T 2

Mantener buenas prácticas agrícolas en la explotación para minimizar los efectos de la escorrentía y la erosión. En caso de concentración de escorrentía, implementar medidas adecuadas en el comienzo de la misma para evitar la transferencia a parcelas adyacentes. En caso que ocurra esta transferencia, tratar la parcela como si la escorrentía alcanzase un curso de agua.

T 1

Mantener buenas prácticas agrícolas en la explotación para minimizar los efectos de la escorrentía y la erosión.



FIG. 6: PANEL DE EVALUACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE ESCORRENTÍA (D3)

		Nivel de riesgo y escenario		
La escorrentía no se genera en la parcela	La escorrentía proviene de las zonas altas de la cuenca	C 1		
La escorrentía se genera en la parcela	La escorrentía se concentra en las rodadas de la maquinaria	C 2		
	La escorrentía se concentra en las esquinas de la parcela	C 3		
	La escorrentía se concentra en los accesos a la explotación	C 4		
	Regueros de escorrentía (concentración moderada)	Suelos no hidromórficos	C 5	
		Suelos hidromórficos	C 6	
	La concentración de la escorrentía en las vaguadas y forma cárcavas (fuertemente concentrada)	Suelos no hidromórficos	C 7	
		Suelos hidromórficos	C 8	
	Fuerte concentración del flujo de escorrentía	Cárcavas producidas fuera de las vaguadas		C 9
		Cárcavas en las vaguadas	Alta infiltración en zonas de seguridad	C 10
			Baja infiltración en zonas de seguridad	C 11

Si los flujos concentrados de escorrentía son fácilmente identificables, el riesgo de escorrentía y erosión es alto, por lo que es necesaria la implementación de medidas de mitigación.

El panel de evaluación comienza por decidir si la corriente de escorrentía concentrada se genera en la parcela y su posterior clasificación acorde a la forma de escorrentía observada.

Observar y conocer si existen medidas de mitigación y su efectividad es de gran ayuda a la hora de la evaluación y la aplicación de nuevas medidas correctoras. La concentración de escorrentía está fuertemente asociada con la erosión, lo cual es uno de los problemas más graves en la agricultura.

FLUJO DE ESCORRENTÍA CONCENTRADO (D 3): BUENAS PRÁCTICAS PARA LA MITIGACIÓN DEL RIESGO

La presencia de signos de concentración de escorrentía en las parcelas agrícolas hace que el riesgo de transferencia de materias contaminantes sea alto, por lo que es necesaria la aplicación de medidas para la reducción del mismo. Eliminar las labores sobre el suelo, establecer bandas de seguridad en las vaguadas, implementar estructuras de dispersión,..., son medidas que contribuyen eficientemente a la reducción de este fenómeno.

El emplazamiento de las medidas es crítico para un buen control de la escorrentía.

C 1

Prevenir la concentración de escorrentía en las zonas altas de la cuenca. Por otro lado, la implantación de estructuras de retención resulta aconsejable con el fin de retener los flujos de agua en las zonas bajas de la cuenca.

C 2

Realizar un manejo adecuado de las huellas del paso de maquinaria. Implementar cubierta sobre las mismas o realizar doble siembra.

C 3

Si el suelo no es hidromórfico, establecer zonas de seguridad en las esquinas de la explotación. Si el suelo es hidromórfico, construir balsas de retención.

C 4

Realizar un manejo adecuado de las vías de acceso a la explotación con el fin de reducir la compactación en las mismas.

C 5

Si no existen zonas de seguridad, establecerlas en la parcela. En caso que exista, implantar estructuras de retención.
Si es posible dividir la parcela en otras más pequeñas intercalando bandas de seguridad.

C 6

Si no existen zonas de seguridad, establecerlas en la parcela. En caso que exista, implantar estructuras de retención.
Si es posible dividir la parcela en otras más pequeñas intercalando bandas de seguridad

C 7

Si no existe vegetación en la vaguada, establecer doble siembra al final de la misma, o implantar una banda de seguridad a lo largo de la vaguada, con el fin de retener las corrientes de agua.

Si existe vegetación, implementar estructuras de retención al final de las mismas. Si es posible reducir la pendiente mediante medidas que se adapten al paisaje.

C 8

Si no hay vegetación a lo largo de la vaguada, implantar una banda de seguridad en ella. Construir una estructura de retención, en la finalización de la pendiente.

C 9

Si no existen zonas de seguridad, implementarla al alrededor de la cárcava, así como estructuras de retención de agua en el interior de la misma.

En caso que exista la zona de seguridad, establecer únicamente estructuras de retención.

C 10

Si no existen bandas de seguridad, establecerla.

En caso que esté establecida, aumentar la superficie de la misma en el comienzo de la cárcava, así como implementar en ambos casos estructuras de retención a lo largo de la misma.

C 11

Si no existen bandas de seguridad, establecerla a lo largo de la cárcava.

En caso que esté establecida, aumentar la superficie de la banda vegetal en el comienzo de la misma, así como implementar en ambos casos estructuras de retención a lo largo de la cárcava.

BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS (BPAs)

En la reducción de la escorrentía influyen muchos factores, por lo tanto no se pueden generalizar las recomendaciones, ya que el proceso es complejo debido a la especificidad de cada zona. Se hace, por tanto, necesaria la labor de un asesor local para optimizar las medidas necesarias para mitigar los riesgos de contaminación por escorrentía.

BPA: Proceso de elaboración



BPA = Diagnóstico + Medidas adecuadas a las características de la explotación

Plan de implementación

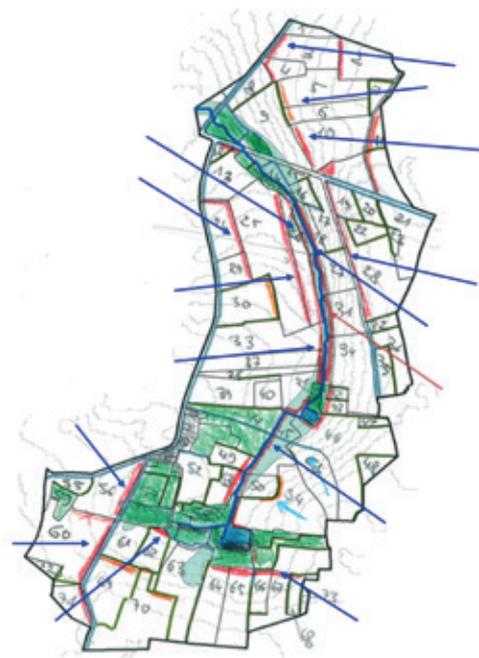
Una vez concluido el diagnóstico de la cuenca, se deben geolocalizar los riesgos definidos. Atendiendo a las necesidades de la zona y las prácticas agrícolas de las explotaciones de la cuenca, se deben seleccionar las medidas más adecuadas en términos de mitigación de la escorrentía. Dichas medidas deben ser consensuadas junto con los agricultores y específicas para cada parcela agrícola. Hay que buscar las mejores opciones atendiendo a criterios, tanto técnicos como económicos.

Para una mayor comprensión de las medidas que se proponen, es recomendable la inclusión de las mismas en un mapa de la explotación, indicando las infraestructuras necesarias para cumplir los objetivos propuestos (bandas de seguridad, estructuras de retención, transferencia de escorrentía entre parcelas,...). Al final, debe de conseguirse un plan de implementación de medidas concreto y consensuado entre agricultor y asesor. (Fig. 7 y 8).



Ejemplo: Mapa de la cuenca "Fontaine du Theil", Bretaña, Francia.

- Flechas azules: Flujos de agua.
- Azul: Cursos de agua, arroyos.
- Verde: Existencia de praderas permanentes.
- División de parcelas en la Cuenca, topografía.
- Rojo: Propuesta de zonas de seguridad.



Ejemplo de medidas implementadas

- Bandas de seguridad en la ribera de los cursos de agua (herbácea y leñosa).
- Humedales con el fin de retener el agua en la parcela.
- Bandas de seguridad para prevenir la escorrentía junto a cursos de agua.
- Barreras para mitigar la erosión eólica.

RESUMEN DE LAS MEDIDAS DE MITIGACIÓN Y EJEMPLO DE CÓMO APLICAR LAS BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS

Descripción de las medidas de mitigación

Bodembeheer	<ul style="list-style-type: none"> • Reducir la intensidad del laboreo • Manejar correctamente las rodadas de la maquinaria • Preparar el lecho de siembra adecuadamente • Crear barreras de contención en la explotación (Alomado) 	<ul style="list-style-type: none"> • Prevenir la compactación superficial del suelo • Evitar la compactación en profundidad • Implantar una labor de contorno • Incrementar el contenido de materia orgánica del suelo
Prácticas de cultivo	<ul style="list-style-type: none"> • Optimizar las rotaciones de cultivos • Implementar líneas alternas de cultivos (perpendicularmente a la pendiente) • Ampliar la superficie de realización de operaciones perpendicularmente a la pendiente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Implantar cultivos cubierts. • Establecer cubiertas vegetales en cultivos leñosos • Introducir la doble siembra
Zonas de seguridad	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer y mantener bandas de seguridad en las parcelas agrícolas • Establecer y mantener zonas de seguridad en las vaguadas • Establecer y mantener bandas de seguridad en las riberas 	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer y mantener bandas de seguridad en las lindes • Manejar adecuadamente las vías de servicio • Establecer y mantener setos arbustivos y arbóreos • Mantener las arboledas
Estructuras de retención	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer o mantener pequeños diques en los márgenes de las parcelas • Establecer o mantener zanjas de retención con vegetación 	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer balsas de retención de agua. • Establecer elementos de dispersión
Uso adecuado de productos fitosanitarios	<ul style="list-style-type: none"> • Optimizar el momento de aplicación • Optimizar la aplicación en función de la época del año. 	<ul style="list-style-type: none"> • Seleccionar el producto adecuado al cultivo.
Riego	<ul style="list-style-type: none"> • Seleccionar tecnología de riego adecuada • Optimizar el riego 	

Cómo desarrollar las Buenas Prácticas Agrícolas

La eficiencia de las medidas no se puede definir de forma general, ya que estas dependen, en gran medida, de las condiciones específicas de cada zona. El fin de las actuaciones a realizar debe ser retener el agua en las explotaciones el máximo tiempo posible y, por tanto es lo que debe primar en la elección de las medidas a adoptar.

La eficacia de la estrategia de implantación de medidas de mitigación dependerá del correcto proceso de diagnóstico y de una adecuada definición del riesgo de contaminación por escorrentía que se produce en la zona de estudio. Cuando el riesgo es bajo las medidas a adoptar serán pocas, pero es posible que en casos de alto riesgo será necesario la aplicación de todas las medidas disponibles y viables. Asimismo, se debe considerar el efecto de combinación de varias medidas, que aunque no es fácil de estimar, la experiencia debe de dar una aproximación de cuál será el resultado de la interacción.

Las medidas deben ser consensuadas entre agricultor y asesor y deben estar basadas en el diagnóstico previamente realizado.

Las figuras 7 y 8 muestran un ejemplo de cómo se pueden tomar la decisión más apropiada en función al nivel de riesgo, adaptándolas a las situaciones específicas de cada explotación agrícola.

Una vez implementadas las medidas, se debe realizar un seguimiento de las mismas con el fin de evaluar su eficiencia.

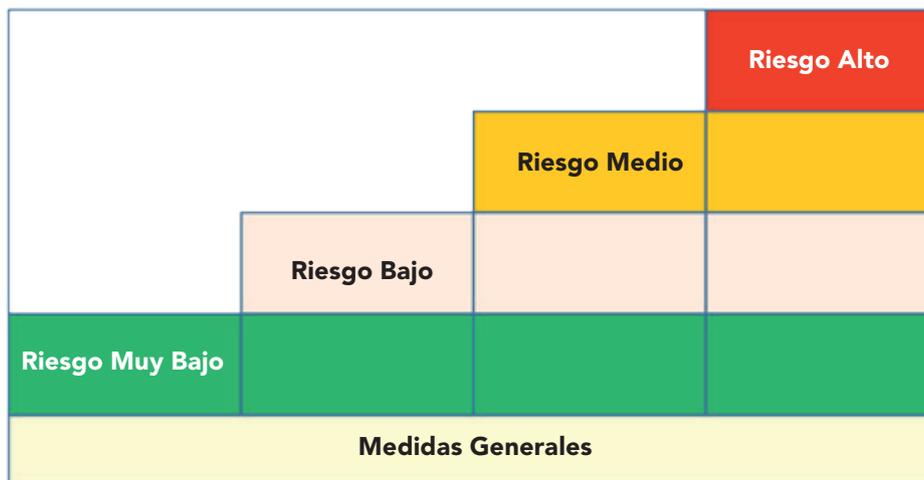


Fig. 7: Cómo definir el riesgo y seleccionar las medidas adecuadas en función a las BPAs

Fig. 8: Ejemplo de cómo definir las BPA relacionando el riesgo de escorrentía y la eficiencia de las medidas.

