



Guía para la selección de proyectos a ser financiados con la Tarifa de Protección del Recurso Hídrico

Enero, 2019



Equipo técnico

Virginia Reyes, Coordinación & economista ambiental
Esteban Monge, Lic. en Derecho
Carolina Ovaes, Lic. en Derecho
Sara Cascante, Ing. Forestal
Hugo Rodríguez, Hidrogeólogo*
Alicia Gómez, Hidrogeóloga
Rafael Oreamuno, Ing. Civil con especialidad en hidrología
Juan Carlos Valverde, Ing. Agrónomo

Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos

Carlos Herrera, Intendente de Agua
Elizabeth Zamora, Analista Ambiental
Luis Elizondo, Economista
Donald Miranda, Asesor Despacho Regulador General

Prestadores del servicio de agua potable

Mauricio León, AyA
Gerardo Ramírez, AyA
Moisés Bermúdez, AyA
Rodolfo Ramírez, AyA
Alfredo Richmond, AyA
Viviana Ramos, AyA
Héctor Zúñiga, AyA
Jorge Hidalgo, AyA
Quirico Jiménez, ESPH
Vivian Solano, ESPH
María José Calvo, ESPH
Luis Gámez, ESPH
Franz Ulloa, ESPH
Gina Sulecio, ESPH
Deborah Chavarría, ESPH
Laura Castro, ESPH
Luis Daniel Rojas, ESPH
Bernardita Nájera, ASADAS
Minor Durán, ASADAS
Francisco Hernández, ASADAS
Didier Quirós, ASADAS
Angie Marín, ASADAS
José Ureña, ASADAS
Franklin Segura, ASADAS
Melissa Bonilla, ASADAS
Luis Castro, ASADAS
Adriana Segura, ASADAS
Ana Yancy Garro, ASADAS
Abelardo Barboza, ASADAS
Fermely Mora, ASADAS

Adriana Arias, ASADAS

*El Master hidrogeólogo Hugo Rodríguez E. participó en el desarrollo de las Guías metodológicas de setiembre del 2015 a marzo del 2016.

Índice

1	NOMENCLATURA.....	5
2	DEFINICIONES.....	5
3	ANTECEDENTES	8
4	INTRODUCCIÓN	9
4.1	OBJETIVOS DE LA TPRH.....	10
4.2	FUNDAMENTO LEGAL	10
5	ALCANCE	11
6	TIPOLOGÍA DE PROYECTOS FINANCIABLES CON RECURSOS DE LA TPRH	11
6.	CRITERIOS TÉCNICOS PARA LA EVALUACIÓN DE LOS PROYECTOS INCLUIDOS EN LAS ESTRATEGIAS QUINQUENALES	14
6.1.	CRITERIOS DE PRIORIZACIÓN	15
6.1.2.	<i>Reducción de variables causantes del riesgo</i>	<i>16</i>
6.1.3.	<i>Alianzas institucionales</i>	<i>16</i>
6.1.4.	<i>Mantenimiento o mejora de la calidad del agua de la toma</i>	<i>17</i>
6.1.5.	<i>Cantidad de hectáreas a impactar y magnitud del caudal beneficiado.....</i>	<i>18</i>
6.1.6.	<i>Ubicación del proyecto.....</i>	<i>18</i>
6.1.7.	<i>Cantidad de usuarios del proyecto.....</i>	<i>19</i>
6.2.	SISTEMA DE PONDERACIÓN	19
7	BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.....	1
8	ANEXOS.....	3
8.1	ANEXO 1: TIPOLOGÍA DE PROYECTOS.....	3

1 Nomenclatura

ARESEP	Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos
ASADAS	Asociaciones Administradoras de los Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Comunes
AYA	Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
CEDARENA	Centro de derecho Ambiental y Recursos Naturales
ESPH	Empresa de Servicios Públicos de Heredia
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit - Agencia del Gobierno Federal Alemán, Especializada en la Cooperación Técnica para el Desarrollo Sostenible en todo el mundo
MINAE	Ministerio de Ambiente y Energía
ONG	Organización no Gubernamental
RNA	Regeneración Natural Asistida
SAF	Sistema Agroforestal
SINAC	Sistema Nacional de Áreas de Conservación
SUGEF	Súper Intendencia de entidades financieras
TNC	The Nature Conservancy
TPRH	Tarifa para protección del recurso hídrico
UNA	Universidad Nacional

2 Definiciones

- Acuífero: estrato, formación o elemento geológico saturado que permite la circulación del agua por sus poros y fracturas, a partir de donde el ser humano la aprovecha para satisfacer sus necesidades por medio de pozos y manantiales.
- Aguas subterráneas: las que se encuentran por debajo de la superficie del suelo en los espacios porosos de éste y en las fracturas de las formaciones rocosas.
- Aguas superficiales: aquellas que provienen de la precipitación sin que se infiltren ni se evaporen, así como las que provienen de manantiales, una vez que han dejado de ser aguas subterráneas por haber aflorado.
- Amenaza: factor o circunstancia que atenta contra la cantidad o la calidad del agua de la que se abastece un sistema de acueducto.
- Área de intervención: espacio geográfico donde se ejecutan las acciones de un proyecto, de acuerdo con los estudios básicos.
- Área de recarga: área del terreno donde el agua se infiltra al suelo alimentando la zona saturada del acuífero.

- Asociación Administradora de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Comunes, ASADA: organización legalmente constituida para la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado sanitario e hidrantes que cuenta con convenio de delegación por parte del AyA.
- Calidad de agua: conjunto de atributos físicos, químicos, biológicos y organolépticos que se le asignan al agua en función de su uso y que son requeridos para la protección de la salud humana, tanto en el consumo humano como en usos recreativos y productivos (Prestación de los Servicios de Acueducto, Alcantarillado Sanitario e Hidrantes. AR-PSAYA-2013. Resolución No. 54-2014. 18/09/2014. La Gaceta No. 186. 29//09/2014. Alcance N°50).
- Caudal: volumen por unidad de tiempo. Se refiere al volumen de agua que pasa por una sección dada de un conducto, por unidad de tiempo. Puede expresarse en metros cúbicos por segundo o en litros por segundo.
- Caudal específico: es el caudal por unidad de área.
- Cuenca hidrográfica: unidad territorial delimitada por la línea divisoria de sus aguas, las que drenan superficial o subterráneamente hacia una salida común.
- Cuerpo de agua: es todo aquel manantial, río, quebrada o arroyo en cuyo vaso o cauce, según corresponda, escurre un flujo de agua permanente o no. También es todo aquel acuífero, lago, laguna, aguas embalsadas y marisma; estuario, manglar, humedales y mares; todas ellas naturales o artificiales, sean dulces, salobres o saladas.
- Fuente de abastecimiento: espacio natural desde el cual se derivan los caudales demandados por la población a ser abastecida, los cuales deben ser, básicamente, permanentes y suficientes. Pueden ser superficiales (ríos, lagos, canales, mares) y subterráneas (manantiales, pozos); suministrando el agua por gravedad o por bombeo (Reglamento de Calidad de Agua Potable).
- Manantial: Flujo de agua subterránea que aflora en la superficie debido a cambios topográficos, zonas preferenciales, rasgos geológicos-estructurales como fallas, o cambios en la conductividad hidráulica, fracturas o discontinuidades. Algunos manantiales tienen una relación muy importante con los procesos de precipitación-infiltración y por lo tanto, disminuyen su caudal en épocas de poca precipitación.
- Pozo: excavación de un terreno realizada con el fin de extraer agua subterránea destinada a abastecer un sistema de acueducto.
- Prácticas agrícolas sostenibles: establecimiento de diferentes prácticas culturales y estructurales en conservación de suelos y aguas orientadas hacia la obtención de una producción agrícola sostenida sin causar deterioro de los suelos ni provocar modificaciones sustanciales en el medio ambiente.
- Prestador o ente operador: institución u organización que tiene a su cargo la administración, operación y mantenimiento de un sistema de acueducto con el fin de brindar el servicio de acueducto.

- Proyecto: conjunto de acciones que ejecutará el o los prestadores del servicio de acueducto con los recursos obtenidos mediante la TPRH con el fin de garantizar la calidad y la cantidad del agua de la que se abastece el sistema que administran.
- Sitio de toma: punto en el que aflora un manantial o en el que se encuentra un pozo que alimenta de agua a un sistema de acueducto.
- Riesgo: el peligro de deterioro en la calidad y cantidad del agua de una fuente por la existencia real o potencial de sustancias contaminantes en su entorno (Foster, 1987).
- Servicios ecosistémicos: los beneficios que los seres humanos obtienen de los ecosistemas, económicos o culturales, en tanto favorecen la calidad de vida.
- Servidumbre ecológica: es un contrato entre dos o más propietarios en el cual, al menos uno de ellos acepta de manera voluntaria limitar el uso de una parte o la totalidad de su predio llamado predio sirviente, a favor de cualquier persona física o jurídica para los fines de conservación y protección de los recursos naturales y la biodiversidad.
- Tarifa de Protección del Recurso Hídrico (TPRH): instrumento económico que pueden utilizar los prestadores del servicio de acueducto para la internalización de los costos ambientales con el objetivo de financiar proyectos que les permitan proteger y conservar las fuentes de abastecimiento en cantidad y calidad adecuadas a los usuarios del servicio que brindan.
- Tarifa: precio que debe pagarse por la prestación de un servicio.
- Usuario: persona física o jurídica que tiene acceso a agua potable mediante el servicio que presta un ente operador de un sistema de acueducto.
- Vulnerabilidad: grado al cual un sistema es susceptible a, o incapaz de, enfrentarse a condiciones adversas, incluyendo la variabilidad climática y eventos extremos. El concepto de vulnerabilidad involucra tres elementos clave: exposición, sensibilidad y resiliencia. La exposición se refiere al grado (tiempo y espacio) en que un sistema está en contacto con una amenaza. La sensibilidad es el grado de afectación por la exposición, la cual, normalmente, se puede referir a los impactos y su magnitud. La resiliencia es la capacidad de lidiar, recuperarse o adaptarse ante la amenaza.

3 Antecedentes

La TPRH es un mecanismo financiero que está siendo impulsado por la ARESEP para la protección del recurso hídrico desde el año 2013, que busca mejorar la evaluación del impacto de la “tarifa hídrica” que se viene aplicando por la ESPH desde el año 2000. El objetivo de la nueva tarifa es contribuir a que se pueda obtener la cantidad y calidad del agua adecuadas en los sitios de aprovechamiento de los prestadores de acueductos, para mejorar la sostenibilidad del abastecimiento poblacional. Los prestadores del servicio de acueducto podrán obtener ingresos para la protección del recurso hídrico, por medio de esta tarifa, a través de la presentación de un portafolio de proyectos incorporados en la estrategia quinquenal de una solicitud tarifaria.

Los proyectos deben buscar la protección de áreas de influencia, ya sea públicas, privadas o mixtas, con el fin de asegurar la cantidad y calidad del recurso hídrico del que se abastecen los sistemas de acueducto, como son las áreas de recarga o de drenaje de sus fuentes prioritarias, dependiendo de si es agua subterránea o superficial.

En el año 2016 en el marco de un proceso facilitado por CEDARENA, por encargo de la Intendencia de Agua de la Aresep, se desarrollaron las guías metodológicas, una que incluye la tipología de proyectos con una herramienta de priorización de estos, con base en criterios financieros, biofísicos y sociales; y esta guía que abarca los contenidos requeridos para la preparación de la estrategia quinquenal y el cálculo de la TPRH.

El proceso de construcción de las guías fue altamente participativo involucrando a los prestadores del servicio de acueducto regulados por la ARESEP, y representantes de otras entidades como universidades, prestadores del servicio de electricidad, MINAE, SINAC, Proyecto Corredores Biológicos GIZ/SINAC y Fundecooperación.

El financiamiento de las guías contó con el apoyo del Programa Adapta2+ del Fondo de Adaptación al Cambio Climático, administrado por Fundecooperación para el Desarrollo Sostenible, el Proyecto de Corredores Biológicos GIZ-SINAC y TNC.

Además, con el fin de validar las guías, introducir ajustes pertinentes y generar una experiencia en campo que permitiera obtener un aprendizaje práctico sobre la ejecución del tipo de proyectos, se elaboraron borradores de estrategias quinquenales y se seleccionaron proyectos piloto con el AyA, la ESPH y dos FLUs (Federación de ASADAS de Aserri y la Unión de ASADAS Norte - Norte). Dado el interés mostrado por algunas ASADAS, se han brindado algunas presentaciones y reuniones con FLUs, en conjunto con ARESEP y el Proyecto Corredores Biológicos GIZ-SINAC, promoviendo la metodología de TPRH y motivando a las ASADAS en el desarrollo de proyectos financiados total o parcialmente con la aplicación de la tarifa.

4 Introducción

En esta guía se establecen los criterios mediante los cuales la ARESEP evaluará las estrategias quinquenales que presenten entes prestadores del servicio de acueducto para ser financiados con los recursos generados a través de la TPRH, con el fin de determinar si aprueba o no el contenido presupuestario de la misma.

La TPRH constituye un instrumento para la internalización de los costos ambientales con el objetivo de garantizar agua en cantidad y calidad adecuadas para la prestación del servicio de acueducto. Será una herramienta que permitirá incorporar criterios y aspectos relacionados con la sostenibilidad ambiental en la fijación de las tarifas del servicio de acueducto por parte de la ARESEP.

Para que un ente prestador pueda incorporar en su sistema tarifario un rubro por concepto de protección del recurso hídrico, deberá someter a consideración de la ARESEP una estrategia quinquenal en la que se visualice la forma en que se utilizarán los recursos que recaude en caso de que la TPRH sea aprobada y el impacto que esto tendrá en la calidad de la prestación del servicio. Dicha estrategia quinquenal podrá incluir la ejecución de uno o más proyectos.

Los entes prestadores que deberán presentar la solicitud de aprobación de la TPRH junto a la respectiva estrategia quinquenal son el AyA y la ESPH. En el caso de ASADAS, estas podrán hacer la gestión a través de Federaciones o Uniones de ASADAS por medio del AyA, observando el procedimiento que la institución defina para tales efectos y contando con su asistencia para facilitar su ejecución.

Es importante recalcar que, en atención a lo dispuesto por Naciones Unidas, en la Observación General No. 15 sobre el derecho al agua del Comité de Naciones Unidas de Derechos Económicos, Sociales y Culturales. Noviembre de 2002 y en la resolución No. 64/292 de la Asamblea General, del 28 de julio de 2010, en relación al reconocimiento del derecho humano al agua y al saneamiento, la TPRH se ha de establecer tomando en cuenta que las tarifas por el servicio de agua deben ser asequibles para la población, constituyendo este aspecto un criterio que han de tener presente tanto los entes prestadores del servicio como la ARESEP, garantizando el equilibrio financiero del prestador como lo indica la Ley 7593 artículo 31 inciso a) y además tomar en cuenta el inciso c) del mismo artículo que dice que para la fijación de tarifas y precios se debe de tomar en cuenta la protección de los recursos hídricos, costos y servicios ambientales.

La guía comprende la tipología de proyectos que podrían ser financiados por la TPRH, los criterios de evaluación y priorización de los proyectos; los costos administrativos y operativos que son financiados con la tarifa; los procedimientos administrativos y la fórmula de cálculo de la TPRH.

Esta guía ha sido diseñada en el marco de un proceso facilitado por CEDARENA, por encargo de la Intendencia de Agua de la ARESEP, en coordinación directa con el AyA, la ESPH y representantes del sector ASADAS, con el apoyo del Programa Adapta2+ del Fondo de Adaptación al Cambio Climático administrado por Fundecooperación para el Desarrollo Sostenible y el Proyecto Corredores Biológicos GIZ-SINAC y TNC.

4.1 Objetivos de la TPRH¹

Objetivo general:

Establecer un instrumento tarifario que permita a los operadores del servicio de acueducto generar ingresos para realizar proyectos orientados a la protección del recurso hídrico.

Objetivos específicos:

- a. Promover proyectos para mejorar la disponibilidad y la calidad del agua en las fuentes de abastecimiento del recurso hídrico utilizadas por los operadores del servicio de acueducto y mejorar su sostenibilidad.
- b. Contribuir en la adaptación del impacto del cambio climático sobre las fuentes de abastecimiento del recurso hídrico mediante la aplicación de este instrumento regulatorio.

4.2 Fundamento legal

La Ley de la ARESEP, N° 7593, establece que la institución, a la hora de fijar tarifas y precios, debe tomar en cuenta criterios y aspectos relacionados con la sostenibilidad ambiental, así como con la protección de los recursos hídricos y los costos y servicios ambientales. Además, en su numeral 31 señala que los criterios de equidad social, sostenibilidad ambiental, conservación de energía y eficiencia económica deberán ser elementos centrales para fijar las tarifas.

Aunado a esto, en su artículo 14 inc. c) establece que es obligación de los entes prestadores de los servicios públicos, “proteger, conservar, recuperar y utilizar racionalmente los recursos naturales relacionados con la explotación del servicio público, según la legislación vigente.”

Estos artículos son los que permiten que un ente operador solicite a la ARESEP la autorización para incluir dentro de la tarifa que cobra a sus abonados un componente que permita financiar el desarrollo de proyectos dirigidos a proteger y conservar los cuerpos de agua de los que se abastecen los sistemas de acueducto que administra y que la entidad apruebe dicha inclusión.

Los recursos provenientes del recaudo de la tarifa deben destinarse a la protección y recuperación del recurso hídrico, de conformidad con el inciso c. del artículo 31 de la Ley 7593 y del respectivo plan de ordenamiento y manejo de la cuenca o subcuenca, teniendo las siguientes consideraciones:

Los recursos provenientes del recaudo se destinarán de la siguiente manera:

- a) En las cuencas y subcuencas con Plan de Ordenamiento y Manejo Adoptado, se destinarán exclusivamente a las actividades de protección, recuperación y monitoreo del recurso hídrico definidas en el Sección V;

¹ Fuente: “Metodología Tarifaria para la Protección del Recurso Hídrico (MTPRH)”, publicada en el Alcance N° 214 a La Gaceta N° 235 del 18 de diciembre del 2018

b) En las cuencas declaradas en ordenación, se destinarán a la elaboración del Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca;

c) En ausencia de las condiciones establecidas en los literales a) y b), se destinarán a actividades de protección y recuperación del recurso hídrico definidos en los instrumentos de planificación de la autoridad ambiental competente y teniendo en cuenta las directrices de al Aresep.

La protección del recurso hídrico desde sus fuentes es indispensable para asegurar la calidad, cantidad, sostenibilidad y continuidad del servicio de acueducto.

Sumado a lo anterior, existen disposiciones normativas relacionadas con los entes prestadores del servicio de acueducto que establecen, de manera específica, el mandato de proteger y conservar el recurso hídrico.

En el caso del AyA, el artículo 2 inc. c) de su ley de creación, No. 2726, es el que establece que a la institución le corresponde, entre otras cosas, “promover la conservación de las cuencas hidrográficas y la protección ecológica, así como el control de la contaminación de las aguas”.

Por su parte, el artículo 16 del Reglamento de las ASADAS, Decreto Ejecutivo No. 32529-S-MINAE del dos de febrero del 2005, indica que entre los fines que deberá tener la organización está el de “la conservación y aprovechamiento racional de las aguas necesarias para el suministro a las poblaciones”, así como la “vigilancia y control de su contaminación o alteración”.

En el caso de la ESPH, su ley de modificación No. 7789 del 30 de abril de 1998, establece, en su artículo 6 incisos c., d., e., f. y g., que es responsabilidad de la ESPH la conservación y uso racional del recurso hídrico en la región de Heredia, contando con el apoyo técnico y financiero del Estado.

5 Alcance²

La metodología tiene el siguiente alcance:

- a. Se aplica a todas las fijaciones tarifarias ordinarias, para la protección del recurso hídrico.
- b. Se aplica a los operadores regulados por ARESEP que prestan el servicio de acueducto, en todo el territorio nacional; no considera a las municipalidades.
Se aplica a la estructura tarifaria y por tanto no contempla cambios en la estructura.

6 Tipología de proyectos financiables con recursos de la TPRH

A continuación, se propone una tipología de proyectos susceptibles a ser financiados con recursos de la TPRH. En el Cuadro 1, se ofrece un resumen de cada tipo de proyecto y el Anexo 1 presenta una descripción más detallada de los mismos. El ente prestador puede proponer proyectos que no

² Fuente: “Metodología Tarifaria para la Protección del Recurso Hídrico (MTPRH)”, publicada en el Alcance Nº 214 a La Gaceta Nº 235 del 18 de diciembre del 2018

han sido incluidos en esta tipología, siempre y cuando los mismos cumplan con el objetivo de la TPRH.

Los proyectos, dependiendo de su objetivo, podrán tener un fin o podrán implementarse durante varios años, en el plazo requerido según se justifique en la Estrategia Quinquenal del prestador del servicio. Los proyectos deben tener continuidad en el tiempo.

