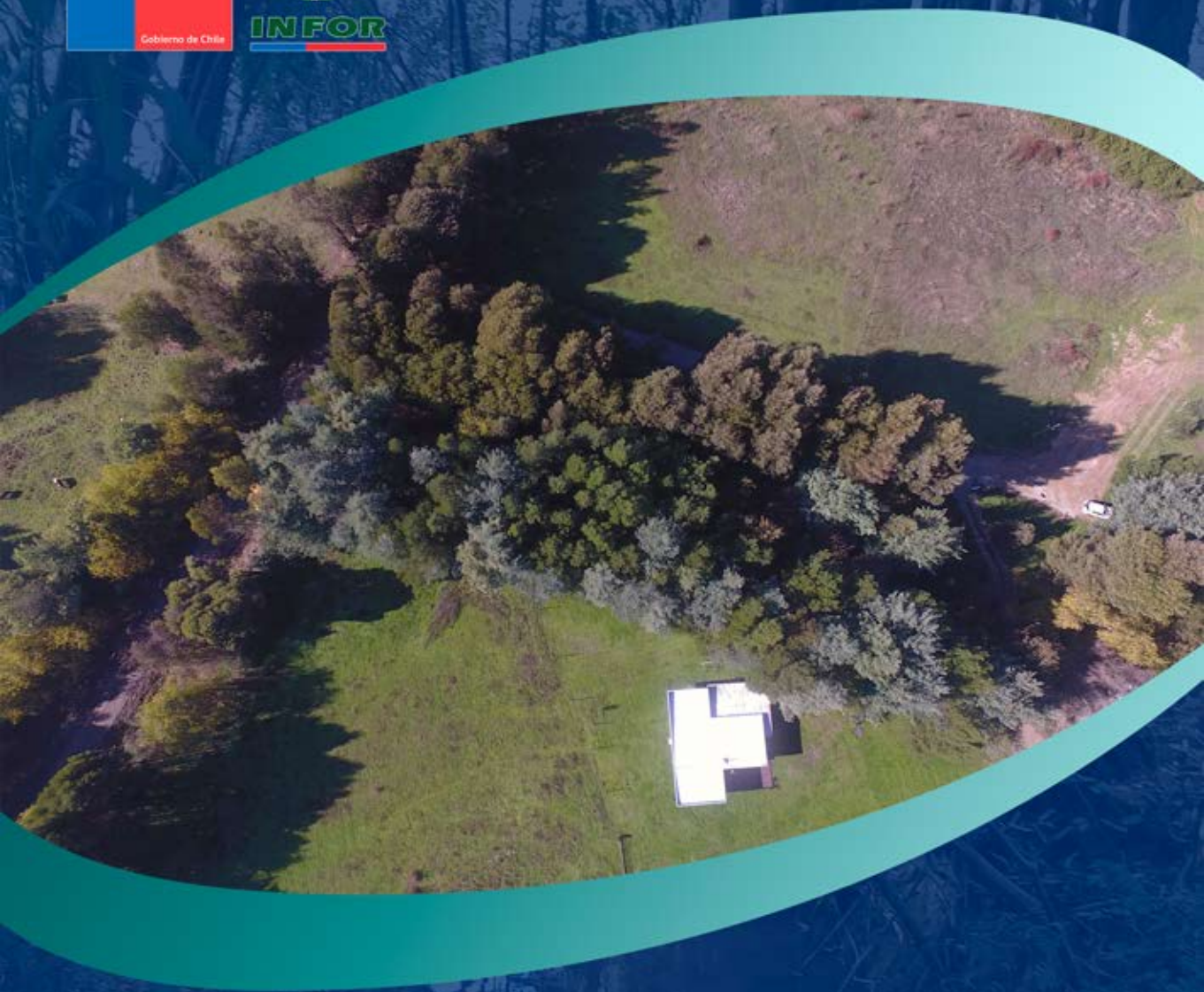




SISTEMAS DE PROTECCIÓN Y CONTROL DE RIBERAS O BÍOFILTROS

INSTITUTO FORESTAL
2020

Las fotografías e imágenes incorporadas en tapas o texto de la presente publicación provienen de archivo institucional o fueron obtenidas o elaboradas durante el desarrollo de las actividades del trabajo que origina esta publicación.

SISTEMAS DE PROTECCIÓN Y CONTROL DE RIBERAS O BÍOFILTROS

Alejandro Lucero¹; Alvaro Sotomayor y Arnoldo Villarroel

**INSTITUTO FORESTAL
2020**

¹Investigadores Instituto Forestal alejandro.lucero@infor.cl



Instituto Forestal, Chile.
Sucre 2397 Ñuñoa, Santiago
Fono 56 223667115
www.infor.cl

Registro Propiedad Intelectual N° 2021-A-602
ISBN N° 978-956-318-181-4

Revisores: Alejandro Lucero y Santiago Barros

Diseño Gráfico: Hugo Espinoza

Se autoriza la reproducción parcial de esta publicación siempre y cuando se efectúe la cita correspondiente:

Lucero, Alejandro; Sotomayor, Alvaro y Villarroel, Arnoldo. 2020. Sistemas de Protección y Control de Riberas o Biofiltros. Instituto Forestal. Chile. Manual N° 57. P. 40.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	07
ZONAS DE PROTECCIÓN Y CONTROL DE RIBERAS O BÍOFILTROS	10
Objetivos	10
Antecedentes generales	10
Ventajas de los Biofiltros	15
PLANIFICACIÓN	22
EXPERIENCIA PRÁCTICA DEL ESTABLECIMIENTO DE UN BÍOFILTRO	24
Perfilado del Talud	25
Construcción de Diques de Contención	26
Establecimiento de Especies Arbóreas	27
Establecimiento de Especies Nativas a través de Hoyos de Luz	30
INSTRUMENTOS DE FOMENTO ASOCIADOS A BÍOFILTROS	32
Prácticas de SIRSD - S de Biofiltros	33
Propuesta para Modificación de Prácticas de SIRSD - S de Biofiltros	33
CONCLUSIONES	35
REFERENCIAS	37



INTRODUCCIÓN

La protección y conservación de los recursos edáficos e hídricos es de suma relevancia para el desarrollo sustentable de los predios silvoagropecuarios, pero no se le ha dado la importancia real que esto requiere al momento de realizar una planificación predial sustentable. En este sentido, las medidas tendientes a minimizar la degradación de cada uno de los componentes ambientales, producto principalmente del efecto combinado de actividades productivas no sustentables y de las condiciones climáticas presentes en los predios, que afectan principalmente los recursos suelo y agua, deben enmarcarse en una planificación integral predial, que incorpore una adecuada caracterización de los recursos naturales y la selección de los modelos productivos y/o de conservación más adecuados para la sustentabilidad de estos recursos naturales y optimizar sus potencialidades o vocaciones de uso. La aplicación de distintos Sistemas Agroforestales en predios silvoagropecuarios, contribuye al logro de una producción predial sustentable social, ambiental y productivamente, y como consecuencia mejora el nivel de vida de la población rural.

La incorporación de árboles o arbustos en las unidades prediales destinadas a complementar la actividad ganadera y cultivos tradicionales, puede ayudar a incrementar la productividad de los sistemas de producción, principalmente en la producción de forraje y producción animal con ganado ovino o bovino (Sotomayor, 1990; Anderson *et al.*, 1988). Esto se logra por el mejoramiento de las condiciones ambientales locales dadas por la protección de los árboles a la pradera y los animales, disminuyendo la velocidad del viento, aumentando la temperatura ambiental y del suelo, incrementando la humedad relativa, disminuyendo el déficit hídrico, y protegiendo al ganado de las lluvias y las bajas temperaturas, entre otros beneficios (Sotomayor, 1990; Quam y Johnson, 1999; Sotomayor y Teuber, 2011).