Categorías de las medidas	Medidas Generales	Medidas para riesgo muy bajo
Manejo del Suelo	Prevenir la compactación superficial del suelo Evitar la compactación en profundidad	Preparar el lecho de siembra adecuadamente
Prácticas de Cultivo	Incrementar el contenido de materia orgánica del suelo	Establecer cubiertas vegetales en cultivos leñosos Incrementar el porcentaje de cobertura vegetal del suelo
Zonas de Seguridad		Manejar adecuadamente de las vías de servicio Establecer y mantener bandas de seguridad en las riberas de los ríos y arroyos
Estructuras de retención		
Uso adecuado de los productos fitosanitarios		
Riego	Optimizar las rotaciones de cultivos	

Low risk requires the implementation of few measures; high risk requires the implementation of most proposed measures

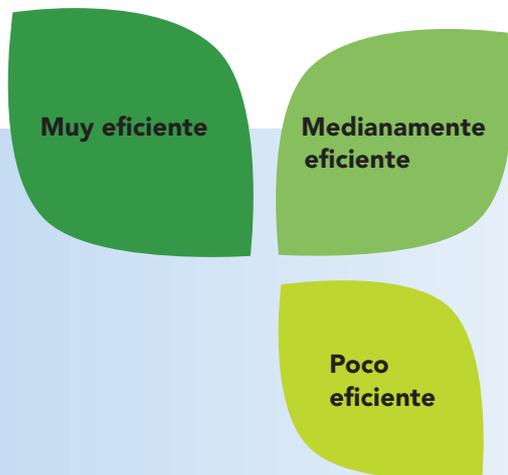
Medidas para riesgo bajo	Medidas para riesgo medio	Medidas para riesgo alto
<p>Manejar correctamente las rodadas de la maquinaria Implantar una labor de contorno</p>	<p>Establecer o mantener zanjas de retención con vegetación</p>	<p>Eliminar toda labor sobre el suelo (Siembra directa)</p>
<p>Establecer cultivos cubierta</p>	<p>Ampliar la superficie de realización de operaciones perpendicularmente a la pendiente Establecer doble siembra en las zonas más susceptibles</p>	<p>Implementar líneas alternas de cultivos (perpendicularmente a la pendiente)</p>
	<p>Establecer y mantener bandas de seguridad en las parcelas agrícolas Reducir la superficie de las parcelas</p>	<p>Establecer y mantener zonas de seguridad en las vaguadas</p>
	<p>Implantar estructuras de retención</p>	<p>Construir vallas de dispersión Establecer o mantener zanjas de retención con vegetación Establecer balsas de retención de agua</p>
<p>Optimizar el momento de aplicación de los productos fitosanitarios Reducir o eliminar las labores sobre el suelo</p>	<p>Seleccionar el producto adecuado al cultivo</p>	

MEDIDAS DE MITIGACIÓN DEL RIESGO

Para una mayor comprensión y facilidad en la toma de decisiones, las medidas de mitigación se presentan en el documento en las siguientes categorías.

Manejo del Suelo
Prácticas de Cultivo
Zonas de seguridad
Estructuras de retención y dispersión
Uso adecuado de productos fitosanitarios
Riego

Antes de proponer medidas para la reducción de la contaminación por escorrentía, se debe comprobar que sean las más adecuadas a las necesidades de un agricultor, ya que las modificaciones de manejo del suelo o de prácticas de cultivo conllevan fuertes inversiones que deben ser justificadas con los beneficios que la adopción de estas acciones aportan. Asimismo se debe tener en cuenta como estas medidas van a afectar al componente ambiental de la explotación.



Para ayudar a la selección de las medidas más adecuadas, se ha evaluado la eficiencia de las mismas en cuanto a:



Escorrentía por restricción de la infiltración



Escorrentía por saturación



Concentración de escorrentía



Implementación
A nivel de parcela (**P**)
A nivel de cuenca (**C**)

P/C

La eficiencia de las medidas ha sido definida en base a los estudios desarrollados hasta el momento. Para una más fácil comprensión, se ha definido los siguientes códigos de colores:



Manejo del suelo

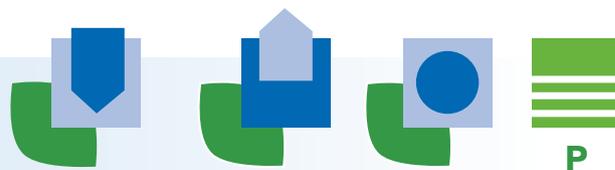
El tipo de manejo de suelo influye directamente en la capacidad de infiltración del mismo. Existen, principalmente, dos factores por los que se puede incrementar la capacidad de infiltración:

- Disminuyendo la compactación, tanto superficial como en profundidad.
- Incrementando la porosidad del suelo.

Por tanto, el objetivo principal de estas medidas es mantener el volumen máximo de agua en la parcela evitando así su pérdida por escorrentía.

La reducción de la intensidad del laboreo, la rotación efectiva de cultivos junto con el uso de cubiertas vegetales son las principales líneas de actuación de la agricultura de conservación. En las situaciones en las que esta reducción del laboreo sea inviable, el resto de medidas deben ser imprescindibles para la reducción de la compactación. La intensidad del tráfico que soporta la explotación se debe minimizar. Un buen diagnóstico de los problemas que afectan al suelo de la explotación es necesario para poder aplicar las medidas más efectivas.

1. Reducir la intensidad del laboreo



Qué hacer

Reduciendo la intensidad, o eliminando las labores sobre el suelo hasta realizar técnicas de siembra directa, se consigue una continuidad de poros en el suelo lo que conlleva a un aumento de la infiltración de agua. Asimismo se incrementa la cobertura del suelo por los residuos de los cultivos anteriores, haciendo que la energía cinética del agua de escorrentía sea menor y reduciendo el efecto erosivo por impacto de las gotas de lluvia y los procesos de formación de costra en la superficie del suelo. Además se incrementa la actividad biológica del suelo, especialmente en el número de lombrices, lo cual favorece una mejor estructura del suelo y su capacidad de infiltración mejorada.

Cómo hacerlo

La reducción del laboreo se puede entender desde varios puntos:

- Adoptando un sistema de mínimo laboreo o siembra directa.
- Reduciendo el número de operaciones y la intensidad de las mismas que actúa sobre el suelo.

Restricciones

En suelos arcillosos puede llegar a ser necesaria la realización de alguna labor en la época estival para reducir la cantidad de grietas del mismo e incluso la compactación producida por los procesos de desecación. Suelos con una red de drenaje artificial, pueden necesitar alguna labor para evitar los flujos de agua superficiales y así evacuar la misma por el drenaje establecido. Cuando se aplica un sistema de siembra directa, hay que tener en cuenta varios factores que pueden afectar a la implantación del mismo (técnicos y económicos). La modificación del sistema de manejo del suelo conlleva una variación de parámetros característicos del mismo. Cualquier cambio que se produzca en el manejo del suelo debe de ir acompañado de otra serie de modificaciones que optimicen el sistema de cultivo y debe ser evaluado en función a las características de la explotación.

Eficiencia

Diversos estudios demuestran que la aplicación de esta medida es evaluable al cabo de cierto tiempo. Son necesarios entre tres y cinco años de aplicación de estas técnicas de siembra directa o mínimo laboreo para poder observar todos los efectos beneficiosos en relación a la capacidad de almacenamiento, infiltración y reducción de la erosión y escorrentía (<http://www.agriculturadeconservacion.org>). La eficacia que puede llegar la adopción de un sistema de siembra directa sobre la reducción de la erosión se encuentra alrededor de un 90%, mientras que el uso de este sistema de manejo del suelo puede llegar a minimizar la escorrentía hasta en un 50%, siendo, por tanto, incrementada de manera significativa la capacidad de retención de agua.

Asimismo, al tener una menor perturbación del suelo se aumenta la biodiversidad del mismo, con los factores beneficiosos que provoca la fauna del suelo sobre la capacidad de infiltración del mismo y el aumento de la materia orgánica, y se necesita menor potencia de la maquinaria para la realización de las operaciones del cultivo, provocando un ahorro de energía y una disminución de emisiones.



Grietas en un suelo arcilloso

2. Preparar adecuadamente el lecho de siembra



Qué hacer

Cuando se mantienen terrones en el suelo, estos realizan una labor de barrera que hace que disminuya la velocidad del flujo de agua de escorrentía, favoreciendo así la infiltración. Estos terrones previenen de la pérdida de suelo por efecto del impacto de las gotas de lluvia que cuando los agregados son más pequeños, favorece a la formación de costra superficial y reduce la capacidad de almacenamiento de agua por parte del suelo.

Cómo hacerlo

Reduciendo las labores previas a la siembra, de manera que los agregados no sean muy pequeños, y por tanto, en caso de lluvia no serán arrastrados.

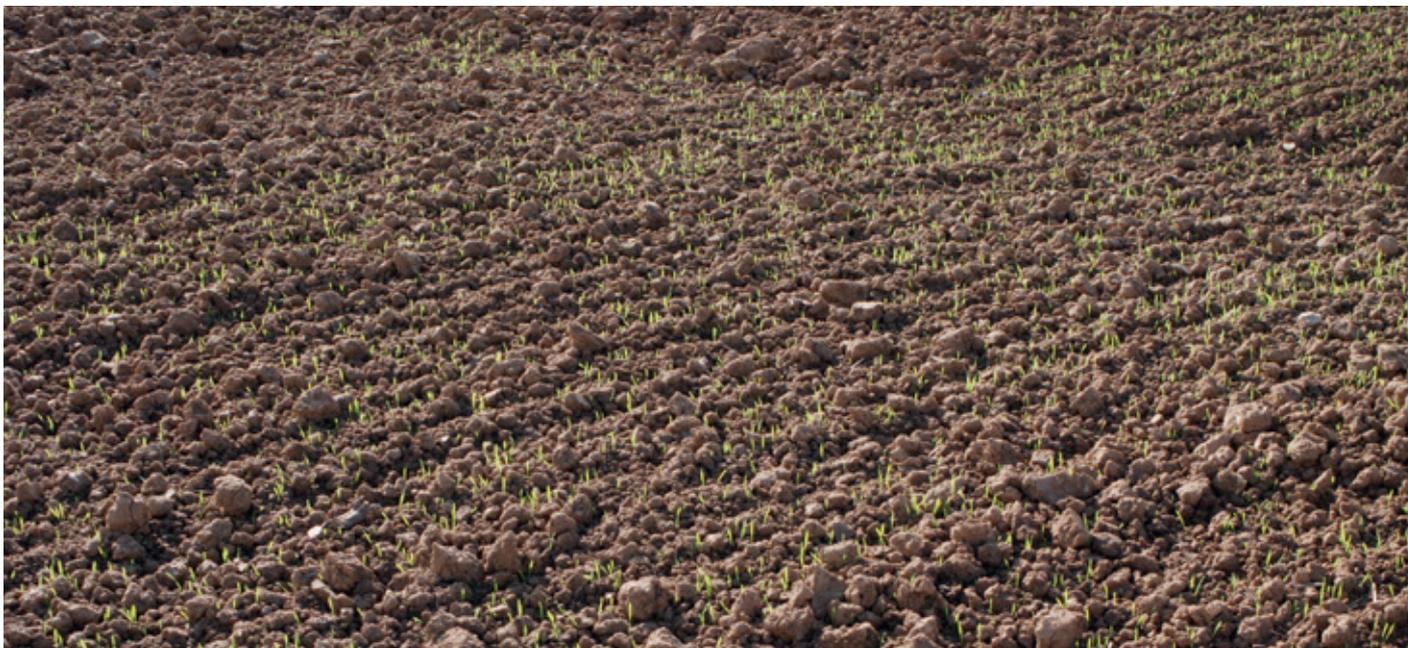
Cuando se realice la labor de preparación del suelo para la

siembra, mantener el máximo de de terrones posibles en el suelo, especialmente si se usa maquinaria accionada a la toma de fuerza en la realización de dicha labor.

Si se utiliza maquinaria accionada por la toma de fuerza, la velocidad de rotación de la misma debe ser la menor posible, pero la de desplazamiento debe ser la mayor que nos permita la labor que se está realizando.

Eficiencia

Manteniendo un alto valor de rugosidad en el suelo se consigue una importante reducción del riesgo de escorrentía, ya que se disminuye la velocidad del flujo del agua y por tanto se aumenta la capacidad de infiltración.



Los terrones del suelo reducen la energía del agua de escorrentía

3. Prevenir de la compactación superficial del suelo (Encostramiento del suelo, grietas)



Qué hacer

La mayoría de los suelos que contienen más de un 30% de limo, tienen predisposición a formar una costra en superficie y por tanto la aparición de grietas. Esta costra superficial del suelo reduce la infiltración además de aumentar los riesgos de erosión y escorrentía.



Evitar la compactación superficial

Cómo hacerlo

Mantener un alto porcentaje de materia orgánica en las capas superficiales del suelo, hace que los agregados tengan menor tendencia a formar grietas. Un alto porcentaje de residuos vegetales sobre el suelo (>50%) reduce el efecto erosivo provocado por las gotas de lluvia y disminuye la posibilidad de formación de costra superficial. Para reducir estos dos procesos, adoptar un sistema de siembra directa es la mejor opción.

El uso de maquinaria para la eliminación de la costra superficial del suelo debe aplicarse teniendo en cuenta las siguientes medidas:

- Cuando el suelo no está excesivamente húmedo,
- Utilizando neumáticos de baja presión,
- En cultivos de invierno, en las primeras etapas del crecimiento.
- Utilizando aperos verticales cuando el suelo comience a formar la costra superficial.

Eficiencia

Evitando la compactación superficial del suelo, se consigue una reducción de la escorrentía y la erosión, incrementando así la infiltración. Estudios realizados muestran que la escorrentía se puede reducir hasta en trece veces utilizando estas medidas frente a una agricultura tradicional.

4. Evitar la compactación subsuperficial



Qué hacer

La compactación en profundidad o suela de labor, puede provocar una barrera a la infiltración del agua, produciéndose, por tanto, escorrentía subsuperficial o escorrentía por saturación. El estancamiento de aguas en superficie puede ser un buen indicador de la existencia de compactación en profundidad. Asimismo algunas especies pueden indicarnos la aparición de zonas compactadas (Plantago spp., Polygonum aviculare, Equisetum spp).

Cómo hacerlo

Evitando el tránsito de maquinaria y la realización de operaciones sobre el suelo, cuando se encuentre muy húmedo, por encima de un 60% de la capacidad de campo.

Utilizando neumáticos de baja presión, conseguimos que se minimice la compactación del suelo.

Cuando el suelo se encuentra compactado en profundidad, esta capa puede romperse mecánicamente utilizando aperos verticales o con plantas que poseen raíces pivotantes.

Eficiencia

La eficiencia de estas medidas es muy variable, dependiendo de la capacidad de infiltración del suelo que pueda ser incrementada.



La realización de operaciones con el suelo muy húmedo favorece la compactación

5. Manejar correctamente las rodadas de la maquinaria



Qué hacer

Las bandas de rodadura, son las zonas de la explotación libres de cultivo por donde el tractor circula para las operaciones. Estas, deben estar adaptadas al tamaño de la maquinaria para optimizar las operaciones de cultivo, especialmente para la aplicación de productos fitosanitarios. Durante la campaña, la maquinaria circula por estas zonas en multitud de ocasiones, lo que llega a producir una compactación bastante importante en las mismas. Si la dirección de las operaciones de cultivo se realiza en sentido de la pendiente, se provocan unos canales de escorrentía, que conllevan unos altos riesgos de erosión. La utilización de un tráfico controlado puede ser un buen mecanismo para la optimización de las oper-



aciones de cultivo, especialmente en la aplicación de productos fitosanitarios, pero si nos encontramos en zonas de alto riesgo de escorrentía, estas líneas de rodadura provocan un incremento de los riesgos de erosión, por lo que deben de ser redimensionadas.