Cuadro 1. Síntesis de la tipología de proyectos susceptibles a ser financiados por la TPRH

Categorías de Proyectos	Tipos de Proyectos	Detalle
1. Estudios básicos	Aguas superficiales: Estudios hidrológicos	Tienen como objetivo la identificación de áreas de intervención cuya protección repercutirá en un mejoramiento para asegurar la preservación de la calidad y cantidad del agua de una toma de agua superficial o una fuente de agua subterránea, así como llevar el control de la variación espacial y temporal de los recursos hídricos en el área del proyecto
	Aguas subterráneas: estudios hidrogeológicos	
	Estudios socioeconómicos	
	Equipamiento para monitoreo de la oferta del recurso hídrico: estaciones meteorológicas, fluviográficas y otros	
2. Compra de tierras para protección de fuentes de abastecimiento agua y zonas de recarga hídrica	Adquisición de terrenos mediante compra de fincas en manos privadas.	Implica la adquisición de terrenos mediante compra de fincas en manos privadas, las cuales son identificadas técnicamente mediante estudios básicos como zonas clave para la protección del recurso hídrico con el fin de garantizar su calidad y cantidad adecuadas
3. Proyectos de protección y conservación de ecosistemas	3.1. Pago por servicios ecosistémicos en terrenos privados	Consiste en aquellas acciones que se pueden ejecutar para proteger sitios donde se ubican bosques primarios, bosques secundarios, zonas en regeneración natural o sitios que se deseen recuperar y que se encuentren en áreas de recarga acuífera, previamente identificadas en los estudios básicos.
	3.2. Pago de servicios ecosistémicos en áreas protegidas	
	3.2. Servidumbres Ecológicas	
4. Proyectos de restauración de ecosistemas	4.1. Reforestación para restauración de ecosistemas	Se trata de acciones que se pueden realizar en terrenos o propiedades que se encuentren degradados o deforestados y que, según los estudios básicos realizados, sean de importancia primordial para garantizar la calidad y la cantidad del agua de las fuentes aledañas y donde sea justificable la aplicación de proyectos de esta índole. Cabe destacar que estos proyectos son de ejecución directa por parte del prestador del servicio de acueducto en fincas que sean de su propiedad e incidan en la protección de fuentes de abastecimiento y zonas de recarga.
	4.2. Regeneración natural	
	4.3. Regeneración natural asistida (RNA)	
	4.4. Reforestación en área urbana	
5. Prácticas Agrosilvopastoril, agrosilviculturales, agroforestales y	5.1. Sistema agrosilviculturales	El Sistema Agroforestal (SAF) es la forma de usar la tierra que implica la combinación de especies forestales, en tiempo y espacio, con especies agronómicas, en procura de la sostenibilidad el
	5.2. Sistema Agrosilvopastoril	

Categorías de Proyectos	Tipos de Proyectos	Detalle
Silvopastoriles	5.3. Sistema silvopastoril	sistema y de una armonía con la protección de fuentes de abastecimiento y zonas de recarga. El Sistema Agrosilvopastoril es la combinación de la agricultura con plantas leñosas y crianza de animales domésticos en una misma unidad productiva con el objetivo de optimizar el uso del suelo. Se recomienda su aplicación principalmente en suelos profundos, respetando la capacidad de carga que indique el tipo de suelo. El Sistema Silvopastoril es, en general, la combinación de plantas leñosas o herbáceas perennes con producción animal en una misma unidad espacial.
	5.4. Sistema agroforestal	
6. Financiamiento de prácticas productivas sostenibles	6.1. Labranza cero o mínima labranza y siembra en curvas a nivel o al contorno.	El objetivo de las prácticas agrícolas sostenibles está orientado fundamentalmente a disminuir al máximo la contaminación, que puede ser física -cuando la lixiviación y arrastre de partículas provoca sedimentación y turbidez en las tomas y aguas arriba de las mismas- o química -cuando las prácticas agronómicas no cumplen las mínimas normas de manejo de agroquímicos, incluidos los fertilizantes. Se incluye, además, los residuos sólidos provenientes de actividades ganaderas.
	6.2. Establecimiento de prácticas de conservación de suelos y aguas.	
	6.3. Sistemas de microriego y fertiriego en ambiente protegido.	
	6.4. Programa de MIP (Manejo integrado de plagas) y uso racional de fertilizantes.	
	6.5. Manejo de desechos sólidos orgánicos y aguas residuales:	
	6.5.1. Establecimiento de biodigestores	
7. Promover una nueva cultura del agua	6.5.2. Fertilización con aguas verdes	Busca promover e inducir, por medio de la educación formal y no formal, una nueva cultura del agua, orientada hacia la gestión participativa e integral del recurso hídrico. Esto implica reestructurar las actuales prácticas y hábitos en relación al recurso hídrico, así como la generación de cambios en la valoración y la percepción que las personas tienen sobre el mismo, en aras de asegurar y garantizar el derecho humano de acceso al agua potable.
	6.5.3. Elaboración de compost	
	6.5.4. Producción de lombricompost	
	6.6. Forraje hidropónico	
	Educación formal y no formal.	
8. Infraestructura que	8.1. Sistemas de	En la sección relacionada con obras de

Categorías de Proyectos	Tipos de Proyectos	Detalle
facilita la infiltración	infiltración inducida 8.1.1. Áreas de infiltración, biojardineras y filtros verdes 8.1.2. Pavimento permeable modular 8.1.3. Zanjas y pozos de infiltración 8.1.4. Lagunas de infiltración 8.1.5. Pozos de recarga 8.1.6. Captadores de humedad 8.2. Aprovechamiento de agua llovida	infraestructura que favorecen la infiltración se discuten las características, méritos y desventajas de varios sistemas de recarga artificial. Estos sistemas de infiltración son: (1) áreas de infiltración y franjas verdes, (2) pavimentos porosos o modulares, (3) zanjas de percolación, (4) lagunas de infiltración y (5) pozos de infiltración. Así mismo, se plantean proyectos para la captación de humedad atmosférica por medio de barreras metálicas tipo cedazo y estructuras para el tratamiento primario de aguas residuales domésticas por medio de biojardineras, en aquellos sitios donde no sea posible utilizar tanques sépticos.

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Ver tipología detallada en el Anexo 1.

6. Criterios técnicos para la evaluación de los proyectos incluidos en las estrategias quinquenales

En esta guía se entiende como fuente el punto específico de un cuerpo de agua, donde se capta el líquido que se utiliza para la prestación del servicio público de acueducto. En el caso de las aguas superficiales, la fuente puede ser una quebrada o un río; en el caso de las aguas subterráneas, la fuente puede ser un manantial o naciente o un pozo. Se utilizará el nombre de toma de agua superficial para aquella obra que se construye en un río o quebrada para captar el agua.

En una primera instancia, todos los proyectos que se propongan deben estar orientados a la protección de la calidad y de la cantidad del agua de una fuente que es utilizada por un operador. Tales proyectos se desarrollarán sobre aquella porción del terreno que tiene una injerencia directa sobre la fuente.

Desde esa perspectiva, los proyectos relacionados con aguas superficiales deberán estar enfocados, en principio, en la subcuenca cuyas aguas escurren hacia el sitio de toma, y no necesariamente sobre la totalidad de la cuenca que contiene a la subcuenca, la cual puede ser de mayor tamaño, pero no tener relación con la toma. En el caso de fuentes de agua subterránea, los proyectos deben desarrollarse en aquellas áreas del acuífero cuyas aguas llegan al pozo o manantial, llamadas zonas de contribución o zonas de captura, sin dejar de lado las zonas por donde el agua entra al acuífero o a las zonas de recarga.

La propuesta de que los proyectos de conservación y manejo destinados a mantener, aumentar o mejorar la oferta y calidad del agua se deben enfocar en la protección del agua de una fuente y no necesariamente de la totalidad de una cuenca o de un acuífero se basa en un factor clave: costo. Se está pretendiendo que estos proyectos sean financiados por medio de una tarifa adicional a la tarifa de consumo que pagan los usuarios del agua de una fuente, y por lo tanto, no parece lógico

que estos usuarios paguen por la protección de un agua que no utilizarán. Tal caso se daría, por ejemplo, si se pretendiera proteger todo un acuífero cuando el sistema de acueducto del que se abastece el usuario sólo hace uso de una pequeña porción del mismo.

Una excepción a lo anterior es el caso de que un operador considere que es necesario proteger partes de una cuenca o de un acuífero que aún no se utilizan pero que planea aprovecharlas en un futuro y que por el momento la desea tener como “reserva”. Estos casos incrementarán las tarifas de los usuarios actuales y deberán considerarse a nivel individual, tomando en cuenta la capacidad financiera y la cantidad de usuarios abastecidos por el ente prestador.

Lo anterior hace ver que, antes de proponer cualquier proyecto, es prioritario tener identificada y justificada técnicamente la zona sobre la que se ejecutará el mismo. En el caso de tomas de agua superficial se requerirá un estudio hidrológico que considere las características físicas del área de aporte a la toma, un diagnóstico de su estado actual en relación con el agua de la toma; mientras que, cuando se trate de fuentes de agua subterránea se requerirá un estudio hidrogeológico que, de manera similar, identifique y delimite las áreas de aporte y de recarga a aquella parte del acuífero que alimenta a la fuente de interés.

Tanto para aguas superficiales como para subterráneas, esos estudios deben incluir un diagnóstico sobre el estado actual de estas áreas en relación con el agua de la fuente y deben emitir las recomendaciones de uso del terreno para preservar o mejorar la calidad y la cantidad del agua de la fuente considerada en el estudio.

El tipo de proyecto (compra de tierras, conservación de bosques, pago por servicios ecosistémicos, etc.) que mejor se ajuste a los objetivos buscados resultará de las conclusiones y recomendaciones de los estudios hidrológicos e hidrogeológicos mencionados en los párrafos anteriores y de las condiciones de uso del suelo en el área de influencia que incide en la toma superficial o en la fuente de agua subterránea.

Como puede verse, la realización de esos estudios básicos debe ser el primer paso antes de la propuesta de un proyecto de conservación.

6.1. Criterios de priorización

Para la priorización de los proyectos, se hace una propuesta de siete criterios, los cuales se deben aplicar para la evaluación de los proyectos propuestos por un mismo prestador del servicio de acueducto, en tanto sea un portafolio de proyectos donde el prestador deba seleccionar cuáles implementar en un período de 5 años. Por tanto, cuando se trate de un solo proyecto o los proyectos incluidos en el portafolio serán implementados en el quinquenio no se requiere aplicar los criterios de priorización. Dichos criterios son los siguientes:

6.1.1. Viabilidad costo-eficiencia

Este criterio permite evaluar si el proyecto puede ser financiado con el presupuesto disponible, producto de la TPRH, con recursos propios del prestador del servicio de acueducto, con préstamos o con donaciones. Se priorizan los proyectos que tienen un mayor impacto positivo sobre la oferta de agua, al menor costo posible. El impacto positivo sobre la oferta se refiere a

una mejora en la disponibilidad de agua, ya sea por incremento de la cantidad o mejora de la calidad o bien el mantenimiento en el tiempo de la calidad y cantidad.

ASIGNACIÓN DEL PUNTAJE: Para asignar un puntaje, se propone un costo unitario por unidad de caudal, expresado en términos de colones/m³/día. Este costo unitario se obtendrá a partir del cociente del costo total del proyecto y el caudal concesionado de la toma o la fuente que serán protegidas, o de la suma de ambas.

$$\text{Costo unitario} = \frac{\text{Costo total del proyecto}}{\text{Caudal concesionado}} \frac{[\text{Colones}]}{[\text{m}^3/\text{día}]}$$

Se asignará el puntaje máximo al proyecto que tenga el menor costo unitario y el mayor impacto sobre la oferta de agua. El puntaje de los otros proyectos se asignará con la relación:

$$\text{Puntaje} = \frac{\text{Costo unitario del proyecto con menor costo unitario}}{\text{Costo unitario del proyecto en evaluación}} * 100 \frac{[\text{Costo}/\text{m}^3/\text{día}]}{[\text{Costo}/\text{m}^3/\text{día}]}$$

6.1.2. Reducción de variables causantes del riesgo

Se entiende por riesgo la probabilidad de que la fuente de agua se vea afectada adversamente por una determinada amenaza, la cual puede ser una actividad antrópica (ejemplo: cultivos, industria, vivienda, etc.), o un evento natural (ejemplo: sequías, lluvias extraordinarias, cambio climático, etc.). El riesgo depende de las características de la amenaza y de la vulnerabilidad de la fuente ante esa amenaza. El proyecto planteado tiene un impacto directo sobre la oferta del agua al disminuir los riesgos que puedan afectar directa o indirectamente la calidad y cantidad de agua. Los proyectos que tienen una mayor incidencia en reducir el riesgo de afectación a la fuente de agua recibirán la calificación más alta.

ASIGNACIÓN DEL PUNTAJE: Por medio del estudio básico se determinan las variables de riesgo que afectan el área de intervención en donde se encuentra el proyecto en evaluación. Dependiendo del tipo de proyecto, este podría llegar a reducir la totalidad o un porcentaje de las variables de riesgo que afectan al área de intervención en la que se encuentra el proyecto. El puntaje se estimará a partir del porcentaje que represente el área del proyecto con respecto al área de intervención y del porcentaje de las variables de riesgo de dicha área de intervención que el proyecto pueda reducir.

$$\text{Puntaje} = \frac{\text{Número de variables que reduce el proyecto en evaluación} * \text{Área del proyecto}}{\text{Número total de variables de riesgo} * \text{Área de intervención}} * 100 \frac{[\text{Ha}]}{[\text{Ha}]}$$

6.1.3. Alianzas institucionales

El proyecto propuesto propicia un trabajo conjunto y coordinado entre dos o más operadores de agua, así como la participación de otros actores relevantes (instituciones del Estado,

municipalidades, comunidades, asociaciones de productores, academia, grupos organizados de mujeres, jóvenes o niños, organizaciones no gubernamentales u otros), en un sitio específico, quienes aportan tanto recursos financieros como humanos. Estos proyectos pueden haber sido ya realizados, estar en ejecución o ser nuevos. Cuanto mayor participación de otros actores en el desarrollo del proyecto, mayor calificación.

ASIGNACIÓN DEL PUNTAJE: Recibirá el puntaje máximo el proyecto que involucre a más actores. El puntaje de los otros proyectos será proporcional a la cantidad de actores y se asignará con la siguiente relación:

$$Puntaje = \frac{\text{Número de actores del proyecto en evaluación}}{\text{Número de actores del proyecto que tenga la mayor cantidad de actores}} * 100$$

6.1.4. Mantenimiento o mejora de la calidad del agua de la toma

El proyecto contribuye a mejorar la calidad del agua de la toma, a través de la reducción de la erosión y de la cantidad de sedimentos en suspensión o de la reducción de la contaminación bacteriológica causada por actividades como la ganadería. La salud de la cuenca se mide a través de la calidad del agua del cauce principal, lo que permite determinar el nivel de impacto del proyecto. Los proyectos que generen un mayor impacto sobre la reducción en la erosión y sedimentos en suspensión en la cuenca obtendrán la calificación más alta.

Este criterio aplica solamente para tomas de aguas superficiales. Si se debiera comparar un proyecto de aguas superficiales con un proyecto de aguas subterráneas, el de aguas subterráneas deberá recibir por este criterio el mismo puntaje del proyecto de aguas superficiales con mayor puntaje.

ASIGNACIÓN DEL PUNTAJE: El puntaje asignado al proyecto dependerá del porcentaje de mejoría que se espera a raíz de su implementación sobre una mayor cantidad de agua. Para el cálculo del puntaje se debe calcular en primer lugar un “índice de mejoría esperado”, el cual es igual a la multiplicación del caudal concesionado de la fuente (en m³/día) por la proporción de mejoría esperada en la calidad del agua de la toma (expresado como fracción). Este índice de mejoría se debe calcular para todos los proyectos en evaluación que se estén comparando.

$$\text{Índice de mejoría} = \text{Caudal concesionado} * \text{Porcentaje de mejoría} \left[\frac{m^3}{dia} \right]$$

El puntaje de cada proyecto individual se calculará con la relación:

$$Puntaje = \frac{\text{Índice de mejoría del proyecto en evaluación}}{\text{Índice de mejoría del proyecto con mayor índice de mejoría}} * 100 \quad \frac{[m^3/d]}{[m^3/d]}$$

El cuadro siguiente presenta un ejemplo que compara dos proyectos, con porcentajes de mejoría diferentes.

Proyecto	Caudal concesionado (m ³ /d)	Porcentaje de mejoría	Índice de mejoría	Puntaje final
1	100	80	(100)x(0,8) = 80	(80/99,2)x(100) = 80,6
2	160	62	(160)x(0,62) = 99,2	(99,2/99,2)x(100) = 100

En caso de que la finalidad del proyecto sea el mantenimiento de la calidad del agua, este obtendrá directamente la puntuación máxima, por lo que no será necesario estimar un porcentaje de mejoría de la calidad del agua de la fuente.

6.1.5. Cantidad de hectáreas a impactar y magnitud del caudal beneficiado.

El proyecto propuesto genera un incremento en la cantidad de área protegida en zonas de recarga acuífera y áreas de protección de ríos en relación con el caudal de la(s) toma(s) o fuente(s) beneficiada(s).

Para el cálculo del puntaje se debe primero calcular un “caudal específico” por unidad de área que será impactada. Para cada proyecto en evaluación, este caudal específico resulta del cociente entre el caudal concesionado de la(s) toma (s) o fuente(s) a proteger en m³/d y la extensión en hectáreas a proteger.

$$\text{Caudal específico} = \frac{\text{Caudal concesionado}}{\text{Área del proyecto}} \left[\frac{\text{m}^3/\text{dia}}{\text{Ha}} \right]$$

ASIGNACIÓN DEL PUNTAJE: Recibirá el puntaje máximo el proyecto que presente el mayor caudal específico. El puntaje del proyecto en evaluación será proporcional al caudal específico y se asignará con la siguiente relación:

$$\text{Puntaje} = \frac{\text{Caudal específico del proyecto en evaluación}}{\text{Caudal específico del proyecto con un mayor caudal específico}} * 100 \frac{[\text{m}^3/\text{d}/\text{Ha}]}{[\text{m}^3/\text{d}/\text{Ha}]}$$

6.1.6. Ubicación del proyecto

Los proyectos localizados en las partes altas de las cuencas recibirán un mayor puntaje que aquellos ubicados en la parte media o baja, con el fin de proteger las áreas de recarga de los acuíferos y zonas de importancia hídrica por su impacto en la cantidad y calidad de agua. El anterior criterio se basa en el hecho de que en algunos sitios de toma de agua superficial es de esperarse que haya un caudal sobrante o no utilizado que igualmente se verá beneficiado por el proyecto, y este beneficio se transmitirá aguas abajo. De manera similar, en cierto sector de la cuenca podría haber varios manantiales que comparten una misma área de recarga, pero solo algunos de ellos son captados; el proyecto beneficiaría a todos por igual y el caudal no captado discurriría pendiente abajo transmitiendo el beneficio del proyecto.

ASIGNACIÓN DEL PUNTAJE: Recibirá el puntaje máximo aquel proyecto cuya toma o fuente se encuentre a mayor elevación. Los puntajes de los otros proyectos se calcularán considerando las elevaciones, en metros sobre el nivel del mar, de su respectiva toma o fuentes mediante la ecuación:

$$Puntaje = \frac{\text{Elevación de la toma o fuente en evaluación}}{\text{Elevación de la toma o fuente con una mayor elevación}} * 100 \frac{[m. s. n. m.]}{[m. s. n. m.]}$$

6.1.7. Cantidad de usuarios del proyecto

El proyecto que beneficie a una mayor cantidad de usuarios será el proyecto que obtendrá el mayor puntaje. La cantidad de usuarios se estimará en función del caudal concesionado de la toma, el cual corresponde al caudal utilizado para abastecimiento de agua potable. La cantidad de usuarios se obtiene a partir del cociente entre el caudal concesionado y una dotación promedio de 250 l/usuarios/día, tal como lo muestra la siguiente ecuación:

$$Cantidad\ de\ usuarios = \frac{Caudal\ concesionado\ de\ la\ fuente}{Dotación\ promedio} \frac{\left[\frac{l}{día}\right]}{\left[\frac{l}{usuarios * día}\right]}$$

ASIGNACIÓN DEL PUNTAJE: Recibirá el puntaje máximo aquel proyecto que beneficie a una mayor cantidad de usuarios. Los demás proyectos recibirán un puntaje en proporción con la cantidad de usuarios con respecto al proyecto que tenga una mayor cantidad de usuarios.

$$Puntaje = \frac{Cantidad\ de\ usuarios\ del\ proyecto\ en\ evaluación}{Cantidad\ de\ usuarios\ del\ proyecto\ con\ la\ mayor\ cantidad\ de\ usuarios} * 100$$

6.2. Sistema de ponderación

El sistema de ponderación será utilizado por los prestadores del servicio para la priorización de los proyectos a ser presentados a la Intendencia de Aguas de ARESEP en las estrategias quinquenales. A su vez el sistema propuesto será utilizado por los funcionarios de ARESEP para evaluar las solicitudes de TPRH presentadas por los prestadores, quienes verificarán las calificaciones asignadas por los prestadores según los criterios antes señalados, y en función de un sistema de puntaje, donde la suma de los siete criterios equivale a 100%. A cada criterio se le otorga un peso en función del nivel de importancia, el cual se refiere a la contribución de dicho criterio a la protección y conservación de la calidad y cantidad de agua (ver Cuadro 2). Los pesos fueron asignados por cada uno de los entes prestadores, y serán revisados cuando los mismos prestadores, junto con la ARESEP, lo consideren pertinente.

Cuadro 2. Sistema de ponderación para la priorización de los proyectos presentados por los prestadores del servicio de acueducto

Criterios	Valor asignado		
	ESPH (%)	AyA (%)	ASADAS (%)
1.Viabilidad Costo-Eficiencia	10%	14%	15%
2.Reducción de variables causantes del Riesgo	20%	15%	20%
3.Alianzas institucionales	10%	14%	15%
4.Mantenimiento o mejora de la calidad del agua de la toma o fuente	20%	14%	15%
5.Cantidad de hectáreas a impactar y magnitud del caudal beneficiado	20%	14%	10%
6.Ubicación del proyecto	10%	14%	10%
7.Cantidad de usuarios del proyecto	10%	15%	15%
Total	100%	100%	100%

Los proyectos que serán presentados en la estrategia quinquenal por los prestadores se evaluarán en una matriz como la siguiente, donde el peso variará de acuerdo al prestador:

Cuadro 3. Matriz para la evaluación y priorización de proyectos

Proyectos	Criterios de evaluación y priorización de proyectos							Total
	Viabilidad Costo-Eficiencia	Reducción de variables causantes del Riesgo	Alianzas institucionales	Mantenimiento o mejora de la calidad del agua de la toma o fuente	Cantidad de hectáreas a intervenir y magnitud del caudal beneficiado	Ubicación del proyecto en la cuenca	Cantidad de usuarios del Proyecto	
1								
2								
3								
...								

Ejemplo de aplicación

Con el fin de ejemplificar la aplicación de los criterios indicados para la selección y priorización de proyectos se desarrolló un ejemplo, cuyos datos son meramente ilustrativos. Para este ejemplo práctico se realizó bajo el supuesto que el ente prestador realizó un estudio básico que le permitió disponer la información requerida para caracterizar los proyectos y las áreas de intervención en las que se encuentran dichos proyectos.

El ejemplo consiste en el análisis de 4 proyectos, los cuales se encuentran en 3 diferentes áreas de intervención que corresponden al área de recarga o drenaje de la fuente. Estas áreas de intervención se encuentran sujetas a diferentes variables de riesgo, producto de actividades antrópicas y características naturales. En el siguiente cuadro se muestra la información referente a cada una de las áreas de intervención.

Cuadro 4. Información de las áreas de intervención.

Áreas de intervención en las que se encuentran los proyectos				
Código	Nombre del área de intervención	Área total a intervenir (Ha)	Total de variables de riesgo	Lista del total de las variables de riesgo
1	La Hoja (Chorreras)	460.5	2	Contaminación por agroquímicos, erosión
2	Grupo El Cloro - Higuerones 1 y 2	24.04	3	Erosión, contaminación por agricultura, contaminación por ganadería
3	Mata de Plátano	46.1	3	Contaminación urbana, contaminación por ganadería, erosión

En el siguiente cuadro se muestra la información de los proyectos a comparar. Se puede observar como el proyecto PR-2 y PR-3 se encuentran dentro de la misma área de intervención, mientras que el proyecto PR-1 se ubica en la zona de La Hoja y el proyecto PR-4 en Mata de Plátano.