La componente forestal por su parte, al ser establecida en asociación con praderas o cultivos, puede también ser beneficiada por la introducción del ganado y su control de la vegetación herbácea que compite por nutrientes y agua con las plantas jóvenes, esto también reduce el riesgo de incendios forestales. El reciclaje de nutrientes en el suelo se ve favorecido en estos sistemas integrados por la interacción de los sistemas radiculares a distintas profundidades del suelo, las fertilizaciones que reciben las praderas y cultivos también favorecen a la cubierta arbórea y el mayor espaciamiento de los árboles en el ordenamiento agroforestal a su vez también favorece el desarrollo de praderas y cultivos (Quam y Johnson, 1999). Otro aspecto ambiental importante que pueden propiciar los árboles dentro del sistema es la protección de los suelos frente al viento y las gotas de lluvia, por lo que es esperable una disminución de la erosión (Sotomayor y Cabrera, 2008).

Desde el punto de vista económico, los productores locales que incorporen estas tecnologías mixtas de producción en sus predios en vez sistemas forestales tradicionales con objetivo de producción maderera, podrán mantener un flujo de caja anual por la venta de animales (carne, lana) y productos de cultivos agrícolas

intercalares, lo que les permitirá solventar los gastos propios del grupo familiar y del manejo de los bosques mientras estos maduran y entregan sus productos (Sotomayor, 1990). El manejo de los bosques a su vez, les entregará productos madereros intermedios, como madera para pulpa, leña, postes y otros, provenientes de raleos y podas, y finalmente productos de mayor valor, como madera libre de nudos, al terminar el turno de la plantación (Sotomayor y Cabrera, 2008). Es también un beneficio la valorización del predio al contar con una masa forestal. Los productores podrán así mejorar sus ingresos y condiciones de vida (Leslie *et al.*, 1998; Polla, 1998).

Beneficios ambientales adicionales de este sistema integrado de producción están dados por una mayor sustentabilidad, se controla la erosión y se recuperan suelos degradados, especialmente en zonas de laderas, se mejora y regula los cursos de agua, se favorece el paisaje y la vida silvestre, y se retiene CO₂ atmosférico.

En resumen, los beneficios de la incorporación de la componente arbórea en la actividad agropecuaria tienen relación con generar protección y/o mejoramiento de los suelos; protección a los animales, pradera y cultivos, frente a condiciones climáticas adversas; diversificar la actividad productiva predial; generar productos como madera, leña, carbón; y además se pueden obtener alimentos, proveyendo frutos, hongos, miel, y otros usos como follaje y/o medicinales; y se mejora la belleza escénica del predio y el valor de la propiedad.

A pesar de lo anterior, cambiar la percepción de los propietarios agropecuarios respecto de que el árbol es un competidor para sus actividades productivas prediales y que reconozcan las bondades de estos en el medioambiente y paisaje agropecuario puede ser un proceso lento y difícil, ya que el uso tradicional de la tierra, aspectos culturales y el escaso manejo o cuidado de los recursos naturales, a menudo están firmemente arraigados y socialmente aceptados en las comunidades locales, lo cual requiere un largo proceso de educación y convencimiento, con métodos demostrativos y un trabajo participativo con las comunidades para lograr cambios.

En este marco de la incorporación del árbol en la actividad agropecuaria cobran real importancia los biofiltros o también conocidos como zonas de amortiguación ribereñas, control de cauces o riparian *buffer*, los cuales son una combinación planificada de árboles, arbustos, gramíneas, herbáceas y estructuras de bioingeniería dentro de un cauce y diseñadas para mitigar el impacto del flujo del agua sobre el suelo.

Estos sistemas actúan también para interceptar sedimentos, nutrientes, pesticidas y otros materiales en la escorrentía superficial y reducir los nutrientes y contaminantes en el flujo de aguas superficiales y del subsuelo. A nivel del paisaje, las zonas *buffers* permiten llevar a cabo funciones ambientales y ecológicas vitales, como parte de una red de cuencas hidrográficas que se conectan.

Es así clara la gran importancia ambiental y para la biodiversidad que estas prácticas tienen, al constituir zonas protectoras, que cumplen la función de corredores biológicos que permiten la conectividad y mejorar el hábitat terrestre y acuático, además de las funciones como zona de amortiguamiento que permiten aumentar el área para estos hábitat, proteger aquellos sensibles, restaurar la conectividad, y proyectar sombra en los cursos de agua para mantener la temperatura, favoreciendo el desarrollo de la vida acuática.

Además, pueden generar beneficios económicos y productivos, aspectos muy importantes para la actividad silvoagropecuaria y que se deben considerar para un buen y adecuado uso y establecimiento de estos biofiltros.

ZONAS DE PROTECCIÓN Y CONTROL DE RIBERAS O BÍOFILTROS

Objetivos

Para comprender los objetivos de los bío-filtros o sistemas de protección de riberas se los debe abordar diferenciando estas dos funciones que cumplen eficientemente y que se pueden tomar como objetivos en dos direcciones, es decir la función que cumple en dirección al cauce y las funciones que cumple desde el cauce.

En su función como bío-filtros hacia el cauce, sus principales objetivos son eliminar nutrientes, sedimentos, materia orgánica, pesticidas y otros contaminantes procedentes de las zonas aledañas a los cauces a través de la escorrentía superficial y de las aguas subterráneas por deposición, por la absorción de las raíces de la vegetación que componen el bío-filtro, y otros procesos, y con todo ello reducir la contaminación del agua, protegiendo aquellas superficiales y las del subsuelo, mejorando o manteniendo su calidad y del ecosistema asociado.

Como sistemas de protección de riberas, el establecimiento de estos sistemas permite generar medidas correctivas, de protección y recuperación de cauces presentes en predios agropecuarios y que se encuentran degradados o inestables, evitando procesos erosivos, embancamiento de cursos de agua y con ello la pérdida de suelo.

En relación al ecosistema, generan microclimas que disminuyen la temperatura del agua, mejorando el hábitat para los organismos acuáticos. También son fuente de detritus (término dado para un fragmento de material orgánico generalmente proveniente de la descomposición animal o vegetal) disponibles para los organismos acuáticos y hábitat de la fauna silvestre (USDA-NRCS, 2003, citado por Schultz *et al.*, 2004).

Antecedentes generales

El término protección de riberas o bío-filtros se utiliza para describir las tierras adyacentes a arroyos donde la vegetación es fuertemente afectada por la presencia de agua. A menudo son las líneas delgadas de vegetación nativa o exótica que contiene hierbas, flores, arbustos y árboles paralelas a los cursos de agua.

Una zona ribereña saludable es evidencia de una buena gestión en el uso racional de la tierra (Stream Notes, 2020).

Estas zonas de amortiguación ribereñas son importantes para la buena calidad del agua, evitan que los sedimentos, nitrógeno, fósforo, pesticidas y otros contaminantes lleguen a las aguas superficiales. Son más efectivas para mejorar la calidad del agua cuando incluyen una franja de pastos nativos o herbáceas como un

filtro, junto con árboles arraigados profundamente y arbustos a lo largo de la corriente.

La vegetación ribereña es una fuente importante de energía y nutrientes para vida silvestre y acuática. Son especialmente importantes en los pequeños arroyos de cabecera, donde hasta el 99% de la energía de entrada puede ser de restos de madera y hojas.

La vegetación ribereña mantiene frescos los cursos de agua disminuyendo la temperatura de las aguas, especialmente en cursos pequeños, lo que implica una mejor oxigenación de las aguas, por lo que mejora sustancialmente la vida acuática.

Además, estas zonas constituyen un hábitat valioso para la vida silvestre. Es así que además de proporcionar alimentos y cubierta, son un importante corredor biológico para una alta variedad de vida silvestre. La vegetación ribereña reduce las inundaciones, lo que contribuye a mantener estables los arroyos y proteger los suelos aguas abajo. Al reducir las inundaciones el agua de lluvia y escorrentía, la vegetación ribereña permite que el agua penetre en el suelo y alimente los acuíferos subterráneos.