Cómo hacerlo

- Evitar realizar operaciones de cultivo cuando el suelo se encuentre muy húmedo.
Utilizar neumáticos de baja presión.
- Se debe tratar de realizar las operaciones y por lo tanto la formación de rodadas, perpendicularmente a la pendiente, siempre y cuando no suponga riesgo para el operario por vuelco.
- La compactación producida por el paso de la maquinaria en estas rodadas puede ser tratada mecánicamente mediante aperos descompactadores.
- Cambiar la orientación o posición de las rodadas en cada rotación de cultivo, siempre cuando sea posible.

Eficiencia

En zonas con fuerte pendiente y explotaciones situadas cerca de aguas superficiales, un buen diseño de las zonas de paso para realizar las operaciones del cultivo, supone una medida muy eficaz para reducir la erosión y escorrentía.

6. Crear barreras de contención en la explotación (Alomado)



Qué hacer

Crear barreras o pequeñas presas en la parcela que sean capaces de retener el agua o disminuir de manera significativa la velocidad de los flujos de escorrentía.

Cómo hacerlo

Estas barreras necesitan ser diseñadas para retener la escorrentía y favorecer los procesos de infiltración del agua en el suelo. Se deben colocar en parcelas con una pendiente no superior al 5%, ya que en pendientes fuertes, la energía con la que descende el flujo de agua de escorrentía puede romperlas.

- Estas barreras se deben colocar en sentido perpendicular a la pendiente.

En cultivos que se siembran en hilera, se ha comprobado que estos pequeños diques que se forman pueden ser un buen método para mitigar la escorrentía. Para la formación de las mismas, existe en el mercado maquinaria especial que puede preparar estos lomos. Estas barreras formadas por el alomado del cultivo tienen especial interés en como medida para la reducción de la escorrentía cuando el suelo no está suficientemente cubierto por el cultivo.

Eficiencia

La efectividad de esta acción depende en gran medida de la pronunciación de la pendiente. La distancia entre barreras de contención de agua y la altura de las mismas. Por tanto, debe ser calculada en función al volumen y la energía cinética del agua de escorrentía, así como en función del cultivo.



7. Implantar una labor de contorno



La labor en el contorno de la explotación es una práctica agrícola que se realiza en Norteamérica con más frecuencia que en Europa. La principal razón de esto es, probablemente, que el tamaño de las explotaciones en el continente europeo es menor que en el norteamericano, lo que supone una gran restricción a la implantación de esta técnica. Esta medida se realiza mediante una labor en el contorno de la explotación, con el fin de dirigir el flujo de agua hacia las zonas bajas de las pendientes. Se deben crear pequeños canales intercalando barreras naturales que retengan el agua y así disminuir su velocidad. Esta medida es eficiente cuando se tienen pendientes uniformes entre el 2 y el 10% y que no tengan una longitud mayor de 120m.

(http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_Documents/nrs143_026017.pdf).

Qué hacer/Cómo hacerlo

Hay que tener especial cuidado con la elección del equipo necesario y realizar las operaciones siguiendo las curvas de nivel. Hay que examinar cuidadosamente si la explotación permite realizar esta medida, en función de la pronunciación de la pendiente y su longitud. Asimismo es necesario poseer maquinaria que más se adecue a la operación (tractor de ruedas frente a cadenas, sistema GPS).

Eficiencia

Estudios realizados han demostrado que se puede llegar a una reducción de la erosión entre un 10 y un 50% en las zonas altas de las explotaciones. Esta medida combinada con otras (Siembra directa), si puede llegar a reducir los procesos erosivos en más de un 95% en comparación con un laboreo convencional. Una forma muy eficiente de implementar una labor en el contorno de la explotación, es la construcción de terrazas para reducir las pendientes, y así reducir el flujo de agua. El principal problema es que se requiere una gran inversión económica para adecuar la explotación a esta práctica



Prácticas de cultivo

Unas correctas prácticas de cultivo, pueden reducir de una manera muy eficiente los riesgos de erosión y escorrentía. Existen algunos cultivos que además pueden ayudar a mejorar la estructura y estabilidad de un suelo. El objetivo es proporcionar un equilibrio de las propiedades físico-químicas del suelo a través de:

- Una rotación sostenible de cultivos.
- Un incremento de la infiltración de agua en el suelo mediante la utilización de cultivos con raíces pivotantes que aumenten la porosidad del suelo.

- Una cobertura de la superficie del suelo, aumentando así la cantidad de materia orgánica y reduciendo la posible erosión producida por el impacto de las gotas de lluvia.
- La división parcelas de cultivo de gran extensión, realizando en ellas las rotaciones adecuadas. Así los propios cultivos pueden realizar la labor de zonas de amortiguación de la escorrentía y eliminar las grandes superficies de suelo sin protección de cobertura vegetal.
- Una correcta distribución de los cultivos en la cuenca para así reducir los riesgos de contaminación por escorrentía.

8. Optimizar las rotaciones de cultivos.



La rotación de cultivos es la sucesión de estos en una misma parcela a lo largo de los años con el fin de mantener la fertilidad del suelo y la productividad. Alternar cultivos de invierno y primavera es una buena medida para reducir la cantidad de productos fitosanitarios a aplicar. La rotación de cultivos se debe gestionar adecuadamente tanto a nivel de explotación como de cuenca, teniendo una especial relevancia en zonas sensibles.

Esta medida tiene gran influencia en el mantenimiento del contenido de materia orgánica en el suelo, la cual está estrechamente relacionada con la buena estructura del mismo, y por lo tanto en

una adecuada retención e infiltración de agua. Asimismo, incrementa la actividad microbiológica y por tanto acelera la degradación de los productos fitosanitarios. Así pues, la optimización de en la rotación de los cultivos tiene un impacto directo e indirecto en la reducción de la erosión y la escorrentía.

Qué hacer

La optimización en la rotación de cultivos depende de la climatología, de las condiciones del suelo y de la duración de la campaña. Debe existir una relación entre los aspectos comerciales y la sostenibilidad. El manejo óptimo de los cultivos en un sentido de aumento de materia orgánica del suelo, es uno de los aspectos a tener en cuenta a la hora de definir la rotación de cultivos en la explotación, consiguiéndose así una disminución de la escorrentía y erosión. Es importante a la hora de definir la rotación de cultivos, que se mantenga una cobertura del suelo adecuada durante los periodos críticos de escorrentía.

Cómo hacerlo

La optimización de la rotación de cultivos requiere un buen planteamiento inicial. Es importante alternar cultivos que desarrollen una alta cobertura del suelo para que después de la cosecha se puedan mantener los restos del mismo. En cuencas en las que se tenga un alto riesgo de escorrentía, debe de existir un acuerdo entre los agricultores de la misma para optimizar la rotación a gran escala.

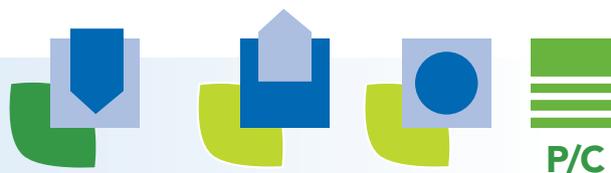
Eficiencia

Cultivos capaces de mantener el suelo cubierto durante los periodos de lluvia, pueden llegar a reducir la erosión hasta en un 90%, dependiendo de la elección en la sucesión de cultivos.



9. Implementar líneas alternas de cultivos (Perpendicular a la pendiente)

La implantación de líneas alternando cultivos a lo largo de la explotación contribuye a reducir el flujo de agua de escorrentía, por tanto aumenta la infiltración y evita la pérdida de suelo por erosión. En zonas semiáridas es recomendable, alternar líneas de barbecho con las de cultivo, con la intención de retener el mayor volumen de agua posible en la explotación. Debe tenerse especial cuidado en la orientación de estas franjas de cultivo, haciendo que las mismas estén dispuestas perpendicularmente a la línea de máxima pendiente de las laderas.



Esta medida es interesante aplicarla en grandes extensiones del mismo cultivo y con pendientes que aumenten considerablemente el riesgo de escorrentía.

Qué hacer/Cómo hacerlo

Se deben dividir las grandes explotaciones, y aquellas que sean especialmente vulnerables a los procesos erosivos, mediante la siembra de diferentes cultivos en franjas a lo largo de la curva de nivel. La eficiencia y las restricciones que esta medida conlleva son similares a las definidas en la medida de realizar labores de contorno.

10. Implantar cultivos cubierta



La siembra de un cultivo después de la cosecha y antes de sembrar uno nuevo con el fin de mantener el suelo cubierto es una medida de mitigación de los riesgos de escorrentía muy eficaz. La selección de un cultivo cubierta depende de la vegetación disponible, condiciones del suelo (especialmente la humedad) y las necesidades de la próxima cosecha.

El objetivo de los cultivos cubierta es mantener una cobertura del suelo suficiente como para reducir el riesgo de erosión tanto por escorrentía como por impacto de las gotas de lluvia en periodos en los que el suelo está desnudo. Asimismo, se consigue un aumento del contenido en materia orgánica del suelo, mejorando el estado de los agregados y reduciendo, por tanto los efectos negativos que se puedan producir, especialmente la compactación. Esta medida es más adecuada para zonas húmedas, donde las precipitaciones son más regulares y por tanto la disponibilidad de agua es mayor.

Qué hacer

La implantación de un cultivo cubierta, se ve determinado por las fechas disponibles entre los cultivos principales y la duración del periodo de crecimiento de la especie intermedia a sembrar.

- Cuanta mayor cobertura nos aporte desde la emergencia del cultivo cubierta, mayor será su eficiencia.
- Si el cultivo principal posterior tiene unos requisitos de siembra especiales, interesa un cultivo cubierta con un desarrollo corto, para que influya lo menos posible en la preparación del lecho de siembra del cultivo principal.

Cómo hacerlo

- Se deben dar unas condiciones adecuadas para la siembra del cultivo cubierta, tales que se permita un desarrollo rápido de este y que tenga la mayor densidad posible.
- Se debe de realizar la siembra perpendicularmente a la pendiente.
- La elección del cultivo se debe adecuar a las condiciones locales, de manera que se consiga la mayor eficiencia en cuanto a la prevención de la escorrentía y erosión.
- Es necesario mantener los restos vegetales del cultivo cubierta en el periodo comprendido entre la siega de este y la emergencia del cultivo principal, para que el suelo se encuentre protegido en todo momento.

Eficiencia

La eficiencia de esta medida depende del porcentaje de cobertura del suelo que se tenga cuando se producen los eventos de lluvia. Un cultivo cubierta bien establecido, es capaz de evitar en un alto porcentaje la escorrentía y erosión.

Restricciones

Los cultivos de cobertura puede interferir con el siguiente cultivo debido a:

- Que la siembra se realice de una manera que no permita un buen contacto de la semilla con el suelo debido a los rastrojos que existen sobre el suelo.
- Se agote el contenido de agua del suelo.
- Los efectos alelopáticos de los residuos de los cultivos de cobertura.
- Aumento de los niveles de patógenos del suelo.
- Aumente el número de fitófagos y puedan desarrollarse plagas.

11. Introducir la doble siembra



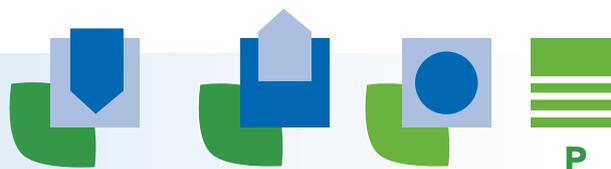
Qué hacer

Por lo general, la densidad óptima de cosecha está adaptada a las condiciones locales, pero cuando se observa excesiva escorrentía en una explotación, introducir una banda de líneas de cultivo con una mayor densidad de plantas puede reducir el volumen de agua de escorrentía. Cuando se realiza siembra de cereales, aplicar esta medida en las vaguadas de las laderas reduce el flujo de agua de escorrentía, siendo menos susceptible a la erosión y por tanto a la formación de cárcavas.

Cómo hacerlo

La doble siembra, se debe realizar en las zonas que generen más riesgo de escorrentía. Una vez realizada la siembra, se debe realizar otro pase en las zonas con mayor riesgo de escorrentía.

12. Establecer cubiertas vegetales en cultivos leñosos



Las cubiertas vegetales ofrecen protección al suelo e incrementan la porosidad del mismo, ralentizando el flujo de agua, aumenta la infiltración. Las cubiertas vegetales se establecen entre líneas de cultivos leñosos, y han de ser mantenidas a lo largo del año. En zonas donde las cubiertas vegetales puedan competir por la disponibilidad de agua con el cultivo, es importante que se realice una planificación de las operaciones sobre la misma, siendo crítico la elección de la cubierta y el momento de la siega de la misma.

Wat?

- Seleccione la cubierta vegetal adecuada en función de las condiciones del cultivo (zona, climatología, suelo...), en base al riesgo definido tras el diagnóstico.
- Dimensionar la cubierta vegetal, de tal manera que la zona desnuda entre líneas de árboles esté totalmente cubierta, pero que no influya negativamente en alguna de las operaciones de cultivo.
- Adaptar recomendaciones a las características de la zona.

Cómo hacerlo

Establecer la cubierta entre líneas de cultivo. Es importante controlar el desarrollo de la cobertura mediante la siega, mecánica o química, para evitar que compita con el cultivo principal. Para la elección de la cobertura vegetal, es importante tener en cuenta factores de biodiversidad. Una cubierta con especies autóctonas tendrá más facilidad de implantación. Otro factor importante a la hora de la elección de la cubierta, es que el ciclo de la misma se adecue a la época en las que haya más disponibilidad de agua.



Eficiencia

En zonas con pendientes suaves $< 5\%$, la eficiencia de las cubiertas vegetales, como medida de reducción de escorrentía, puede alcanzar un 100%.