Cuadro 5. Información básica de los proyectos a evaluar.

Información básica de los proyectos a evaluar												
Nombre del proyecto	Código del proyecto	Tipo de toma	Área del proyecto (Ha)	Caudal concesionado (l/s)	Porcentaje de Mejoría	Elevación de la toma (m.s.n.m)	Actores		Variables de riesgo mitigadas		Costo del proyecto (colones)	Código del área de intervención
							Número de actores	Lista de actores	Número de variables	Lista de variables		
Infiltración Inducida	PR-1	Superficial	300	300	Mantenimiento	1687	4	Municipalidad, Asociación Desarrollo, UCR, SENARA	1	Contaminación por agroquímicos	150,000,000	1
Siembra en contorno	PR-2	Subterránea	10	5	-	1712	2	Municipalidad, Asociación Desarrollo	1	Erosión	500,000	2
PSA de protección y regeneración natural	PR-3	Superficial	6.04	5	15	1720	3	Municipalidad, Asociación de productores, MAG	3	Erosión, contaminación por agricultura, contaminación por ganadería	12,100,000	2
Biojardineras	PR-4	Superficial	46.1	10	35	1384	1	Municipalidad	1	Contaminación urbana	50,000,000	3

Nota: La conversión del caudal de l/s a m³/d y de l/s a l/día es la que sigue a continuación:

PR-1 = 25.920 m³/día. PR-1 = 25.920 x10³ l/día.

PR-2 = 432 m³/día. PR-1 = 432 x10³ l/día.

PR-3 = 432 m³/día. PR-1 = 432 x10³ l/día.

PR-4 = 864 m³/día. PR-1 = 864 x10³ l/día.

Estimación de los criterios de evaluación y priorización de proyectos

En este apartado se muestra la memoria de cálculo de la aplicación de los criterios de evaluación para la priorización de los proyectos con el fin de clarificar la aplicación de los distintos criterios.

Sin embargo, para hacer más fácil y manejable la ponderación y priorización de los proyectos, se adjunta a esta guía, la hoja de Excel denominada Macro de criterios de priorización, en la cual se encuentran sistematizados todos los cálculos para cada criterio de priorización con una hoja final denominada “resumen”. En esta herramienta el operador deberá ingresar los datos solicitados para cada proyecto, y obtendrá el resultado de la priorización.

Viabilidad Costo – Eficiencia

Estimación costo unitario:

$$\text{Costo unitario} = \frac{\text{Costo total del proyecto}}{\text{Caudal concesionado}} \frac{[\text{Colones}]}{[\text{m}^3/\text{día}]}$$

PR-1

$$\text{Costo unitario} = \frac{150.000.000}{25.920} = 5.787,04 \text{ Colones/m}^3/\text{día}$$

PR-2

$$\text{Costo unitario} = \frac{500.000}{432} = 1.157,41 \text{ Colones/m}^3/\text{día} \rightarrow \text{Menor costo unitario}$$

PR-3

$$\text{Costo unitario} = \frac{12.100.000}{432} = 28.009,26 \text{ Colones/m}^3/\text{día}$$

PR-4

$$\text{Costo unitario} = \frac{50.000.000}{864} = 57.870,37 \text{ Colones/m}^3/\text{día}$$

Estimación Puntaje:

$$\text{Puntaje} = \frac{\text{Costo unitario del proyecto con menor costo unitario}}{\text{Costo unitario del proyecto en evaluación}} * 100 \frac{[\text{Costo/m}^3/\text{día}]}{[\text{Costo/m}^3/\text{día}]}$$

PR-1

$$\text{Puntaje} = \frac{1.157,41}{5.787,04} * 100 = 20$$

PR-2

$$\text{Puntaje} = \frac{1.157,41}{1.157,41} * 100 = 100$$

PR-3

$$\text{Puntaje} = \frac{1.157,41}{28.009,26} * 100 = 4,1$$

PR-4

$$\text{Puntaje} = \frac{1.157,41}{57.870,37} * 100 = 2,0$$

Reducción de variables causantes de riesgo

Estimación puntaje

$$Puntaje = \frac{\text{Número de variables que reduce el proyecto en evaluación} * \text{Área del proyecto}}{\text{Número total de variables de riesgo} * \text{Área intervención}} * 100 \frac{[Ha]}{[Ha]}$$

PR-1

$$Puntaje = \frac{1 * 300}{2 * 460,5} * 100 = 32,6$$

PR-2

$$Puntaje = \frac{1 * 10}{3 * 24,04} * 100 = 13,9$$

PR-3

$$Puntaje = \frac{3 * 6,04}{3 * 24,04} * 100 = 25,1$$

PR-4

$$Puntaje = \frac{1 * 46,1}{3 * 46,1} * 100 = 33,3$$

Alianzas Institucionales

Estimación puntaje

$$Puntaje = \frac{\text{Número de actores del proyecto en evaluación}}{\text{Número de actores del proyecto que tenga la mayor cantidad de actores}} * 100$$

El proyecto con más actores es el PR-1, el cual posee 4 actores.

PR-1

$$Puntaje = \frac{4}{4} * 100 = 100$$

PR-2

$$Puntaje = \frac{2}{4} * 100 = 50$$

PR-3

$$Puntaje = \frac{3}{4} * 100 = 75$$

PR-4

$$Puntaje = \frac{1}{4} * 100 = 25$$

Mantenimiento o mejora de la calidad del agua

Estimación índice de mejoría:

$$\text{Índice de mejoría} = \text{Caudal concesionado} * \text{porcentaje de mejoría} \left[\frac{m^3}{dia} \right]$$

La estimación de este índice de mejoría solo aplica para el proyecto PR-3 y PR-4, ya que son los únicos dos proyectos con tomas superficiales que experimentarán una mejoría en cuanto a la cantidad y la calidad del agua. El proyecto PR-2 es de una toma subterránea, por lo tanto, el puntaje obtenido será igual al puntaje máximo, ya que este criterio no aplica a tomas subterráneas. El proyecto PR-1, a pesar de ser de una toma superficial, es de mantenimiento de la calidad del agua, por lo tanto, recibe la máxima calificación automáticamente.

PR-3

$$\text{Índice de mejoría} = 432 * \frac{15}{100} = 64,8$$

PR-4

$$\text{Índice de mejoría} = 864 * \frac{35}{100} = 302,4$$

Estimación de puntaje

$$\text{Puntaje} = \frac{\text{Índice de mejoría del proyecto en evaluación}}{\text{Índice de mejoría del proyecto con mayor índice de mejoría}} * 100 \left[\frac{m^3/día}{[m^3/día]} \right]$$

PR-3

$$\text{Puntaje} = \frac{64,8}{302,4} * 100 = 21,4$$

PR-4

$$\text{Puntaje} = \frac{302,4}{302,4} * 100 = 100$$

PR-1

$$\text{Puntaje} = 100$$

PR-2

$$\text{Puntaje} = 100$$

Área a intervenir y caudal beneficiado

Estimación del caudal específico:

$$\text{Caudal específico} = \frac{\text{Caudal concesionado}}{\text{Área del proyecto}} \left[\frac{\text{m}^3/\text{dia}}{\text{Ha}} \right]$$

PR-1

$$\text{Caudal específico} = \frac{25.920}{300} = 86,4 \text{ m}^3/\text{dia}/\text{Ha} \rightarrow \text{Valor mayor}$$

PR-2

$$\text{Caudal específico} = \frac{432}{10} = 43,2 \text{ m}^3/\text{dia}/\text{Ha}$$

PR-3

$$\text{Caudal específico} = \frac{432}{6,04} = 71,5 \text{ m}^3/\text{dia}/\text{Ha}$$

PR-4

$$\text{Caudal específico} = \frac{864}{46,1} = 18,7 \text{ m}^3/\text{dia}/\text{Ha}$$

Estimación de puntaje:

$$\text{Puntaje} = \frac{\text{Caudal específico del proyecto en evaluación}}{\text{Caudal específico del proyecto con un mayor caudal específico}} * 100 \frac{[\text{m}^3/\text{día}/\text{Ha}]}{[\text{m}^3/\text{día}/\text{Ha}]}$$

PR-1

$$\text{Puntaje} = \frac{86,4}{86,4} * 100 = 100$$

PR-2

$$\text{Puntaje} = \frac{43,2}{86,4} * 100 = 50$$

PR-3

$$\text{Puntaje} = \frac{71,5}{86,4} * 100 = 82,8$$

PR-4

$$\text{Puntaje} = \frac{18,7}{86,4} * 100 = 21,7$$

Ubicación del proyecto

Estimación del puntaje:

$$Puntaje = \frac{\text{Elevación de la toma o fuente en evaluación}}{\text{Elevación de la toma o fuente con una mayor elevación}} * 100 \frac{[m.s.n.m.]}{[m.s.n.m.]}$$

El proyecto con la toma a una mayor elevación es el proyecto PR-3. La toma se ubica a una elevación de 1720 m.s.n.m.

PR-1

$$Puntaje = \frac{1687}{1720} * 100 = 98,1$$

PR-2

$$Puntaje = \frac{1712}{1720} * 100 = 99,5$$

PR-3

$$Puntaje = \frac{1720}{1720} * 100 = 100$$

PR-4

$$Puntaje = \frac{1384}{1720} * 100 = 80,5$$

Cantidad de usuarios del proyecto

Estimación de la cantidad de usuarios para una dotación de 250 l/usuarios/día:

$$\text{Cantidad de usuarios} = \frac{\text{Caudal concesionado de la fuente}}{\text{Dotación promedio}} \frac{\left[\frac{l}{día}\right]}{\left[\frac{l}{usuarios * día}\right]}$$

PR-1

$$\text{Caudal específico} = \frac{25.920 \times 10^3}{250} = 103.680 \text{ usuarios} \rightarrow \text{Valor mayor}$$

PR-2

$$\text{Caudal específico} = \frac{432 \times 10^3}{250} = 1728 \text{ usuarios}$$

PR-3

$$\text{Caudal específico} = \frac{432 \times 10^3}{250} = 1728 \text{ usuarios}$$

PR-4

$$\text{Caudal específico} = \frac{864 \times 10^3}{250} = 3456 \text{ usuarios}$$

Estimación de puntaje:

$$\text{Puntaje} = \frac{\text{Cantidad de usuarios del proyecto en evaluación}}{\text{Cantidad de usuarios del proyecto con la mayor cantidad de usuarios}} * 100$$

PR-1

$$\text{Puntaje} = \frac{103.680}{103.680} * 100 = 100$$

PR-2

$$\text{Puntaje} = \frac{1728}{103.680} * 100 = 1,7$$

PR-3

$$\text{Puntaje} = \frac{1728}{103.680} * 100 = 1,7$$

PR-4

$$\text{Puntaje} = \frac{3456}{103.680} * 100 = 3,3$$

Estimación de la calificación final de los proyectos en evaluación

Para la estimación de la calificación final, se utilizó la ponderación propuesta por el ente prestador Empresa de Servicios Públicos de Heredia, ESPH. El sistema de ponderación es el que se muestra en el siguiente cuadro, los cuales podrán ser revisados por los operadores o ARESEP cuando se requiera.

Cuadro 6. Sistema de ponderación de la ESPH.

Criterio	Porcentaje (%)
Viabilidad Costo – Eficiencia	10
Reducción de variables causantes de riesgo	20
Alianzas Institucionales	10
Mantenimiento o mejora de la calidad del agua	20
Área a intervenir y caudal beneficiado	20
Ubicación del proyecto	10
Cantidad de usuarios del proyecto	10

Estimación de calificación final:

PR-1

$$\text{Calificación final} = \frac{20 * 10 + 32,6 * 20 + 100 * 10 + 100 * 20 + 100 * 20 + 98,1 * 10 + 100 * 10}{100} = 78,3$$

PR-2

$$\text{Calificación final} = \frac{100 * 10 + 13,9 * 20 + 50 * 10 + 100 * 20 + 50 * 20 + 99,5 * 10 + 1,7 * 10}{100} = 57,9$$

PR-3

$$\text{Calificación final} = \frac{4,1 * 10 + 25,1 * 20 + 75 * 10 + 21,4 * 20 + 82,8 * 20 + 100 * 10 + 1,7 * 10}{100} = 43,9$$

PR-4

$$\text{Calificación final} = \frac{2,0 * 10 + 33,3 * 20 + 25 * 10 + 100 * 20 + 21,7 * 20 + 80,5 * 10 + 3,3 * 10}{100} = 42,1$$

En el siguiente cuadro se muestra un resumen de los puntajes y las calificaciones finales de cada proyecto, donde el proyecto con mayor puntaje es el de infiltración inducida, marcado en verde oscuro, en segundo lugar, siembra en contorno, PSA de protección y regeneración natural y por último biojardineras marcado en rojo.

Cuadro 6. Matriz resultante del análisis de los proyectos.

Nombre del proyecto	Sistema de Ponderación según el operador (%)							Calificación final
	10	20	10	20	20	10	10	
	Puntaje obtenido para cada rubro							
	Viabilidad Costo-Eficiencia	Reducción de variables causantes de riesgo	Alianzas Institucionales	Mantenimiento o mejora de la calidad del agua	Área a Intervenir y caudal beneficiado	Ubicación del proyecto	Cantidad de usuarios del proyecto	
Infiltración Inducida	20.0	32.6	100.0	100.0	100.0	98.1	100.0	78.3
Siembra en contorno	100.0	13.9	50.0	100.0	50.0	99.5	1.7	57.9
PSA de protección y regeneración natural	4.1	25.1	75.0	21.4	82.8	100.0	1.7	43.9
Biojardíneras	2.0	33.3	25.0	100.0	21.7	80.5	3.3	42.1

7 Bibliografía Consultada

AVINA (2011). El Acueducto Comunitario óptimo. Condiciones para la gestión efectiva de los servicios de agua. El caso de Costa Rica. Extraído desde <http://www.avina.net/esp/wp-content/uploads/2011/11/acueducto.pdf>

CATIE. 2003. Revista manejo integrado de plagas y agroecología. Turrialba, Costa Rica.

Chacón, M. 1998. Servidumbres Ecológicas: El propietario privado contribuyendo al desarrollo Sostenible. Centro de Derecho Ambiental y de los Recursos Naturales.

Elliott, S; Blakesley, D; Hardwick, K. 2013. Restauración de Bosques Tropicales: Manual Práctico. Entrevista al Acueducto Comunal de Poás de Aserrí el 9 de octubre de 2015.

FAO. 1992. Manual de sistemas de labranza para América Latina. INTA. Argentina.

Foster S. (1987). Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution, risk and protection strategy. TNO Comm. On Hidrog. Research. Proceed and Information No. 30:60-86. The Hague.

Fundación Natura, Red de Reservas Naturales de la Sociedad Civil, The Nature Conservancy, WWF Colombia. Las Servidumbres Ecológicas: un mecanismo jurídico para la conservación de tierras privadas. Santiago de Cali, Colombia. Junio 2002.

MAG. 2010. Guía técnica para la difusión de tecnologías de producción agropecuaria sostenible. San José, Costa Rica.

MINAE (2009). Política Hídrica Nacional. Extraído desde http://www.da.go.cr/textos/balance/politica_hidrica_30nov09.pdf

Millennium Ecosystem Assessment (2005). Ecosystems and Human Well-being.

Núñez, J. 2001. Manejo y conservación de suelos. EUNED. San José, Costa Rica.
Oficina Nacional Forestal, Sistema Nacional de Áreas de Conservación. 2009. Guía del productor para el establecimiento y manejo de pequeñas plantaciones forestales comerciales. San José Costa Rica.

Presidencia de Costa Rica (2013). Agenda del Agua en Costa Rica. Extraído desde http://www.elfinancierocr.com/economia-y-politica/Agenda-Agua-Costa-Rica_ELFFIL20131031_0003.pdf

Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del D.F. 2003. Manejo y Conservación de las áreas verdes. México D.F. 30p.

Royal Botanic Gardens, Kew. UK. 2013.

Saavedra, C. 2009. El manejo, conservación y protección de las fuentes de agua y los recursos naturales. Ministerio del agua. La Paz, Bolivia.

Sorensen, M; Barzetti, V; Kari, K; Williams, J. 1998. Manejo de las áreas verdes urbanas: documento de buenas prácticas. División de Medio Ambiente del Departamento de Desarrollo Sostenible del Banco Interamericano de Desarrollo. Washington D.C. 81p.

Vieira, M. Protección y captación de pequeñas fuentes de agua. Proyecto CENTA-FAO. San Salvador, El Salvador.

Urbonas, B. R., & Roesner, L. A. (1993). Hydrologic design for urban drainage and flood control. In D. R. Maidment, Handbook of Hydrology (pp. 28.1-28.52). New York: McGraw-Hill.

Bouwer, H. (1999). Artificial Recharge of Groundwater Systems: Design and Management. In L. W. Mays, Hydraulic Design Handbook (pp. 24.1-24.44). New York: McGraw-Hill.

Wanelista, M. P., Yousef, Y. A., Harper, H. H., & Cassagnol, C. L. (1981). Detention with Effluent Filtration for Stormwater Management. In Proc. 2d Int. Conf. on Urban Storm Drainage. Urbana, Ill.

8 Anexos

8.1 Anexo 1: Tipología de Proyectos

Antecedentes

En el año 2013 la ARESEP, con el financiamiento de TNC, contrato al CEDARENA con el fin de realizar una revisión de experiencias a nivel internacional y nacional que permitieran proponer una tipología de proyectos que fueran sujetos al financiamiento por parte de la TPRH. En ese momento se revisaron varias experiencias internacionales; a saber: las iniciativas de ahorro de energía desarrolladas por el Fondo de Agua de Pipiripau, en Brasil; campañas de ahorro de agua y energía implementadas por el Fondo Agua por la Vida y la Sostenibilidad, en Colombia; y las acciones promovidas por el Fondo para la Protección del Agua, en Ecuador; y el Fondo de Agua Metropolitano de Monterrey, México.

En Costa Rica se analizaron nueve iniciativas implementadas por entes prestadores del servicio de agua potable y alcantarillado, incluyendo al AyA y a ASADAS; por entes generadores de electricidad, como el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL), la Junta Administrativa del Servicio Eléctrico Municipal de Cartago (JASEC) y Coopesantos R.L. y por entes que prestan ambos servicios, como es el caso de la ESPH; así como por entidades del Estado que son dependencias del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), como la Dirección de Agua del MINAE y el Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (Fonafifo).

Los 20 proyectos analizados se dirigen en su totalidad a la protección y mantenimiento del recurso hídrico en áreas que consideran estratégicas. Las iniciativas revisadas se resumen en la siguiente lista:

- Pagos por servicios ambientales (hídrico);
- prácticas de conservación de suelos;
- mantenimiento de caminos de tierra;
- restauración de áreas degradadas;
- educación ambiental y capacitación comunitaria;
- manejo de áreas protegidas;
- cercado de zonas sensibles;
- prácticas silvopastoriles;
- plantación de vegetación nativa;
- mejoramiento de medios de subsistencia;
- recuperación de la cobertura vegetal;
- investigación;
- restauración de riveras urbanas;
- prevención de cambio de uso de la tierra;
- compra de tierras;
- prácticas ambientalmente sostenibles;
- programa de manejo de aguas superficiales;

- programa de incremento de la sostenibilidad de los sistemas agrícolas y pecuarios;
- canon de aguas;
- inversión de acuerdo a lo establecido en los Planes de Manejo de cuencas asociados a los proyectos hidroeléctricos.

En su mayoría los proyectos se seleccionan con base en estudios técnico-científicos, principalmente hidrológicos e hidrogeológicos, como en el caso de la CNFL, ICE, ESPH, Jasec y Coopesantos. En el caso de las ASADAS, los proyectos se definen de acuerdo con el lugar donde se localizan las fuentes de agua. El AyA es la única entidad que carece de proyectos, no obstante, se encuentra en la fase de generar la información científica para la definición de los proyectos que les permitan proteger las fuentes de agua superficial y las áreas de recarga de acuíferos. En cuanto a las iniciativas internacionales, estas carecían de criterios para la selección y priorización de los proyectos. No obstante, aunque existan criterios para priorizar los proyectos, en su mayoría carecen de sistemas de monitoreo que permitan medir el impacto de los proyectos sobre la calidad o cantidad del recurso hídrico.

A partir de dicha revisión se realizó una propuesta de tipología de proyectos que podrían ser susceptibles a ser financiados con recursos de la TPRH. El ente prestador puede proponer proyectos que no han sido incluidos en esta tipología, siempre y cuando los mismos puedan ser justificados de acuerdo con el objetivo de la TPRH.

Los proyectos, dependiendo de su objetivo, podrán tener un plazo definido o pudiendo implementarse en varios años, según se justifique en la Estrategia Quinquenal del prestador del servicio. Si es necesario que los proyectos tengan continuidad en el tiempo.

1. ESTUDIOS BÁSICOS

Estos deberán ser realizados por los operadores para identificar aquellas áreas de intervención cuya protección repercutirá en un mejoramiento o la preservación de la calidad y cantidad del agua de una fuente de agua superficial o de una fuente de agua subterránea. En el caso de aguas superficiales se debe incluir como mínimo el balance hídrico, la caracterización climática de la cuenca o el área de drenaje, el uso de la tierra, las características del suelo, y las características geológicas de la cuenca. En caso de tratarse de aguas subterráneas, se podrán realizar estudios hidrogeológicos.

Además, los operadores podrán financiar estudios socioeconómicos que permitan caracterizar las actividades productivas, las comunidades, los actores presentes y los posibles conflictos que puedan existir alrededor del aprovechamiento del agua, para determinar la viabilidad de los proyectos a ejecutar y su estrategia de implementación.

El equipamiento o los instrumentos necesarios para la medición de parámetros de clima y caudal que podría financiar la TPRH son los siguientes:

- Estaciones meteorológicas que midan en intervalos de 10 minutos:
 - precipitación,

- temperatura
 - máxima
 - promedio y
 - mínima
- humedad relativa,
- dirección y velocidad del viento
- radiación solar,
- horas de sol y
- evaporación

Estaciones fluviográficas que midan nivel de las aguas. Estas requieren la medición periódica del caudal, en la sección donde está ubicada, para construir una curva de descarga que permita transformar la información de nivel en caudal.

La medición de caudal se debe hacer por medio de molinete, ya sea por vadeo o desde cable con una periodicidad mínima de un mes. Para los pozos se requiere la medición de nivel de aguas por medio de sondas indicadoras de nivel o transductores de presión, con una periodicidad mínima de un mes.

Para aquellos sitios donde se proponga desarrollar proyectos de mejoras agrícolas por medio de conservación de suelos y biodigestores, se deberá agregar también infiltrómetros, y turbidímetros y escalas en el terreno, para llevar el control de la disminución de la pérdida de suelo y los incrementos en el contenido de humedad del suelo y la potencial recarga a los acuíferos.