La mayoría de los autores caracterizan los sistemas de control de riberas en áreas de intervención o zonas bajo un concepto de modelo de diseño ideal, y las cuales se deben gestionar de manera diferenciada, pues cumplen cada una de ellas una función determinante en la efectividad de estos sistemas.

De acuerdo a Peters (1999) las zonas de amortiguación ribereñas son franjas con plantaciones de árboles, arbustos y hierbas en las orillas de los cursos de agua.

Un diseño o modelo común se compone de la zona del cuerpo de agua y tres zonas de intervención o manejo. La zona del cuerpo de agua, esencialmente para generar protección ribereña, es la zona de los taludes, donde debe existir vegetación que genere cobertura protectora y obras mecánicas que mitiguen procesos erosivos que genera la corriente del agua.

Una Zona 1, idealmente con bosques no alterados o bien con especies exóticas arbóreas tipo matorral de rápido crecimiento ante la falta de otras especies, es la más cercana al curso de agua, una Zona 2, constituida por bosque plantado y/o manejado, y la Zona 3, compuesta por pastos nativos o exóticos, antes de las zonas productivas de uso agropecuario (Figura N° 1).

Las raíces de la vegetación (árboles y arbustos nativos) presentes en la zona del cuerpo de agua y Zona 1, estabilizan los arroyos, manteniendo el suelo en su lugar y evitando que se desmorone el talud (Figura N° 2). La sombra de los árboles ayuda a moderar la temperatura del agua, en beneficio de la vida acuática. Desechos provenientes raíces y madera proveen alimento y hábitat para la vida acuática y disminuyen la velocidad del agua.

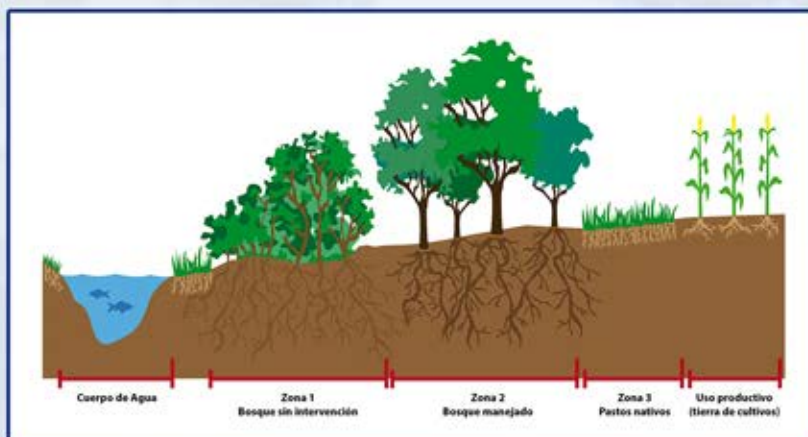


Figura N° 1:
MODELO DE ZONIFICACIÓN DE UN SISTEMA DE BÍOFILTROS

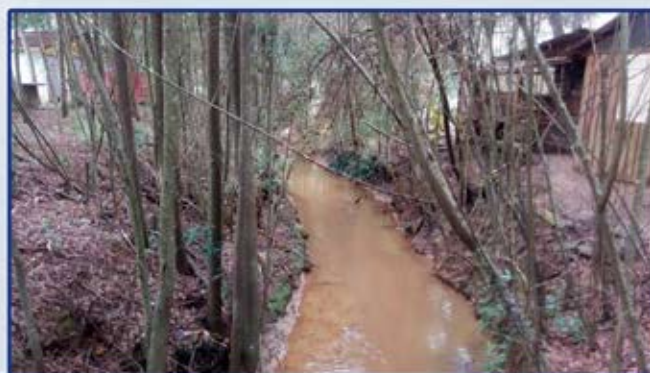


Figura N° 2:
COBERTURA VEGETAL PROTEGIENDO TALUD.

La Zona 2 (bosque manejado) puede ser plantada con rapidez con árboles y/o arbustos que producen productos comerciales que pueden ser cosechados para beneficio del propietario. En esta zona, los nutrientes que son arrastrados por el agua de escorrentía infiltran en el suelo y son absorbidos por los árboles y arbustos. Cuando existen inundaciones, estas zonas forestales también sirven como áreas de recarga de agua de los acuíferos subterráneos (Figura N° 3).



Figura N° 3:
ESTABLECIMIENTO DE ÁRBOLES EN ZONA ALEDAÑA AL CAUCE

En la Zona 3 la vegetación consiste en pastos y herbáceas (Figura N° 4) que tienden a aumentar la porosidad del suelo lo que permite mayor infiltración de agua y potencial de almacenamiento. Los pastos densos reducen el flujo de las aguas superficiales y la propagación del flujo de manera más uniforme sobre el paisaje. La reducción de la velocidad del flujo de agua permite que los sedimentos se asienten, aumentando el tiempo para degradar plaguicidas o contaminantes y permitir una mayor absorción del exceso de nutrientes. Además, las hierbas pueden ser potencialmente usadas para forraje para fardos, pastoreo directo u otros productos.



Figura N° 4: ZONA CON ESPECIES HERBÁCEAS NATURALES O ARTIFICIALES CONTIGUA A SECTOR CON ÁRBOLES.

Se debe tener en cuenta que no todas las áreas a estabilizar serán lo suficientemente amplias como para dar cabida a un diseño de amortiguación de tres zonas. La magnitud o ancho de la zona de protección de ribera dependerá de los objetivos, necesidades y opciones del propietario, el estado del canal y las características del sitio (pendiente, tipo de suelo).

En relación a estos antecedentes, se debe indicar que, en esta definición o modelo, la Zona 1 se asemeja a zonas prístinas, con presencia de vegetación nativa, situación que frecuentemente o normalmente no es característica de los esteros o canales que cruzan las pequeñas propiedades rurales del país. Normalmente estas están desprovistas de vegetación y con altos procesos erosivos (Figura N° 5), por lo tanto, esta zona debe ser esencialmente “reconstruida” y con acciones de rápida respuesta. En este sentido se hace necesario evaluar cuáles especies son las más adecuadas dependiendo de los objetivos primarios que se planteen al momento de diseñar el sistema.



Figura N° 5: RIBERA DESPROVISTA DE VEGETACIÓN, SITUACIÓN TÍPICA O HABITUAL EN PROPIEDADES RURALES

INIA (2007) evaluó el comportamiento de distintas especies, herbáceas y arbóreas, para las diferentes zonas de un modelo de protección de riberas, tales como falaris (*Phalaris aquatica*), festuca (*Festuca arundinacea*), ballica (*Lolium perenne*), avellano europeo (*Corylus avellana*), álamo, (*Populus sp.*), eucalipto (*Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus camaldulensis*), sauce mimbre (*Salix viminalis*), arándano (*Vaccinium corymbosum*), olivo (*Olea europaea*) y algunas especies nativas. Con este estudio se determinó el comportamiento y grado de adaptación de estas especies al sistema de biofiltros, lo que es útil a modo de guía para el proceso de selección de las mismas. Finalmente, este estudio concluyó que, entre los arbustos y árboles, los de mejor comportamiento fueron eucalipto, álamo, avellano europeo y sauce mimbre, que sobresalieron por su rápida adaptación al sistema. Por el contrario, especies como peumo, maqui, chilco, coigüe, pimienta, arándano y olivo, no se adaptaron. En relación a la estrata herbácea, las especies de mejor comportamiento fueron ballica y festuca, mientras que falaris no prosperó dentro de esta mezcla.