13. Ampliar la superficie de realización de operaciones perpendicularmente a la pendiente.



A menudo y por razones de seguridad, la dirección dominante de la realización de las operaciones de cultivo es por la línea de máxima pendiente. Debido al manejo de la maquinaria agrícola, en las cabeceras de las pendientes, se realiza la labor de forma perpendicular a esta, ya que suelen tener una menor pronunciación. Ampliar la superficie donde se realizan estas operaciones por curvas de nivel, favorece la disminución de la velocidad del flujo de agua que escurre desde las partes altas, que son los que más riesgo conllevan en términos erosivos.

Qué hacer

Ampliar, dentro de los márgenes de seguridad, la zona de la cabecera de la pendiente en las que las operaciones se realizan perpendicular a esta. Asimismo complementar esta medida con otras, tales como realizar doble siembra en esta zona.

Cómo hacerlo

Determinar el tamaño y la densidad de siembra de acuerdo con el riesgo de escorrentía que se determine en el diagnóstico de campo siempre y cuando no se ponga en riesgo la seguridad de los operarios.

Zonas de Seguridad

Consideraciones generales

Las zonas de seguridad se consideran una medida de infraestructura en una cuenca, cuyas funciones son:

- Creación de zonas de infiltración del agua superficial.
- Disminución de la energía del flujo de agua de escorrentía mediante la implantación de la vegetación adecuada a la zona.
- Proporcionar hábitats para un incremento de la biodiversidad.
- Proporcionar zonas donde no se apliquen productos fitosanitarios y, por tanto, reducir el riesgo de transferencia de materias activas a cursos de agua.

Las zonas de seguridad son muy apropiadas para disminuir la pérdida de suelo por erosión y reducir la cantidad de agua que se pierde en la explotación. El objetivo principal es, disminuir la escorrentía en la cuenca, siendo de especial importancia la ubicación de las mismas. Debido a la complejidad y variabilidad de los factores que controlan la eficacia de una zona de seguridad, las recomendaciones para la ubicación y el tamaño de estas infraestructuras deben basarse en un diagnóstico completo. Las recomendaciones generales se indican en esta sección. Para obtener más información, consulte el manual CORPEN (En) (www.TOPPS-life.org).

Se debe evitar la evacuación rápida del el agua de escorrentía, ya que con esto solo se consigue transferir el problema a las parcelas adyacentes o a cursos de agua naturales.

a) Localización y dimensión de las zonas de seguridad

Las zonas de seguridad en campo varían en tamaño dependiendo de las características de la explotación y de las medidas aplicadas para la reducción de la escorrentía en la misma. La ubicación de estas se debe hacer considerando el flujo de agua superficial en la cuenca en la que se encuentra la explotación agrícola. Las zonas de seguridad variarán en longitud y tamaño en función de las características de la zona sobre la que se actúa y la interacción que pueda tener con otras medidas de mitigación adoptadas. El posicionamiento de las bandas de seguridad dentro de una cuenca necesita ser detenidamente estudiado, considerando el régimen de flujo de agua en la cuenca. Las zonas de seguridad se deben colocar preferiblemente cerca del origen de los problemas de escorrentía, en la parte alta de las explotaciones.

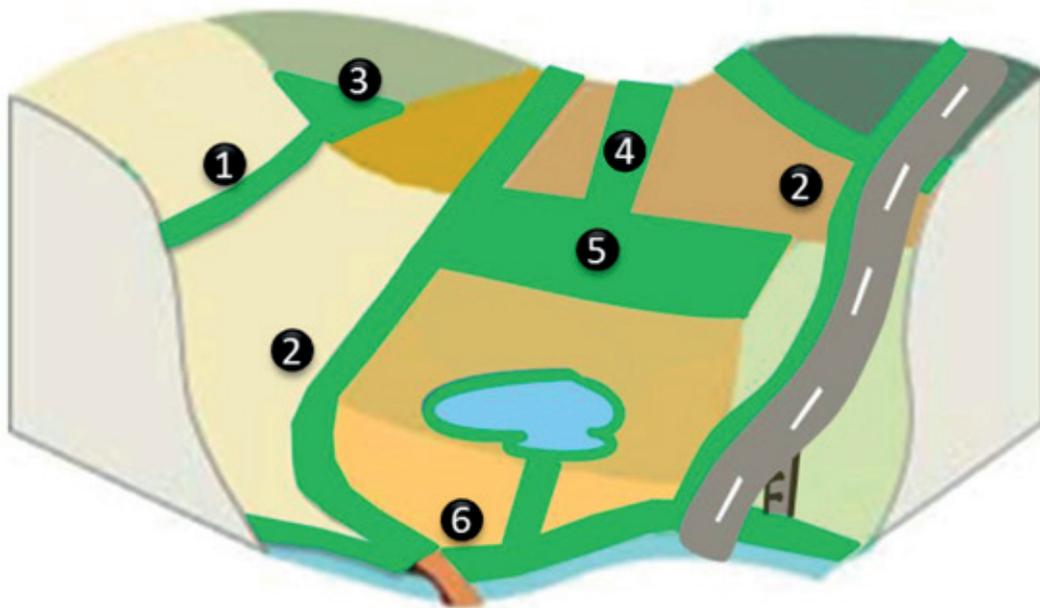
El adecuado posicionamiento de estas bandas vegetales, es mucho más importante que la anchura de la misma. La función de estas estructuras es interceptar el agua de escorrentía y los contaminantes que pueda llevar disueltos, por lo tanto hay que valorar la eficiencia de la banda de seguridad en función de diferentes parámetros: la permeabilidad del suelo, la saturación del suelo, longitud y pronunciación de la pendiente. En suelos saturados, la efectividad de estas bandas disminuye, ya que imposibilita la capacidad de retener el agua y ser infiltrada. Este efecto debe ser especialmente considerado por zonas de ribera.

Según el tipo de escorrentía se pueden determinar las bandas vegetales de seguridad en función a la posición en la cuenca:

- En las lindes entre distintas parcelas, es necesario implantar una pequeña franja vegetal con el fin de interceptar la posible escorrentía proveniente de las parcelas adyacentes.
- A lo largo de riberas de los ríos y arroyos, las bandas de seguridad previenen que el agua de escorrentía que puede venir contaminada por productos fitosanitarios desemboque directamente en los cauces.

- Establecimiento de bandas de seguridad en las vaguadas, donde se concentran los flujos de escorrentía.
- En zonas de concentración de agua (valles, dolinas), para favorecer la infiltración natural. En zonas kársticas, se debe tener especial cuidado, ya que se corre el riesgo de contaminación de aguas subterráneas, y las bandas de seguridad en este caso se convierte en una medida clave para minimizar este efecto no deseado.

- 1: Banda de seguridad dentro de la parcela, se utiliza para romper una larga pendiente en el interior de una zona de cultivo.
 - 2: Banda de seguridad en la linde de la parcela, es importante si esta supone una zona de paso de maquinaria (camino, carretera) ya que se encuentra compactada y la velocidad del flujo de agua se ve incrementada.
 - 3: Banda de seguridad en las zonas bajas de las parcelas, donde se acumula el agua de escorrentía.
 - 4: Bandas de seguridad en las vaguadas, para reducir el flujo de agua concentrado.
 - 5: Zonas de seguridad en depresiones donde se concentra el agua antes de comenzar su camino por las vaguadas de la explotación.
 - 6: Bandas de seguridad en riberas de ríos: Una franja vegetal entre el borde de la parcela y un cauce de agua, para interceptar la contaminación difusa del proveniente de las zonas altas.
- (Fuente: CORPEN / IRSTEA).



Cuidado y mantenimiento

Se pueden establecer distintos tipos de zonas vegetales de seguridad:

- Bandas de seguridad con vegetación herbáceas
- Setos arbustivos
- Combinación de setos y vegetación herbácea
- Arboledas
- Praderas

La infiltración del agua es mejor en las zonas de seguridad plantadas con leñosos ya que el sistema radicular de estos, hace que el suelo posea más porosidad. Bandas de vegetación herbácea densa es más eficiente para reducir la velocidad de flujo del agua superficial y por lo tanto mejora la captura de las partículas del suelo erosionado. Las combinaciones de ambos sistemas aumenta la eficiencia de estas medidas. Otro efecto favorable de las bandas de vegetación densas es que aumenta la degradación de los productos fitosanitarios, debido a la acumulación de materia orgánica que estimulan la actividad microbiana. La selección de especies vegetales para las franjas de protección con vegetación debe tener en cuenta las necesidades locales y no se puede generalizar. En la selección de las especies también influye el aporte al aumento de la biodiversidad que pueda suponer.



b) Manejo de las zonas de seguridad para mantener su funcionalidad.

Además de mantener una cobertura vegetal densa en las zonas de seguridad, es importante mantener una buena rugosidad del suelo, con el propósito de retener el agua de escorrentía y poder eliminar así los contaminantes que contenga. Cuando tenemos bandas de seguridad herbáceas, estas deben ser controladas de manera que no superen los 25 cm de altura, así evitamos riesgos de incendio, y mejoramos la eficiencia de la zona de seguridad. Por lo tanto, es importante la siega mecánica de estos espacios cuando comiencen a subir las temperaturas y disminuyan las precipitaciones.

Para que la efectividad en la infiltración de agua en estas zonas, y por tanto la eliminación de productos contaminantes, sea la adecuada, es necesario evitar la compactación del suelo en las zonas de seguridad. Por lo tanto se debe limitar al máximo el paso de maquinaria, no utilizándose como vías de servicio. El uso de las zonas para pastoreo puede ser una alternativa, siempre y cuando se evite el paso excesivo de ganado, ya que puede producir problemas de compactación.

Para que estas zonas no pierdan su eficiencia a lo largo de los años, es necesario que se realice cada cierto tiempo una pequeña labor con el objetivo de eliminar de la superficie la capa de sedimentos que puedan sellar los poros del suelo.

Las zonas de seguridad no deben ser fertilizadas o tratadas con productos fitosanitarios, a menos que sea esencial para el establecimiento de la vegetación densa.

c) Eficiencia y Restricciones

Estudios científicos muestra una gran variabilidad en la eficacia de estas zonas, debido a que interviene una amplia gama de factores físicos, químicos y biológicos en el funcionamiento de las bandas vegetales. Las zonas de seguridad en las riberas de los cauces de agua son las medidas de mitigación más efectivas en cuanto a la reducción de la contaminación por productos fitosanitarios. Sin embargo, la eficiencia de de estas varía entre el 50 y casi el 100%, dependiendo de la capacidad de infiltración, la textura y estructura del suelo, el porcentaje inicial de humedad en la capa superficial, la capacidad de retención de las partículas del suelo y las características de los eventos de lluvia.

Se pueden destacar tres factores como los responsables de la baja eficiencia de las franjas de protección:

- **Anegamiento de los suelos:** si el suelo en la zona de seguridad se ha saturado, esto afectará negativamente la capacidad de infiltración, a pesar de los efectos positivos de retención por parte de la vegetación. Este fenómeno es especialmente relevante para las bandas de seguridad de riberas, que están cerca a las aguas superficiales.
- **La compactación del suelo:** si el suelo en estas zonas se compacta mediante tráfico de maquinaria o por pisadas de animales, la capacidad de infiltración de disminuirá, dando como resultado una reducción de la eficiencia.
- Los depósitos de sedimentos de material de suelo erosionado en la zona de seguridad puede conducir a un mal funcionamiento de esta durante los eventos de lluvia de alta intensidad, debido a la obstrucción de los poros del suelo.

d) Otros efectos positivos

Las bandas vegetales de seguridad pueden ofrecer otros beneficios:

- La reducción global de la erosión en una cuenca y por lo tanto la reducción de la sedimentación en los arroyos. La disminución de entrada de nutrientes (fósforo, nitrógeno) a las aguas superficiales, que dan lugar a la eutrofización.
- Proporcionan un hábitat para especies y aumentan la biodiversidad en cuencas agrícolas.
- El aumento de la conectividad de ecosistemas en cuencas agrícolas, creando corredores para la fauna.
- Contribuye a que la cuenca tenga una mayor heterogeneidad, y por tanto puede ser un atractivo turístico por el aumento de diversidad.

Las medidas que se describen a continuación, tienen unos efectos similares para todas las zonas de seguridad, aunque estas variarán en tamaño y composición vegetal en función a la zona a la que se destinen.



14. Establecer y mantener bandas de seguridad en las parcelas agrícolas



Qué hacer

La implantación de bandas vegetales de seguridad en las parcelas puede ser una medida muy eficaz para favorecer la infiltración del agua de lluvia procedente de las zonas altas de la parcela cuando el flujo es pequeño. Normalmente estas bandas se implementan con hierba permanente o setos.



Cómo hacerlo

Localizar las zonas intermedias de la parcela donde los riesgos de erosión sean mayores y dimensionar la banda de seguridad en función a los resultados obtenidos en el diagnóstico de la explotación. Estas franjas se deben posicionar perpendicularmente a la línea de máxima pendiente para evitar la canalización de la escorrentía. Se pueden establecer tanto franjas herbáceas como arbustivas formando setos, dependiendo de las funciones a desempeñar. Las especies plantadas deberán:

- Ser parte de la vegetación natural de la zona, evitando que sea una especie invasiva.
- Que esté adaptada a las condiciones locales.
- Que posea rigidez suficiente para resistir el flujo de agua, lo que reduce la velocidad del agua de escorrentía.
- Que proporcione una cobertura vegetal densa.

Eficiencia y Restricciones

Este tipo de bandas de seguridad puede aumentar el tiempo de trabajo necesario para la realización de las operaciones de cultivo. Son muy eficaces en cuanto a la retención de la escorrentía. Sin embargo pierden eficacia si se crean canales de escorrentía producida por rodadas de maquinaria. En estos casos, modificar el nivel en el que se encuentra la banda de seguridad, provocando un pequeño salto de agua, favorece la redistribución del agua.

15. Establecer y mantener bandas de seguridad en las lindes



Las lindes de las explotaciones suelen estar adyacentes a caminos de servicio o carreteras. Estas vías, hacen que el flujo de agua adquiera excesiva velocidad. Disponer de bandas de seguridad en el margen de la parcela, junto a caminos favorece la infiltración del agua que proviene de estas zonas y que acarrea riesgos de escorrentía y erosión. Además retienen los sedimentos y contaminantes procedentes de parcelas limítrofes.

Qué hacer

Establecer zonas de seguridad en las lindes de las parcelas y explotaciones de acuerdo al diagnóstico realizado.