El prestador del servicio podría establecer alianzas con el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) con el fin de que la información pueda ser compartida en la red de la entidad a nivel nacional. En caso de que el IMN tenga equipos instalados e información en las zonas de intervención identificados en los estudios básicos, se deberá establecer, en coordinación con ARESEP, algún tipo de convenio que facilite el uso de la información. Por otra parte, en el caso que la información sea recopilada por entes regulados por ARESEP por medio de estaciones financiadas con la TPRH, esta puede ser solicitada y compartida por el ente regulador a otras entidades que lo requieran.

A continuación, se detalla los componentes recomendados para los estudios básicos.

1.1. Aguas Superficiales

1.1.1. Hidrología de superficie

El aprovechamiento y protección de los recursos hídricos de una cuenca dependen de la variación espacial y temporal que estos tengan. Por esta razón, es fundamental llevar a cabo un estudio de balance hídrico con valores promedio mensuales que justifiquen las condiciones del aprovechamiento o la protección de los recursos hídricos en una determinada área.

La determinación de un **balance hídrico** requiere de una serie de estudios básicos. El patrón de la escorrentía superficial depende de las características físicas, climáticas, del suelo, de uso de la

tierra y geológicas de una cuenca. Por lo tanto, la determinación del balance hídrico de una cuenca requiere de una serie de estudios básicos necesarios para definir el patrón de la escorrentía superficial.

1.1.2. Características físicas de la cuenca

El primer paso en la determinación de las características físicas de la cuenca es determinar si el área bajo estudio es una cuenca hidrográfica o un área de drenaje. Una cuenca hidrográfica se define como una unidad territorial en la cual el agua que cae por precipitación escurre hacia un único punto de salida. Un área de drenaje es una unidad territorial, inmersa en una cuenca, a la cual le pueden llegar aguas de escorrentía de otras unidades territoriales y cuya escorrentía superficial no drena por un único punto de salida. Esta diferencia es importante, sobre todo en zonas urbanas, ya que el aprovechamiento y la protección de los recursos hídricos depende de la unidad territorial sobre la que se produce la escorrentía superficial.

Una vez definida la unidad territorial se procede a caracterizarla por su morfología. Para una cuenca hidrográfica se deben definir, como mínimo, las características de forma y relieve por medio de los siguientes parámetros:

- área,
- perímetro,
- índice de compacidad,
- curva hipsométrica
- elevación máxima,
- elevación media,
- elevación mínima
- longitud al centroide,
- longitud del cauce principal,
- pendiente media del cauce
- índice de pendiente
- longitud total de cauces,
- número de orden,
- densidad de drenaje
- lado mayor del rectángulo equivalente
- lado menor del rectángulo equivalente

Para un área de drenaje se requiere únicamente el área y el índice de pendiente.

1.1.3. Caracterización climática de la cuenca o área de drenaje

El segundo estudio básico se refiere a la **caracterización climática de la cuenca o el área de drenaje**. En esta etapa se debe definir, como mínimo, la distribución temporal y espacial de la

precipitación, la temperatura media, la humedad relativa y los volúmenes de evapotranspiración. La escala temporal para la caracterización climática debe ser, como mínimo, a nivel mensual.

1.1.4. Uso de la tierra

El tercero de los estudios básicos se refiere al **uso de la tierra**. Esta información se puede generar por medio de imágenes satelitales y verificación en campo. En esta etapa es importante identificar las zonas de bosque, las zonas y tipos de cultivo y las zonas urbanas.

1.1.5. Características del suelo

El cuarto estudio básico corresponde a las **características del suelo**. En esta etapa se debe identificar el tipo de suelo, su textura, su profundidad y su estructura. Con base en la información de uso de la tierra, se debe definir la profundidad radicular de los cultivos o del bosque, según corresponda. En su conjunto, la información de las características de suelo y de uso de la tierra definen la zona de evapotranspiración y la zona de retención de humedad.

1.1.6. Características geológicas de la cuenca

El quinto estudio básico se refiere a las **características geológicas de la cuenca** para determinar la curva de recesión de la escorrentía subterránea. En caso de que la unidad territorial en estudio sea un área de drenaje, esta caracterización no es necesaria.

Una vez completados los estudios básicos anteriores se procede a realizar el balance hídrico, a nivel mensual, para lo cual se recomienda el modelo de Thornthwaite y Matter.

1.2. Aguas Subterráneas

1.2.1. Objetivos de los estudios hidrogeológicos

El objetivo principal es el de identificar las condiciones hidrogeológicas en el área en donde se ubica una fuente de agua subterránea (pozo o manantial) y, con base en ello, definir la ubicación y la extensión del área de influencia en relación con dicha fuente, ya que sobre esa área se enfocará el proyecto de conservación o uso que mejor se adapte a la situación.

Se consideran fuentes de agua subterránea los pozos y los manantiales (conocidos también como nacientes).

1.2.2. Marco geológico local

La forma, las dimensiones y la ubicación de las unidades geológicas constituyen el ambiente dentro del cual se mueve el agua subterránea y dentro del cual se forman los acuíferos. Por lo tanto, es imprescindible, como primer paso, definir la litología y la estructura del subsuelo desde la perspectiva del acuífero que se aprovecha. El marco geológico debe ser definido con base en

observaciones directas en el campo con apoyo de otros posibles recursos como pozos existentes, o estudios específicos como los geofísicos o de análisis de aguas. La extensión del área de estudio dependerá de cada caso en particular, y su forma y sus dimensiones se regirán por las normas establecidas por instituciones relacionadas con el tema. Como parte de la definición del marco geológico se debe hacer un mapa geológico y, al menos, un perfil orientado en el sentido de flujo del agua subterránea que pase por el pozo o manantial de estudio.

1.2.3. Captaciones de agua subterránea en el área de estudio

Implica indicar cuáles son las captaciones de agua subterránea, los pozos y manantiales, que pudieran existir dentro del área de estudio, sí como la ubicación en un mapa de estas captaciones y un listado de sus características como litología, coordenadas, acuífero, caudal y armado en el caso de los pozos.

1.2.4. Presencia de acuíferos

Se deben definir los acuíferos del área de estudio e identificar el acuífero o acuíferos captados por la fuente de estudio. Se debe determinar los parámetros hidráulicos del acuífero como transmisividad y conductividad hidráulica, para lo que será necesario contar con una prueba de bombeo en el propio pozo si el estudio es sobre este tipo de fuente. La duración y el método de ejecución de esta prueba responderá a los lineamientos que al respecto tengan las instituciones competentes.

1.2.5. Niveles de agua subterránea, dirección de flujo y gradiente hidráulico

Se debe conocer la posición del nivel del agua subterránea y representarlo en un mapa de líneas equipotenciales. Para la construcción de este mapa se seguirán los criterios de las instituciones competentes.

Con base en el mapa de líneas equipotenciales se definirá la dirección del flujo subterráneo y el valor del gradiente hidráulico aguas arriba de la fuente.

1.2.6. Caudal de la fuente de estudio

En el caso de pozos, debe obtenerse el caudal mediante observaciones directas de su operación. En caso de que el pozo se esté explotando a un caudal menor al que potencialmente puede brindar, se tomará ese caudal potencial en el momento de hacer los cálculos de la zona de contribución al pozo.

En el caso de manantiales, el caudal a considerarse debe ser el caudal en la época de mayor producción.

1.2.7. Zona de contribución a la fuente de estudio

Para calcular la geometría y extensión de la zona de contribución y el punto de estancamiento, en el caso de pozos, y zona de contribución, para los manantiales, se utilizarán las ecuaciones y los lineamientos que al respecto indiquen las normas de las instituciones competentes.

1.2.8. Características de la zona no saturada aguas arriba de la fuente

Se debe definir el espesor de la zona no saturada, la litología y sus características hidráulicas como conductividad hidráulica mediante pruebas de campo y la porosidad. Los métodos de obtención de estos parámetros serán aquellos dictados por las instituciones competentes.

1.2.9. Velocidad de tránsito en la zona no saturada (ZNS) y en la zona saturada (ZS)

Se debe calcular la velocidad de tránsito en sentido vertical en la ZNS y la velocidad de tránsito horizontal en la ZS mediante los métodos indicados por la reglamentación vigente. Para ello se utilizarán los parámetros de conductividad hidráulica, porosidad y gradiente hidráulico determinados en los puntos anteriores.

1.2.10. Zona de protección bacteriológica

La zona de protección inmediata se define como aquella área cercana a la fuente dentro de la cual las bacterias que se infiltren desde la superficie tienen probabilidades de llegar con vida a esa fuente. Considerando que la vida media de esos microorganismos en el subsuelo es de 100 días (AyA, 1994), la zona de protección bacteriológica está definida por aquella distancia dentro del área de contribución tal que el tiempo de tránsito total (zona no saturada y zona saturada) es igual a 100 días. En otras palabras, resulta de la suma de los tiempos de tránsito en ambas fases del recorrido del agua que se infiltre desde la superficie.

1.2.11. Determinación del área de recarga a la fuente

La definición de la zona de recarga debe considerar las características físicas e hidráulicas de la zona no saturada. Debe emitirse un criterio acerca de los sectores más propensos a ser zona de recarga, que podría ser la totalidad del área de contribución o solo un sector de ella. En caso de acuíferos confinados, podría resultar que la zona de recarga se encuentre más allá de una divisoria hidrológica. En la determinación del área de recarga se podrán utilizar otras técnicas adicionales a las observaciones de campo como aforos de ríos, estudios de hidrología isotópica, técnicas químicas y geofísicas entre otras.

1.2.12. Formulación del modelo hidrogeológico conceptual

Se debe formular un modelo hidrogeológico conceptual que integre los resultados obtenidos en los puntos anteriores y describa un esquema del funcionamiento del acuífero.

1.2.13. Inventario de cargas potencialmente contaminantes o amenazas al agua subterránea que alimenta la fuente

Implica hacer un reconocimiento de campo de la zona de contribución para hacer un listado de las actividades que se consideren una amenaza a la calidad del agua que será utilizada por la fuente. Debe anotarse el tipo de actividad y las características principales de los efluentes que generen peligrosidad, movilidad y persistencia.

1.2.14. Conclusiones y recomendaciones

Deben emitirse las principales conclusiones del estudio y dar recomendaciones concretas acerca del tipo de actividades a llevar a cabo dentro del área de protección bacteriológica y del resto de la zona de contribución para preservar o mejorar la calidad del agua subterránea obtenida en la fuente de estudio.

Las recomendaciones deben ir enfocadas a identificar el tipo de proyecto de conservación que mejor se ajuste al caso estudiado y debe incluir las medidas de monitoreo que permitan identificar a mediano y largo plazo el efecto del proyecto de conservación a aplicarse.

2. COMPRA DE TIERRAS PARA PROTECCIÓN DE FUENTES DE AGUA Y ZONAS DE RECARGA HÍDRICA

Este tipo de proyectos implica la adquisición de terrenos mediante compra de fincas en manos privadas, las cuales son identificadas técnicamente mediante la aplicación de estudios básicos como zonas de recarga acuífera que inciden en la protección de la calidad y cantidad del agua. En paralelo a esto se deberá presentar un avalúo de la propiedad en adquisición, con el fin de determinar precios justos de compra. Aunque el costo de inversión y mantenimiento de la propiedad puede ser elevado, le brinda al prestador del servicio de acueducto la seguridad jurídica, le garantiza que no se producirá un cambio en el uso del suelo y contribuye directamente a la protección de las fuentes de abastecimiento y zonas de recarga.

Una vez finiquitada la compra se recomienda realizar una Servidumbre Ecológica (ver sección 4.2) o utilizar otro mecanismo que garantice que la propiedad sea conservada a perpetuidad por el operador como dueño actual o por otros, en caso de traspaso de la propiedad a un tercero.

Los prestadores pueden tramitar la declaratoria de zona de recarga que establece el artículo 94 del Reglamento a la Ley Forestal 7575, donde el Estado asigna su trámite al MINAE a través del SINAC.

3. PROYECTOS DE CONSERVACIÓN DE ECOSISTEMAS

Los proyectos de conservación de ecosistemas consisten en aquellas acciones que se pueden dar para proteger sitios donde el uso del suelo sea primordialmente bosques primarios, bosques secundarios, zonas en regeneración natural o sitios que se deseen recuperar y que se encuentren en áreas de recarga acuífera, previa identificación mediante los estudios básicos. Los fondos para

estos proyectos podrán ser utilizados para terceras personas o por el mismo operador (en el caso de servidumbres ecológicas).

Los pagos por servicios ecosistémicos serán proyectos en los cuales cada operador retribuirá económicamente a terceras personas (físicas o jurídicas) por la conservación de los ecosistemas (bosques y protección del recurso hídrico), reforestación con fines de recuperación de ecosistemas y regeneración natural en sitios degradados. También se podrán aplicar este tipo de proyectos en Áreas Silvestres Protegidas como Reservas Forestales y Refugios Mixtos de Vida Silvestre y Zonas Protectoras, que se demuestre forman parte del área de influencia de las fuentes de agua. En el caso de los Parques Nacional y otras categorías de manejo más restrictivas las tierras podrán ser expropiadas por el SINAC o bien ser trasladadas a éste por el ente prestador.

Los proyectos de Servidumbres Ecológicas se podrán aplicar a terceras personas (físicas o jurídicas) que deseen conservar a perpetuidad los ecosistemas en sus fincas privadas. El operador también podrá incluirlas como proyectos en fincas de su propiedad, o bien cuando se dé la compra de tierras por parte del operador para garantizar su conservación.

3.1. Pago por servicios ecosistémicos

Se definen los servicios ecosistémicos como aquellos beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas. Estos beneficios pueden ser de dos tipos: directos e indirectos. Se consideran beneficios directos la producción de provisiones como agua y alimentos (servicios de aprovisionamiento) o la regulación de ciclos como las inundaciones, degradación de suelos, enfermedades, entre otros (servicios de regulación). Los beneficios indirectos se relacionan con el funcionamiento de procesos del ecosistema que genera los servicios directos (servicios de apoyo), como el proceso de fotosíntesis y la formación y almacenamiento de materia orgánica; el ciclo de nutrientes, la creación y asimilación del suelo y la neutralización de desechos tóxicos. Los ecosistemas también ofrecen beneficios no materiales, como los valores estéticos y espirituales y culturales, o las oportunidades de recreación (servicios culturales) (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

Una alteración en cuanto al tipo de servicios que el ecosistema puede producir conlleva a una degradación del ecosistema de seguir ofreciendo los servicios, ya sea porque se cambia la composición y estructura del sistema o su funcionamiento, o porque se extraen materiales del ecosistema a un ritmo superior a su capacidad de recuperación. El pago por servicios ecosistémicos, en este caso en particular, busca ofrecer un incentivo a los propietarios de terrenos privados para que protejan bosques con fuentes de agua y zonas de recarga acuífera. Los servicios ecosistémicos hidrológicos se enfocan principalmente en la provisión de cantidades adecuadas de agua en calidad y cantidad, mediante la regulación del ciclo hidrológico.

Los pagos por servicios ecosistémicos hidrológicos (PSE) son instrumentos económicos diseñados para asegurar la permanencia del servicio ecosistémico. El propietario del sitio, principal beneficiario permite que se continúe ofreciendo un servicio que beneficia a la sociedad, a los entes prestadores y los usuarios del servicio de acueducto. En algunos casos, el mecanismo busca

que los usuarios del servicio adopten prácticas de uso que garanticen la provisión de un servicio en particular.

Los PSE tienen rasgos distintivos:

- Es un acuerdo voluntario y negociado, no una medida de mando y control.
- Se debe definir claramente para qué se genera el mecanismo; si es para protección, conservación, fomento de alguna práctica sostenible y el plazo que se requiere para asegurar la sostenibilidad del servicio.
- Debe darse una transferencia de recursos entre un interesado en apoyar o financiar actividades para proteger el servicio ecosistémico y el beneficiario.
- Los pagos que genera el mecanismo deben ser realmente contingentes por un servicio ofrecido o generado de manera ininterrumpida durante la duración del acuerdo.

El financiamiento del mecanismo debe contemplar un plan de inversión que defina los desembolsos según la cantidad o calidad del servicio ecosistémico ofrecido, al menos hasta un máximo convenido. El financiamiento puede ser en efectivo o en especie. Los interesados en apoyar o aportar a estos mecanismos normalmente monitorean si se está cumpliendo con la implementación del proyecto que se acuerda financiar. Si así no fuera está en capacidad de suspender cualquier financiamiento, en el caso de que así se señale en el acuerdo establecido. Debe establecerse algún tipo de acuerdo o contrato legal que le brinde seguridad jurídica a los prestadores del servicio de acueducto.

Las modalidades de Pago por Servicios Ecosistémicos que se podrán implementar para este caso son:

- Protección de bosque y recurso hídrico
- Reforestación con fines de protección del recurso hídrico
- Regeneración natural con fines de protección del recurso hídrico

3.2. Servidumbres Ecológicas

La conservación a perpetuidad de la biodiversidad que albergan las tierras que se encuentran en manos de propietarios privados, se presentan como una forma efectiva de complementar los esfuerzos del Estado para la protección de la biodiversidad en las áreas protegidas públicas. Existe una gama de instrumentos para el manejo y la protección de tierras privadas, cuya aplicación ha venido en aumento en los últimos años.

Uno de los instrumentos más usados en América Latina para este fin es de la servidumbre ecológica, el cual consiste en un acuerdo voluntario entre dos o más propietarios, donde al menos uno se compromete a planificar los usos de su propiedad para conservar los recursos naturales que allí se encuentran. Las servidumbres ecológicas se constituyen en herramientas complementarias a otro tipo de incentivos y mecanismos que fomentan la conservación de áreas privadas (Fundación Natura, 2002).

La legislación civil y ambiental de los países permite la utilización de algunos instrumentos legales existentes para adaptarlos a las servidumbres ecológicas. Estas herramientas permiten la participación de ONG's, sector público y propietarios privados para la efectiva protección a perpetuidad de los recursos naturales (Fundación Natura, 2002).

El artículo 37 de la Ley Orgánica del Ambiente sostiene que al establecer áreas silvestres protegidas, cualquier que sea su categoría de manejo, el Poder Ejecutivo, por medio del Ministerios de Ambiente y Energía, queda facultado para incluir, dentro de sus límites, las fincas o partes de fincas de particulares necesarias para cumplir con los objetivos señalados en este ley para instrumentarlos de acuerdo con el respectivo plan de manejo **o crear las servidumbres legales para la protección ecológica** y el cumplimiento de la presente ley.

Para el establecimiento de una servidumbre ecológica se debe seguir el siguiente procedimiento, según la Metodología para la definición de líneas base y planificación de la conservación y uso de propiedades privadas, (Alpizar, 2001).

Definición de la línea base y planificación del uso de la tierra para conservación de tierras privadas

El levantamiento y el análisis de información que se lleva a cabo al utilizar la metodología pretende documentar las condiciones de las propiedades que se van a proteger al momento de constituir las servidumbres ecológicas. Es a partir de dicha documentación que, posteriormente, se llevarán a cabo los contratos y labores de seguimiento y verificación (monitoreo) de los mismo. Esto último con el fin de comprobar que dichas condiciones naturales originales se mantienen según lo estipulado al momento de la creación de la servidumbre.

El fin de la metodología es identificar el uso actual de la propiedad y el uso futuro apropiado, según criterios de conservación y producción; la comparación de estas dos situaciones (actual-real e ideal-futura) define una zonificación preliminar, que es la base para la toma de decisiones en cuanto a qué áreas dedicar a la conservación y cuáles al uso productivo dentro de la propiedad.

La metodología que se presenta comprende dos fases y estas a su vez se dividen en cinco pasos cada una, a saber:

Fase I: Elaboración de la línea base de la Servidumbre Ecológica

La línea base consiste en la caracterización actual de los recursos biofísicos de la propiedad en la que ha de establecerse una servidumbre ecológica:

Identificación y ubicación de la propiedad:

Como insumo principal se debe disponer del Plano Catastrado de la propiedad. El plano permite conocer la extensión y forma de la propiedad. En la **Ficha Técnica** (Anexo 1), se anota la fecha del plano, la escala y el número de registro.

También se debe contar con un código de identificación (Ejemplo: N° 001-S-2015), información sobre el propietario y la fecha que se definió la línea base.

Con base en el plano catastrado se debe generar un mapa en Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Recolección de información biofísica básica

La información biofísica básica se divide en cinco temas: uso de la tierra, hidrología, relieve, clima y vegetación original.

Preferiblemente, la información debe proceder de la propiedad; de no ser así, se puede utilizar información extrapolada o inferida de sitios cercanos o bajo condiciones similares.

El uso de la tierra se puede obtener a partir de fotografías aéreas (escalas iguales o mayores a 1: 30.000) de fecha reciente o a partir de mapas de uso del suelo y cobertura oficializados para Costa Rica. De no tener esta información se debe realizar un trabajo de campo más exhaustivo, tomando en cuenta todos los usos de la tierra que tenga la propiedad. En la **Ficha Técnica** se debe anotar la fecha, escala y número de las fotografías o mapas utilizados, además de los tipos de usos del suelo identificados y su respectiva área dentro de la propiedad.

La información hidrológica se puede obtener a través de la hoja cartográfica correspondiente o por medio de herramientas como el Atlas Digital de Costa Rica, con este se identificarán ríos, quebradas dentro o cerca de la propiedad, cuenca hidrográfica a la que pertenece y se anotarán sus nombres en la **Ficha Técnica**.

El relieve se evalúa interpretando las curvas de nivel incluidas en la hoja cartográfica, o de fuentes reconocidas como el Atlas Digital de Costa Rica. Se identifican las altitudes máximas y mínimas dentro de la finca (en m.s.n.m) y las formas terrestres. Estos valores se anotan en la **Ficha Técnica**.

El clima se obtendrá a partir de datos aportados por la red de estaciones pluviométricas y climáticas del Instituto Meteorológico Nacional, se seleccionan las estaciones más cercanas y confiables. En la **Ficha Técnica** se anota el código de estación, altitud, coordenadas geográficas, años de registro, valores de precipitación y temperatura medio anual, así como el período de meses efectivamente secos.

La vegetación original se obtiene a partir de estudios específicos en la propiedad o cercanos a ésta, bajo condiciones similares. Se puede utilizar la clasificación del Sistema de Zonas de Vida (Holdridge, 1987). Con los valores de precipitación y temperatura se determina la zona de vida. Los valores de precipitación y biotemperatura se cruzan en el diagrama de Holdridge (Anexo 2) para obtener la zona de vida. Estas zonas de vida describen el tipo de vegetación de modo general. En la **Ficha Técnica** se hace una breve descripción del tipo de vegetación y de las especies arbóreas más importantes.