Como se indicó anteriormente, maqui, maitén, chilco, peumo, coigüe, quillay y pimienta fueron especies nativas probadas en el estudio. Al igual que en el caso de olivo, evidenciaron nula adaptación al sistema pues no toleraron períodos prolongados de inundación. Además, tuvieron una baja tolerancia a salinidad presente en la zona de estudio. Por lo dicho, los resultados de este trabajo no deben

generalizarse y tomar como que estas son las especies y no otras las posibles para estos sistemas, ya que fundamentalmente las especies a usar dependerán de la zona agroclimática donde se ubique el biofiltro, el tipo de suelo, la zona teórica donde se quiere establecer dentro del diseño del sistema, los requerimientos agroecológicos de las especies y las necesidades e intereses del propietario.

Ventajas de los Biofiltros

Estos sistemas de biofiltros entregan una serie de beneficios sobre los recursos acuáticos y terrestres (Dosskey et al., 1997), y los principales se describe a continuación:

- Estabilización de Taludes Erosionados

La erosión y el colapso de los taludes generan la pérdida de suelos agrícolas valiosos, sobre todo si no se controlan a tiempo. Esta erosión además se convierte en un banco de sedimentos que deriva hacia el curso de agua, daña el hábitat acuático, disminuye la calidad del agua, y embanca ríos, lagos y embalses aguas abajo, y adicionalmente la generación de dunas en zonas costeras. En este sentido, el efecto beneficioso de la estabilización inicial de los taludes (Figura N° 6) y la presencia de vegetación es que, a través de sus raíces y cobertura, mantiene el suelo en su lugar y las obras mecánicas absorben la fuerza erosiva del agua (Figura N° 7). Este efecto es más eficiente en pequeños arroyos y lagos, pero pobre o ineficaz en grandes superficies inestables, donde la erosión del banco es grave y rápida. En esas situaciones se debe pensar en estabilizaciones de tipo mecánicas más radicales como por ejemplo espigones y/o gaviones, entre otros, siendo complementarios al establecimiento de cobertura vegetal del tipo arbórea o arbustiva.

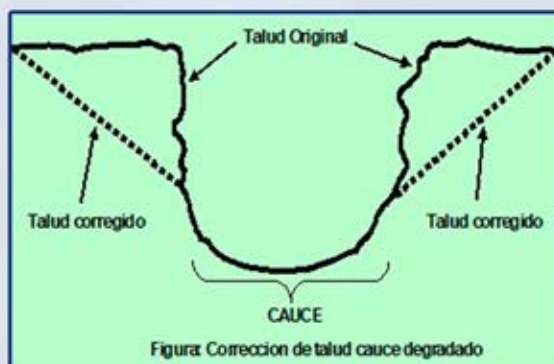


Figura N°6: ESQUEMA PARA CORRECCIÓN DE TALUD A PENDIENTE MÁS ESTABLE DE 45°



Figura N°7: ESTABILIZACIÓN DEL TALUD CON COBERTURA VEGETAL Y DIQUE DE CONTENCIÓN CON SACOS

- Filtro de Sedimentos Desde Tierras Agrícolas a Través de la Escorrentía

Esto se refiere fundamentalmente al traslado de sedimentos arrastrados por la escorrentía desde las tierras agrícolas aledañas (Figura N°8), que generan daños y perjuicios en el hábitat acuático, al igual que la erosión de taludes, disminuye la calidad del agua, y embancan pantanos, lagos y embalses. Las plantas disminuyen y dispersan el flujo de la escorrentía superficial, y permite el asentamiento de sedimentos. Las raíces estabilizan los sedimentos atrapados y lo mantienen. Esta función es potencialmente buena, especialmente para el filtrado de los sedimentos de mayor tamaño, tales como arena, los agregados del suelo, y residuos de cosechas. Generalmente son menos eficaces para los sedimentos arcillosos. En cuanto al manejo, una remoción periódica de los sedimentos de la zona *buffer*, es recomendable para mantener este beneficio donde las cargas de sedimentos son altas.



Figura N°8: ZONA DE CULTIVO ALEDAÑA A UN CAUCE PROTEGIDO POR UN BÍOFILTRO

- Filtro de Nutrientes, Pesticidas y Desechos de Animales de la Escorrentía

Los altos niveles de contaminantes llegan al agua y el hábitat acuático producto de la escorrentía e infiltración. En concreto, los nitratos y los pesticidas pueden ser tóxicos para los humanos y los organismos acuáticos.

Además, bacterias fecales y otros microorganismos en los desechos animales que caen al agua, principalmente en zonas destinadas como bebedero (Figura N° 9), pueden generar enfermedades, y el fosfato puede promover la proliferación de algas que asfixian a los peces y otros organismos acuáticos.

La presencia de estas zonas *buffer*, sirven como filtros que retienen partículas y contaminantes junto con el sedimento. Además, captan y transforman los contaminantes solubles para las plantas y los microorganismos del suelo, favorecen la infiltración de la escorrentía superficial y el crecimiento vigoroso de la vegetación.

Contaminantes solubles pueden ser retirados de manera similar desde las aguas subterráneas poco profundas.



Figura N°9: ZONA DE TRÁNSITO Y BEBEDERO PARA ANIMALES EN EL CAUCE.

- Sombra, Refugio y Alimento para los Peces y otros Organismos

En suelos desnudos desprovistos de vegetación, sin sombra y con una alta carga de sedimentos, los canales tienen un hábitat pobre para los peces y otros organismos acuáticos.

La presencia de los biofiltros genera sombra sobre el cauce, que reduce la intensidad de la luz y la temperatura del agua (Figura N° 10). La vegetación provee de desechos orgánicos, así como de insectos y otros invertebrados que son alimento para los peces.

De igual manera, raíces más grandes y desechos de las plantas pueden formar un refugio estable para los organismos acuáticos. Esto es especialmente eficiente para los pequeños arroyos y lagunas.

La sombra es particularmente importante para las especies acuáticas de agua fría que habitan en zonas de climas más cálidos. El control de la temperatura del agua depende de la extensión de la zona *buffer*.



Figura N° 10: GENERACIÓN DE SOMBRA SOBRE EL CAUCE PRODUCTO DE LA PRESENCIA DE UN BIOFILTRO

- Hábitat de Vida Silvestre

Las prácticas agrícolas extensivas no proporcionan una cobertura suficiente, ni alimentos para aves y otras especies silvestres, especialmente en invierno. En este sentido, estas zonas *buffer* con una importante diversidad de vegetación perenne, dan cobertura y suministran alimentos para la fauna. Son muy eficientes para favorecer a pequeños animales y aves en función del tipo de vegetación presente.

Tramos *buffer* conectados se transforman en verdaderos corredores de vida silvestre o corredores biológicos, lo que mejora el hábitat de animales menores y mayores (Figura N° 11).



Figura N° 11:
AVIFAUNA EN TORNO O EN LA ZONA CON BIOFILTROS

- Productos Económicos

Es claro que estas zonas *buffer* utilizan tierras destinadas para la producción agrícola y requieren un costo adicional para su establecimiento, lo que sin duda genera impactos productivos en la economía predial.

Sin embargo, estas zonas *buffer* pueden producir productos de valor, tales como, madera, leña, estacas para postes, forraje, frutos secos, flores para producción de miel y frutas (Figura N° 12).

Los beneficios concretos en este sentido, dependerán de los mercados que existan para los productos, los costos adicionales asociados con el manejo de la actividad agropecuaria y los intereses del propietario de la tierra.



Figura N° 12: COLMENAS EN ZONA ALEDAÑA A SISTEMA DE BIOFILTRO Y PRODUCCIÓN DE LEÑA DESDE ÁRBOLES EXTRAÍDOS DESDE LA ZONA DE BIOFILTROS

- Diversificación y Efectos en el Paisaje

Las grandes extensiones de zonas agrícolas tienen una baja diversidad del paisaje y generan un impacto negativo a la visual de las personas. En este sentido, las zonas con vegetación con árboles, arbustos y hierbas perennes añaden diversidad visual a un paisaje cultivado.