Estas bandas son muy eficaces para retener la escorrentía de las explotaciones adyacentes. A diferencia de las zonas de seguridad de riberas, estas se pueden inundar, ya que tienen más capacidad de infiltración. Normalmente estas zonas de seguridad se deben establecer con vegetación herbácea o arbustiva.

Cómo Hacerlo

Localizar y dimensionar las bandas en función al diagnóstico previamente realizado. Se debe evitar que se produzcan canalizaciones de agua a través de rodadas de maquinaria, ya que la efectividad de la misma se verá reducida considerablemente. La vegetación a implantar dependerá de la adaptación que esta tenga y de las necesidades de retención.

Las especies plantadas deberán:

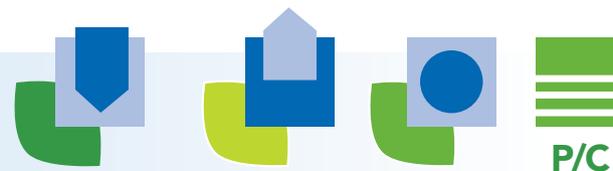
- Ser parte de la vegetación natural de la zona, evitando que sea una especie invasiva.
- Que esté adaptada a las condiciones locales.
- Que posea rigidez suficiente para resistir el flujo de agua, lo que reduce la velocidad del agua de escorrentía.
- Que proporcione una cobertura vegetal densa.

Eficiencia y Restricciones

Las zonas de seguridad en las lindes de las parcelas son eficaces para la retención de la escorrentía difusa de las explotaciones adyacentes. Sin embargo, si se concentra el flujo de agua, pierden gran parte de su efectividad, con lo que sería necesario establecer alguna medida de dispersión de dicho flujo.



16. Establecer y mantener bandas de seguridad en las riberas



Las franjas de seguridad en las riberas, son zonas de amortiguación del flujo de agua de escorrentía situadas junto a los cursos de agua, permanentes o estacionales. Las funciones de estas son similares a las mencionadas anteriormente: reducen la escorrentía por la infiltración de agua en el suelo y retienen los sedimentos provocados por la erosión.

Además, las bandas de seguridad en las riberas son medidas eficaces de mitigación para reducir las entradas de sustancias transferidas por el viento (deriva) en las aguas superficiales. Este efecto puede ser aún mayor, si estas zonas poseen una vegetación arbustiva o arbórea.

Las bandas de seguridad en las riberas de los cursos de agua están reguladas a través de la Directiva de Uso Sostenible (DUS) que establece el tamaño de las mismas en 5 m. Por otro lado, esta medida tiene efectos beneficiosos, aparte de la reducción de entradas de contaminantes en las aguas superficiales.

- a. Favorecen la estabilización de los taludes de riberas de los ríos.
- b. Mejoran las condiciones ecológicas en los cursos de agua.
- c. Aumentan la biodiversidad.
- d. Contribuyen a la conectividad entre ecosistemas.

Los estudios muestran que la mayoría de las aguas de escorrentía superficial en un río proviene de pequeños arroyos en la cuenca superior (nivel 1 o 2, como se define por el método Strahler, ver figura 1). Por lo tanto, deben de priorizarse la implantación de las bandas de seguridad en estos niveles. En niveles superiores (nivel 3 en adelante) la eficacia en la protección por parte de las bandas de seguridad es más limitada.

Qué hacer

El primer paso es definir los objetivos de protección que se quieren alcanzar con este tipo de banda de seguridad. La realización de un diagnóstico del riesgo de escorrentía y la necesidad de retención de sedimentos y partículas contaminantes, determinará las dimensiones de la banda de seguridad, para un correcto funcionamiento de la misma. Si tras el diagnóstico se requiere una superficie muy grande, incompatible con la producción agrícola, habrá que combinar esta medida con alguna de las expuestas en el documento, para optimizar los efectos de esta medida. La vegetación en la banda de seguridad debe adaptarse a los objetivos previstos: Vegetación anual, perenne o mixta (hierba, arbustos, setos o árboles).

Cómo hacerlo

Para pequeños cursos de agua, arroyos (permanentes o no), puede ser suficiente con una franja de vegetación herbácea alternada con arbustiva, mientras que para cauces mas grandes la vegetación arbórea es necesaria para conseguir los fines deseados, protección frente a contaminantes y estabilización de los márgenes del río.

La localización y dimensión de la banda se debe realizar de acuerdo a los resultados del diagnóstico de la explotación, con el fin de maximizar la mitigación de los riesgos.

La vegetación a implantar debe cubrir los mismos requisitos que en las medidas anteriormente expuestas
Las zonas de seguridad en las riberas de los cauces no deben:

- Ser fertilizadas.
- Ser tratadas con productos fitosanitarios.
- Ser utilizada como vía de servicio para el tránsito de maquinaria.

Si se acumulan sedimentos en la banda de seguridad, estos deben ser eliminados de la misma para favorecer la labor que realizan.

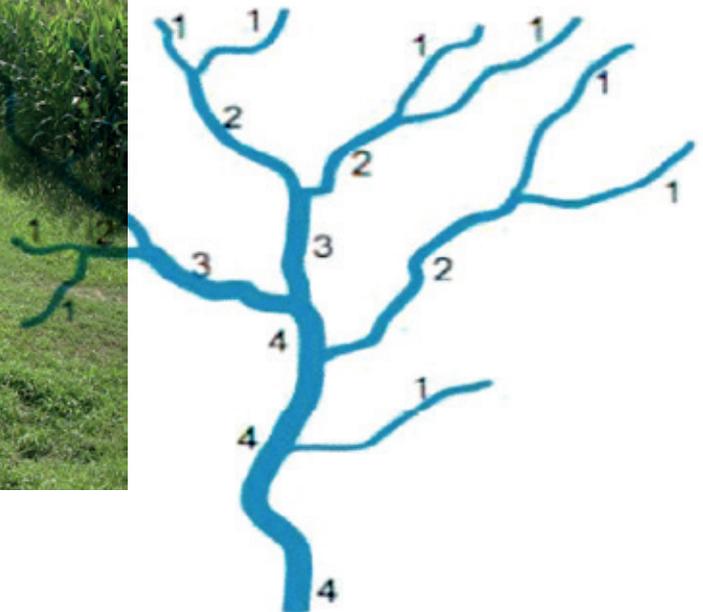
Eficiencia y Restricciones

Los suelos de zonas de seguridad ribereñas sufren la influencia del nivel freático del curso de agua, por tanto, estos suelos tiende a saturarse con mayor facilidad. En este caso la banda de seguridad no resulta tan efectiva, y debe estar acompañada con otras medidas que nos permitan reducir el riesgo de contaminación. Por tanto es necesario un diagnóstico exhaustivo para estimar la eficiencia de la medida. Sin embargo, zonas de seguridad en las riberas actúan como última línea protección de contaminantes y, por tanto un ancho mínimo de 5 metros (según la DUS) se debe aplicar en todos los cauces.



Banda de seguridad de ribera

Clasificación de los cursos de agua en una cuenca, Strahler, por orden de importancia



17. Establecer y mantener zonas de seguridad en las vaguadas



Qué hacer

Una vaguada es una zona de alto riesgo de escorrentía y erosión, ya que en esta se concentra la escorrentía de las laderas. A menudo estas zonas se convierten en el inicio de pequeños arroyos estacionales, formándose cárcavas de gran tamaño. Determinar el riesgo en las vaguadas a través de un correcto diagnóstico es clave para reducir el riesgo de contaminación. Una medida eficaz para reducir la escorrentía en las vaguadas, es establecer a lo largo de la misma una banda de seguridad densa de vegetación herbácea.



Vaguada a lo largo de una parcela

Cómo hacerlo

Localizar y dimensionar la banda de seguridad en función a los resultados obtenidos en el diagnóstico de la explotación. Es importante tener especial cuidado en la elección de la vegetación a plantar, ya que debe cumplir los requisitos de densidad y amortiguación sin alterar el desarrollo del cultivo principal en cuanto a competencia.

Es importante mantener una zona más amplia de seguridad en el comienzo de la vaguada, ya que así se evita la formación de cárcavas. Establecer vegetación arbustiva contribuye en gran medida a dispersar el flujo de agua.

Restricciones

Las bandas de seguridad en las vaguadas del terreno, a menudo forma nuevos límites, dando lugar a parcelas que no facilitan las operaciones con maquinaria. Por lo tanto, puede aumentar el tiempo de trabajo para el cultivo.

18. Establecer y mantener setos arbustivos y arbóreos



Este tipo de coberturas junto a los cursos de agua, como elemento de retención de escorrentía supone un efecto beneficioso al medioambiente. Dentro de las funciones, se puede destacar el uso como eficaces cortavientos, hábitats para la fauna autóctona y estabilizadores de los taludes de las riberas de los ríos. Además tienen gran importancia en referencia a la infiltración de agua y la retención de partículas contaminantes provenientes de fuentes difusas, tanto por escorrentía como por deriva.

Las zonas de seguridad con especies arbóreas y arbustivas, favorecen la aireación y capacidad de infiltración de agua en el suelo,



ya que al poseer raíces más profundas que la vegetación herbácea, aumentan el número de poros del suelo. Por tanto, este tipo de bandas de seguridad son bastante eficientes, siempre y cuando la escorrentía sea difusa y no concentrada, siendo más efectivas cuando están situadas en las zonas medias y altas de las laderas. Además este tipo de franjas facilitan la retención de pérdida de suelos arenosos y limosos por erosión.

Qué hacer

Para establecer esta medida, se debe realizar un cuidadoso análisis de las condiciones de la zona, que nos debe determinar la elección de las especies a implantar, así como la anchura necesaria de la franja.

Estos setos arbustivos se deben plantar en dirección perpendicular a la línea de máxima pendiente y deben complementarse con franjas pequeñas (2 o 3m) de vegetación herbácea, para aumentar la eficiencia de la medida. Deben ser lo suficientemente densos para asegurar la retención de agua y la protección contra el viento, que puede transportar partículas contaminantes por efecto de la deriva.

En cuanto a la selección de especies, esta no debe afectar a las condiciones de crecimiento de los cultivos.

Cómo hacerlo

Para un correcto desarrollo de las raíces de las especies seleccionadas, se debe preparar adecuadamente el suelo. Las especies se deben elegir de manera que el seto sea robusto y no produzca competencia con el cultivo. Los setos deben ser plantados de manera escalonada con un ancho de 1m como máximo, procurando que la densidad de plantas sea la adecuada para que cuando las especies crezcan cierren los espacios entre plantas. Se debe tener especial cuidado en la primera etapa de crecimiento de las especies leñosas, ya que al tener un desarrollo más lento que la vegetación adventicia, esta puede provocar competencia. Por tanto es necesario una exhaustiva observación del crecimiento de las especies que se han plantado y eliminar la vegetación que pueda competir con esta.

Para el mantenimiento se debe realizar una poda de formación severa en los primeros años. Con el trascurso de los años, controlar el volumen de madera, la anchura y la forma.

Restricciones

La implantación de setos hace que disminuyan las parcelas y por lo tanto aumente el tiempo de trabajo para la misma superficie. Se requiere un replanteamiento de la movilidad de la maquinaria para optimizar las operaciones, lo que puede extenderse en los años para elegir la opción más apropiada. Por otro lado, el mantenimiento de los setos puede ser costoso y requiere grandes esfuerzos.

19. Mantener las arboledas



Las arboledas son muy eficientes en términos de infiltración de agua de escorrentía, reteniendo los sedimentos erosionados y reduciendo la difusión de nutrientes y productos fitosanitarios. Asimismo, tienen beneficios medioambientales, mejorando los microclimas, estabilizando los suelos y como hábitat de fauna.

Las arboledas, al tener un tamaño mayor que las bandas de seguridad son muy eficaces en cuanto a retención de agua de escorrentía y capacidad de infiltración. Sin embargo, establecer pequeños bosques en la explotación supone una gran inversión que puede ser recuperada si se le da a esta arboleda uso maderero.

Qué hacer

Las arboledas, son amortiguadores naturales en una cuenca. En caso de implantarla, es fundamental trabajar con asesores locales para dimensionar la misma de manera que se produzcan los efectos beneficiosos en términos ecológicos, y pueda ser rentable económicamente. La selección de las especies dependerá de los objetivos que quiera que desempeñe la arboleda (Biodiversidad, aprovechamiento maderero,..).

Cómo hacerlo

Estas arboledas se deben establecer en pendientes pronunciadas, las cuales son menos productivas agrónomicamente, o en las zonas bajas de las laderas junto a las riberas de los cursos de agua.

Consultar con asesores forestales para establecer y mantener estos bosques y así generar beneficios adicionales además de reducir la escorrentía superficial.

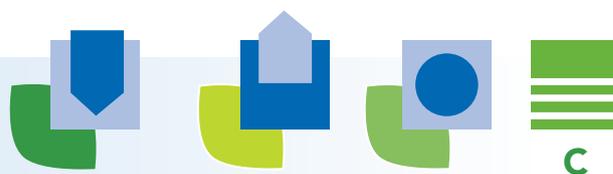
20. Manejar adecuadamente las vías de servicio

Qué hacer

Los caminos de servicio para el acceso a las parcelas pueden constituir un riesgo para la formación de escorrentía, ya que al estar compactados, no se produce infiltración. Se debe tener especial cuidado en aquellos que estén a favor de la pendiente. Si existen zonas de rodadura en los caminos, estas pueden ser tratadas aportando grava sobre las mismas, para amortiguar el incremento de energía cinética que puede adquirir el agua de escorrentía. Los límites entre los caminos y la parcela deben tener una franja de vegetación robusta, capaz de retener y disminuir el flujo de agua.

Cómo hacerlo

Utilizando grava gruesa con el fin de fortalecer las vías de servicio. A partir de ese momento, sembrar una especie herbácea robusta, que sea resistente al tráfico de maquinaria.

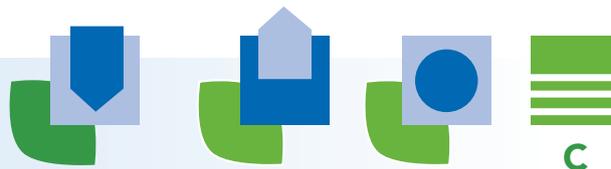


Estructuras de retención y dispersión

Estas estructuras tienen como objetivo dispersar y retener el flujo concentrado de escorrentía.