Reconocimiento de campo

El reconocimiento de campo consiste en validar la información recopilada por medio de la revisión de información secundaria y recolectar información sobre el entorno de la propiedad. Durante la visita conviene contar con la ayuda de un guía que conozca la propiedad, ya sea la dueña(o) de la misma u alguna persona que trabaje para ella/él.

Los pasos a realizar en la verificación de campo son los siguientes

- Verificación de la ubicación de la propiedad: con el uso de GPS (sistema de posicionamiento global), se determinan las coordenadas geográficas del punto de referencia, el cual debe ser un punto conocido del lindero de la propiedad, indicado en el mapa base e identificado en el terreno. Las coordenadas dadas por el GPS se deben indicar en la **Ficha Técnica**.
- Verificación de linderos: se recorre la propiedad por los linderos para determinar el estado de los mismos. Se debe indicar en el mapa base el estado de limpieza y demarcación de los linderos. En algunos casos el recorrido se puede omitir o facilitar, cuando los linderos son accidentes naturales o caminos, también si los mismos no son aptos para caminar por condiciones topográficas. Los linderos se clasifican en 3 clases: 1. Definidos y limpios, 2. Definidos y sucios, 3. Indefinidos.
- Análisis del entorno: se identifican las actividades que se desarrollan en el entorno de la propiedad, que puedan incidir en la permanencia de los recursos que se desean proteger con la servidumbre ecológica. La profundidad del estudio del entorno puede ser de hasta 100 metros. Se observa el uso de la tierra de las propiedades colindantes y se conoce el nombre de sus propietarios, así como las actividades o posibles riesgos como: amenaza por incendios, precarismo, cazadores, inundaciones, industrias, mineras, hidroeléctricas. Las características del entorno deben ser anotadas en el mapa base de la propiedad.
- Uso de la tierra: se comprueba la clasificación del uso de la tierra que se elaboró en el mapa base de la propiedad. Cada unidad de uso de la tierra es verificada. Las fotografías aéreas también son de buena ayuda en la comprobación de campo.
- Bitácora de campo: es importante documentar la visita de inspección a la propiedad. Se elabora una bitácora de campo con información sobre el acceso y estado de la finca para un posterior reconocimiento. La bitácora será de utilidad a la persona que vaya por primera vez a la propiedad, ya sea para una inspección u otra razón y desea saber llegar y a quién contactar. En el anexo 2 se muestra un formulario que recoge dicha información.
- Fotografías paisajísticas: se deben tomar fotografías de la propiedad en sitios estratégicos que pueden ser afectados por una amenaza potencial u otros sitios con características importantes: entrada principal, tipo de bosque, ríos o lagunas, infraestructuras, entre otros. Se anota la ubicación de la fotografía con GPS y su orientación con ayuda de una brújula. En el mapa base de la propiedad se anota el número de foto.

- Elaboración de la Ficha Técnica y Bitácora de campo

Una vez concluido el trabajo de campo, en la oficina se termina de elaborar la **Ficha Técnica** y se hace la Bitácora de Campo con base en la información recopilada.

- Preparación de mapa de línea base

La información anotada en el mapa base de la propiedad, durante el reconocimiento de campo, es introducida en el SIG. Se hacen los ajustes necesarios y se elabora el Mapa de Línea Base de la Propiedad (se muestra un ejemplo en el anexo 3). Otros detalles que se deben agregar al Mapa de Línea Base de la Propiedad son: puntos de GPS tomados durante el recorrido y rutas que correspondan a caminos, senderos, linderos y otros.

Los productos que se obtienen de la fase I son:

- Mapa de Línea Base de la Propiedad
- Ficha técnica
- Bitácora de campo
- Fotografías del paisaje de la propiedad

Fase II: Zonificación de la Servidumbre Ecológica

La zonificación es producto de la comparación de la situación actual de los recursos biológicos y físicos de la propiedad en la se establecerá una servidumbre ecológica con las condiciones ideales o futuras que lleven a un mejor uso de esos recursos y, por consiguiente, a la conservación de los ecosistemas existentes.

Algunos criterios de valoración de los recursos de la propiedad son: valor productivo, valor hidrológico, valor de la infraestructura, valor ecológico, valor paisajístico, valor arqueológico-histórico, valor energético y minero y valor socio-cultural.

Luego de definidos los usos apropiados para cada unidad homogénea, se procede a la zonificación. En ella interviene el criterio técnico, el cual debe unir varias unidades que mantienen un mismo fin. Algunas de las características de zonificación para el manejo que pueden ser aplicadas, son:

- Zona de preservación absoluta: no permite ningún uso.
- Zona de preservación absoluta: bajo restauración del bosque.
- Zona de conservación bajo manejo forestal de muy bajo impacto.
- Zona de conservación bajo restauración del bosque, para manejo forestal de muy bajo impacto.
- Zona de conservación para investigación ecológica: para usos productivos agropecuarios.
- Zona de conservación bajo manejo tecnológico: tierras aptas para cultivos permanentes y el pastoreo y que se encuentran en cultivos anuales o pastoreo.
- Zona de desarrollo. Son tierras apropiadas para la producción agropecuaria intensiva y el establecimiento de infraestructura.

Las servidumbres ecológicas son voluntarias, se constituyen cuando el dueño de la finca quiere hacerlo, ya que son un contrato privado en el cual la voluntad del propietario es libre para decidir si quiere la servidumbre ecológica o no. También son flexibles, ya que permiten satisfacer diversos fines que puede tener un dueño de una finca. Por ello, el dueño de la finca sobre la cual se constituirá la servidumbre ecológica puede acordar prohibir la corta de árboles, pero permitir la construcción de una cabina o senderos entre otros (Chacón, 1998).

Las leyes de Costa Rica exigen que para constituir una servidumbre ecológica hacen falta 2 fincas: una finca que tiene su uso limitado y otra finca que se va a beneficiar de la servidumbre. Con base en lo anterior, los dueños de las 2 fincas son los que se tienen que poner de acuerdo voluntariamente y pueden constituir la servidumbre ecológica (Idem).

Las servidumbres ecológicas se pueden hacer por un tiempo definido, si los dueños de la finca lo quieren así. Sin embargo, si en el contrato que la crea no se establece ningún límite, entonces son perpetuas (Idem).

Al igual que para constituir una servidumbre ecológica hace falta el acuerdo voluntario de los dueños de las fincas, para terminarla esos dueños se tienen que poner voluntariamente de acuerdo. Una vez que existe acuerdo, se debe ir donde un notario público para hacer la escritura y presentarla al Registro Público. Todo lo anterior, por supuesto, si la servidumbre no era por un tiempo limitado o si se quiere terminar antes de que venza el plazo originalmente pactado (Idem).

Este mecanismo, por sí mismo, promueve la conservación voluntaria de los recursos naturales y el manejo adecuado de zonas de producción o uso mixto para la protección de los recursos. Paralelamente, se puede combinar con otros mecanismos financieros como el pago por servicios ecosistémicos, compra de tierras, reforestación, regeneración, sistemas agroforestales, prácticas agrícolas y ecoturismo, entre otras; lo que permite que sus beneficios se extiendan hacia otras áreas que no son solo la conservación, sino también la producción de bienes y servicios.

4. PROYECTOS DE RESTAURACIÓN DE ECOSISTEMAS

Los proyectos de restauración de ecosistemas consisten en aquellas acciones que se pueden realizar en terrenos o propiedades que se encuentren previamente degradados o deforestados y que según estudios básicos realizados sean de importancia primordial para mantener la calidad y cantidad de agua de las fuentes aledañas y donde sea justificable la aplicación de proyectos de esta índole. Cabe destacar que estos proyectos son de ejecución directa del operador en fincas que sean de su propiedad y formen parte del área de influencia de alguna fuente de abastecimiento.

En caso de que una tercera persona desee realizar por cuenta propia proyectos de reforestación, regeneración natural o sistemas agroforestales, deberá acogerse a los proyectos de Pago por Servicios Ecosistémicos, previamente mencionados en el punto 3.1.

4.1. Reforestación para restauración de ecosistemas

En los territorios donde las condiciones del suelo y microclimáticas se han deteriorado más allá del punto que puede soportar el establecimiento de árboles, la mejora del territorio se vuelve necesaria para los procedimientos de restauración del bosque.

La mejora de los suelos puede suponer procedimientos de cultivo de suelo, que son normalmente asociados con agricultura o silvicultura comercial y/o establecimiento de plantaciones con especies altamente resistentes para mejorar el suelo y modificar el microclima. (Elliot, 2013).

Los tratamientos para mejorar suelos degradados, como el subsolado profundo que permite abrir el suelo que se ha vuelto compactado permitiendo que el agua y el oxígeno penetren el subsuelo; la adición de materias orgánicas como paja o residuos orgánicos mejora la estructura del suelo; el drenaje, la aireación y el estado de los nutrientes; la aplicación de fertilizantes químicos, también mejora el estado de los nutrientes del suelo, pero no provee los beneficios que ofrecen las materias orgánicas a la estructura y fauna del suelo”(Elliot, 2013)

La plantación de árboles puede mejorar las condiciones del sitio facilitando el camino para las prácticas de restauración posteriores. Al restablecer rápidamente un dosel cerrado y la caída de hojas, las plantaciones pueden crear condiciones más frescas, sombreadas y húmedas, tanto encima como debajo del suelo. Esto debe conducir a la acumulación de humus y nutrientes del suelo, y establece condiciones mucho mejores para la posterior germinación de semillas y el establecimiento de las plántulas de especies de árboles menos tolerantes. (Elliot, 2013)

Las plantaciones de árboles para restauración de sitios están generalmente compuestas de pocas especies pioneras de crecimiento rápido, que son tolerantes a las duras condiciones del suelo y microclimáticas, que prevalecen en sitios degradados, y que son capaces de mejorar el suelo. Se prefieren las especies de árboles nativos, por su habilidad de promover la recuperación de la biodiversidad más rápidamente que las exóticas (Elliot, 2013).

Las especies de plantación deben ser pioneras demandantes de luz. El material genético utilizado para la plantación debe ser de la más alta calidad.

El diseño y manejo de plantaciones para la restauración de bosque, requiere un acercamiento más considerado que en la plantación convencional. El cierre de copas es el primer objetivo de la plantación, de modo que los árboles deben ser plantados más juntos de lo normal en la silvicultura comercial. Se recomienda una densidad de plantación de 1100 árboles por hectárea. La copa debe ser lo suficientemente densa como para sombrear las malezas, pero no tanto como para inhibir el crecimiento de los árboles plantados posteriormente, o para prevenir la colonización del sitio por especies entrantes dispersadas naturalmente (Elliot, 2013).

En la silvicultura convencional se demanda desmalezar intensivamente o limpiar las plantaciones. Mientras que las malezas herbáceas no amenacen la supervivencia temprana del joven árbol, no será necesario desmalezar. Incluso donde fuera requerido, se debe dejar de desmalezar apenas las copas de los árboles jóvenes plantados hayan crecido por encima de la maleza.

Al mejorar las condiciones del sitio, los árboles pueden ser raleados o reemplazados, plantando una gama más amplia de especies de árboles de bosque nativo. Esto debe hacerse gradualmente para prevenir la invasión del suelo, por parte de las malezas herbáceas intolerantes a la sombra. Si los árboles son de una especie comercial, los árboles caídos pueden proporcionar un ingreso a los participantes del proyecto a lo largo de varios años. Cuando se realiza el raleo, se deben tomar en cuenta precauciones para no perturbar el sotobosque, utilizando técnicas de tala de impacto mínimo o aprovechamiento de impacto reducido (Elliot, 2013).

El uso de plantaciones no se restringe necesariamente a sitios degradados con condiciones de suelo limitantes. Se les ha usado frecuentemente en sitio menos severamente degradados, donde la dispersión de semillas todavía tiene lugar (Elliot, 2013).

4.2. Regeneración Natural

Una alternativa de restauración de bosques es la regeneración natural. Esta consiste en dejar crecer al bosque por sí mismo, con ninguna intervención. Suele ser el sistema más eficiente y económico. La regeneración natural permite el desarrollo de semillas que salen de los remanentes de la vegetación nativa que se encuentran en los alrededores, o de la semilla que quedó latente en el suelo. Está compuesta en su mayor parte por material genético local (Elliot, 2013).

Según Elliot, 2013, prevenir la degradación es fundamental para todo proyecto de restauración por regeneración natural, sin importar la fase de degradación que se esté afrontando. La protección tiene dos elementos básicos: prevenir una invasión adicional y remover las barreras existentes contra la regeneración natural, mencionadas a continuación:

4.2.1. Prevención de invasión

Límites bien definidos, con letreros visibles a lo largo de ellos, en los que se explica la condición de área protegida, ayudan a asegurar que todos sean conscientes de las restricciones legales y su procedencia, además de que el área se encuentra en estado de protección absoluta.

Los pobladores locales que tienen una larga historia viviendo en paisajes de bosques, son una gran ventaja para los programas de restauración. Son una fuente valiosa de conocimiento local, especialmente en lo que se refiere a la selección de especies de árboles y recolecta de semillas. Pueden proporcionar la mayor parte del trabajo requerido para las tareas de restauración, tanto en el vivero como en el campo, y también pueden implementar las medidas de protección, como patrullajes y en puntos de control en las carreteras.

4.2.2. Prevención de daños por incendio

Proteger los sitios de restauración de bosque, de incendios, es esencial para el éxito. En los trópicos estacionalmente secos, la prevención de incendios es una actividad anual, y en los trópicos húmedos, es necesario durante las épocas de sequía. La mayoría de los incendios son provocados por humanos, de modo que la mejor manera de prevenirlos es asegurándose de que toda la comunidad apoye el programa de restauración y entiendan la necesidad de no empezar fuegos.

Pero, sin importar cuánto esfuerzo se pone en concienciar a las comunidades locales acerca de la prevención de incendios, los incendios siguen siendo una causa común de fracaso para los proyectos de restauración. Las medidas de prevención incluyen cortafuegos y organizar patrullas de incendios para detectar y apagar incendios que se acercan, antes de que alcancen el sitio de restauración.

- Cortafuegos: los cortafuegos son franjas de vegetación que son despejadas de la vegetación combustible, para prevenir la expansión de incendios. Son eficaces para bloquear incendios moderados de la cobertura del suelo. Los incendios más intensos, lanzan escombros ardientes al aire, que pueden ser sopladados por el viento por encima de los cortafuegos y empezar nuevos incendios lejos del lugar donde empezó el primero.
- Sofocar incendios: colocar herramientas para combatir el fuego y barriles llenos de agua, en los sitios estratégicos alrededor de los sitios plantados. Si hay ríos o quebradas permanentes cerca del sitio de restauración, considerar colocar tubos hasta el sitio de restauración. Esto puede mejorar enormemente la eficacia de las actividades de combate del fuego.
- Brigadas contraincendios: establecimiento de un equipo de brigadas contra incendios en la comunidad donde se encuentran el proyecto de restauración, que eduque a las comunidades cercanas y establezca un plan de emergencias en coordinación con los bomberos de la zona y las oficinas del SINAC más cercanas.

4.2.3. Manejo del ganado

Vacas, cabras, ovejas y otro ganado puede impedir completamente la regeneración de los bosques, al andar entre los árboles jóvenes. En última instancia, la decisión de reducir el número de ganado o sacarlo del todo, depende de la consideración de su valor económico para la comunidad y su potencial de jugar un papel útil en la restauración de bosques, equilibrado contra cualquier efecto dañino que produzca a los árboles jóvenes. La severidad del daño obviamente aumenta con la densidad de los rebaños.

El ganado también puede facilitar la regeneración natural de bosques al dispersar las semillas de árboles.

El manejo cuidadoso del ganado puede, por ello, tener efectos benéficos en la restauración de bosques, si la densidad del rebaño es baja y el follaje de las especies de árboles deseados es

incomestible. Pero aún en tales circunstancias, el ganado puede reducir la riqueza de las especies de árboles en sitios restaurados.

El impacto del ganado se puede manejar, atando a los animales en el campo para restringir su movimiento o sacándolos de la zona. Se pueden poner cercas para excluir el ganado durante las fases tempranas de la restauración del bosque, pero estas cercas deben ser mantenidas, hasta que las copas de los árboles hayan crecido más allá del alcance del ganado.

4.2.4. Proteger a los dispersores de semillas

Para que la restauración del bosque sea exitosa, con una recuperación de la biodiversidad aceptable, la protección de los árboles tiene que ser complementada con la protección de los animales dispersores de semillas. La dispersión de semillas desde bosques intactos hasta los sitios de restauración es esencial para el retorno de las especies nativas de árboles. La caza de animales dispersores de semillas puede, por ello, reducir sustancialmente el reclutamiento de especies de árboles. No tiene ningún sentido restaurar un hábitat de bosque, para atraer a los dispersores de semillas, si no quedan dispersores de semillas que atraer. Simples campañas de educación para convertir a cazadores en conservacionistas pueden ser eficientes.

4.3. Regeneración natural asistida (RNA)

Regeneración natural asistida (RNA) es un conjunto de actividades que consisten en: plantar árboles que mejoran los procesos naturales de regeneración de los bosques. Incluyen medidas protectoras que remueve las barreras para la regeneración natural (por ejemplo, fuego y ganado), con acciones adicionales para: asistir o acelerar el crecimiento de árboles regenerados naturalmente, que ya están establecidos en el sitio (árboles jóvenes y tocones vivos de especies de árboles nativos), y fomentar la dispersión de semillas hacia el sitio de restauración (Elliot, 2013).

La protección y la RNA pueden ser suficientes para lograr una rápida y sustancial restauración forestal y recuperación de la biodiversidad. La RNA debe ser usada en combinación con la plantación de árboles, allí donde la densidad de la regeneración natural sea más baja, o estén representadas menos especies de árboles. Además, un bosque intacto debe quedar a pocos kilómetros del sitio de restauración propuesto, proveyendo una fuente de semilla para el re-establecimiento de las especies de árboles del bosque-objetivo (Elliot, 2013).

Algunos partidarios del RNA proponen su uso en pastizales altamente degradados, donde la densidad de los árboles regenerados (>15cm alto) es solo de 200-800 por hectárea. La aplicación de la RNA sola, bajo tales circunstancias, tiene normalmente como consecuencia bosques de un bajo valor productivo y ecológico, por el dominio de unas pocas especies de árboles pioneros. Pero incluso un bosque secundario pobre en especies es un mejoramiento considerable en términos de recuperación de la biodiversidad y es posible una recuperación forestal posterior, mientras que los árboles semilleros y los dispersores de semillas permanezcan en el paisaje (Elliot, 2013)

Técnicas de la RNA:

4.3.1. Reducir la competencia de las malezas

Eliminar la maleza reduce la competencia entre los árboles y la vegetación herbácea, incrementa la supervivencia de los árboles y acelera el crecimiento. Antes de desmalezar se debe marcar con claridad los árboles o plántulas deseados

No es recomendable el uso de herbicida para despejar la maleza donde la densidad de la regeneración natural sea alta, ya que es muy difícil prevenir que el spray se extienda al follaje de los árboles regenerados naturalmente.

4.3.2. El uso de fertilizantes

La mayoría de las plántulas y árboles jóvenes de hasta alrededor de 1.5 m de altura, responderán bien a las aplicaciones de fertilizante, sin importar la fertilidad del suelo. Las aplicaciones de fertilizante incrementan, tanto la supervivencia como la aceleración del crecimiento y desarrollo de las copas, para el caso de protección de fuentes de recarga, se recomienda usar productos amigables con el ambiente de baja o nula toxicidad, o productos orgánicos.

4.3.3. Ayudar a los tocones a rebrotar

Aparte de la recomendación general de que los tocones de árboles deben ser protegidos de seguir siendo talados o quemados, se han probado algunos experimentos en “cultivo de tocones” como aplicar químicos para prevenir la descomposición por hongos o ataques de termitas, aplicaciones de hormonas para estimular el crecimiento de brotes y el rebrote, y podando los brotes débiles del rebrote para liberar más recursos de la planta para los que quedan.

4.3.4. Raleo de los árboles regenerados naturalmente

Donde dominan rodales densos de una sola especie, el raleo sucederá naturalmente, conforme los árboles más altos vayan produciendo sombra sobre los más bajos. Este proceso puede ser acelerado, talando selectivamente algunos de los árboles más pequeños (en vez de esperar que se mueran naturalmente). Esto provee claros de luz, en las que otras especies de árboles menos comunes pueden establecerse y debe incrementar la riqueza de especies de árboles en general.

4.3.5. Asistencia a la lluvia de semillas o dispersión de semillas

La dispersión de semillas es un servicio ecológico vital y gratuita que asegura la re-colonización de los sitios de restauración por especies de árboles de bosque clímax.

¿Cómo puede ser mejorada?

- Perchas artificiales para aves: manera rápida y barata de atraer aves e incrementar la lluvia de semillas en los sitios de restauración. El establecimiento de plántulas se incrementa solamente si las condiciones para la germinación y el crecimiento de esas, es favorable debajo de las perchas. De modo, que eliminar la maleza debajo de las perchas, es necesario si no están en sitios con baja densidad de la maleza.
- Establecimiento de una vegetación estructuralmente diversa, incluyendo arbustos frutales o árboles remanentes, es la mejor manera de atraer a aves y animales dispersores de semillas, pero lleva un tiempo.
- Las perchas pueden incrementar la densidad sin incrementar la riqueza de especies. Bajo tales circunstancias, la lluvia de semillas traída por las aves debe ser complementada con la siembra directa de árboles de bosque clímax menos comunes.

La RNA actúa solamente en la regeneración natural que ya está presente en los sitios degradados. Puede lograr un dosel rápidamente, pero solo donde la regeneración está presente en una densidad suficientemente alta. La mayoría de los árboles que colonizan áreas degradadas son especies pioneras, relativamente pocas, comunes demandantes de luz, que producen semillas que son dispersadas por el viento o pequeñas aves. Representan solamente una fracción pequeña de especies de los árboles que crecen en el bosque-objetivo. Donde los animales silvestres siguen siendo comunes, los árboles ‘asistidos’ atraerán animales dispersores de semillas, resultando en el reclutamiento de especies de árboles. Pero donde las especies de grandes animales dispersores de semillas han sido extinguidas, plantar especies de árboles de bosque clímax de semillas grandes, puede ser la única manera para transformar el bosque secundario, creado por la RNA, en un bosque clímax. (Elliot, 2013).

4.4. REFORESTACIÓN EN ÁREAS URBANAS

Las zonas de captación de agua en la mayoría de las ciudades tienden a ser situadas en las zonas de crecimiento urbano en la periferia de los centros o dentro de las mismas (tal es el caso de muchas fuentes de operadores en Costa Rica). Dada la importancia de mantener suministro de agua de calidad, es importante que cada ciudad preserve de manera adecuada las áreas de captación de agua.

La reforestación urbana conocida como la plantación y cuidado de árboles y otra vegetación en áreas periféricas o urbanas de una ciudad, tiene funciones de controlar la erosión y proteger las cuencas hidrográficas, las cuales son fuentes de suministro de agua potable (Sorensen, 1997).