Árboles de hoja perenne y hoja caduca y arbustos pueden ofrecer la diversidad de color en ciertas épocas del año. Además, la presencia de esta vegetación también le da un valor adicional a las propiedades, dado que es claro que hay una mejor percepción de un predio con árboles que sin ellos (Figura N° 13).



Figura N° 13:
EFECTO SOBRE EL PAISAJE POR LA PRESENCIA DE BÍOFILTROS

- Protección del Suelo y Zonas Aledañas ante Inundaciones

Las inundaciones provocadas por lluvias torrenciales producto de la escorrentía pueden erosionar las zonas aledañas y depositar residuos en los campos. Los tallos de las plantas reducen la velocidad del agua y su poder erosivo, protegiendo las zonas de cultivos, pastos e infraestructura (Figura N° 14).

Las raíces sostienen los taludes y el suelo de la zona *buffer*, manteniéndolos en su lugar. La existencia de una gran de superficies de tipo *buffer* dentro de una cuenca, reduce sustancialmente los niveles de crecida producto de lluvias torrenciales.



Figura N° 14: EFECTO PROTECTOR POR LA PRESENCIA DE VEGETACIÓN ANTE AUMENTOS DE LA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL

- Beneficios Económicos y Productivos

La presencia de estas zonas *buffer* dentro de una unidad predial aumenta sustancialmente su plusvalía, ya que a menudo la gente que compra tierras para uso recreativo, descanso o turismo, está dispuesta a pagar más si hay zonas boscosas dentro del predio. Estas áreas normalmente están en suelos de mejor calidad y por lo tanto se podría optar a cultivos alternativos que sean muy rentables para el propietario, con la incorporación de especies de alto valor y que además complementan las funciones de protección del sistema. Adicionalmente, es claro el hecho que generan una diversificación de productos madereros y no madereros que sin duda se traducen en una mejor rentabilización de la economía predial (Figura N° 15).



Figura N°15: EFECTO POSITIVO DE LA PRESENCIA DE BÍOFILTROS EN EMPRENDIMIENTOS TURÍSTICOS CENTRO DE EVENTOS Y ZONAS DE PICNIC EN SECTORES ALEDAÑOS A ZONA DE BÍOFILTRO

PLANIFICACIÓN

Para establecer este tipo de sistemas es importante considerar cuales son los objetivos que se persiguen con su establecimiento. Una buena herramienta para tomar estas decisiones la entrega Bentrup (2008), quien muestra los distintos enfoques y objetivos que un planificador puede plantearse y cómo estos sistemas dan respuestas a ello a través de las funciones que estos sistemas cumplen.

Bentrup (2008) señala que las zonas de amortiguamiento para conservación mejoran las condiciones de los recursos mediante la depuración de ciertas funciones del paisaje. Las principales necesidades que el diseño de zonas de amortiguamiento puede atender tienen relación con diferentes enfoques y objetivos, relacionados con la calidad del agua, la biodiversidad, suelos productivos, oportunidades económicas, protección y seguridad, estética y calidad visual, y recreación al aire libre.

Para lograr cada uno de estos enfoques y objetivos, estos sistemas tienen funcionalidades específicas que se muestran en el Cuadro N° 1.

Cuadro N°1
Funciones de zonas de amortiguamiento relacionadas
con diferentes enfoques y objetivos a considerar
para la planificación de un Biofiltro

ENFOQUE Y OBJETIVOS	FUNCIONES DE UNA ZONA DE AMORTIGUAMIENTO
Calidad del agua	
Reducir la erosión y escorrentía de sedimentos, nutrientes y otros contaminantes potenciales. Retirar contaminantes del agua de escorrentía y del viento.	Desacelerar el agua de escorrentía y mejorar la infiltración. Atrapar contaminantes en la escorrentía superficial. Estabilizar el suelo. Reducir la erosión de riberas.
Biodiversidad	
Mejora el hábitat terrestre y acuático.	Aumenta el área del hábitat. Proteger hábitats sensibles. Restaurar la conectividad. Aumentar el acceso a recursos. Proyectar sombra en riachuelos para mantener la T°
Suelos productivos	
Reducir la erosión del suelo. Aumentar la productividad del suelo.	Reducir la energía del agua de escorrentía. Reducir la energía eólica. Estabilizar el suelo. Mejorar la calidad del suelo.
Oportunidades económicas	
Proveer fuentes de ingreso. Aumentar la diversidad económica. Aumentar el valor económico.	Generar productos comercializables. Reducir el consumo de energía. Aumentar el valor de la propiedad. Proveer fuentes de energía alternativas. Prestar servicios de ecosistema.
Protección y seguridad	
Proteger contra el viento o la nieve. Aumentar el control biológico de plagas. Proteger contra aguas de inundaciones. Crear un ambiente seguro.	Reducir la energía eólica. Modificar el microclima. Mejorar el hábitat para depredadores de plagas. Reducir los niveles de las aguas de crecidas y erosión Reducir riegos.
Estética y calidad visual	
Mejorar la calidad visual. Controlar los niveles de ruido. Controlar los contaminantes del aire y los olores indeseables.	Mejorar el interés visual. Ocultar las vistas indeseables. Atenuar el ruido indeseado. Filtrar los contaminantes del aire y olores indeseables Separar las actividades humanas.
Recreación al aire libre	
Promover recreación basada en la naturaleza Utilizar zonas de amortiguamiento como senderos recreativos.	Aumentar el área natural. Proteger las áreas naturales. Proteger el suelo y las plantas. Proveer un corredor para movimiento. Mejorar la experiencia recreativa.

Fuente: Bentrup, 2008.

EXPERIENCIA PRÁCTICA DEL ESTABLECIMIENTO DE UN BÍOFILTRO

El Instituto Forestal de Chile ha desarrollado algunas experiencias en el establecimiento de sistemas de recuperación de riberas con el fin de evaluar el impacto de estos modelos en la productividad de predios de pequeños propietarios y fomentar su uso. Específicamente se estableció una Unidad demostrativa en la Comuna de Hualqui, la cual se describe a continuación.

Esta unidad fue establecida durante el mes de agosto de 2007. El criterio para seleccionar el sitio consideró varios factores, siendo los más importantes que fuera una pequeña propiedad, con títulos saneados, que tuviera un río o estero con ambas riberas dentro de la propiedad y con claros procesos erosivos producto de las constantes crecidas del cauce.

Finalmente, y gracias al apoyo brindado por el PRODESAL, fue posible ubicar el predio Payllahue, el cual cumplía con esas características (Figura N° 16). Este se encuentra en la Comuna de Hualqui, y en la localidad de Lo Vargas a unos 32 km al este de la ciudad de Concepción. El predio es de propiedad del Sr. Guillermo Fuentealba Scheuermann.



Figura N° 16:
VISTA GENERAL DE SITUACIÓN INICIAL PREDIO PAYLLAHUE

La metodología de intervención, consistió en una visita inicial con el propietario donde se evalúan y acuerdan con él las áreas a intervenir, teniendo en consideración sectores con un alto grado de desmoronamiento, sectores de importancia productiva (cultivos), y zonas de protección de infraestructura (casa, puentes u otros) (Figuras N° 17 y N° 18). Hecha esta evaluación previa, se tomó la decisión de intervenir dos sectores, lo que permitirá controlar una longitud de ribera de aproximadamente 150 m.



Figura N°17:
ZONA DE CULTIVOS AGRÍCOLAS (IZQ.) E INFRAESTRUCTURA PREDIAL (DER.)



Figura N°18:
PUENTES DE CRUCE VEHICULAR (IZQ.) Y PEATONAL (DER.)

Perfilado del Talud

El objetivo de estas acciones es mantener estabilizadas las riberas del curso de agua evitando nuevos procesos erosivos y estabilizando sectores activos que se erosionan ocurridas las crecidas invernales y épocas de deshielo (Figura N° 19).