Debido al alto costo de implantación de estas estructuras, se requiere un estudio adecuado de los riesgos de contaminación por escorrentía, evaluando la eficiencia de las distintas medidas propuestas.

21. Establecer o mantener zanjas de retención con vegetación



Mantener vegetación en el interior de las zanjas que se forman en la explotación es una medida para proteger las zonas bajas de la cuenca de contaminación de productos fitosanitarios y de sedimentos provenientes de las partes más altas. Zanjas o pozas que se crean no suelen contener agua durante todo el año, pero es importante mantener la vegetación en ellas para retener el flujo concentrado de escorrentía que se producen con las primeras lluvias. Su función principal es capturar, evaporar e infiltrar el agua y retener los sedimentos erosionados. Este tipo de zanjas no deben nunca estar directamente conectados a los cursos de agua.

Qué hacer

El establecimiento de zanjas con vegetación se hace generalmente después de un diagnóstico exhaustivo de los riesgos de escorrentía y es necesario identificar el lugar adecuado para su construcción. A veces es necesario eliminar los sedimentos de las zanjas, ya que estos pueden reducir la capacidad de retención de agua si se depositan en demasía.

Cómo hacerlo

Las zanjas deben ser lo suficientemente grandes como para retener el agua de escorrentía y capturar los sedimentos que transporta. La vegetación en el interior de las mismas tiene la función de degradar los productos fitosanitarios y maximizar la sedimentación de las partículas de suelo arrastradas. Si el volumen de sedimentos es muy grande, puede ser necesaria la eliminación de estos regularmente para que la zanja de retención de agua no se colmate.

Los aspectos generales a considerar son:

- Localizar las zanjas de retención en las zonas críticas de la cuenca, donde resulte más difícil retener la escorrentía.

- Dimensionar las zanjas adaptándolas a la escorrentía esperada:
 - Volumen: acorde al volumen típico de escorrentía que sucede en la cuenca.
 - Profundidad: no superior a un metro.
 - Ancho y Largo: El diseño de la zanja se debe adecuar al espacio disponible y los requisitos de volumen.
- Implantar en el interior de la zanja vegetación autóctona, que se adapte a temporadas de baja aireación por inundación.
- Si los sedimentos acumulados en el interior de la zanja, reducen la capacidad de retención en más de un 20%, eliminarlos.

Eficiencia

Las zanjas artificiales con vegetación, son unas formas especiales de humedales. Está demostrado que este tipo de medida de mitigación, tiene mayor capacidad de eliminación de productos fitosanitarios de las aguas de escorrentía. El rendimiento es variable en función de la cantidad de agua que sea capaz de retener la zanja.

Esta medida gana en eficiencia con los residuos de los productos fitosanitarios hidrófobos, ya que al entrar en este tipo de estructuras de retención, sedimentan con gran facilidad.

Restricciones

Este tipo de zanjas, al ser estructuras artificiales con el fin de mantener las aguas limpias de contaminantes, pueden interferir en el funcionamiento de los ecosistemas. Por tanto, antes de establecer esta medida, se debe de realizar un estudio ambiental de la zona.

22. Establecer balsas de retención de agua.



Se pueden crear en las zonas bajas de las explotaciones, pequeñas balsas, que retengan el agua de escorrentía y los sedimentos transportados. Estas pequeñas balsas de retención no tienen por qué contener agua durante todo el año, solo cuando se produzcan procesos de escorrentía.

Los humedales naturales, son adecuados para mantener el agua de escorrentía y por lo tanto deben de mantenerse si se encuentran en la explotación.

Qué hacer

Es necesario un diagnóstico exhaustivo de la cuenca para determinar la posición, el tamaño y el volumen de almacenaje de agua de la balsa. Se requiere un mantenimiento periódico, eliminando el exceso de sedimentos depositados, ya que podrían reducir la capacidad de retención del flujo de agua.

Cómo hacerlo

La capacidad de retención de estas balsas, debe ser suficiente como para captar el agua de escorrentía de un suceso de precipitación característico de la zona. El tiempo que debe permanecer el agua en la balsa, se debe optimizar, utilizando vegetación para la completa eliminación de los productos contaminantes que pueda poseer.

Este tipo de balsas se deben construir sobre suelos que no estén directamente conectados con acuíferos y es necesario que en su interior se desarrolle vegetación suficiente como para poder eliminar cumplir los fines que se buscan.

Se deben considerar los siguientes aspectos:

- Definir objetivos claros: si la balsa tiene como único fin la reducción de la transferencia de la contaminación de las aguas o tiene un fin de protección de inundación de otras zonas.
- Los límites de intercambio entre las balsas artificiales y las aguas subterráneas,

- El tamaño, que sea adecuado a las necesidades de retención de agua de la zona:
 - Volumen: Diseño acorde a los eventos de precipitación y escorrentía.
 - Profundidad: Lo adecuado es una profundidad entre 0.5m y 1m.
 - * La vegetación a implantar en el interior de la balsa, deben ser especies adaptadas a la zona y a una inundación regular.
- Si los sedimentos acumulados en el interior de la zanja, reducen la capacidad de retención en más de un 20%, eliminar estos sedimentos.

En líneas generales, es necesario un estudio experto para el establecimiento de estanques de retención. Para más detalles, consultar a asesores ambientales y manuales técnicos.

Eficiencia

Estudios científicos han demostrado que los humedales con vegetación puede facilitar la degradación de los productos fitosanitarios contenidos en el agua de escorrentía. El rendimiento es variable, ya que depende del tiempo que el agua se encuentra retenida en estas estructuras. Al igual que en las zanjas, esta medida es más eficaz para productos hidrófobos.

Restricciones

Este tipo de zanjas, al ser estructuras artificiales con el fin de mantener las aguas limpias de contaminantes, pueden interferir en el funcionamiento de los ecosistemas. Por tanto, antes de establecer esta medida, se debe de realizar un estudio ambiental de la zona.

23. Establecer o mantener pequeños diques en los márgenes de las parcelas

El objetivo de esta medida es retener el flujo de escorrentía mediante la formación de pequeños diques o terraplenes en los límites de las parcelas. La construcción de estas estructuras tiene como misión detener el movimiento de agua y su carga de sedimentos, lo que permite una infiltración más eficaz.



Qué hacer

Construir en las zonas bajas de las explotaciones pequeños escalones con el fin de detener el agua de escorrentía y los sedimentos erosionados.

Estas estructuras tienen un mejor funcionamiento en suelos de textura arcillosa. Es necesario un mantenimiento periódico, ya que eventos de precipitación intensos que generen un flujo de escorrentía mayor del esperado, puede fracturar estos diques, haciendo que pierdan su función

Cómo hacerlo

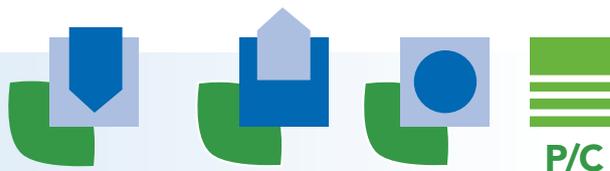
Excavar en el borde exterior de la parcela y realizar un dique de una anchura de 30-50 cm y la altura necesaria según el volumen de agua que se quiera retener.

Con el fin de estimar las medidas de estas estructuras, se puede seguir las siguientes recomendaciones:

Para parcelas cuyas lindes estén en línea de máxima pendiente, la altura del dique debe ser igual o mayor que la altura que alcanza el volumen de agua que se genera por escorrentía.

Para parcelas cuyas lindes sean secantes o perpendiculares a la línea de máxima pendiente, la altura del dique debe ser sensiblemente mayor que la altura que alcanza el volumen de agua que se genera por escorrentía.

24. Establecer elementos de dispersión



Las estructuras de dispersión del agua de escorrentía, hacen referencia a elementos artificiales tales como troncos, ramas, piedras, que se disponen a lo largo de la cuenca con el fin de dispersar los flujos concentrados de escorrentía.

Qué hacer

Las estructuras de dispersión se deben construir como pequeñas vallas a partir de ramas, troncos o piedras. Se deben disponer perpendicularmente a la pendiente de manera que rebajen la energía del agua, pero deben ser permeables, ya que la misión de estas no es retener, sino dispersar.



Vallas de madera

Si se utiliza madera para la construcción de las vallas, se debe realizar un seguimiento del estado de la misma, necesitándose un cambio de la estructura cada cuatro años aproximadamente. La utilización de madera y piedras, al igual que en las anteriores, debe ser permeable al agua, y son muy efectivas en las entradas a los cauces de agua. Este tipo de estructura requiere un mantenimiento cada 2 o 3 años, con el fin de reemplazar los elementos leñosos dañados y eliminar los sedimentos que se puedan haber acumulado entre las piedras.

Cómo hacerlo

Excavar el suelo hasta una profundidad de 30 cm y 50 cm de ancho, y a partir de ahí construir la valla en función de los materiales y necesidades de dispersión de agua.

Estas estructuras de dispersión se pueden combinar con bandas, mediante la siembra de una franja de especies herbáceas autóctonas que nos complemente la medida, acorde a los objetivos que se planteen.

Restricciones

Estas estructuras necesitan mucha mano de obra para su construcción y unos costes elevados, tanto para la construcción como para el mantenimiento.



Uso correcto de los productos fitosanitarios

Consideraciones generales

El registro de los productos fitosanitarios aborda los riesgos asociados a la manipulación en la aplicación de los mismos en términos de seguridad humana y ambiental. Los requisitos obligatorios presentes en las etiquetas de los productos deben ser considerados como una parte integral de la compleja estrategia para reducir la contaminación del agua superficial, que incluyen la adopción de otras prácticas de manejo. El uso correcto de los productos fitosanitarios se debe iniciar con una calibración precisa de los equipos de aplicación.

25. Optimizar el momento de aplicación

Qué hacer

Se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- No realizar aplicación de productos alguna si existe alta probabilidad de lluvia en las siguientes 48 horas.
- No aplicar productos fitosanitarios en suelos saturados.
- Realizar el número de aplicaciones necesario y con una concentración del caldo acorde a las necesidades específicas de cada parcela.



Cómo hacerlo

- Leer cuidadosamente la etiqueta del producto y adaptarse a los requerimientos de aplicación que se detallan.
- Consultar el pronóstico climatológico previamente a la aplicación, descartándose esta si se prevén vientos que puedan implicar riesgos de contaminación.
- Compruebe que el suelo no se encuentra saturado en el momento de la aplicación.
- Si donde se va a realizar la aplicación existe un drenaje artificial, comprobar si el agua está fluyendo a través de los desagües y, en caso positivo, evitar los tratamientos.

26. Optimizar la aplicación en función de la época del año.

Un aspecto a tener en cuenta y esencial en la aplicación de productos fitosanitarios, es evitar la realización de esta operación en la época de recarga de los acuíferos.

Qué hacer

- Seleccione el producto adecuado en función a la época de aplicación.
- Realizar las aplicaciones fuera de temporada de recarga de acuíferos.



Cómo hacerlo

- Leer cuidadosamente la etiqueta del producto y adaptarse a los requerimientos de aplicación que se detallan.
- Delimitar las zonas de la explotación más vulnerables en cuanto a riesgos de transmisión de contaminantes a las aguas subterráneas.
- Evitar la aplicación de productos, en la medida de lo posible, a finales de otoño o principios de la primavera, cuando los suelos suelen encontrarse saturados.

27. Seleccionar el producto adecuado al cultivo.



Qué hacer

- Seleccionar el producto apropiado en función del problema a resolver.
- Leer la etiqueta cuidadosamente y respetar las recomendaciones de la misma.
- Si el producto seleccionado requiere medidas específicas de mitigación, consulte a su asesor, para seleccionar la mejor estrategia (por ejemplo, reducción de la dosis en combinación con otros productos).
- Tomar medidas para eliminar las fuentes de contaminación puntuales y aplicar medidas viables para reducir el riesgo de contaminación difusa.

Cómo hacerlo

- Seguir los consejos de los asesores de la zona.
- Comprobar si el manejo de productos es el adecuado para evitar la contaminación puntual y difusa, a través de la aplicación las medidas de precaución correctas en el limpiado de los equipos. Asimismo se debe tener regulada la maquinaria acorde a las especificaciones de la misma.
- Realizar una auditoría de la explotación con el fin de optimizar la aplicación de productos y minimizar los riesgos de contaminación.
- Optimizar la aplicación para reducir el riesgo de transferencia de productos fitosanitarios al agua.
- Utilizar tecnología para optimizar la operación de aplicación y así reducir el volumen de producto aplicado.
- Consulte con el asesor acerca de otras opciones para garantizar la protección de cultivos en caso de alto riesgo.



Restricciones

Tras una evaluación, se debe consensuar entre agricultor y asesor las medidas más adecuadas para evitar la contaminación. Estas medidas deben ir encaminadas a un correcto uso de los productos fitosanitarios y al establecimiento de las infraestructuras necesarias.

La aplicación de medidas de reducción de contaminación por escorrentía es un trabajo colectivo a nivel de cuenca de captación. Por tanto es necesario un acuerdo entre todos los agricultores implicados.

En áreas sensibles, los estamentos públicos deben interactuar con los agricultores con el fin de adoptar las soluciones más adecuadas, para evitar la pérdida de calidad de las aguas.

Riego

El riego es una aplicación artificial de agua al suelo, donde la disponibilidad de agua natural para un cultivo no es suficiente en ciertos momentos. Es necesaria una correcta gestión del riego para evitar problemas de escorrentía y por lo tanto de difusión de materias activas contaminantes.



28. Seleccionar tecnología de riego adecuada



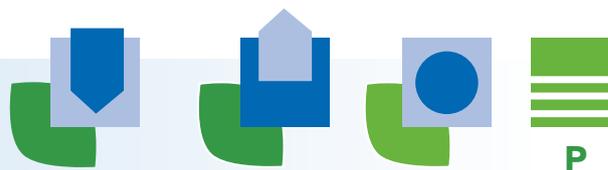
Los diferentes sistemas de riego se caracterizan por variaciones en los volúmenes de agua utilizados y por el modo de aplicación. El riego por inundación requiere la mayor cantidad de agua. La aplicación de riego por aspersión puede causar compactación superficial producida por el impacto de las gotas sobre la superficie del suelo. El riego por goteo utiliza el menor volumen de agua, y por el modo de aplicación de agua al suelo lo hace el sistema de menor riesgo de escorrentía, aunque no es viable para todo tipo de cultivos.