Las áreas verdes urbanas son un importante factor que favorece la captación de agua de lluvia para recargar los mantos acuíferos, en sitios donde las condiciones de la permeabilidad del suelo así lo permiten. Así los espacios arbolados y reforestados son los únicos espacios por los cuales el agua se puede escurrir hacia el subsuelo, ya que la existencia de concreto permeable o drenajes para agua de lluvia en la mayoría de las ciudades es casi inexistente (PAOT, 2003).

Al interceptar y retener o disminuir el flujo de la precipitación pluvial que llega al suelo, los árboles urbanos, pueden jugar una importante función en los procesos hidrológicos urbanos. Pueden los costos de tratamiento de agua de lluvia y los problemas en la calidad de agua (Nowak, 1998).

También, al reducir la escorrentía, los árboles funcionan como estructuras de retención/detención que son esenciales para muchas comunidades, y la escorrentía disminuida debido a la intercepción de la lluvia puede también reducir los costos de tratamiento de aguas (Nowak, 1998).

Cabe destacar que para el éxito de la reforestación urbana radica en la planeación y establecimiento de planos de manejo integral de la vegetación, se recomienda hacer estudios de la plantación de árboles en los lugares adecuados, la selección apropiada de especies, así como el adecuado mantenimiento de los árboles plantados. Según las densidades en ciertas zonas y plantaciones de especies arbóreas en sitios inadecuados, puede ser incorrecto para ciertas zonas y proyectos.

Para efectos de los proyectos de reforestación en áreas urbanas presentados por los operadores de agua, se debe especificar la ubicación de la fuente a proteger y la reforestación debe ir adecuada al sitio donde se encuentre la fuente que quedó apartada por desarrollos urbanísticos.

5. PRÁCTICAS SILVOPASTORILES O AGROFORESTALES

El Sistema Agroforestal (SAF) es la forma de usar la tierra que implica la combinación de especies forestales, en tiempo y espacio, con especies agronómicas, en procura de la sostenibilidad el sistema.

Al establecer un SAF, se deben aplicar técnicas de manejo de uso del suelo, combinando árboles de usos múltiples y maderables con cultivos agrícolas perennes y/o producción animal en el mismo sistema, lo cual se logra utilizando un arreglo o secuencia temporal de cultivo, según las prioridades del productor.

Se recomienda utilizar especies que sirvan de alimentación animal o para el consumo de la comunidad. Debe aprovecharse para establecer apartos o áreas divididas en la propiedad, así como el establecimiento de cercas vivas. También se puede complementar con la producción de forrajes, ya sea heno o ensilaje, para no ejercer mucha presión sobre las áreas cercanas a la fuente de agua.

Los componentes agroforestales y sus categorías:

5.1. Sistema Agrosilvicultural:

Sistema donde se combinan árboles con cultivos agrícolas en el mismo sitio. Es posible asociar cultivos agrícolas, en forma de callejones, entre las hileras de los árboles o estableciéndose en la colindancia de los bloques de producción de árboles maderables.

Dentro de esta modalidad pueden ocurrir dos tipos de sistema, uno donde los árboles sean complemento a la producción agrícola y otro donde el objetivo principal es establecer áreas boscosas de alto valor comercial, donde el cultivo es el acompañante durante los primeros años de crecimiento de los árboles, aprovechando la fertilización y labranza que requiere el cultivo agrícola, lo cual permite un desarrollo más acelerado de los árboles maderables (sistema Taungya).

5.2. Sistema Agrosilvopastoril:

Sistema donde se combinan árboles con cultivos agrícolas y pastos para producción animal, en forma simultánea o en forma secuencial. Se puede combinar con el uso de cortinas rompevientos, árboles en hileras o cercas vivas.

5.3. Sistema Silvopastoril:

Sistema donde se integran pastos para ganado en una misma unidad de tierra, en asociación con árboles para leña, madera, frutos o forraje. El sistema es una producción combinada que busca proporcionar un mayor beneficio al productor. Se emplean prácticas de conservación de suelos, al rotar el ganado (los animales a la sombra rinden mejor).

Esta práctica se recomienda en suelos arenosos o limosos, más profundos. No se recomienda para suelos en pendientes ni arcillosos (suelos pesados). Se debe además respetar la carga de ganado por hectárea que tiene el país según las categorías de suelo.

Principales beneficios de los sistemas agroforestales

- Aprovechamiento óptimo del espacio físico.
- Aumento de los niveles de materia orgánica del suelo.
- Captura de dióxido de carbono.
- Conservación de la biodiversidad.
- Conservación del agua.
- Control de malezas.
- Mejoramiento del microclima.
- Protección de los suelos contra la erosión y la degradación.
- Reciclaje de nutrientes.
- Diversificación de la producción.
- Sostenibilidad de los componentes agrícolas y forestales.
- Producción de madera.
- Promoción de una mayor estabilidad socioeconómica.

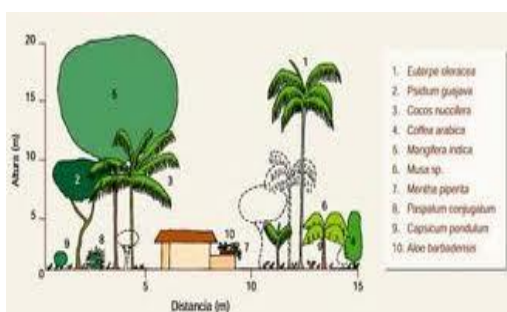
Para la implementación de alguna de estas modalidades de sistema agroforestal se requiere de un plan de producción que tome en cuenta las características de la zona y de las fincas y coordinar con otros entes para satisfacer las necesidades de las especies forestales, en el caso de que el objetivo sea mantener o desarrollar en el largo plazo áreas de conectividad. También, si se busca establecer sistemas de manejo sostenible de las fincas ubicadas en el entorno de la fuente de

agua, que tienen actividad ganadera y el productor es reacio a cambiar de actividad, con el propósito de preservar dichas áreas y disminuir el impacto negativo o deterioro que pueda provocar en la fuente.

Para estas actividades se debe tomar en cuenta el cronograma de actividades siguiente:

Actividades	Cronograma de actividades				Resp.
		Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4
Actividad 1: Elaboración de plan					
Subactividad 1	Recorrido por el área de interés	x			
Subactividad 2	Escogencia de fincas	x			
Subactividad 3	Elaboración de propuesta	x			
Actividad 2: Elaboración de presupuesto					
Subactividad 1	Cálculo de materiales	x			
Subactividad 2	Cotizaciones	x			
Actividad 3: Ejecución de plan					
Subactividad 1	Coordinación con productor/es		x		
Subactividad 2	Coordinación con entes		x		
Subactividad 2	Control de obras		x	x	x
Actividad 4: Seguimiento					
Subactividad 2	Toma de datos				x
Subactividad 2	Análisis de datos				x

Diseño o croquis de proyecto



6. FINANCIAMIENTO DE PRÁCTICAS PRODUCTIVAS SOSTENIBLES

El objetivo de las prácticas agrícolas sostenibles está orientado fundamentalmente a disminuir al máximo la contaminación, que puede ser física, cuando la lixiviación y arrastre de partículas provoca sedimentación y turbidez en las tomas y aguas arriba de las mismas, o química, cuando las prácticas agronómicas no cumplen las mínimas normas de manejo de agroquímicos, incluidos los fertilizantes, además de los residuos sólidos provenientes de actividades ganaderas.

Las prácticas productivas sostenibles propuestas son acciones que no pueden ser consideradas como de acatamiento obligatorio por parte de los productores que estén ubicados en zonas sujetas de regulación para preservar el agua, pero tampoco implican grandes inversiones, sino que deben ser el resultado de un proceso de convencimiento, por medio de la extensión, capacitación, transferencia de tecnología, así como seguimiento y monitoreo, con la participación activa de aquellas instituciones que tengan relación directa con los proyectos y que deben asumir su rol a través de convenios u otras figuras, tales como el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) a través de las Agencias de Servicios Agropecuarios y el Programa de Producción Agropecuaria Sostenible, el INTA por medio de la Dirección de Suelos, aprovechando su participación directa en la aplicación de la Ley de suelos, así como su relación con la Comisión Asesora sobre Degradación de Tierras (CADETI). También podría contemplarse la participación de SENARA si surgiera algún proyecto específico de microriego u otros entes interesados.

Este tipo de pago se entiende como un reconocimiento del efecto ambiental positivo que generan los proyectos agrícolas, por medio de un incentivo económico que varía entre el 20 y 30% del equivalente de las inversiones o cambio tecnológico que generan los beneficios ambientales en el sitio de intervención. Este es un esquema de pago por servicios ambientales en paisajes agrícolas denominado Reconocimiento de Beneficios Ambientales y Asistencia Técnica, desarrollado por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), en el marco del proyecto Programa de Fomento de la Producción Agropecuaria Sostenible (PFPAS) financiado mediante el contrato de préstamo 1436/OC-CR con el Banco Inter-Americano de Desarrollo (BID).

6.1. Labranza cero o mínima labranza y siembra en curvas a nivel o al contorno.

Se pueden encontrar actividades agrícolas, principalmente hortícolas, en las áreas circunvecinas a una fuente de agua, cuya mecanización debe estar sujeta a ciertas modificaciones para evitar la afectación de la misma.

La mecanización que se practica en las actividades hortícolas es muy intensiva y requiere de pases de arado y rastreas que con el tiempo van afectando la estructura del suelo y lo hacen muy vulnerable al efecto de las lluvias y la posterior escorrentía.

Para minimizar los efectos negativos de la mecanización excesiva, se propone la práctica de la *mínima labranza*, que consiste en el uso mínimo de implementos agrícolas, para evitar la remoción del suelo, lo cual permite aumentar la retención de agua y disminuir la erosión y la sedimentación hacia las partes bajas, pues se mantiene una buena cobertura de material vegetal durante todo el año.

Para dicha actividad se puede usar un arado de cincel o un subsolador pequeño de 40 cm de longitud que realice una remoción superficial sin voltear el suelo, para facilitar la siembra. También se usan unas sembradoras especiales que rayan el suelo y depositan la semilla. Dependiendo del área a sembrar y el tipo de cultivo, se puede practicar la *labranza cero*, que consiste en remover el material vegetal con una chapeadora y se siembra sobre los restos vegetales. Ambas prácticas se complementan con el mantenimiento de una cobertura mayor al 50%.

Este sistema se recomienda para los terrenos de uso agrícola que se encuentran en las riberas de los ríos, tanto aguas arriba como aguas abajo de la fuente de agua. Su aplicación requiere la adquisición de un arado de cinceles manejado con tracción animal o mecánica, cuyo uso se puede planificar por medio del ente regulador, de forma tal que los agricultores lo puedan utilizar de acuerdo a sus necesidades; y se debe complementar con programas de capacitación que incluyan parcelas demostrativas.

En forma complementaria, cuando ya se tiene el terreno preparado, se trazan las curvas de nivel o al contorno para establecer los cultivos en hilera; dicho trazo depende de la textura y topografía del terreno. Normalmente las áreas agrícolas en el entorno de las fuentes de agua no son planas, por lo que este sistema es muy recomendado.

Esta práctica requiere realizar un trazo de las curvas, para lo cual se necesita un codal y un portamira que vaya colocando estacas cada cierta distancia, para trazar una línea madre que sirve de referencia para el trazo de las líneas adyacentes, que se hacen directamente con el surcador.

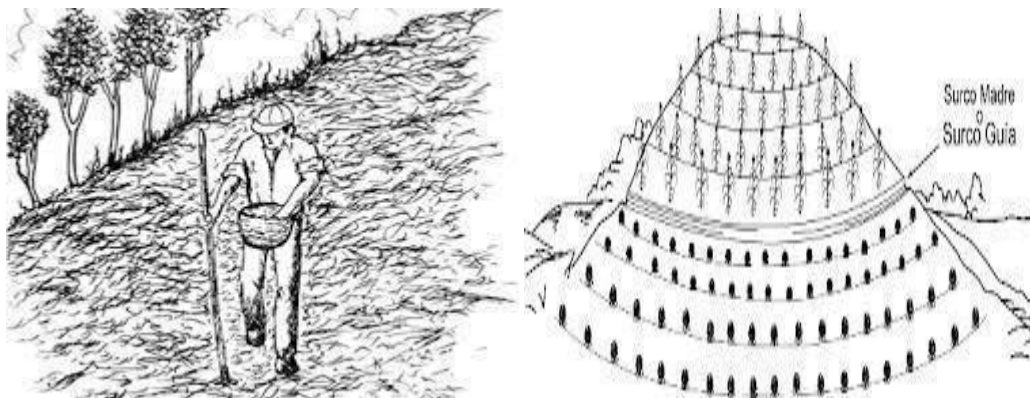
El objetivo principal es disminuir la erosión del suelo debido a la menor escorrentía, lo que favorece la estructura del suelo, mantiene la fertilidad, incrementa la materia orgánica, mejora la retención del agua y favorece el drenaje.

El cronograma de actividades es el siguiente:

	Actividades	Cronograma de actividades					Resp
			Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	
		Actividad 1: Elaboración de plan					
	Subactividad 1	Recorrido por el área de interés	x				
	Subactividad 2	Escogencia de fincas	x				
	Subactividad 3	Elaboración de propuesta	x				
		Actividad 2: Elaboración de presupuesto					
	Subactividad 1	Cálculo de materiales	x				
	Subactividad 2	Cotizaciones	x				
		Actividad 3: Ejecución de plan					
	Subactividad 1	Coordinación con productor/es		x			

	Subactividad 2	Coordinación con entes		x			
	Subactividad 2	Control de obras		x	x	x	
		Actividad 4: Seguimiento					
	Subactividad 2	Toma de datos				x	
	Subactividad 2	Análisis de datos				x	

Diseño o croquis de proyecto



Fuente: FAO. 1992. Manual de sistemas de labranza para América Latina. INTA. Argentina.

6.2. Establecimiento de prácticas de conservación de suelos y aguas.

Se consideran como prácticas de conservación de suelos y aguas aquellas que se deben establecer en una finca en forma integral. Normalmente el tipo de prácticas no requiere de grandes inversiones, sino que se recomienda aprovechar equipo y disponibilidad de mano de obra de las fincas, así como una buena coordinación entre entes gubernamentales, pues la labor es integral. Se recomienda instalar un pluviómetro en la zona de influencia, aunque si se puede sería más recomendable una estación climática.

Las prácticas recomendadas para las fincas que se encuentran en el entorno geográfico de una fuente de agua, pueden ser:

- **Acequias de ladera:** canales en tierra cuya función principal es interceptar las aguas de escorrentía y encauzarlas hacia cauces naturales que a su vez descargan en quebradas o riachuelos de mayor tamaño. Se pueden utilizar en fincas agrícolas o ganaderas. Se construyen con un “pico de zoncho” o un surcador grande, aunque sus dimensiones van a depender de la escorrentía que se genere, dato que se puede obtener a partir de mediciones de campo. El trazo de las acequias y su separación requiere de un codal o nivel de ingeniero para establecer las curvas de nivel.

- **Barreras vivas:** Las barreras vivas son hileras de plantas permanentes, preferiblemente de tipo denso, siguiendo una curva de nivel, o con una ligera pendiente para aprovechar y evacuar aguas de escorrentía. Se recomienda sembrar barreras vivas en la parte superior de las acequias para evitar la acumulación de sedimentos como arcillas y limos.

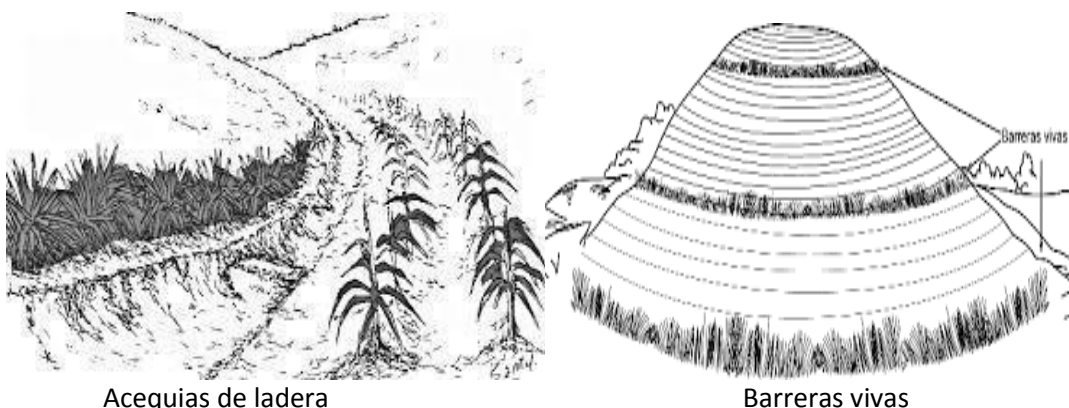
También se pueden usar barreras muertas que tienen las mismas características, pero están hechas de piedras, troncos gruesos, etc., sostenidos por anclajes de madera.

La función de los canales guardia es evitar la formación de cárcavas y surcos por efecto del flujo de caudales altos por las laderas. Se usan en las fincas para proteger el suelo de las aguas de escorrentía y evitar la erosión.

El cronograma de actividades es el siguiente:

	Actividad	Cronograma de actividades					Resp
			Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	
		Actividad 1: Elaboración de plan					
	Subactividad 1	Recorrido por el área de interés	x				
	Subactividad 2	Escogencia de fincas	x				
	Subactividad 3	Elaboración de propuesta	x				
		Actividad 2: Elaboración de presupuesto					
	Subactividad 1	Cálculo de materiales	x				
	Subactividad 2	Cotizaciones	x				
		Actividad 3: Ejecución de plan					
	Subactividad 1	Coordinación con productor/es		x			
	Subactividad 2	Coordinación con entes		x			
	Subactividad 2	Control de obras		x	x	x	
		Actividad 4: Seguimiento					
	Subactividad 2	Toma de datos				x	
	Subactividad 2	Análisis de datos				x	

Diseño o croquis de proyecto



Fuente: FAO. 1992. Manual de sistemas de labranza para América Latina. INTA. Argentina.

6.3. Sistemas de microriego y fertiriego en ambiente protegido

En áreas cercanas a muchas fuentes de agua, ya sea pozos, quebradas o ríos, se pueden encontrar productores que tienen pequeñas actividades agrícolas utilizando sistemas de riego empíricos, mal manejados, algunos de los cuales utilizan aguas de la misma fuente como usuarios, otros lo hacen en forma ilegal, pero en ambos casos generan afectaciones por efecto de contaminación en la fuente, aparte del uso irracional del agua y sus efectos en la parte baja.

Para disminuir las consecuencias adversas de dicha actividad, se propone el establecimiento de pequeños sistemas de riego por goteo o mini aspersión, complementado con el uso de fertiriego, aprovechando caudales sobrantes de la fuente, específicamente aguas abajo, cuando la disponibilidad de agua lo permite. También es recomendable aguas arriba de la fuente para evitar la contaminación química y disminuir la erosión y sedimentación por uso excesivo de agua.

Los sistemas de riego se pueden establecer en condiciones protegidas utilizando macrotúneles de 6 x 20 m, casas sombra o también en condiciones abiertas en áreas adecuadas para el buen manejo del sistema.

Cada fuente de agua es muy particular y se deben hacer estudios detallados para determinar la necesidad de implementar este tipo de proyectos de uso agrícola del agua.

El objetivo es establecer un plan de uso del agua para actividades hortícolas orientado hacia el mejor aprovechamiento del recurso utilizando sistemas de riego por goteo, entregando la cantidad de agua requerida sin prácticamente ningún desperdicio, aprovechando al mismo tiempo la aplicación de los fertilizantes por medio del fertiriego, en las cantidades mínimas necesarias que requieren los cultivos y disminuir al máximo los problemas de lixiviación de nutrientes contaminantes.

Es importante considerar que según el Decreto Ejecutivo 31849-MINAE-SALUD-MOPT-MAG-MEIC, Reglamento General sobre los procedimientos de Evaluación de Impacto Ambiental EIA, del 2004, proyectos de riego en terrenos con áreas a irrigar mayores 150 ha, son proyectos de impacto

moderado a alto y aquellos iguales o menores a 150 ha tienen un impacto de moderado a bajo, por lo que se debe considerar elaborar un formulario D2 para conocer el grado de impacto y su evaluación, y presentarlo a la SETENA para su análisis respectivo. Los costos de este trámite deben ser considerados en el presupuesto del proyecto.

El cronograma de actividades es el siguiente:

Cronograma de actividades						Resp.
		Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	
Actividad 1: Elaboración de plan						
Subactividad 1	Recorrido por el área de interés	x				
Subactividad 2	Escogencia de fincas	x				
Subactividad 3	Elaboración de propuesta	x				
Actividad 2: Elaboración de presupuesto						
Subactividad 1	Cálculo de materiales	x				
Subactividad 2	Cotizaciones	x				
Actividad 3: Ejecución de plan						
Subactividad 1	Coordinación con productor/es		x			
Subactividad 2	Coordinación con entes		x			
Subactividad 2	Control de obras		x	x	x	
Actividad 4: Seguimiento						
Subactividad 2	Toma de datos				x	
Subactividad 2	Análisis de datos				x	

Diseño o croquis de proyecto





Fuente: Proyecto de macro túneles para producción de hortalizas bajo riego por goteo para la optimización del uso del agua como respuesta al cambio climático SENARA-GWP.

6.4. Programa de Manejo racional de agroquímicos y fertilizantes

Consiste en establecer un efecto multidisciplinario al manejo de plagas utilizando diferentes tácticas de control compatibles con el medio, tendiendo a mantener una población sub económica, permitiendo la presencia de enemigos naturales; en los casos en que es necesario aplicar agroquímicos se debe hacer de manera que se reduzcan al máximo los efectos adversos.

Su implementación requiere varios principios básicos, como: identificación de las especies de plagas, el área de influencia, diseñar y probar los sistemas de control, definir los umbrales económicos y establecer las técnicas de monitoreo.

En el caso de los fertilizantes, se debe realizar un mapeo de fertilidad, un levantamiento de los cultivos predominantes, sus necesidades nutricionales y establecer programas de fertilización.

En forma complementaria se debe considerar una sustitución paulatina hacia el uso de productos orgánicos o naturales y requiere fundamentalmente de programas de capacitación y boletines divulgativos, que debe involucrar el manejo de los envases de desecho.

Este proyecto se debe coordinar con entes institucionales como el Ministerio de Agricultura, CATIE y algunas empresas privadas.

El objetivo es disminuir el efecto residual de los agroquímicos y fertilizantes que pueda provocar un efecto contaminante de las fuentes de agua.