Figura N°19:
SITUACIÓN INICIAL DEL TALUD VISTA LATERAL (IZQ.) Y FRONTAL (DER.)

Con el fin de disminuir la pendiente del talud y reducir su potencial energía y probabilidad de desmoronamiento, se lo estabilizó a una pendiente aproximada de 45° (Figura N° 20). El material removido permitió rellenar algunos sectores socavados y estabilizar el mismo talud. Posteriormente y para hacer sustentables estas acciones, se procede a establecer y complementar donde era necesario con vegetación, y proteger la zona intervenida con la construcción de diques de contención con sacos, los cuales eran llenados con el mismo material extraído de la estabilización del talud.



Figura N° 20:
PROCESO DE ESTABILIZACIÓN DEL TALUD

Construcción de diques de contención

La función principal de estos diques es evitar socavamientos en sectores golpeados constantemente por las aguas, desviar el cauce y/o reforzar la estabilización de los taludes. Para ello se utilizaron sacos plásticos de gran capacidad (80 kg. o el que esté disponible en el mercado) los cuales se rellenaron con el material removido de la estabilización y/o sedimentos del mismo cauce. Posteriormente se realiza la instalación de los mismos bajo un sistema de enladrillado que permita darle mayor estabilidad (Figuras N° 21 y N° 22).

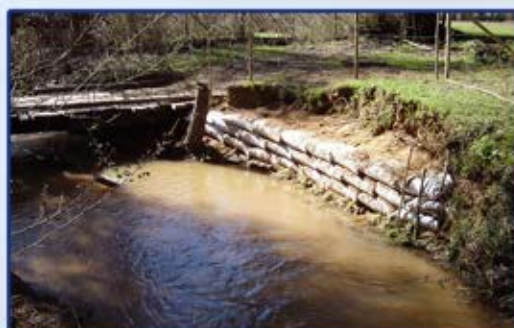


Figura N° 21:
ESTABILIZACIÓN DE TALUD Y PROTECCIÓN DE PUENTE CON DIQUES



Figura N°22: ETAPA FINAL DE PROCESO DE ESTABILIZACIÓN DE TALUD CON DIQUES Y ESTABLECIMIENTO DE VEGETACIÓN

Establecimiento de Especies Arbóreas

Indudablemente que unas de las acciones principales para el control de riberas es lograr establecer vegetación, que permita sustentar en el tiempo las acciones realizadas y evitar la erosión y socavamiento. Para ello deben utilizarse especies que soporten inundaciones temporales, sean de rápido crecimiento y también puedan cumplir con otros objetivos de interés del propietario (leña, madera, polines, miel, otros).

Considerando estos requerimientos es que se establecieron distintos sectores con *Salix sp.*, *Acacia dealbata*, *Acacia mearnsii*, *Acacia melanoxylon*, *Robinia pseudoacacia* y *Eucalyptus camaldulensis*, considerando por supuesto sus requerimientos ecológicos y los objetivos perseguidos. En los sectores más cercanos al cauce solo se usaron técnicas de hoyadura o estacado para evitar remover suelo que pudiera ser arrastrado por las subidas invernales (Figuras N° 23 y N° 24).



Figura N°23: PLANTAS EN CONTENEDOR; PLANTA DE *Acacia dealbata* EN CAMELLÓN Y PLANTA DE *Eucalyptus camaldulensis* EN HOYADURA



Figura N°24: PLANTACIÓN CON *Acacia melanoxylon*, ESTACAS DE *Salix* sp Y *Robinia pseudoacacia*.

En los sectores más planos, más alejados del cauce, fuera de la estabilización de taludes y con el fin también de evitar el escurrimiento de aguas y residuos de esos sectores hacia el cauce, se hicieron camellones paralelos al cauce y sobre los cuales posteriormente se plantó (Figura N° 25).



Figura N°25:

CONSTRUCCIÓN DE CAMELLONES CON ARADO CON TRACCIÓN ANIMAL Y PLANTACIÓN

En los sectores de estabilización de talud fueron establecidos entramados de *Salix sp.*, por ser esta una especie de rápido crecimiento, rebrote de estaca y fácil de trabajar. Esto permite estabilizar los taludes en un corto plazo (una temporada). Para ello se realizaron entramados donde se colocan estacas a 20x20 cm y posteriormente se colocaron varas delgadas de manera perpendicular en algunos sectores y otros paralelos al cauce (Figura N° 26). Esto último con el fin de evaluar distintos diseños y sus resultados, y que permitan proponer una u otra acción en futuras intervenciones. Vistos los resultados posteriores de estos dos sistemas, el sistema perpendicular al cauce resultó más eficiente al paralelo, dado que hubo en el mediano plazo mejor supervivencia de las varas que se insertan directamente en el cauce y logran contar con una mayor disponibilidad de humedad, principalmente en la época estival. Cabe destacar que el género *Salix* tiene la ventaja de brotar con rapidez y a lo largo de toda la vara, por lo tanto, se logró contar con un entramado vegetal denso para estabilizar el talud en el corto plazo. Por las mismas ventajas del *Salix*, esta especie se estableció a lo largo de todo el cauce intervenido en la zona de los taludes. El diseño finalmente establecido se muestra en forma esquemática en la Figura N° 27.


Figura N°26: ENTRAMADO CON *Salix sp.* EN TALUD ESTABILIZADO, DE MANERA PERPENDICULAR (IZQ.) Y PARALELO AL CAUCE (DER.)

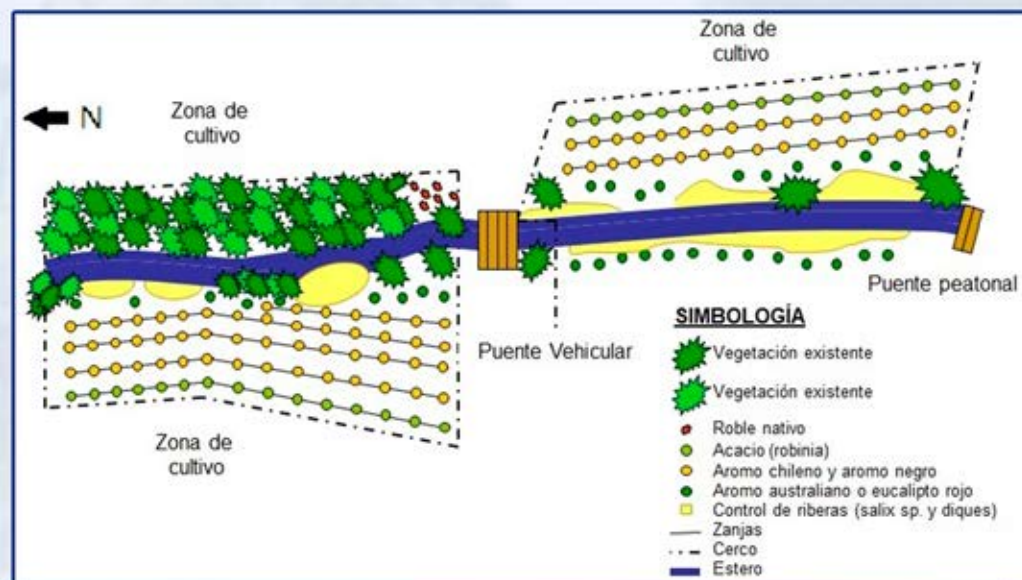


Figura N°27:
ESQUEMA FINAL DE BÍOFILTRO ESTABLECIDO EN EL PREDIO PAYLLAHUE.

Establecimiento de Especies Nativas a través de “Hoyos de Luz”

Los hoyos de luz son una técnica de establecimiento de nuevas especies, principalmente nativas, a la sombra o protección de árboles adultos existentes previamente sean naturales o plantados. Este sistema se utiliza con aquellas especies que son intolerantes a la luz solar y que requieren de la sombra y protección a través de árboles mayores para su primera etapa de desarrollo.