Para reducir el riesgo de escorrentía es necesario conocer el contenido de agua del suelo, la capacidad de retención y los requerimientos del cultivo en relación a la evapotranspiración.

Qué hacer/Cómo hacerlo

Invertir en tecnologías de riego eficientes en función a las necesidades del cultivo y las características de la zona.

29. Optimizar el riego



Qué hacer

Reducir el riesgo de escorrentía a través de un correcto manejo del riego, teniendo en cuenta el contenido de agua del suelo, la capacidad de retención del mismo y las necesidades del cultivo en términos evapotranspirativos.

Cómo hacerlo

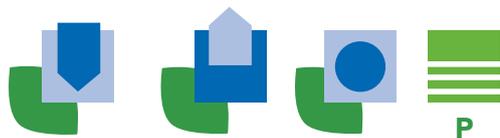
Controlar y gestionar la cantidad de agua requerida por el cultivo. Es necesario conocer el contenido de humedad del suelo, y la previsión meteorológica para optimizar los riegos. El uso de sistemas informáticos de apoyo a la planificación del riego es muy útil en la eficiencia del mismo.

Evaluación de la eficacia de las medidas

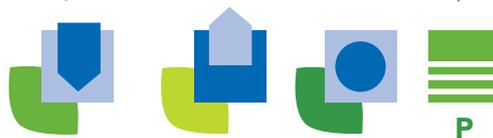
En las siguientes figuras se evalúa la eficacia de las medidas en función a los distintos tipos de escorrentía: Restricción a la infiltración, exceso de saturación y concentración de escorrentía, (Ver leyenda en página 30).

La escala de la categoría se define de en función del nivel de aplicación: Parcela (P) o Cuenca (C).

1 Reducir la intensidad del laboreo



5 Manejar correctamente las rodadas de la maquinaria



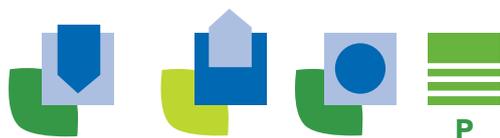
2 Preparar adecuadamente el lecho de siembra



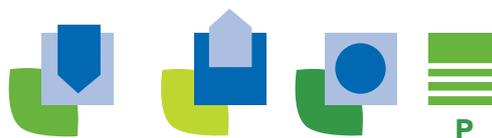
6 Crear barreras de contención en la explotación (Alomado)



3 Prevenir de la compactación superficial del suelo



7 Implantar una labor de contorno



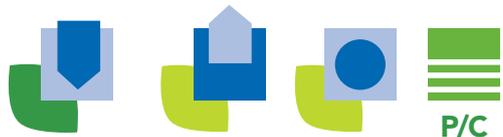
4 Evitar la compactación subsuperficial



8 Optimizar las rotaciones de cultivos.



9 Implementar líneas alternas de cultivos
(perpendicular a la pendiente)



13 Ampliar la superficie de realización de operaciones
perpendicularmente a la pendiente.



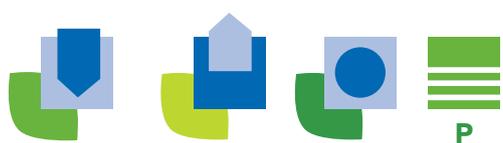
10 Implantar cultivos cubierta



14 Establecer y mantener bandas de seguridad en
las parcelas agrícolas



11 Introducir la doble siembra



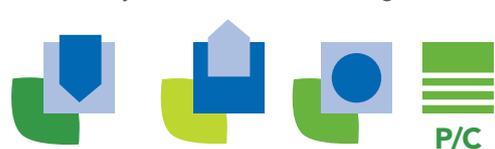
15 Establecer y mantener bandas de seguridad en las lindes



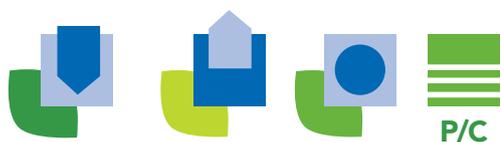
12 Establecer cubiertas vegetales en cultivos leñosos



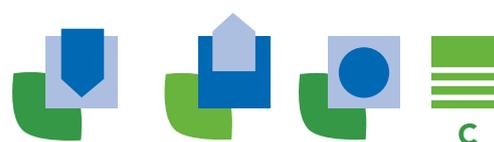
16 Establecer y mantener bandas de seguridad en las riberas



17 Establecer y mantener zonas de seguridad en las vaguadas



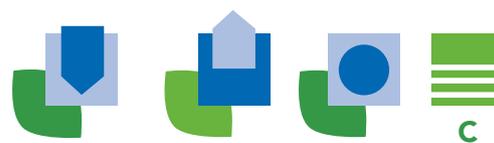
21 Establecer o mantener zanjas de retención con vegetación



18 Establecer y mantener setos arbustivos y arbóreos



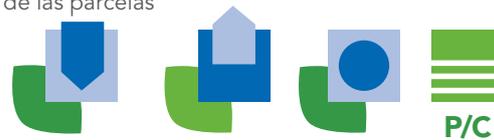
22 Establecer balsas de retención de agua



19 Mantener las arboledas



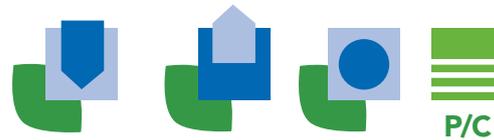
23 Establecer o mantener pequeños diques en los márgenes de las parcelas



20 Manejar adecuadamente las vías de servicio



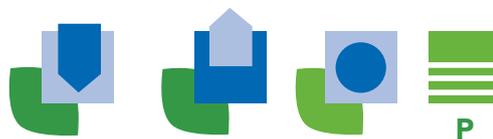
24 Establecer elementos de dispersión



25 Optimizar el momento de aplicación



29 Optimizar el riego



26 Optimizar la aplicación en función de la época del año.



27 Seleccionar el producto adecuado al cultivo.



28 Seleccionar tecnología de riego adecuada



A

Árbol de decisiones

Diagrama a través del cual se obtiene información acerca del movimiento de los flujos de agua en una parcela y por tanto contribuye en la evaluación del riesgo de contaminación por escorrentía.

B

Balsas de retención ver estructuras de retención.

Bandas de Seguridad

Son franjas de cobertura vegetal que no pueden ser tratadas y cuya función es prevenir la escorrentía y la erosión.

BPA

Buenas Prácticas Agrícolas: En el contexto de este documento, recomendaciones para evitar la contaminación de agua por productos fitosanitarios.

C

Cárcavas

Zanjas de gran volumen provocadas por la erosión.

Concentración de escorrentía

Fenómeno que aparece cuando confluye en un punto (vaguadas) los flujos de escorrentía. Esta concentración de agua suele ir asociada a una elevada energía cinética de la corriente de agua, provocando la formación de regueros y cárcavas.

Cuenca

Superficie de terreno en la cual los flujos de agua de escorrentía confluyen en un mismo punto.

Cultivo cubierta

Aquel que se implanta entre cultivos principales con el fin de mantener el suelo cubierto de vegetación en épocas que improductivas. Tienen como misión evitar los procesos de escorrentía y erosión, así como mejorar la estructura del suelo e incrementar el contenido de materia orgánica del mismo.

D

Diques

Pequeñas estructuras que se pueden construir entre parcelas o dentro de las mismas con el fin de disminuir la energía cinética de los flujos de agua, así como retenerlos.

Drenaje

Sistema artificial que se instala en el suelo con el fin de evitar el exceso de saturación del mismo. Los drenajes deben evacuar en zonas de retención con el fin de evitar los posibles riesgos de contaminación.

E

Escorrentía

Lamina de agua que fluye sobre la superficie del suelo tras un evento de precipitación o riego. La escorrentía se produce por dos motivos: (1) la velocidad de infiltración es menor que la intensidad de lluvia (restricción a la infiltración); (2) la capacidad de almacenamiento de agua por parte del suelo ha llegado a su límite (exceso de saturación). Un manejo adecuado del suelo puede reducir en gran medida este fenómeno.

Escorrentía subsuperficial

Es aquella que ocurre en profundidad, principalmente cuando existen diferencias de permeabilidad a lo largo del perfil del suelo, ya sea por cambio de horizonte o por suela de labor

Encostramiento

Endurecimiento de la capa superficial del suelo en periodos de baja humedad. Se produce principalmente cuando existe sedimentación de limos, y hacen que el suelo sea vulnerable a la escorrentía y erosión.

Erosión

Pérdida de suelo agrícola provocada por la energía de las corrientes de agua de escorrentía.

Estructuras de retención

Infraestructuras destinadas a retener el agua de escorrentía en las parcelas agrícolas.

F

Fuentes de contaminación difusa

Aquellas en las que la materia contaminante se distribuye a lo largo del terreno por diversos factores, agua y viento.

Fuentes de contaminación puntuales

Entradas de productos contaminantes en el ciclo del agua a través de actividades que se realizan en las zonas de servicio de las explotaciones. Los principales motivos por los que se produce el riesgo de contaminación son: la limpieza de las cubas de la maquinaria de tratamiento, el llenado de los pulverizadores y atomizadores y el manejo de caldos diluidos contaminados resultantes de la limpieza y el mantenimiento en la explotación.

I

Infiltración

Proceso por el que el agua se incorpora en el suelo. Las características del mismo determinan la velocidad a la que ocurre este fenómeno, así como la capacidad de retención del agua incorporada.

L

Laboreo

Sistema de manejo del suelo en agricultura, por el cual se realiza una modificación de la estructura del mismo con el fin de obtener unas determinadas condiciones para el desarrollo del cultivo.

Linde

Línea de separación entre parcelas agrícolas.

M

Masas de agua

En este documento hace referencia a aquellas que son superficiales: lagos, lagunas, ríos, canales y arroyos (Directiva 2000/60/EC).

P

Panel de evaluación

Tabla por la cual se puede definir de una manera aproximada el riesgo de contaminación por escorrentía en una parcela

Permeabilidad del suelo

Propiedad del suelo por la que es capaz de transmitir a capas más profundas el agua infiltrada (ecuación de Darcy).

Productos fitosanitarios

De acuerdo con la legislación europea (1107/2009), son productos que contienen sustancias activas con el fin de proteger las plantas contra organismos perjudiciales para su crecimiento y desarrollo.

R

Regueros

Pequeñas zanjas provocadas por la erosión.

Restos vegetales

Material proveniente del cultivo anterior que mantiene el suelo cubierto, evitando la escorrentía y, por tanto, favoreciendo la infiltración de agua en el suelo.

Rodadas

Son las zonas por donde transita la maquinaria dentro de las parcelas agrícolas. Estas zonas son susceptibles de crear concentración de escorrentía debido al alto grado de compactación de las mismas.

Rotación de cultivos

Secuencia de cultivos a lo largo del tiempo en una misma parcela.

S**Siembra directa**

Sistema de manejo del suelo por el que se conserva sobre la superficie del mismo los restos del cultivo anterior, no realizándose modificación de la estructura del suelo por acción mecánica. Este sistema disminuye los riesgos de escorrentía y erosión.

Sustrato

En el contexto de este documento, roca a partir de la cual se crea el suelo agrícola.

Suela de labor

Compactación en profundidad del suelo, ocasionada por la fricción de los aperos de labranza. Ocasiona un cambio de permeabilidad que hace que el agua no infiltre correctamente.

T**Textura del suelo**

Proporción en la que se encuentran las partículas elementales (arena, limo y arcilla).

V**Vaguada**

Línea que marca la parte de máxima pendiente de una ladera y por la cual discurren las corrientes de agua.

Z**Zonas de Seguridad**

Son zonas con cobertura vegetal, que no pueden ser tratadas y cuya función es evitar la contaminación por deriva principalmente.

Este documento está basado principalmente en la experiencia de los participantes que colaboran en el desarrollo del proyecto y en artículos científicos publicados a lo largo de los últimos años. La siguiente lista hace referencia a publicaciones de utilidad para profundizar en los temas abordados en este documento.

Arvalis Institute du vegetal (Boigneville, Francia) ha compartido sus experiencias en el desarrollo de las herramientas de diagnóstico utilizadas, Aqua-vallee y Aqua-plaine, y expertos de Irstea, Lyon Francia, en la evaluación y dimensionamiento de las bandas de seguridad

AGNEW, L. J.; LYON, S.; MARCHANT, P. G. ET AL.:

Identifying hydrologically sensitive areas: bridging the gap between science and application. *Journal of Environmental Management*, 2006 (78), 63–76.

ANBUMOZHI, V.; RADHAKRISHNAN, J.; YAMAGI, E.:

Impact of riparian buffer zones on water quality and associated management considerations. *Ecological Engineering*, 2005 (24), 517–523.

ANGIER, J. T.; MCCARTY, G. W.; RICE, C. P.; BIALEK, K.:

Influence of riparian wetland on nitrate and herbicides exported from an agricultural field. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2002 (50), 4424–4429.

BAKER, J. L.; MICKELSON, S. K.:

Application technology and best management practices for minimizing herbicide run-off. *Weed Technology*, 1994 (8), 862–869.

BAKER, M. E.; WELLER, D. E.; JORDAN, T. E.:

Improved methods for quantifying potential nutrient interception by riparian buffers. *Landscape Ecology*, 2006 (21), 1327–1345.

BANASIK, K.; HEJDUK, L.:

Long-term changes in run-off from a small agricultural catchment. *Soil & Water Res.*, 2012 (7), 64–72.

BARLING, R. D.; MOORE, I. D.:

Role of buffer strips in management of waterway pollution: a review. *Environmental Management*, 1994 (18), 543–558.

BENTRUP, G. 2008:

Conservation Buffers - Design Guidelines for Buffers, Corridors, and Greenways. Gen. Tech. Rep. SRS-109. Asheville, NC: Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station. 110 p. Online: http://www.unl.edu/nac/bufferguidelines/docs/conservation_buffers.pdf

BERRY, J. K.; DETGADO, J. A.; KHOSLA, R.; PIERCE F. J.:

Precision conservation for environmental sustainability. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2003, 58(6), 332–339.