El cronograma de actividades es el siguiente:

Cronograma de actividades						Resp
		Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	
	Actividad 1: Elaboración de plan					

Subactividad 1	Recorrido por el área de interés	x				
Subactividad 2	Identificación de cultivos y plagas	x				
Subactividad 3	Elaboración de propuesta	x				
Actividad 3: Ejecución de plan						
Subactividad 1	Coordinación con productor/es		x			
Subactividad 2	Coordinación con entes		x			
Subactividad 2	Seguimiento sistemas de control		x	x	x	
Actividad 4: Seguimiento						
Subactividad 2	Toma de datos				x	
Subactividad 2	Análisis de datos				x	

6.5. Manejo de desechos sólidos orgánicos y aguas residuales.

En las fincas que presenten actividades ganaderas, ya sea lecherías, chancheras, etc. que se encuentren en las áreas de influencia de las fuentes de agua, se genera una gran cantidad de desechos sólidos que pueden afectar sensiblemente las áreas de recarga en caso de pozos y manantiales, así como las fuentes de agua superficiales, con las consecuencias directas en la calidad de agua, en lo que a presencia de coliformes y otros de tipos de contaminantes se refiere. Para minimizar o, en el mejor de los casos, eliminar esos efectos, se proponen varias alternativas.

6.5.1. Establecimiento de biodigestores

La producción de gas o biogás es una práctica que se ha establecido en muchas fincas lecheras pequeñas y medianas en los últimos años, para usar en calefacción, alumbrado y cocimiento, lo que ha significado importantes ahorros en la economía familiar. además se aprovecha un lixiviado al final del proceso que se utiliza como fertilizante líquido La técnica consiste en la producción de gas (mezcla de metano, dióxido de carbono, residuos de sulfuro y vapor de agua) a partir de la fermentación de los excrementos sólidos de lechería por medio de la digestión anaeróbica utilizando un biodigestor, estructura o contenedor cubierto de plástico, semienterrada en el suelo, lo cual no provoca ninguna alteración en el contenido de nutrientes, por lo que además, el efluente producido, rico en N, se puede usar como un excelente fertilizante o bioabono. La relación aproximada de producción de gas es de 0.37 a 0.50 m³ por kg de estiércol.

Para diseñar un biodigestor se recomienda usar como parámetro el “tiempo de retención hidráulico” (TRH) que es el tiempo que tarda el excremento que se usa como influente hasta que salga como efluente, que en algunos biodigestores es de 30 días, durante el cual ocurre la digestión anaeróbica, que se inicia con la hidrólisis (polímeros no solubles se transforman en compuestos orgánicos solubles), que luego se convierten en ácidos grasos volátiles y dióxido de carbono; estos luego se transforman en acetato e hidrógeno y finalmente en metano. El TRH debe ser suficiente para que ocurra ese proceso eficientemente; si es muy bajo, se produce un “lavado de microorganismos”, haciendo que su recuperación (reproducción) sea más lenta con respecto a la ingestión, produciendo acidez (predominan las bacterias formadoras de ácidos grasos volátiles).

Su uso es más eficiente en fincas lecheras pequeñas, de menos de 10 vacas, debido a que requiere aproximadamente 40 kg de boñiga fresca en un estañón de 200 L para un biodigestor de 10 m³.

El objetivo es tratar en forma adecuada los residuos sólidos que se generan en las fincas, especialmente ganaderas y consecuentemente evitar la contaminación orgánica de los ríos, quebradas y manantiales y aprovechar el biogás como fuente alternativa de energía.

El cronograma de actividades es el siguiente:

Cronograma de actividades						Resp
		Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	
Actividad 1: Elaboración de plan						
Subactividad 1	Escogencia de fincas	x				
Subactividad 2	Elaboración de propuesta	x				
Actividad 2: Elaboración de presupuesto						
Subactividad 1	Cálculo de materiales	x				
Subactividad 2	Cotizaciones	x				
Actividad 3: Ejecución de plan						
Subactividad 1	Coordinación con productor/es		x			
Subactividad 2	Coordinación con entes		x			
Subactividad 2	Control de obras		x	x	x	
Actividad 4: Seguimiento						
Subactividad 2	Toma de datos				x	
Subactividad 2	Análisis de datos				x	

Diseño o croquis de proyecto:



Fuente: MAG. 2010. Guía técnica para la difusión de tecnologías de producción agropecuaria sostenible. San José, Costa Rica.

6.5.2. Fertilización con las aguas verdes

Uso directo del excremento en el campo: el uso del excremento en el campo se puede dar de tres maneras:

- Cuando los animales se encuentran en pastoreo, los nutrientes devueltos en la boñiga se concentran en pequeñas áreas y se distribuyen en forma irregular en el potrero, lo cual incrementa los riesgos de pérdida por volatilización y lixiviación, que disminuye la eficiencia de uso del excremento.
- Cuando el excremento se recoge en la lechería y se distribuye en el campo, pero composteado para facilitar la mineralización (ruptura de enlaces) y su uso por parte de las plantas, lo cual evita en cierta medida la contaminación de acuíferos. Su eficiencia depende de la especie de pasto, tipo de suelo, manejo del pasto y fertilización.
- Aplicación del excremento en forma líquida: requiere de una batería de tanques de recolección, pues es necesario recoger el excremento con el agua cuando se lavan las salas de ordeño, que se deben diseñar de manera que pueda recoger la cantidad estimada de agua, estiércol y orines según el tamaño de la finca y el nº de animales. La aplicación de los residuos se debe hacer el mismo día de la recolección pues si se almacena pueden ocurrir pérdidas de N del orden del 10 al 20 % y tampoco es conveniente agitar mucho la mezcla. Además, se recomienda el pastoreo después de 3 a 4 semanas de haberse aplicado la solución, o sea que debe haber una coordinación entre el riego y el reingreso de los animales, para que la flora del suelo absorba y metabolice el material aplicado.

Sin embargo, existen limitaciones cuando se trata de fincas que tengan zonas de recarga, suelos porosos con mantos acuíferos y zonas de protección (100 m de nacientes, 50 m horizontales de cuerpos de agua en zonas quebradas). Durante la época lluviosa se deben mejorar las precauciones para evitar la contaminación por efecto de escorrentía.

La aplicación de esta tecnología implica el acondicionamiento de la finca con un separador de sólidos gruesos, desarenador, pozo de homogeneización, bomba (eléctrica o combustible), tuberías en la finca y aspersores gigantes, lo cual implica una fuerte inversión.

Además, la implementación de esta técnica requiere la aprobación de diferentes entes gubernamentales, como Ministerio de Salud, SENASA, MAG, etc., pues depende de características de la finca como: tipo de suelo, presencia de cuerpos de agua, nacientes, mantos acuíferos, tamaño de la propiedad, y número de animales, etc.

Fotos de proyectos:



Tanques de recolección de residuos y motobomba.



Tanque de recolección de aguas verdes y aplicación de las aguas en los repastos.

6.5.3 Elaboración de compost

Se refiere a la producción de diferentes tipos de compost a partir de estiércol de rumiantes, aunque también se usan residuos de cosecha y malas hierbas, que pueden ser reforzados con algunos productos químicos para mejorar su calidad; para su elaboración se requiere de la presencia de microorganismos eficientes (EM), que son bacterias que se encuentran en los bosques, en donde se pueden atrapar por medio de una técnica muy sencilla, o también se pueden comprar en algunos establecimientos.

Si se asume a modo de ejemplo una finca que tenga 20 animales que producen 100 kg de boñiga diarios, se necesitan 2 pilas de 3 m² (1.5 m² cada una) para la 1ª etapa que consiste en colocar la boñiga que se recogió en seco en los establos, en dichas pilas durante 7 días, aplicando cal y EM y una pila de maduración de 4 m² para la 2ª etapa, donde se vuelve a tratar con EM, se voltea

periódicamente y se cubre por otros 7 días o más con plástico negro, hasta que produzca un olor a tierra. Luego el producto es recogido en sacos y aplicado como abono orgánico en el campo.

El alto costo de procesamiento y acarreo en campo es una desventaja.



Boñiga recogida seca y pila en etapa 2.

6.5.4. Producción de lombricompost

El producto humificado de residuos orgánicos, que serían los desechos sólidos de la lechería, mezclado con ceniza, tierra o cal y combinaciones de ceniza, tierra y cal, se le denomina compost; si ésta técnica se realiza utilizando lombrices se denomina lombricompost, vermicompostaje o también humus de lombriz. La boñiga debe haber tenido un proceso de maduración, pues si es fresca, se calienta y mata las lombrices, además se necesita controlar temperatura, humedad y la incidencia de radiación directa.

Hay muchos tipos de lombrices, pero la más usada en el proceso es la lombriz roja de California (*Eisenia foetida*), de color rojo púrpura.



Pilas de lombricompost y lombrices

6.5. Forraje hidropónico

Es una tecnología de producción de biomasa a partir de semillas viables (maíz, cebada, etc.) hasta alcanzar un crecimiento temprano de plántulas, de alta digestibilidad, buena nutrición y palatable, en condiciones protegidas con control de temperatura, luz y humedad, en condición hidropónica, usando diferentes tipos de sustratos.

La producción se realiza en módulos superpuestos móviles, sembrados a intervalos semanales o quincenales, que se riegan hasta que los brotes alcancen 4 cm y luego se sigue aplicando una solución nutritiva, hasta la cosecha que se recomienda realizarla a los 15 días, para que no disminuya su valor nutritivo.

Las pérdidas de agua por evapotranspiración, escorrentía e infiltración son mínimas, por lo que se adapta muy bien para pequeños productores que presenten problemas de disponibilidad de agua o que tengan limitaciones para su uso.

Los módulos o bandejas de producción son pequeños, de 1 x 1 m o menos y se pueden colocar hasta 4 en forma vertical. Se requiere de un cobertizo protegido cubierto de plástico u otro material, de unos 12-20 m² que puede suplir las necesidades de unas 12 cabras en producción, según las investigaciones realizadas; se instala un sistema de riego por inundación controlada, que consiste en enviar el agua a los módulos superiores con una pequeña bomba eléctrica o de combustible y por gravedad se va desplazando a los siguientes módulos inferiores, para de nuevo impulsarla hacia la parte superior. También se pueden usar microaspersores de bajo caudal.

El objetivo es promover un uso racional del agua, además de lograr un ahorro significativo en costos de producción, aprovechamiento de las áreas de producción, disponibilidad de forraje verde todo el año, mínima contaminación de los suelos y sin problemas de erosión y sedimentación en las fuentes de agua.



Forrajes hidropónicos

7.PROMOVER UNA NUEVA CULTURA DEL AGUA

Objetivo: Promover e inducir, a través de la educación formal y no formal, una nueva cultura del agua, orientada hacia la gestión participativa e integral del recurso hídrico. Lo que implica reestructurar las actuales prácticas, hábitos, valoración y percepciones sobre el recurso hídrico, como instrumento para asegurar el derecho humano de acceso al agua potable.

Justificación

La Política Hídrica Nacional, del 2009, tiene como visión,

“Contribuir significativamente a la salud y bienestar de los habitantes del país, mediante la gestión integrada y sostenible del recurso hídrico, que garantice la disponibilidad en

cantidad, calidad y continuidad, apropiadas para las necesidades de crecimiento del país, conforme a las condiciones que imponga la construcción de una sociedad inclusiva, justa y solidaria, y en respeto al derecho constitucional a un ambiente sano y ecológicamente equilibrado”.

Dentro de los 8 lineamientos estratégicos que determinan la dirección de la política se incluye la “Creación de una cultura del agua³”, lo que constituye una base para actuar de todas las instituciones involucradas en la gestión del recurso hídrico en el país, como lo son los entes operadores del servicio público de agua potable.

Asimismo, la “Agenda del Agua” (2013), la cual es un complemento a otros instrumentos de planificación hídrica, resalta la importancia una nueva cultura del agua, como una meta estratégica dentro de la planificación de recurso hídrico, para reestructurar las actuales prácticas, hábitos, valoración y percepciones sobre el agua en el país.

Uno de los principales problemas en la gestión integrada del recurso hídrico, tal y como se establece en la Agenda del Agua (2013) es “la ausencia de una adecuada educación y cultura hídrica en la población”, lo que tiene como consecuencias en la degradación de los ecosistemas hídricos, en las fuentes de abastecimiento del agua potable y la afectación de la calidad de vida y de la salud pública.

Por lo cual, es importante esta búsqueda de una nueva cultura del agua, para tener el conocimiento consciente de la importancia del agua como recurso natural limitado, que pueda generar un hábito en la población del uso, aprovechamiento y conservación adecuada y razonable.

Tipos de proyectos y actividades

Promover una cultura del agua puede abarcar varios tipos de proyectos y actividades. Estos deben tener como objetivo lograr la protección de las fuentes de agua potable de la cual se abastece el ente operador y sus indicadores deben estar en función de este objetivo principal.

- Programas socio-educativos, para formar comunidades que cuiden sus recursos, incluso para la adaptabilidad al cambio climático. Conociendo el ciclo hidrosocial del agua se ofrecen mayores oportunidades de mejoramiento del acueducto y de la protección de las fuentes de agua.

Ejemplo de proyectos específicos y actividades:

³ El objetivo de dicho eje estratégico consiste en “inducir a través de educación formal y no formal nuevas conductas y actitudes en la sociedad adulta y joven en su relación con el aprovechamiento del agua, como elemento para entén la complejidad de la gestión de este recurso y su interdependencia con los factores económicos, sociales y ambientales, de tal forma que tengamos una participación más comprometida y informada, que permita cambiar nuestra cultura de abundancia.”

- Acondicionar los terrenos donde se encuentran las fuentes del agua y su área de protección para facilitar la visita y la capacitación en educación ambiental de niños, jóvenes y de la población en general
- Propiciar campañas de reforestación y restauración de ecosistemas o cuencas hidrográficas, tanto dentro de sus propios terrenos como en otras zonas comunales o privadas.
- Realizar campañas sistemáticas de ahorro del agua.
- Participar en programas de educación ambiental como Bandera Azul
- Propiciar en la comunidad la creación de una “Escuela del Agua”, como un espacio formalizado para la sensibilización, capacitación y, en general, para impulsar la visión de una gestión integrada del recurso hídrico.

8. INFRAESTRUCTURA QUE FACILITA LA INFILTRACIÓN

Es importante considerar que según el Decreto Ejecutivo 31849-MINAE-SALUD-MOPT-MAG-MEIC, Reglamento General sobre los procedimientos de Evaluación de Impacto Ambiental EIA, del 2004, proyectos que incurran en movimientos de tierra en zonas urbanas, mayores a 1000 m³ son de moderado a alto impacto ambiental, entre 201-1000 m³ son considerados de medio a bajo impacto ambiental, de 200-0 m³ son de bajo impacto ambiental; en zonas rurales movimientos mayores a 1000 m³ tienen de moderado a alto impacto ambiental mientras que de 0-1000 m³ son de moderado a bajo impacto ambiental. Por lo que se debe considerar elaborar un formulario D2 para conocer el grado de impacto y su evaluación, y presentarlo a la SETENA para su análisis respectivo. Los costos de este trámite deben ser considerados en el presupuesto del proyecto.

8.1. Sistemas de infiltración inducida

La infiltración artificial es el proceso por el cual se aplica agua al suelo con el objetivo de que se infiltre por la zona no saturada o zona vadosa hasta los mantos acuíferos subterráneos. Los sistemas se categorizan como superficiales o profundos de acuerdo con su funcionamiento.

Un sistema superficial depende de un suelo muy permeable para funcionar adecuadamente y lograr infiltrar los volúmenes deseados. Si el objetivo es la recarga de un acuífero en específico no deben existir acuicludos o acuitardos entre la superficie y el acuífero, es decir el acuífero debe ser del tipo no-confinado. La recarga artificial de acuíferos confinados solo es posible por medio de sistemas profundos que atraviesen el techo del acuífero, los pozos de recarga son el mejor ejemplo de los sistemas profundos.

En esta sección se discuten las características, méritos y desventajas de varios sistemas de recarga artificial. Estos sistemas de infiltración son: (1) áreas de infiltración y franjas verdes, (2) pavimentos porosos o modulares, (3) zanjas de percolación, (4) lagunas de infiltración y (5) pozos

de infiltración. Dado que el agua infiltrada eventualmente percolará hasta el almacenamiento subterráneo local, se debe tener cuidado, al implementar cualquiera de los sistemas mencionados anteriormente, de no ubicar la infraestructura de infiltración cerca de campos de pozos, o de áreas que drenan con estaciones de servicio, depósitos químicos u otras actividades industriales. Esta precaución es indispensable para garantizar que el acuífero no se afectará por sustancias contaminantes que deterioren la calidad del agua que contiene el acuífero.

8.1.1. Áreas de infiltración, biojardineras y filtros verdes

Estos son dos de los métodos más antiguos para el control de la escorrentía pluvial, y han sido utilizados a lo largo de carreteras, autopistas y en fincas por muchos años. En el contexto de este documento, un área de infiltración será entendida como una depresión con poca pendiente longitudinal, y costados de pendiente media. Estas depresiones interceptan la escorrentía superficial y la almacenan temporalmente, de manera que el agua atrapada en la depresión se infiltre y finalmente percole hasta los mantos acuíferos.

Un filtro verde consiste de una franja de terreno a través de la cual debe fluir el agua desde una carretera, parqueo, techo, u otra superficie impermeable antes de entrar al sistema pluvial.

La función de ambos sistemas es interceptar la escorrentía superficial y filtrar el flujo de la escorrentía superficial generado por eventos menores de precipitación. La interceptación de la escorrentía superficial reduce la velocidad del flujo y permite que el agua se infiltre en el suelo. El paso de la escorrentía por los filtros verdes remueve algunos de los sólidos suspendidos y otros contaminantes adheridos a los sólidos. En terrenos donde el suelo bajo estos sistemas tiene una tasa de infiltración alta, la eficiencia de remoción de sólidos puede ser superior al 80%, sin embargo, en la mayoría de los casos la eficiencia es mucho menor. Con relación a los filtros verdes se debe mencionar que su rendimiento no es sólo función de las características de infiltración del suelo, sino también del volumen de precipitación y de la intensidad de la tormenta.

En zonas urbanas, las áreas de infiltración y los filtros verdes se construyen de manera que intercepten las aguas de escorrentía provenientes áreas impermeables pequeñas como calles, techos o estacionamientos. De esta manera se minimiza la cantidad de área impermeable conectada directamente al sistema de drenaje pluvial, dando tiempo a la escorrentía superficial para que se infiltre y se dé la remoción de sólidos y otras sustancias contaminantes.

Las áreas de infiltración pueden tener una capacidad de almacenamiento limitada de acuerdo con su longitud y ancho, y se distinguen de las lagunas de infiltración por su forma lineal. Las franjas verdes no cumplen con la función de retención porque no tienen capacidad de almacenamiento.

Es importante mencionar que, en la mayoría de las ocasiones, no es posible diseñar un área de infiltración o una zona verde de suficiente longitud como para infiltrar el 100% de la escorrentía generada por la tormenta de diseño. En zonas boscosas o fincas donde se disponga de áreas

grandes para la construcción de humedales y filtros verdes, es posible diseñar un sistema que infiltre un alto porcentaje de la escorrentía, si la permeabilidad del suelo lo permite.

En zonas urbanas, un área de infiltración o una zona verde individual son insuficientes para infiltrar el volumen generado por un área de drenaje en el orden de hectáreas, sobre todo por su capacidad de almacenamiento limitada. En zonas urbanas con sistemas con múltiples componentes de infiltración, los filtros verdes y los humedales pueden cumplir la función de remover contaminantes de la escorrentía superficial, preparando el agua para su infiltración posterior en otro segmento del sistema.

El dimensionamiento de las áreas de infiltración puede realizarse utilizando las ecuaciones de flujo a canal abierto. La longitud de áreas de infiltración o zona verde requerida para infiltrar el volumen de escorrentía generado por la tormenta de diseño puede determinarse por medio del modelo propuesto por Wanelista, Yousef, Harper y Casagnol en 1981.

Otros criterios para el diseño de áreas de infiltración y franjas verdes incluyen:

- mantener la pendiente longitudinal de la depresión menor a 0,02 m/m para minimizar la erosión;
- la pendiente lateral de los humedales no debe exceder 4H:1V, y de preferencia estar entre 8:1 y 10:1 para maximizar la cantidad de agua que entra en contacto con el suelo y la vegetación;
- el nivel freático o lecho rocoso debe estar por lo menos 1,2 m por debajo del fondo del humedal y
- las franjas verdes deben ser diseñadas de tal forma que la escorrentía fluya como lámina y no se canalice. Las franjas verdes deben tener por lo menos 6 m de largo (Urbonas & Roesner, 1993).

En zonas boscosas o fincas, las áreas de infiltración y filtros verdes se construyen como depresiones de poca profundidad que disminuyen la velocidad de la escorrentía superficial. Se pueden implementar en terreno con pendiente fuerte para que, a su vez, sirvan como trampas de sedimento.

En zonas urbanas, las áreas de infiltración y filtros verdes se implementan al no conectar los bajantes de los techos directamente a un desagüe pluvial, sino que se direcciona el flujo sobre una zona verde con un drenaje al extremo. De forma similar los tragantes de las calles pueden ser sustituidos por aberturas en el cordón de caño que lleven a áreas verdes o humedales. Es importante diseñar los drenajes de las zonas verdes y humedales para manejar la escorrentía generada en eventos de precipitación con periodos de retorno mayores a los 5 años.

Los sistemas de zonas verdes o áreas de infiltración no requieren mayor mantenimiento salvo jardinería y la limpieza del sistema de drenaje para excedentes.

Las biojardineras son unidades para el tratamiento de aguas residuales domésticas que provienen de una vivienda, aunque también se pueden utilizar para dar tratamiento a las aguas residuales provenientes de zonas residenciales, industrias y hoteles.

Una biojardinera es un recipiente o una excavación impermeable. Las biojardineras se utilizan como un segundo paso de tratamiento, después de haberle quitado a las aguas los elementos pesados y grasos. Son "macetas con piedras", ya que las plantas ubicadas en ellas se siembran sobre piedras y ambos elementos son los responsables de darle tratamiento a las aguas residuales. El agua ya tratada que se obtiene al final de este proceso no es potable, pero tendrá una muy buena calidad para ser utilizada en otras actividades como el riego de jardines y áreas verdes, principalmente durante la época seca. Si se llegara a tener exceso de agua tratada de la biojardinera, esta agua se puede conducir al sistema pluvial o a un cuerpo colector, ya que tiene la calidad suficiente como para ser vertida a un cauce.

El sistema opera de la siguiente manera: todas las aguas residuales de la casa se recogen y se conducen por una misma tubería hasta el punto donde se coloca la unidad primaria de tratamiento. En algunos casos podría utilizarse sólo un recipiente; en otros se pueden requerir dos o más unidades de tratamiento primario. En este primer paso se eliminan las partículas gruesas y grasosas que el agua puede transportar como restos de comida, cáscaras de frutas y verduras, materiales plásticos y vidrios, entre otros. Esta unidad de tratamiento se debe diseñar para que la mayor cantidad de partículas se queden en el fondo de ella o floten.