Este sistema fue implementado en esta Unidad principalmente por objetivos turísticos del propietario, que quería reemplazar de manera sistemática las especies exóticas establecidas inicialmente, por especies nativas. Estas especies nativas, intolerantes al sol en su etapa inicial de desarrollo, pueden establecerse y crecer adecuadamente a la sombra de estas especies nodrizas y con la suficiente entrada de luz, y sin poner en riesgo la función de los biofiltros, el cual sigue funcionando con los árboles remanentes. Este sistema consiste en eliminar sistemáticamente las especies no deseadas en pequeñas zonas circulares de 9 a 12 m de diámetro, dentro de las cuales se eliminan todos los árboles generando los hoyos de luz (Figura N° 28). Posteriormente, esta zona descubierta, es inmediatamente cubierta con las plantas de las especies de interés (Figura N° 29 A y B).

Estos sistemas son especialmente eficientes para procesos de restauración ecológica, donde se pretende recuperar la vegetación nativa existente previamente en la zona de establecimiento de los biofiltros, donde inicialmente no tienen las condiciones ecológicas para prosperar adecuadamente.

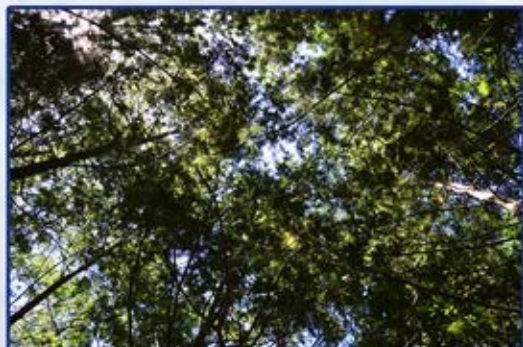


Figura N°28: COBERTURA INICIAL DEL BOSQUE (IZQ.) Y SITUACIÓN DE COBERTURA FINAL UNA VEZ APLICADA LA TÉCNICA DE "HOYOS DE LUZ" (DER.)



Figura N°29 (A): DESARROLLO DE ESPECIES NATIVAS ESTABLECIDAS EN ZONA HABILITADA POR EL HOYO DE LUZ



Figura N°29 (B): DESARROLLO DE ESPECIES NATIVAS ESTABLECIDAS EN ZONA HABILITADA POR EL HOYO DE LUZ

INSTRUMENTOS DE FOMENTO ASOCIADOS A BÍOFILTROS

Para el establecimiento de biofiltros por parte de los propietarios silvoagropecuarios, existe solo el instrumento de fomento Programa de Recuperación de Suelos Degradados del Ministerio de Agricultura (Programa de Suelos SIRDS-S), establecido por la Ley N°20.412 de 2010 por un lapso de 12 años, contados desde la vigencia de la Ley. El Programa es coordinado por la Subsecretaría de Agricultura y ejecutado por el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) y el Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP).

Su objetivo es recuperar el potencial productivo en suelos agropecuarios degradados y mantener los niveles de mejoramiento alcanzados. Está dirigido a todos los productores agrícolas del país (personas naturales o jurídicas), sean propietarios, arrendatarios, comodatarios, usufructuarios o medieros, que cumplan con los requisitos establecidos en la Ley N°20.412, su reglamento y las bases de sus respectivos concursos públicos.

Actualmente su reglamento se encuentra en una etapa de evaluación y mejoramiento participativo, con el fin de plantear su nueva promulgación a partir del 2022, fecha en que termina su vigencia, por al menos 10 años más.

Este instrumento contempla 5 subprogramas que en conjunto consideran un total de 67 prácticas tendientes a lograr recuperar y mantener los suelos degradados existentes en Chile. Entre estas se contempla la práctica de biofiltros con el numeral 41, para la cual existen indicaciones técnicas para su establecimiento y las respectivas bonificaciones de acuerdo a una Tabla de Costos establecida por ley anualmente para diferentes macro zonas a lo largo del país.

Práctica SIRSD-S de Biofiltros

Asociación de especies vegetales, herbáceas, arbustivas y arbóreas, dispuestas en franjas ubicadas a los pies de los potreros de cultivo, en forma perpendicular a la pendiente y paralelas a los cursos de agua. Su función es retener sedimentos y filtrar contaminantes provenientes de la escorrentía superficial en los campos cultivados.

a) Establecimiento de biofiltros para sedimentos (m^2):

Corresponde a una franja de 10 m de ancho en suelos con pendientes menores a 15% y de 15 m de ancho en suelos con pendientes mayores o iguales a 15%. Considera una cobertura herbácea con una mezcla de festuca más ballica a razón de 70 Kg/ha.

b) Establecimiento de biofiltros para sedimentos y filtración de contaminantes en pendientes mayores o iguales a 15% (m^2):

Franja de 20 m de ancho, de los cuales los primeros 8 m cercanos al cauce serán de especies arbustivas o arbóreas, con marco de plantación de 3x2 m en caso de árboles y de 1x1 m en caso de arbustos. Los siguientes 12 m serán con cobertura herbácea en base a una mezcla de festuca más ballica a razón de 70 kg/ha.

El Instituto Forestal, considerando todos los aspectos técnicos descritos en este Manual, ha planteado a nivel central de ODEPA, una serie de modificaciones a la descripción de la práctica con el fin de que estos sistemas cumplan de mejor manera su objetivo. Esta propuesta se entrega a continuación.

Propuesta para Modificaciones de Práctica SIRSD-S de Biofiltros

Los biofiltros son una asociación de especies vegetales, herbáceas, arbustivas y arbóreas, dispuestas en franjas ubicadas a los pies de los potreros en forma perpendicular a la pendiente y paralelas a los cursos de agua. Su función es retener sedimentos, filtrar contaminantes provenientes de la escorrentía superficial en los campos cultivados y reducir la erosión y sedimentación hacia cursos de aguas, mejorando con ello la calidad del agua y el paisaje, aumentando la biodiversidad y generando corredores biológicos. Esta práctica puede optar de manera complementaria a las prácticas (25) o (26) de construcción de cerco para excluir la zona de intervención de animales domésticos si corresponde. Debe considerar la aplicación de mulch orgánico (aserrín, corteza, o similar) o mulch plástico (plástico negro) en la casilla de plantación, para reducir la competencia de malezas. Además, contempla la estabilización física de taludes con la incorporación de obras como cortes a 45° del talud para lograr una pendiente de compensación, protección del talud con diques de sacos, gaviones u otros que cumplan con el mismo objetivo, y el establecimiento complementario de especies arbóreas o arbustivas de rápido crecimiento en el talud estabilizado (en general se recomienda el uso de salicáceas y especies herbáceas). Además, contempla la limpieza y mantención del cauce.

a) Establecimiento de biofiltros para sedimentos (m^2): Corresponde a una franja paralela a los cursos de agua de 10 m de ancho en suelos con pendientes menores a 15%, y de 15 m de ancho en suelos con pendientes mayores o iguales a 15%, después de la zona de estabilización del talud, si corresponde. Considera el establecimiento y/o siembra con una cobertura herbácea en base a una mezcla de festuca más ballica a razón de 70 kg/ha, u otra mezcla herbácea apropiada a la zona de trabajo, la cual debe ser propuesta por el propietario o asesor, y especies arbóreas y/o arbustivas, con especies exóticas y/o nativas apropiadas a la zona de trabajo, con un distanciamiento de plantación de 2,0 x 2,0 m para especies arbóreas o 1,0 x 1,0 m con arbustivas, pudiéndose establecer una mezcla de especies leñosas (árboles y arbustos) con especies herbáceas. Para franjas de 10 m de ancho, los primeros 5 m cercanos al cauce serán de especies arbóreas y/o arbustivas con siembra de pastos entre hileras de árboles, y los siguientes 5 m con especies herbáceas; para franjas de 15 m de ancho, los primeros 8 m cercanos al cauce serán de especies arbóreas y/o arbustivas con siembra de pastos entre hileras de árboles, y los siguientes 7 m con especies herbáceas. Además, podrá considerar labores de estabilización con pendiente de compensación en el talud del cauce, protección de las riberas y limpieza y mantenimiento del cauce.