BLANCHARD, P. E., and LEARCH R. N. (2000):

Watershed vulnerability to losses of agricultural chemicals: interactions of chemistry, hydrology, and land use. *Environ. Sci. Technol.* 34, 3315–3322.

BOORMAN, D.B., Hollis, J. M. and Lilly, A. (1995).

Hydrology of Soil Types: A Hydrologically-Based Classification of the Soils of the United Kingdom. Report No.126, Institute of Hydrology, UK.

BOYD, P. M.; BAKER, J. L.; MICKELSON, S. K.:

AHMED, S.I.:

Pesticide transport with surface run-off and subsurface drainage through a vegetative filter strip. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 2003 (46), 675–684.

BROWN, C. D., and W. van BEINUM (2009):

Pesticide transport via sub-surface drains in Europe. *Environmental Pollution*. 157, 3314–3324.

CHEN, W., P. HERTL, S. CHEN and D. TIERNEY (2002):

A pesticide surface water mobility index and its relationship with concentrations in agricultural drainage watersheds. *Environ. Tox and Chem*. 21, 298–308.

DABNEY, S. M.; MOORE, M. T.; LOCKE, M. A.:

Integrated management of in-field, edge-of-field, and after-field buffers. *Journal of American Water Resources Association*. 2006 (42), 15–24.

DANIELS, R. B.; GILLIAM, J. W.:

Sediment and chemical load reduction by grass and riparian filters. *Soil Science Society of America Journal*, 1996 (60), 246–251.

DELTA F.A.R.M. & PESTICIDE ENVIRONMENTAL STEWARDSHIP (PES):

The Value of Buffers For Pesticide Stewardship and Much More. Online: <http://pesticidestewardship.org/Documents/Value of Buffers.pdf>

DILLAHA, T. A.; RENEAU, R. B.; MOSTAGHIMI, S.; LEE, D.:

Vegetative filter strips for agricultural nonpoint source pollution control. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 1989 (32), 513–519.

DOSSKEY, M. G. G.; EISENHAUER, D. E.; HELMERS, M. J.:

Establishing conservation buffers using precision information. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2005 (60), 349–354.

DOSSKEY, M. G. G.; HOAGLAND, K. D.; BRANDLE, J.R.:

Change in filter strip performance over ten years. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2007 (62), 21–32. DYSON, JS, WA JURY and GL BUTTERS (1990) *The Prediction and Interpretation of Chemical Movement Through Porous Media: The Transfer Function Approach*. Report EN-6853 for the Electric Power Research Institute, California, USA

EAGLESON, PS (1978):

Climate, soil and vegetation. 5: A derived distribution of storm surface run-off. *Water Resources Research* 14, 741–748.

FAWCETT, R. S.; CHRISTENSEN B. R.; TIERNEY, D. P.:

The impact of conservation tillage on pesticide run-off into surface water: A review and analysis. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1994, 49(2), 126–135.

FIENER, P., AUERSWALD, K.:

Effectiveness of grassed waterways in reducing run-off and sediment delivery from agricultural watersheds. *J. Environ. Qual.*, 2003 (32), 927–936.

FLANAGAN, D. C.; FOSTER, G. R.; NEIBLING, W. H.; BURT, J.P.:

Simplified equations for filter strip design. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 1989 (32), 2001–2007.

GHIDEY, F.; BAFFAUT, C.; LERCH, R. N.; KITCHEN, N. R.; SADLER, E. J.; SUDDUTH, K. A.:

Herbicide transport to surface run-off from a claypan soil: Scaling from plots to fields. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2010, 65(3), 168–179.

GUSTAFSON, D. I.:

Groundwater Ubiquity Score: A simple method for assessing pesticide leachability. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 1989 (8), 339–357.

HAWKINS, J. H. (1982):

Interpretations of source area variability in rainfall-run-off relations. In: *Rainfall-Run-off Relationship*. Proceedings of the International Symposium on Rainfall-Run-off Modelling. pp.303–342. Mississippi State University, Starkville, MS.

HAYCOCK, N. E.; MUSCUTT, A. D.:

Landscape management strategies for the control of diffuse pollution. *Landscape and Urban Planning*, 1995 (31), 313–321.

HAYES, J. C.; BAYFIELD, B. J.; BARNHISEL, R. I.:

Performance of grass filters under laboratory and field conditions. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 1984 (27), 1321–1331.

KERLE, E. A.; JENKINS, J. J.; VOGUE, P. A.:

Understanding pesticide persistence and mobility for groundwater and surface water protection. Extension publication EM8561, Oregon State University, 2007, 8 p.

KOVÁČ, P.; VAŠŠOVÁ, D.; HRABALÍKOVÁ, M.:

Mitigation of surface run-off and erosion impacts on catchment by stone hedgerows. *Soil & Water Res.*, 2011 (6), 153–164.

KRUTZ, L. J.; SENSEMAN, S. A.; ZABLOTOWICZ, R. M.; MATOCHA, M. A.:

Reducing herbicide run-off from agricultural fields with vegetative filter strips: a review. *Weed Science*, 2005 (53), 353–367.

LACAS, J. G.; VOLTZ, M.; GOUY, V. ET AL.:

Using grassed strips to limit pesticide transfer to surface water: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 2005 (25), 253–266.

LEONARD, RA (1990):

Movement of pesticides into surface waters. Chapter 9 in *Pesticides in the Soil Environment: Processes, Impacts, and Modelling*. Soil Science Society of America Book Series 2.

LEU, C., SCHNEIDER, M. K.; STAMM, C.:

Estimating Catchment Vulnerability to Diffuse Herbicide Losses from Hydrograph Statistics. *J. Environ. Qual.*, 2010 (39), 1441–1450.

LOWRANCE, R.; DABNEY, S.; SCHULTZ, R.:

Improving water and soil quality with conservation buffers. *J. Soil Water Conserv.*, 2002 (57), 36–43.

LOWRANCE, R.; SHERIDAN, J. M.:

Surface run-off water quality in a managed three zone riparian buffer. *Journal of Environmental Quality*, 2005 (34), 1851–1859.

MAAS, R. P.; SMOLEN, M. D.; DRESSING, S. A.:

Selecting critical areas for nonpoint source pollution control. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1985 (40), 68–71.

MANDER, Ü.; KUUSEMETS, V.; LÕHUMS, K.; MAURING, T.:

Eficiencia and dimensioning of riparian buffer zones in agricultural catchments. *Ecological Engineering*, 1997 (8), 299–324.

MCMAHON, T. A.; FINLAYSON, B.:

Global Run-off – Continental Comparisons of Annual Flows and Peak Discharges. CATENA VERLAG, Reiskirchen, 1992, 166 p.

MEALS, D. W.; DRESSING, S. A.; DAVENPORT, T. E.:

Lag Time in Water Quality Response to Best Management Practices – A Review. *J. Environ. Qual.*, 2010 (39), 85–96.

NORRIS, V.:

The use of buffer zones to protect water quality – a review. *Water Resources Management*, 1993 (7), 257–272.

OTTO, S.; CARDINALI, A.; MAROTTA, E.; PARADISI, C.; ZANIN, G.:

Effect of vegetative filter strips on herbicide run-off under various types of rainfall. *Chemosphere*, 2012 (88), Issue 1, pp. 113–119

PATTY, L.; RÉAL, B.; GRIL, J.:

The use of grassed buffer strips to remove pesticides, nitrate and soluble phosphorus compounds from run-off water. *Pesticide Science*, 1997 (49), 243–251.

PHILLIPS, J. D.:

Evaluation of the factors determining the effectiveness of water quality buffer zones. *Journal of Hydrology*, 1989 (107), 133–145.

POLYAKOV, V.; FARES, A.; RYDER, M. H.:

Precision riparian buffers for the control of nonpoint source pollutant loading into surface water: a review. *Environmental Review*, 2005 (13), 129–144.

POPOV, V. H.; CORNISH, P. S.; SUN, H.:

Vegetated biofilters: the relative importance of infiltration and adsorption in reducing loads of water-soluble herbicides in agricultural run-off. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2006 (114), 351–359.

PROKOPY, L. S., FLORESS, K.; KLOTTHOR-WEINKAUF, D.; BAUMGART-GETZ, A.:

Determinants of agricultural best management practice adoption: Evidence from the literature. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2008, 63(5), 300–311.

QUI, Z.; WALTER, M. T.; HALL, C.:

Managing variable source pollution in agricultural watersheds. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2007 (62), 115–122.

RABOTYAGOV, S. S., JHA, M. K.; CAMPBELL, T.:

Impact of crop rotations on optimal selection of conservation practices for water quality protection. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2010, 65(6), 369–380.

RANKINS, A.; JR.; SHAW, D. R.; BOYETTE, M.:

Perennial grass filter strips for reducing herbicide losses in run-off. *Weed Science*, 2001 (49), 647–651.

RANKINS, A.; JR.; SHAW, D. R.; DOUGLAS, J.:

Response of perennial grasses potentially used as filter strips to selected postemergence herbicides. *Weed Technology*, 2005 (19), 73–77.

REICHENBERGER, S.; BACH, M.; SKITSCHAK, A.; FREDE, H.:

Mitigation strategies to reduce pesticide inputs into ground- and surface water and their effectiveness; a review. *Science of the Total Environment*, 2007 (384), 1-35.

ROBINSON, C. A.; GHAFFARZADEH, M.; CRUSE, R. M.:

Vegetative filter strip effects on sediment concentration in cropland run-off. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1996 (51), 227–230.

ROBINSON, M., and RYCROFT, D.W. (1999):

The impact of drainage on streamflow. Chapter 23 in Skaggs, W. and J van Schilfgaarde (eds), *Agricultural Drainage*. Agronomy Monograph 38. Soil Soc. Sci. Am., Madison, Wisconsin, USA, 753–786.

ROSE, C. W. (2004):

An Introduction to the Environmental Physics of Soil, Water and Watersheds, Cambridge University Press pp. 441.

SCHMITT, T. J.; DOSSKEY, M. G. G.; HOAGLAND, K. D.:

Filter strip performance and processes for different vegetation widths and contaminants. *Journal of Environmental Quality*, 1999 (28), 1479–1489.

SCHULTZ, R. C.; COLLETTI, J. P.; ISENHART, T. M. ET AL.:

Design and placement of a multi-species riparian buffer strip system. *Agroforestry Systems*, 1995 (29), 201–226.

SHANLEY, J. B.; CHALMERS, A.:

The effect of frozen soil on snowmelt run-off at Sleepers River, Vermont. *Hydrological Processes*, 1999 (13), 1843–1857.

SHIPITALO, M. J.; JAMES, V.; BONTA, V.; DAYTON, E. A.; OWENS, L. B.:

Impact of Grassed Waterways and Compost Filter Socks on the Quality of Surface Run-off from Corn Fields. *J. Environ. Qual.*, 2010 (39), 1009–1018.

SHIPITALO, M. J. AND OWENS, L. B.:

Tillage system, application rate, and extreme event effects on herbicide losses in surface run-off. *J. Environ. Qual.*, 2006 (35), 2186–2194.

SKAGGS, R. W.; FAUSEY, N. R.; EVANS, R. O.:

Drainage water management. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2012, 67(6), 167–172.

STROCK, J. S.; KLEINMAN, P. J. A.; KING, K. W.; DELGADO, J. A.:

Drainage water management for water quality protection. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2010, 65(6), 131–136.

TOMER, M. D.; JAMES, D. E.; ISENHART, T. M.:

Optimizing the placement of riparian practices in a watershed using terrain analysis. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2003, 58(4), 198–206.

UNIVERSITY OF NEBRASKA-LINCOLN:

Targeting Watershed Management Practices for Water Quality Protection: a Heartland Regional Water Coordination Publication, RP195. Online: <http://www.ianrpubs.unl.edu/epublic/live/rp195/build/rp195.pdf>

USDA-NRCS:

Conservation Buffers to Reduce Pesticide Losses. National Water and Climate Center & Environmental Protection Agency Office of Pesticide Programs. Online: <http://www.in.nrcs.usda.gov/technical/agronomy/newconbuf.pdf>

USEPA. 2005:

Handbook for developing watershed plans to restore and protect our waters. EPA 841-B-05-005. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, DC.
WAGNER, T, M Sivapalan, P TROCH and R WOODS (2007). Catchment classification and hydrologic similarity. *Geography Compass*. 1, 901–931.

WARD, RC and M ROBINSON (2000):

Principles of Hydrology. McGraw-Hill pp. 450.

WAUCHOPE R. D.; GRANEY, R. L.; CRYER, S.; EADSFORTH, C.; KLEINS, A. W.; RACKE, K. D.:

Pesticide Run-off – Methods and Interpretation of Field Studies. *Pure & Appl. Chem.*, 1995 (67), No. 12, pp. 2089–2108.

WISSMAR, R. C.; BEER, W. N.; TIMM II, R. K.:

Spatially explicit estimates of erosion-risk indices and variable riparian buffer widths in watersheds. *Aquatic Sciences*, 2004 (66), 446–455.

YANG, W.; WEERSINK, A.:

Cost-effective targeting of riparian buffers. *Canadian Journal of Agricultural Economics*, 2004 (52), 17-34.

YU, B (1998):

Theoretical justification of the SCS method for run-off estimation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 124, 306–310.

YU, B, U Cakurs and CW ROSE (1998):

An assessment of methods for estimating run-off rates at the plot scale. *Transactions of the Am. Soc. Ag. Eng.* 41, 653–661.

ZHANG, X., XINGMEI, L.; ZHANG, M.; DAHLGREN, R. A.; EITZEL, M.:

A Review of Vegetated Buffers and a Meta-analysis of Their Mitigation Efficacy in Reducing Nonpoint Source Pollution. *J. Environ. Qual.*, 2010 (39), 76–84.



**UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH**

Universitat Politècnica de Catalunya.
Unitat de Mecanització Agrícola
C/ Esteve Terradas, 8.
08860 Castelldefels (Barcelona)
Tfno.: 93 552 10 99
emilio.gil@upc.edu
<https://uma.deab.upc.edu>



AEPLA.
Asociación Empresarial para la
Protección de las Plantas
Eloy Gonzalo, 27. 6ª Planta.
Oficinas 6 y 7 - 28010 Madrid
Tfno.: 91 310 02 38
Fax.: 91 319 77 34
comunicacion@aepla.es