Es importante colocar tuberías de ventilación en esta unidad primaria de tratamiento porque la materia en el fondo se descompone y se pueden generar malos olores. También es conveniente mantener esta primera unidad de tratamiento con tapa. Luego de la primera unidad de tratamiento las aguas se conducen hacia la biojardinera.

El agua que se lleva al biofiltro se descarga por una tubería colocada en forma horizontal con ranuras que permita una distribución uniforme a todo lo ancho de la biojardinera. El agua hace su recorrido pasando a través de las piedras de un extremo a otro de la biojardinera. En el extremo opuesto de la biojardinera se coloca un tubo de salida en el fondo, que permite conducir el agua también por medio de otro ducto hacia arriba, hasta la altura de salida, la cual, estará siempre 10 centímetros bajo la superficie. En ese recorrido, tanto las piedras como las plantas actúan limpiando el agua. Las piedras trabajan como filtros que van reteniendo las partículas disueltas que aún le quedan al agua después del tratamiento primario. Las plantas se alimentan de la materia orgánica y los nutrientes que hay en las aguas bajo tratamiento, evaporan y transpiran agua y, por sus raíces, inyectan oxígeno al agua. Por eso, es muy importante sembrar en la biojardinera plantas que les guste vivir en agua más que en tierra, para que realicen mejor su función limpiadora. El nivel del agua se mantiene por debajo de la superficie de la biojardinera al definir el nivel del tubo de salida, 10 centímetros por debajo de la superficie de la biojardinera; así se evita la cría de mosquitos y los malos olores.

Las biojardineras requieren del siguiente mantenimiento periódico:

- Las unidades para el tratamiento primario requieren de mantenimiento frecuente que dependerá de la cantidad de personas que habiten en la casa.
- Los trabajos de mantenimiento deben considerar la inspección de estas cámaras de tratamiento primario, por lo menos una vez a la semana.

- Se deben remover las grasas flotando y los sólidos depositados en el fondo. Esos materiales que se recojan se depositarán en recipientes para su posterior tratamiento. Son desechos sólidos, que se podrán enterrar o colocar algunos de ellos en otros procesos, como los de compostaje. Es importante agregarles cal con el fin de evitar olores y además para que los sólidos se deshidraten.
- Es conveniente verificar, con cierta frecuencia, el estado de la línea de ventilación, la cual siempre debe tener su salida en partes altas, superior al nivel de la nariz de las personas.
- La descripción, operación y mantenimiento de las biojardineras fue tomada del panfleto de ecosaneamiento 3, elaborado por el Ing. Elías Rosales E.

8.1.2. Pavimento permeable modular

El pavimento permeable y modular, en especial el concreto poroso, tiene potencial para uso en estacionamientos, y puede ayudar a reducir la cantidad de terreno requerida para el control de la escorrentía superficial en zonas urbanas y preservar el balance hídrico natural de un sitio. Cuando se usa en carreteras, el concreto permeable provee mayor seguridad para la conducción bajo lluvia. Se requiere que el terreno subyacente sea permeable, ya sea de manera natural o con material de sustitución, debe ser plano, estar por lo menos 0,9m sobre el nivel freático y 1,2 m sobre el lecho rocoso (Urbonas & Roesner, 1993).

Es posible instalar pavimentos permeables o modulares sobre suelos poco permeables, pero en esos casos es necesario colocar un sustrato de material granular bajo el pavimento. El fondo del sustrato granular debe tener tuberías de drenaje para conducir el agua infiltrada por el pavimento a un colector pluvial. Un sistema de este tipo no tiene como objetivo la recarga del suelo, y funciona más como un sistema de detención que un sistema de infiltración.

8.1.3. Zanjas y pozos de infiltración

Una zanja de infiltración generalmente consiste de una zanja larga y angosta, con profundidad entre 0,9 y 3,7 m, rellena con agregado grueso, lo que permite almacenar escorrentía de forma temporal en los poros del agregado. El agua almacenada infiltra en las capas superiores del suelo y finalmente percola hacia los mantos acuíferos. La escorrentía arrastra materia fina que se depositan en el fondo de la zanja, sellando el fondo, por lo tanto, es útil suponer que la filtración sólo ocurre por los costados de la zanja (Urbonas & Roesner, 1993). Estas zanjas pueden ubicarse en la superficie del suelo o enterradas a poca profundidad. Usualmente se diseñan para áreas tributarias menores a dos hectáreas, pero pueden servir áreas tan grandes como 4 hectáreas. Se deben ubicar en terrenos con suelos de alta permeabilidad y en áreas con niveles freáticos bajos. Los pozos de infiltración funcionan de forma similar a las zanjas de infiltración, pero tienen una forma distinta, usualmente circular, y se utilizan para almacenar e infiltrar el agua de lluvia proveniente de los techos. Las zanjas son apropiadas en medianeras, los costados de estacionamientos, y en áreas verdes angostas. La diferencia principal entre los pozos y las zanjas de infiltración es su configuración geométrica. Los pozos son más profundos y suelen tener una sección circular, las zanjas suelen ser rectangulares y poco profundas. Ambos sistemas utilizan los poros entre el agregado grueso para almacenar escorrentía mientras se infiltra.

El problema principal de las zanjas y pozos de infiltración es la deposición de finos en su interior. La zanja dejará de acumular la escorrentía una vez que el sedimento haya obstruido los poros entre el agregado grueso. Se debe utilizar algún tratamiento previo como un humedal, zona verde o filtros que preceda la infiltración del agua dentro de la zanja o el pozo y así evitar que el sistema colmate.

En zonas urbanas, se recomienda que las zanjas y los pozos de infiltración solamente reciban escorrentía de áreas de techos desde las cuales se arrastran pocos finos. También se recomienda que las zanjas y pozos de infiltración no sean instalados en un proyecto hasta que haya finalizado su fase constructiva y los suelos de las áreas tributarias al sistema de infiltración estén estabilizados con pasto u otra cobertura para evitar la erosión. La obstrucción de una zanja durante el proceso constructivo debido a la entrada de finos procedente del sitio es una causa común de falla. Rehabilitar una zanja obstruida involucra un gran esfuerzo y costo (Urbonas & Roesner, 1993).

Para dimensionar una zanja de infiltración se debe conocer la conductividad hidráulica de los suelos adyacentes y la porosidad del agregado grueso. Una baja carga unitaria es necesaria para que el sistema pueda “descansar” entre eventos, permitiendo que los poros del suelo drenen completamente. Es usual despreciar la infiltración que ocurre por el fondo de una zanja de infiltración porque es la primera superficie en colmatarse. La infiltración por los costados de un pozo o zanja se calculan suponiendo que la presión varía hidrostáticamente con la profundidad.

El tiempo de retención máximo, es decir, el tiempo que dura el agua en drenar de la zanja, debe ser de 48 a 72 horas. Adicionalmente el fondo de la zanja debe estar por lo menos 1,2 m por encima del nivel freático y el lecho rocoso. Se debe colocar un geo textil o filtro granular entre el agregado grueso y el suelo del sitio para prevenir la migración de finos. El agregado de relleno debe estar limpio, sin finos, y tener un tamaño nominal entre 25 mm y 75 mm. Finalmente se recomienda utilizar maquinaria liviana durante la excavación para no compactar el suelo alrededor de la zanja y dejar pozos de observación para permitir la inspección de la zanja. La presencia de agua en los pozos de observación después de una lluvia indica que la zanja no trabaja adecuadamente.

Estos sistemas son capaces de infiltrar volúmenes de escorrentía mayores que los humedales y filtros verdes y pueden ser considerados como una opción atractiva en zonas con suelos muy permeables. Una ventaja importante de las zanjas de infiltración es que pueden ser cubiertas con vegetación e incorporadas al paisaje de forma agradable.

8.1.4. Lagunas de infiltración

Una laguna de infiltración es una depresión en la cual se retiene agua con el objetivo de infiltrarla al suelo. Existen dos tipos, superficiales y excavadas. Con un diseño adecuado las lagunas pueden integrarse con el paisaje, funcionando como una depresión en un terreno abierto. Se pueden sembrar árboles, pasto y otras plantas en su interior siempre y cuando el tiempo de retención sea menor a 24 ó 36 horas. Este sistema funciona para áreas tan pequeñas como el jardín de una casa

o tan grandes como 20 hectáreas, sin embargo, su confiabilidad suele disminuir conforme aumenta el área tributaria (Urbonas & Roesner, 1993).

Las lagunas de infiltración pueden adoptar cualquier forma, desde rectangulares hasta irregulares de acuerdo con la topografía del sitio. Toda laguna requiere por lo menos dos estructuras hidráulicas adicionales. Para evitar la erosión de la laguna se requiere una estructura de entrada que disipe la energía del agua que entra a la laguna y además se requiere una estructura de salida que maneje de forma segura cualquier exceso de caudal (Bouwer, 1999).

Las lagunas de infiltración con el fin principal de mejorar la calidad de la escorrentía son más eficientes cuando se construyen de tal manera que durante tormentas grandes la laguna de infiltración atrape la primera porción del agua escurrida, que usualmente es la que arrastra más basuras y sustancias contaminantes. La escorrentía restante puede ser devuelta al cauce o almacenada en un sistema de detención aparte. Cuando el fin de la laguna es infiltrar el mayor volumen posible, se debe evitar la porción más contaminada de la escorrentía, utilizando algún pre-tratamiento o desviando esta agua, para reducir la cantidad de finos que colmaten los poros del suelo de la laguna.

Las lagunas de infiltración deben ubicarse en suelos muy porosos y su fondo debe estar por lo menos 1,2 m sobre el nivel freático o lecho rocoso impermeable. El tiempo de infiltración nunca debe exceder las 72 horas, si la laguna tiene vegetación el tiempo se reduce a no más de 24 ó 36 horas para evitar ahogar las plantas. Una ventaja de contar con vegetación en una laguna de infiltración es que sus raíces crean macro-porosidades en la superficie del suelo, evitando que se obstruya con finos. Se sugiere que la pendiente de los taludes sea menor a 4:1 para facilitar su mantenimiento y reducir su erosión. Otros criterios para el diseño incluyen el uso de equipo liviano de excavación y mantenimiento, y construir un vertedor de excedentes (Urbonas & Roesner, 1993).

Una posibilidad adicional si la laguna tiene un fin de control de calidad es la de tener un espejo de agua permanente en la misma que sea almacenada entre eventos de escorrentía. En este tipo de lagunas se coloca vegetación flotante que ayude a regular y tratar el agua escurrida. La estructura vertedora de estas lagunas permite un escurrimiento lento y gradual siempre y cuando los niveles de la laguna no excedan su límite superior.

La colmatación del fondo de una laguna de infiltración es inevitable. La escorrentía generada en todo evento de precipitación arrastra sedimentos de diámetros variados. Las partículas de arena y grava que tienen mayor tamaño pueden y deben removerse antes de la laguna por medio de humedales o filtros verdes. La colmatación del fondo de una laguna es tratada con el crecimiento de vegetación que genera macro-porosidad en el suelo, y con la limpieza y arado de la laguna durante épocas secas. La limpieza de la laguna se lleva a cabo una vez que el fondo de la laguna se ha secado. Una vez que el fondo de la laguna está seco, se raspa el fondo para remover el material sedimentado y finalmente se ara la superficie original del suelo. No es conveniente arar sin remover el suelo fino previamente porque se incorpora al suelo y reduce su permeabilidad. La frecuencia de la limpieza depende de la calidad de agua que llega a la laguna.

8.1.5. Pozos de recarga

Cuando no existen suelos permeables poco profundos o superficiales, o cuando el acuífero que se desea recargar es confinado se requieren pozos de recarga. Estos sistemas no son de infiltración propiamente dado que el agua no infiltra y luego percola por el suelo, sino que es bombeada a presión a lo largo de un pozo hasta el estrato que se desea recargar (Bouwer, 1999).

El problema principal al que están sujetos los pozos de recarga es la colmatación del estrato que se está recargando. En detalle, las partículas finas que arrastra el agua son depositadas en las paredes del pozo. Una solución a esto es un uso dual del pozo, inyectar agua al acuífero durante las épocas lluviosas y utilizarlo como fuente de abastecimiento durante los meses secos. La extracción de agua invierte la dirección del flujo y libera los poros obstruidos y como mínimo debería realizarse hasta que el agua deje de salir turbia del pozo.

Los finos suspendidos por el agua no son la única fuente de colmatación de los sistemas de infiltración. Existen procesos biológicos y químicos que también generan la obstrucción de los poros del suelo y agregado en los sistemas. La colmatación biológica es ocasionada por el crecimiento de colonias bacterianas en forma de bio-películas sobre las partículas de suelo. Una forma de tratar este problema es clorar el agua que se inyecta al pozo. No se recomiendan otros métodos de desinfección por la ausencia de un efecto residual que prevenga crecimientos dentro del pozo. La colmatación química puede suceder en un pozo debido a cambios en el pH o en la concentración de dióxido de carbono en el agua que precipiten carbonato de calcio o cambios en la concentración de oxígeno disuelto que precipite óxidos de hierro o manganeso.

El agua que se recargue por medio de pozos requiere el mayor control de calidad del agua se recargue al pozo. Como regla general si el agua no es apta para consumo humano, no puede ser inyectada. Se debe contar, como mínimo, con un tren de tratamiento con sedimentación y filtrado para evitar colmatar rápidamente los pozos y la contaminación del acuífero. El control constante y permanente del agua que es inyectada es necesario, y una descarga de emergencias debe existir para poder verter cualquier agua que no sea adecuada para la recarga antes que sea inyectada.

8.1.6. Captadores de humedad

Los sistemas para captar la humedad atmosférica son sistemas que intentan reproducir los procesos de intercepción de la humedad, por parte de la vegetación. La vegetación juega un doble papel en el ciclo hidrológico. El primero de ellos corresponde a la protección del suelo. Las hojas de los árboles sirven de amortiguamiento a las gotas de lluvia e impiden que las gotas desagreguen las partículas de suelo y faciliten el transporte de las partículas resultantes por medio de la escorrentía superficial. La cobertura de la vegetación protege el suelo y minimiza la pérdida de suelo por parte de la escorrentía superficial.

El segundo papel corresponde al atrape de la humedad atmosférica. En ambiente con humedad relativa alta, la vegetación sirve como superficie de condensación y atrapa de la humedad atmosférica. Si el contenido de humedad de la atmósfera es alto, la vegetación puede llegar a saturarse y el exceso de humedad “precipita” sobre la superficie del suelo. Este proceso se conoce

como precipitación horizontal y es una fuente importante de recarga de los acuíferos debido a la baja tasa de precipitación, que hace que la humedad se deposite sobre el terreno y se infiltre sin que se genere escorrentía superficial.

El objetivo de los captadores de humedad atmosférica es emular el atrape de la precipitación horizontal que hace la vegetación. Se utiliza en zonas con alta humedad relativa a con abundancia de neblina.

El sistema de captadores de humedad atmosférica consiste de una base de soporte vertical a la que se fijan una doble bandeja de malla metálica o plástica. Los elementos que constituyen el sistema son:

- la estructura de soporte,
- la malla que se une paralela a la estructura por medio de uniones articuladas y
- un conjunto de mallas inclinadas, con respecto a la anterior y que se fijan a la estructura, a diferentes niveles con el objetivo de mejorar el rendimiento de captación de la humedad atmosférica.

En zonas de temperaturas altas, 30º C o más puede ser necesario agregar un sistema de enfriamiento a las mallas para forzar la condensación de la humedad atmosférica. En zonas de neblina abundante no es necesario enfriar las mallas.

Al saturarse las mallas el agua drena hacia la parte baja de las mismas donde el agua se recoge en una canoa o bandeja y conduce hacia el sistema de almacenamiento para su uso posterior.

Criterios de selección

Los criterios de selección para los sistemas de infiltración dependen de las condiciones y las características físicas del sitio donde se considera instalar un sistema de infiltración. Las condiciones locales determinantes son el suelo, la hidrogeología, la topografía, el agua disponible y el clima. Los sistemas de recarga artificial no tienen un “estándar”, y cada ubicación debe recibir un diseño específico según las condiciones locales (Bouwer, 1999).

Entre los estudios básicos necesarios para llevar a cabo el diseño del sistema se encuentran:

- estudios de suelos e hidrogeología, con perforaciones exploratorias de acuerdo con la magnitud del proyecto,
- estudios hidrológicos que determinen la disponibilidad del recurso hídrico para infiltración durante el año y su distribución temporal,
- análisis de calidad del agua proveniente del cuerpo de donde se va a extraer para infiltración.

Con base en la información obtenida de los estudios básicos, se determina si las condiciones del sitio y los objetivos del proyecto requieren de un sistema superficial, poco profundo, o profundo. La ubicación de las capas permeables y poco permeables del suelo y roca en los sitios disponibles para un sistema de infiltración determinan cuál tipo de sistema debe utilizarse. La Figura A-1

muestra cómo cambia el sistema de infiltración adecuado al aumentar la profundidad donde se encuentre el estrato permeable al cual se va a infiltrar el agua.

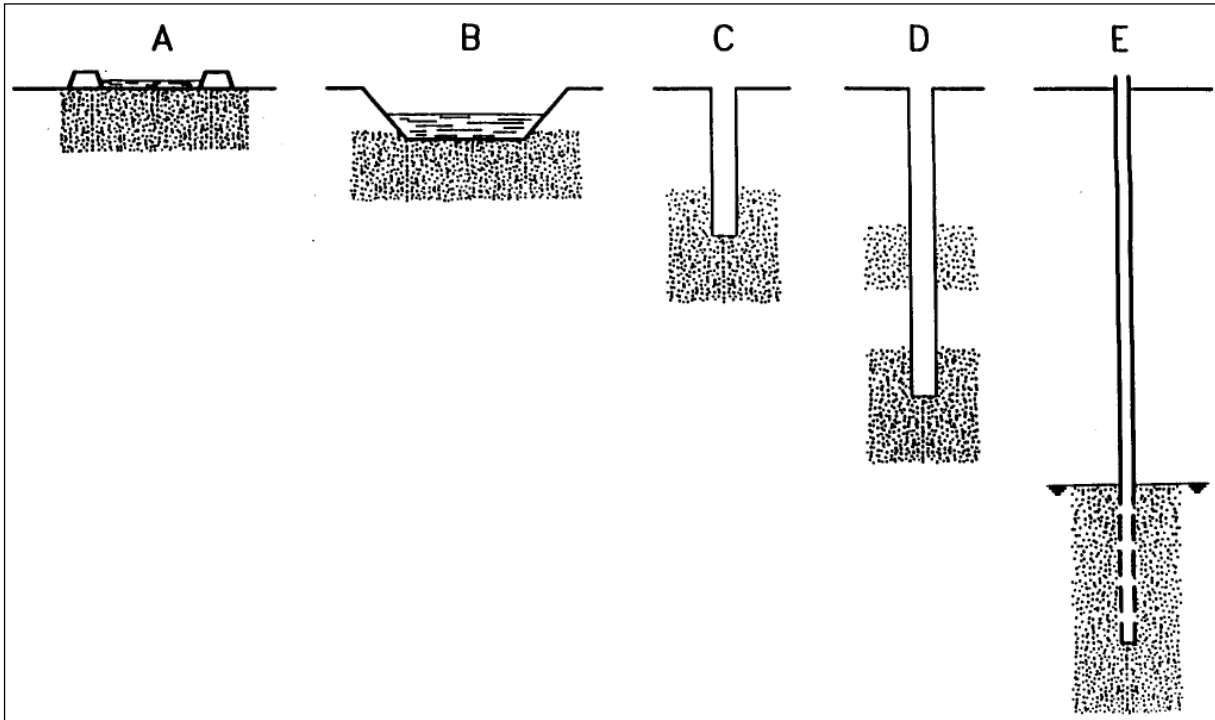


Figura A-1. Sistemas de recarga para un sustrato permeable a varias profundidades: laguna superficial (A), laguna excavada (B), zanja de infiltración (C), pozo de infiltración (D), y pozo de recarga (E), (Bouwer, 1999).

Tras determinar la profundidad del estrato permeable y el sistema compatible, se debe determinar el pre-tratamiento necesario para cada sistema con el objetivo de minimizar la colmatación física, química o biológica del sistema de infiltración y la contaminación del cuerpo de agua receptor. Una ventaja de los sistemas superficiales es la facilidad de mantenimiento cuando ocurre la colmatación, y por lo tanto requieren menos pre-tratamiento. Cuando se utilizan sistemas profundos aumenta la necesidad de tratar el agua, sobre todo en el caso de pozos de inyección.

Tras determinar la viabilidad técnica de uno o varios sistemas, se revisan los costos de construcción, operación y mantenimiento de los sistemas factibles. Las lagunas de infiltración requieren una gran inversión inicial por su extensión, pero su mantenimiento y operación es el menor entre todos los sistemas. La operación de sistemas, como los pozos y zanjas de infiltración, no es más cara que las lagunas de infiltración, pero su mantenimiento es mucho más complejo por ser estructuras enterradas. Por esta razón suelen ser reemplazados una vez que cumplen su vida útil; sin embargo, la sustitución de un pozo es muy costosa. Los pozos de inyección son caros de construir, operar y mantener, sin embargo, no existe alternativa para recargar acuíferos confinados. Los pozos de inyección tienen la ventaja, al igual que las lagunas de infiltración, de tener una vida útil más prolongada que los demás sistemas siempre y cuando reciban el mantenimiento adecuado.

8.2. Aprovechamiento del agua llovida.

Una alternativa a la recarga artificial es el uso de un sistema de almacenamiento y aprovechamiento del agua llovida. Estos sistemas se presentan de varias formas, pero en forma general almacenan el agua que escurre desde los techos y luego la utilizan. Las distinciones principales entre los sistemas yacen en el sistema de almacenamiento y en los usos que se le dan al agua de lluvia.

Los sistemas básicos funcionan con tanques elevados conectados de forma directa a los bajantes del techo. El agua es distribuida por gravedad a usos no-potables como el lavado de ropa y los servicios sanitarios. Los sistemas más elaborados tienen tanques de almacenamiento subterráneos de mayor extensión y distribuyen el agua por medio de bombas. Algunos sistemas más elaborados potabilizan el agua para poder utilizarla libremente para consumo humano y otras actividades.

Los beneficios principales de un sistema de aprovechamiento de lluvia son un ahorro en el consumo de agua potable y una disminución en la escorrentía generada por la infraestructura urbana. Este último beneficio depende del volumen de almacenamiento utilizado, si el volumen es muy pequeño o el consumo de agua es poco entonces es posible que el sistema no almacene el agua de lluvia diariamente, sino en intervalos de tiempo mayores. Por esta razón es importante prever un rebalse como parte del sistema.