b) Establecimiento de biofiltros para sedimentos y filtración de contaminantes en pendientes mayores o iguales a 15% (m^2): Corresponde a una franja paralela a los cursos de agua y posterior a la zona de estabilización de cauce si corresponde, de 20 m de ancho, de los cuales los primeros 10 m cercanos al cauce serán de especies arbóreas y/o arbustivas, nativas y/o exóticas dependiendo de la zona de trabajo, en una plantación de 2,0 x 2,0 m en caso de árboles y de 1,0 x 1,0 m en caso de arbustos, pudiéndose establecer una mezcla de especies leñosas (árboles, arbustos), con siembra de pastos entre hileras de árboles. Los siguientes 10 m serán con cobertura herbácea en base a una mezcla de festuca más ballica a razón de 70 kg/ha, u otra mezcla herbácea apropiada a la zona de trabajo, la cual debe ser propuesta por el propietario o asesor. Considera cerco perimetral de malla Ursus. Además, podrá considerar labores de formación de pendiente de compensación en el talud del cauce, protección de las riberas con sacos rellenos de tierra o arena, enrocado, gaviones u otros y limpieza y mantenimiento del cauce.

CONCLUSIONES

Los sistemas de control de riberas o biofiltros sin duda cumplen una serie de funciones que son de extrema relevancia para la conservación de recursos naturales en el país. En primer lugar, cumplen con disminuir sustancialmente procesos erosivos característicos en los predios rurales. Esto significa un gran aporte al disminuir sedimentos en las aguas mejorando su calidad y evitando procesos de embancamiento de distintos tipos de cursos de agua presentes en una cuenca hidrográfica y además permiten conservar el mayor capital que poseen los propietarios rurales que es su suelo.

Adicionalmente, estos sistemas disminuyen sustancialmente la contaminación de las aguas, ya que evitan que los excesos de fertilizantes y herbicidas, es decir aquellos que no son eficientemente absorbidos por los cultivos agrícolas o las praderas, sean transportados por aguas superficiales o subterráneas hasta los cursos de agua, provocando problemas ambientales que pueden ser bastante serios para la biodiversidad tanto acuática como terrestre y también para la disponibilidad de agua de mejor calidad para el consumo humano y/o riego.

Se debe destacar que las zonas *buffer* tiene un funcionamiento en dos sentidos, ya que por un lado evitan procesos erosivos, evitando desmoronamiento de taludes y arrastre de material, producto del aumento de caudales en las épocas invernales o de deshielo, y por otro lado sirven de filtros naturales para contaminantes, evitando que estos lleguen a las aguas.

Es claro que además de lo indicado anteriormente, también generan una serie de beneficios sobre el paisaje, sobre la biodiversidad al funcionar como corredores biológicos, mejoradores de las condiciones de calidad de las aguas favoreciendo el desarrollo de la vida acuática y, a su vez, ofrecen la posibilidad de generar productos madereros (madera, leña) y no madereros (flores, miel, follaje, hongos, entre otros) que aportan a la rentabilidad de los predios rurales.

Es de gran importancia promover estos sistemas en las zonas agrícolas del país por la gran cantidad de funciones y beneficios que generan, mejorando la calidad de los campos y su sustentabilidad. Sin embargo, aún queda mucha investigación que desarrollar, ya que es claro lo frágiles que son los ecosistemas acuáticos y terrestres asociados a cursos de agua, y aún no están claras ciertas interacciones entre las componentes vegetacionales y sus efectos reales sobre la calidad del agua. No basta con señalar que las especies prosperan o se desarrollan de buena forma en estos sistemas, sino que se debe tener claridad de cómo estas especies afectan o aportan a la vida acuática, a las propiedades físicas y químicas de los suelos y qué tan eficientes son respecto a la contención de contaminantes.

En general se puede señalar que al haber una alta variabilidad de componentes (arbóreos y pratenses), estos sistemas prácticamente deben ser diseñados de acuerdo a las necesidades particulares del lugar que se quiere intervenir, recuperar y/o conservar, por lo tanto el profesional o propietario debe tener mucha claridad de cuál es el objetivo del biofiltro que se quiere establecer, cuáles son los problemas primarios y secundarios que se desean resolver, los resultados esperados, y lógicamente cuáles son los requerimientos técnicos y financieros que aseguren el establecimiento exitoso de estos. Con ello, será posible determinar el diseño, los componentes, las metodologías y las especies más adecuadas que cumplan con los objetivos planteados. De igual forma es claro que lo que se ha descrito aquí es el modelo teórico de estos sistemas y que este necesariamente debe adaptarse a las realidades locales en cada caso.

REFERENCIAS

- Anderson, G. W.; Moore, R. W. and Jenkins, P. J., 1988.** The integration of pasture, livestock and widely-spaced Pine in South West Western Australia. *Agroforest Syst.* 6: 195-211.
- Bentrup, G., 2008.** Zonas de amortiguamiento para conservación: Lineamientos para diseño de zonas de amortiguamiento, corredores y vías verdes. Informe Técnico Gral. SRS-109. Asheville, NC: Departamento de Agricultura, Servicio Forestal, Estación de Investigación Sur. EEUU.
- Dosskey, M.; Schultz, D. and Isenhardt, T., 1997.** Riparian Buffers for Agricultural Land. Department of Forestry. USA.
- INIA, 2007.** Uso de Biofiltros para mejorar la calidad del agua de riego. Proyecto Establecimiento y evaluación de biofiltros para reducir la contaminación difusa en aguas de riego de las regiones VI y VII. FONSAG C3-81-07-42. BOLETÍN INIA N°170. Santiago de Chile.
- Leslie, B.; Knowles, R. y Moore, R., 1998.** Silvopastoreo con *Pinus radiata* en Zonas Frías. En: Compilación de Resultados en Diversos Ensayos de Modelos Silvopastorales en Chile y en el Extranjero.
- Peters, S., 1999.** Agroforestry. An Integration of Land Uses Practices University of Missouri. Center for Agroforestry. USA.
- Polla, C., 1998.** Estrategias de Acción en el Tema Silvopastoreo. En: Actas Seminario Manejo Silvopastoral, Trabajo N°8, Young. Uruguay.
- Quam, V. and Johnson, L., 1999.** Windbreaks for Livestock Operations. University of Nebraska Cooperative Extension EC 94-1766-X.
- Schultz, R.; Isenhardt, T.; Simpkins, W. and Colletti, J., 2004.** Riparian forest buffers in agroecosystems – lessons learned from the Bear Creek Watershed, Central Iowa, USA. Kluwer Academic Publishers. USA.
- Sotomayor, A., 1990.** Sistemas silvopastorales y su manejo. *Chile Agrícola* 157: 203-206. Chile
- Sotomayor, A. y Cabrera, C., 2008.** Análisis de un sistema silvopastoral con *Pinus radiata* D. Don. asociado con ganado ovino en la zona mediterránea costera de Chile. *Ciencia e Investigación Forestal*, Vol. 14 (2): 269-286.

Sotomayor, A. y Teuber, O., 2011. Evaluación del efecto de los arboles manejados bajo ordenamiento silvopastoral en los parámetros climáticos del sitio, en relación a un manejo ganadero sin árboles. Ciencia e Investigación Forestal Vol. 17 N° 1, abril 2011.Pp. 23-40.

Stream Notes, 2020. Volume 1, Number 3. Riparian Buffers. A healthy riparian buffer is an essential part of a healthy stream. In: <https://oxfordcountyswcd.files.wordpress.com/2017/03/riparian-buffers.pdf>. Consulta diciembre 2020.





INFOR

www.infor.cl